



# Química verde no Brasil: 2010 - 2030

Edição revista e atualizada

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
*Ciência, Tecnologia e Inovação*





# Química Verde no Brasil 2010-2030

---

Edição revista e atualizada



cgEE

Brasília – DF  
2010

ISBN 978-85-60755-31-8

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

*Organização Social supervisionada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia*

**Presidenta**

*Lucia Carvalho Pinto de Melo*

**Diretor Executivo**

*Marcio de Miranda Santos*

**Diretores**

*Antonio Carlos Filgueira Galvão*

*Fernando Cosme Rizzo Assunção*

**Edição** / *Tatiana de Carvalho Pires*

**Design Gráfico** / *Eduardo Oliveira*

**Gráficos** / *Camila Maya*

**Diagramação** / *Hudson Pereira*

**Capa** / *Diogo Rodrigues*

C389q

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

438 p.; il, 24 cm  
ISBN – 978-85-60755-31-8

1. Química verde - Brasil. 2. Desenvolvimento auto-sustentável. I.  
CGEE. II. Título.

CDU 66(81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102  
70712-900, Brasília, DF  
Telefone: (61) 3424.9600  
<http://www.cgee.org.br>

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão -15º Termo Aditivo/  
Ação/Subação:51.41.1 - Produção Limpa (Química Sustentável, Tendências, Novos Negócios e Reciclagem)/MCT/2009.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta  
publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.  
*Impresso em 2010*



# Química Verde no Brasil 2010-2030

Edição revista e atualizada

## **Supervisão**

Fernando Cosme Rizzo Assunção

## **Consultores**

José Osvaldo Bezerra Carioca

Maria Fatima Ludovico de Almeida

Peter Rudolf Seidl

## **Equipe técnica CGEE**

Demétrio Antonio da Silva Filho (coordenador)

Elyas Ferreira de Medeiros

## Colaboradores

Adelaide Maria de Souza Antunes (Escola de Química da UFRJ)  
Andressa Gusmão (UFRJ)  
Carlos René Klotz Rabello (Petrobrás/CENPES)  
Daniel Hoefle (UFRJ)  
Eduardo Falabella Sousa-Aguiar (Petrobrás/CENPES e Escola de Química da UFRJ)  
Flávia Maria Lins Mendes (UFRJ)  
Flavio Araújo Pimentel (Embrapa Agroindústria Tropical)  
José Osvaldo Beserra Carioca (UFCE)  
José Vítor Bomtempo Martins (Escola de Química da UFRJ)  
Larissa Barreto Paiva (UFRJ)  
Lucia Gorenstin Appel (Instituto Nacional de Tecnologia - INT)  
Maria Fatima Ludovico de Almeida (PUC-Rio)  
Manoel Régis Lima Verde Leal  
(Centro de Energias Alternativas e Meio Ambiente - CENEA)  
Mariana Azpiazu (UFRJ)  
Marlos Alves Bezerra (Embrapa Agroindústria Tropical)  
Nei Pereira Júnior (Escola de Química da UFRJ)  
Paola Galera (UFRJ)  
Paulo Alcântara  
Paulo Marcos Craveiro  
(Centro de Energias Alternativas e Meio Ambiente - CENEA)  
Peter Seidl (UFRJ)  
Raimundo Guilherme C. Corrêa  
Regina Celi Araújo Lago (Embrapa)  
Rodrigo Cartaxo (UFRJ)  
Sávio Macambira

## Sumário

---

Apresentação	8
Introdução	10
<b>1. Biorrefinarias - Rota bioquímica</b>	<b>19</b>
1.1. Panorama mundial da rota bioquímica	22
1.2. Panorama nacional da rota bioquímica	33
1.3. Tópicos associados ao tema	37
1.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010-2030	66
1.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010-2030	68
1.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	72
<b>2. Biorrefinarias — Rota termoquímica</b>	<b>77</b>
2.1. Panorama mundial da rota termoquímica	78
2.2. Panorama nacional da rota termoquímica	95
2.3. Tópicos associados à rota termoquímica	103
2.4. Mapa tecnológico mundial da rota termoquímica (2010-2030)	105
2.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030	109
2.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	113
<b>3. Alcoolquímica</b>	<b>117</b>
3.1. Evolução da alcoolquímica no Brasil: perspectiva histórica	117
3.2. Panoramas mundial e nacional da alcoolquímica	122
3.3. Produção científica e propriedade intelectual	125
3.4. Tópicos associados ao tema	127
3.5. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030	132
3.6. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030	133
3.7. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	136

4. Oleoquímica	139
4.1. Matérias-primas oleaginosas e proteoleaginosas	142
4.2. Panorama mundial	146
4.3. Panorama nacional	153
4.4. Tópicos associados ao tema	164
4.5. Mapa tecnológico no mundo: 2010-2030	167
4.6. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030	169
4.7. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	172
5. Sucroquímica	175
5.1. Panorama mundial	176
5.2. Panorama nacional	200
5.3. Tópicos associados ao tema	206
5.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030	210
5.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030	213
5.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	217
6. Conversão de CO <sub>2</sub>	219
6.1. Principais usos gerais do CO <sub>2</sub>	222
6.2. Panorama mundial	235
6.3. Panorama nacional	252
6.4. Tópicos associados ao tema	254
6.5. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030	255
6.6. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030	260
6.7. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	263

<b>7. Fitoquímica</b>	265
7.1. Panorama mundial	271
7.2. Panorama nacional	301
7.3. Tópicos associados ao tema	330
7.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030	330
7.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030	330
7.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	331
<b>8. Bioprodutos, biocombustíveis e bioprocessos</b>	333
8.1. Biocombustíveis, bioprodutos e bioprocessos no contexto do desenvolvimento da Química Verde	333
8.2. Processo de inovação e a competição entre tecnologias e estratégias	337
8.3. Identificação dos principais projetos em curso	342
8.4. Competição e inovação em biocombustíveis, bioprodutos e bioprocessos	343
8.5. Empresas e estratégias	363
8.6. Considerações para o planejamento da Rede Brasileira de Química Verde	365
<b>9. Energias renováveis</b>	375
9.1. Panorama mundial	380
9.2. Panorama nacional	397
9.3. Tópicos associados ao tema	402
9.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010-2030	427
9.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030	429
9.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema	431



## Apresentação

---

Química verde, química ambiental ou química para o desenvolvimento sustentável é um campo emergente que tem como objetivo final conduzir as ações científicas e/ou processos industriais ecologicamente corretos. A plena aceitação e adoção deste novo campo de atividades da química nos anos recentes se devem ao esforço bem sucedido de se acoplar os interesses da inovação química simultaneamente com os objetivos da sustentabilidade ambiental e com os objetivos de caráter industrial e econômico. A razão pela qual a química assumiu tamanha importância nestas últimas décadas se deve ao fato de que a química se situa no centro de todos os processos que impactam o meio ambiente, afetando setores vitais da economia.

O movimento relacionado com o desenvolvimento da Química Verde começou no início dos anos 1990, principalmente nos Estados Unidos, Inglaterra e Itália, com a introdução de novos conceitos e valores para as diversas atividades fundamentais da química, bem como, para os diversos setores da atividade industrial e econômica correlatos. Esta proposta logo se ampliou para envolver a *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) no estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento da Química Verde em nível mundial.

Vale ressaltar o papel futuro do agronegócio brasileiro que já se configura como uma das mais expressivas contribuições para a economia nacional e, agora, apresenta uma oportunidade real para instalar a inovação química através da agregação de valor às matérias-primas renováveis, permitindo assim que se passe de uma economia de exportação de commodities para uma economia de produtos inovadores e de alto valor agregado – a bioeconomia.

Levando em conta estes antecedentes, o CGEE desenvolveu juntamente com uma efetiva representação da comunidade científica e tecnológica nacional, inclusive empresas, um amplo estudo dos principais temas correlacionados com a Química Verde, tendo como foco, a experiência nacional nesta área; bem como, as potencialidades da nossa biodiversidade e a estreita cooperação com a indústria nacional para compor uma proposta de desenvolvimento da química verde no Brasil, tendo como temas prioritários:

- as biorefinarias, pelas rotas termoquímica e bioquímica;
- a álcoolquímica;
- a oleoquímica;
- a sucroquímica;

- a fitoquímica;
- a conversão de CO<sub>2</sub>;
- os bioprodutos, bioprocessos e biocombustíveis;
- as energias alternativas;

Inclui também temas transversais como: catálise, modelagem e escalonamento de processos.

A proposta assim colocada almeja integrar este esforço com alguns programas que vem sendo desenvolvidos de forma isolada e em desenvolvimento no país, tendo em vista promover a Química Verde no país como uma estratégia de desenvolvimento sustentável nacional, tendo a pós-graduação nacional, notadamente as áreas da biologia, química e engenharia química, como o patamar deste salto científico e tecnológico. Trata-se de uma proposta madura e bem centrada nas potencialidades nacionais.

Aproveitamos para agradecer e cumprimentar os colaboradores deste projeto Química Verde no Brasil.

**Lucia Carvalho Pinto de Melo**  
Presidenta do CGEE

## Introdução

---

O Brasil se encontra em uma posição privilegiada para assumir a liderança no aproveitamento integral das biomassas pelo fato de possuir a maior biodiversidade do planeta; possuir intensa radiação solar; água em abundância; diversidade de clima e pioneirismo na produção de bicomcombustíveis da biomassa em larga escala, com destaque para a indústria canavieira, o etanol. As microalgas despontam como um novo recurso renovável com potencialidades diversas em termos de bioenergia e produtos químicos. O país reúne, ainda, condições para ser o principal receptor de recursos de investimentos provenientes do mercado de carbono no segmento de produção e uso de bioenergia, por ter no meio ambiente a sua maior riqueza e possuir enorme capacidade de absorção e regeneração atmosférica. Neste contexto, o termo *biorefinarias* compreende as instalações e os processos através dos quais as matérias-primas renováveis e seus resíduos são transformados em bicomcombustíveis, produtos químicos de alto valor agregado, além de energia e alimentos. Neste sentido, as biomassas assumem posição estratégica na era pós-petróleo, uma vez que elas representam a grande fonte de materiais renováveis a serem utilizadas.

A *alcooolquímica* refere-se à utilização de álcool etílico como matéria-prima para fabricação de diversos produtos químicos. No Brasil, a alcooolquímica, implantada na década de 1920, foi abandonada quando da consolidação da petroquímica. A tendência para uso da alcooolquímica vem se consolidando devido ao interesse crescente das empresas em investirem em negócios sustentáveis do ponto de vista econômico, ambiental e social, além da grande valorização dos produtos químicos produzidos a partir de recursos renováveis e ao baixo custo do etanol brasileiro. Vale destacar que grande parte das atuais iniciativas industriais concentra-se na geração de eteno, oriundo de etanol. Evidências existem sobre as condições para o surgimento no país de um moderno segmento industrial baseado no etanol como matéria-prima, que compreende não somente a geração de eteno e outros produtos e intermediários químicos de grande interesse comercial. Neste contexto, a alcooolquímica abrange a utilização de álcool etílico como matéria-prima para fabricação de diversos produtos químicos; em particular, o eteno, matéria-prima para produção de resinas; e produtos importados derivados do etanol, como os acetatos e o éter etílico.

A indústria *oleoquímica* é mais do que centenária e vinha perdendo prestígio frente aos avanços da petroquímica face aos ganhos de escala e preços relativamente mais baixos dos derivados do petróleo, pelo menos até a década de 1970. Com a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a busca pela sustentabilidade em termos de matérias-primas e processos, a oleoquímica está sendo requisitada por faixas de mercado nos produtos de consumo, começando assim, a disputar algumas aplicações industriais. Dentro deste contexto, a oleoquímica engloba os diversos processos de transfor-

mação de óleos vegetais e/ou gorduras animais em produtos de alto valor agregado e biocombustíveis alternativos ao diesel. Estes materiais são fontes renováveis, biodegradáveis e apresentam-se na forma de substratos diversificados e de baixo custo. Em geral, são ésteres, cujas aplicações dependem das famílias de oleaginosas: láuricos, oléicos, ricinoleicos, polinsaturados, entre outras.

Embora a produção de açúcar necessite de vultosos investimentos em plantas industriais para atingir o volume de produção compatível com a escala de mercado, o preço do açúcar refinado é relativamente baixo em função da ampla oferta existente e do pouco valor agregado, ao contrário dos seus derivados químicos. Sendo uma matéria-prima de fonte renovável e de baixo custo, a sacarose vem despertando um crescente interesse como reagente na síntese de derivados de açúcar, área denominada *sucroquímica*. Cabe ressaltar que grande parte dos derivados dos açúcares é importada, possuindo alto valor agregado, o que contribui significativamente para o déficit da balança comercial química do país. Simultaneamente, estas rotas industriais constituem excelentes oportunidades de investimento. Neste contexto, o termo *sucroquímica* refere-se à utilização da sacarose como matéria-prima renovável e de baixo custo, que é utilizada na síntese de derivados sacaríneos de maior valor agregado, como por exemplo: surfactantes não-iônicos, polímeros, adoçantes, emulsificantes, entre outros.

O Brasil detém um dos maiores estoques da biodiversidade do planeta. Os recursos naturais existentes em suas regiões tornam-se gradativamente conhecidos, à medida que as pesquisas científicas se intensificam e os resultados apresentam-se disponíveis para a sociedade. Embora, o Brasil detenha um dos maiores bancos de germoplasma in-situ, constata-se por parte daqueles que habitam os diferentes biomas uma elevada demanda de conhecimentos sobre o aproveitamento sustentável da biodiversidade. A falta de domesticação dos recursos naturais como as plantas medicinais, aromáticas e detentoras de metabólitos secundários com propriedades biodefensivas, tem levado à subutilização e extinção de inúmeras espécies vegetais, impondo limitações socioeconômicas e ambientais. Além disso, a produção agrícola de alimentos saudáveis tem se confrontado com sérios problemas de contaminações por toxinas e pela dependência do uso de agrotóxicos. Dentro deste contexto, o termo *fitoquímica* abrange o levantamento e o estudo de componentes químicos de vegetais utilizados como princípios ativos, aromas, pigmentos e moléculas da parede celular. As aplicações desses produtos podem se estender para diversas áreas como: médica, farmacêutica, cosmética, de higiene e alimentos.

Entre as alternativas estratégicas para aumentar significativamente a utilização de  $\text{CO}_2$ , destaca-se o desenvolvimento de novos processos de obtenção de produtos químicos de grande demanda no mercado, nos quais o  $\text{CO}_2$  venha a ser usado como matéria-prima ou como insumo. Acredita-se que a utilização de novas rotas tecnológicas baseadas no uso de  $\text{CO}_2$  possa contribuir para a redução da emissão de gás carbônico na atmosfera. Desde a última década, foram ampliados os esforços de P&D

direcionados para o maior uso do CO<sub>2</sub> como matéria-prima. Atualmente cerca de 100 Mt de CO<sub>2</sub> são usados anualmente para sintetizar produtos como uréia, ácido salicílico e carbonatos. Um levantamento realizado nas bases internacionais (*Web of Science e Derwent Innovations Index*), sobre a produção científica e as patentes relacionadas com este tema, confirmam o avanço do conhecimento nos diversos tópicos associados no período de 1998-2009. Assim, o termo **conversão de** CO<sub>2</sub> compreende o desenvolvimento de processos para a conversão de CO<sub>2</sub>; particularmente, a redução química, reações de condensação com CO<sub>2</sub>, produção de uréia, bicarbonato, carbonatos e policarbonatos orgânicos, além da produção de gás de síntese, considerada rota fundamental para a indústria química de base.

*Bioprodutos, biocombustíveis e bioprocessos* são vistos de forma integrada dentro de um processo de competição entre múltiplas alternativas tecnológicas colocadas em jogo por empresas e investidores com recursos, estratégias e objetivos diferentes, apoiados muitas vezes por políticas governamentais dirigidas para o setor. Trata-se da construção de uma nova indústria (a indústria dos bioprodutos) cuja conformação, bastante diferente da indústria química clássica, hoje existente, está sendo gerada no processo de inovação.

É certo afirmar que as *energias renováveis* estão chegando com força no cenário mundial, constituindo-se em opções reais para participar na expansão da oferta de energia. Merecem destaques a energia eólica, a solar, a biomassa e a própria indústria dos biocombustíveis. Conforme apontado pela IEA (*International Energy Agency*), a economia de energia é a forma mais rápida e barata para se reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

## Uma visão de futuro

Considerando a necessidade de adequar o país para novos paradigmas da economia da sustentabilidade baseada no uso de matérias-primas renováveis, a visão 2010-2030 derivada deste Estudo é:

Estabelecer uma dinâmica de inovação e competitividade para a indústria brasileira baseada em processos químicos que usam matérias-primas renováveis dentro do contexto da Química Verde.

Para tanto, os meios de materialização desta visão de futuro se fundamentam nas necessidades de:

- 1) Estruturação de uma Rede Brasileira de PD&I em Química Verde; e
- 2) Criação de uma Escola Brasileira em Química Verde.

São apontamentos que decorrem de esforço coletivo que vem envolvendo a participação de representantes do governo, de universidades, de instituições de CT&I e de empresas, cujas trajetórias profissionais relacionam-se diretamente aos temas tecnológicos e aos aspectos políticos, institucionais e programáticos que estão aqui abordados e registrados no acervo de documentos do CGEE.

## Potencialidade para uma estratégia nacional

O Brasil se encontra em posição privilegiada para assumir liderança no aproveitamento integral das biomassas pelo fato de apresentar grande potencial de cultivo de matérias-primas renováveis, dispondo de:

- a) Culturas agrícolas de grande extensão, com destaque para a indústria canavieira;
- b) Maior biodiversidade do planeta;
- c) Intensa radiação solar;
- d) Água em abundância;
- e) Diversidade de clima;
- f) Pioneirismo na produção do biocombustível etanol; e
- g) Grande recurso renovável, com excepcionais potencialidades: as microalgas para a produção de biodiesel, produtos químicos, fármacos e alimentos.

O país reúne, ainda, condições para ser o principal receptor de investimentos no segmento de produção e uso de bioenergia, e por ter no meio ambiente a sua maior riqueza.

Constituem temas correlatos de igual importância para a formação de uma estratégia nacional,:

- a) A promoção do desenvolvimento rural;
- b) O avanço da ciência e da tecnologia; e
- c) A criação de uma economia de bioprodutos com elevado valor agregado.

## Recomendações gerais

**Institucionalizar um programa nacional em química verde considerando seus avanços e desdobramentos na conjuntura político-econômica internacional (No. 1)**

Que este Programa observe as recomendações da IUPAC para obtenção de vantagens em ciência, tecnologia e inovação na utilização sustentável dos recursos naturais.

É necessária a formação de parceria com o setor industrial que dinamize a economia e fortaleça a criação de novos mercados por meio de esforço coordenado e multidisciplinar.

O conceito internacional para Química Verde, entendida como o desenho, o desenvolvimento, a produção e o uso de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente, deverá sempre nortear ações que institucionalizem um programa nacional em química verde.

Ainda, para este Programa, que se considere:

- **A importância da biodiversidade brasileira na biologia**, pois a biologia tem se tornando um poderoso vetor de dinamismo da economia mundial, como base da inovação no século 21. A evolução dos conhecimentos em biologia contribui para maior utilização das biomassas, seja na preparação e produção de matérias-primas ou nas tecnologias de conversão. Novos conhecimentos baseados em engenharia genética, novos processos fermentativos e enzimáticos estarão crescentemente disponíveis.
- **A importância do agronegócio brasileiro para a economia nacional**, daí propor-se o desenvolvimento de temas ligados ao agronegócio, visando dinamizá-lo e fortalecê-lo no sentido de que se passe nas próximas décadas de uma economia de exportação de matérias-primas para uma economia de produtos de alto valor agregado, contribuindo para o desenvolvimento da bio-economia.
- **O esforço desenvolvido pela comunidade científica brasileira para fazer uso da biodiversidade**, a institucionalização do Programa trará os benefícios da gestão tecnológica para o uso sustentável dos recursos naturais e diminuirá impactos ambientais existentes.
- **Os impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis e as conseqüentes mudanças climáticas**, que fazem necessário evoluir rapidamente para uma economia baseada no uso de biomassa; que gerará emprego e renda, promovendo de forma estratégica o desenvolvimento rural e diminuindo a evasão de divisas.
- **A necessidade de integração dos esforços acadêmicos com a indústria química nacional**, visando a incrementar a inovação como fator determinante da promoção de um desenvolvimento sustentável, a integração empresa-universidade se mostra uma estratégia valiosa para se atingir efetividade na inovação industrial.

## **Criar a Rede Brasileira de Química Verde (Nº. 2), considerando:**

O conhecimento, as competências existentes nas empresas, centros de pesquisas e universidades brasileiras;

O fomento aos processos de inovação existentes, para maior eficiência e sustentabilidade dos diversos setores industriais;

O desenvolvimento de novos produtos e processos limpos, atratores de pessoal especializado nos diversos níveis, dando assim um forte estímulo ao crescimento da pós-graduação nacional.

A visão (2030) de construção da Rede Brasileira de Química Verde ancora-se no desejo de se estabelecer no Brasil referência mundial no desenvolvimento de produtos e processos limpos de acordo com os princípios da Química Verde.

A Rede contribuirá para reduzir o impacto dos atuais processos químicos no meio ambiente brasileiro e para que o país tenha um modelo de desenvolvimento industrial sustentável, no médio e longo prazo.

Sua missão está em assumir o papel e a responsabilidade de mobilizar e desenvolver no médio e longo prazo a competência científica e tecnológica do país para a geração de inovações tecnológicas em Química Verde.

Considerações adicionais para a criação da Rede Brasileira de Química Verde:

A necessidade de formação de parcerias institucionais e a promoção de ações multi-setoriais integradas, o fortalecimento da integração empresa-universidade constitui meta estratégica de alcance de uma economia sustentável baseada em novos produtos e processos da biodiversidade. Membros da Rede deverão compreender as metas estratégicas por período (curto, médio e longo prazo) e os benefícios potenciais da rede como uma fonte criadora de valor para o futuro das instituições envolvidas e o país.

A necessidade de se estabelecer programas de cooperação internacional para a inserção da Química Verde brasileira no cenário global recomenda o estabelecimento de programas de cooperação que visem ganhos de tempo em alguns setores onde o país encontra posição desfavorável.

### **Criar a Escola Brasileira de Química Verde (Nº 3)**

Considerando a necessidade de promover o avanço das pesquisas e da formação de pessoal de alto nível para permitir a transferência de conhecimentos para a indústria química nacional na área da química verde, propõe-se:

Que esta Escola seja implantada junto a uma Universidade com vocação para o desenvolvimento da química no Brasil, bem como apresente um quadro de professores e pesquisadores especialistas em química verde.

A Escola Brasileira de Química Verde trabalhará como centro de geração e difusão de conhecimentos em consonância com o trabalho da Rede Brasileira de Química Verde e com o Núcleo de Certificação de Produtos e Processos Limpos (Proposta Nº. 5), haja vista que não se dispõe deste tipo de atividade no país.

A Escola deverá permanentemente acompanhar o estado-da-arte das tecnologias visando a atualização das grades curriculares e o desenvolvimento de novos processos e produtos limpos. O seu trabalho identificará e atenderá demandas tecnológicas da indústria nacional, notadamente aquelas relacionadas com a formação de jovens cientistas, conforme recomendado pela IUPAC.

A Escola desenvolverá atividades na busca de se manter como uma instituição de excelência, realizando de forma continuada o alinhamento do país com os avanços científicos observados no exterior. Assim, vale ainda salientar que a escola terá a difícil missão de transferir conhecimentos para as empresas nacionais, e em especial para o pequeno produtor rural.

### **Fomentar o desenvolvimento da bioeconomia no país (Nº. 4)**

Considerando a necessidade de fortalecer as cadeias produtivas do agronegócio brasileiro, visando torná-lo mais competitivo, os diversos atores (Rede, Escola e indústrias) trabalharão no sentido de se agregar valor às matérias-primas nacionais.

A meta estratégica é a criação de uma economia nacional voltada para bioprodutos, diferentemente da situação atual, onde o foco está voltado para a produção e exportação de commodities. A meta exige pessoal qualificado para tornar o país referência mundial na produção de bioprodutos.

### Construir marcos regulatório (Nº. 5)

Considerando a necessidade de se criar marcos regulatórios no país para permitir o uso ecologicamente correto e socialmente justo dos seus recursos naturais, bem como certificar produtos e processos limpos:

Faz-se necessária a instalação de um Núcleo de Certificação de Produtos e Processos Limpos junto à Rede e a Escola brasileira de química verde.

O Núcleo acompanhará os desenvolvimentos dos marcos regulatórios no exterior e apoiará o desenvolvimento de legislação nacional.

Essas instituições deverão ser capazes de sustentar nova conduta em processos químicos industriais; e de implementar ações sob leis de inovação, de patentes e de cultivares, em apoio às atividades de cadeias produtivas brasileiras.



## 1. Biorrefinarias - Rota bioquímica<sup>1</sup>

A expectativa com a diminuição das reservas de petróleo e a elevação dos custos para sua obtenção, aliadas à crescente preocupação com a preservação ambiental vêm exigindo soluções tecnológicas imediatas às necessidades de consumo. Este movimento em direção oposta à exploração das fontes fósseis de matéria-prima rompe um paradigma global, mantido por décadas, que foi base para o desenvolvimento de toda uma cadeia industrial.

É notório que as fontes fósseis de matéria-prima estão presentes em todos os níveis de qualquer cadeia produtiva, já que sua exploração, principalmente para fins energéticos, foi a base para o desenvolvimento da sociedade industrial. Por isso, o comportamento da economia se tornou extremamente sensível a qualquer mudança em sua qualidade, preço ou demanda.

Os aumentos significativos no preço do petróleo têm viabilizado a utilização de algumas fontes alternativas, que antes não apresentavam competitividade econômica. Cabe ressaltar o destaque mundial que a agroenergia vem ganhando devido aos elevados preços atingidos recentemente pelo barril do petróleo. O sucesso da implantação do etanol na matriz energética brasileira tem sido exemplo para o desenvolvimento de novas políticas energéticas.

Apesar da atmosfera de incerteza no curto e médio prazo, verifica-se um interesse crescente nas biomassas como fonte de matérias-primas e energia para o futuro, como discutido no Capítulo 2. Sua composição apresenta um elevado potencial tecnológico que permite a produção de uma gama de substâncias químicas, através de rota química ou bioquímica, capazes de substituir os produtos derivados de petróleo, gás natural e carvão.

A preocupação com a preservação do meio ambiente é outro fator que tem trazido grande preocupação à sociedade moderna. A queima de combustíveis fósseis e o desmatamento emitem grandes quantidades de gases, em especial o  $\text{CO}_2$  na atmosfera (emissões antrópicas). As crescentes emissões deste gás e de outros como o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) na atmosfera têm causado sérios problemas ambientais, por acentuarem o efeito estufa. Devido à quantidade com que é emitido, o  $\text{CO}_2$  é o gás que mais contribui para o aquecimento global. A sua permanência na atmosfera pode levar dé-

---

<sup>1</sup> Este capítulo foi elaborado por Nei Pereira Júnior e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.

cadadas. Isto significa que as emissões de hoje têm efeitos de longa duração, resultando em impactos no regime climático ao longo dos séculos.

Os impactos ambientais, decorrentes, fundamentalmente, da queima de combustíveis fósseis são uma realidade com a qual a sociedade tem que conviver, controlar e se adaptar, necessitando de uma tomada de consciência da importância da questão e exigindo mudanças em muitos hábitos de consumo e de comportamento.

Com a ratificação do Protocolo de Kyoto, medidas que objetivam a redução destes gases entram em vigor e, juntamente aos outros inconvenientes do petróleo, criam uma grande oportunidade para o uso de fontes alternativas de energia, produzidas a partir de matérias-primas renováveis denominadas coletivamente de biomassas.

Atualmente, o foco está sobre as biomassas de composição lignocelulósica, que são as fontes de carboidratos mais abundantes na natureza. Um fato que corrobora esta afirmação é que, somente no Brasil, foram produzidos 350 milhões de toneladas destas biomassas em 2005, sendo que cerca de 20% se encontram prontamente disponíveis para utilização<sup>2</sup>. Outro fato é que estas biomassas são geralmente resíduos de colheita, ou do processamento das principais culturas, como a cana-de-açúcar, arroz, milho, trigo, soja e são subutilizadas pela indústria. Por se tratar de um dos temas mais importantes da Biotecnologia moderna, o presente Capítulo enfatiza o aproveitamento dessas biomassas residuais, por razões que serão explicitadas ao longo do texto.

Pesquisas acadêmicas demonstram um enorme potencial para aplicação em diversos campos, e a esta amplitude de possibilidades convencionou-se chamar de “biorrefinaria”. O conceito de biorrefinaria está se firmando à imagem do que representa a refinaria de petróleo. Seu conceito contradiz o raciocínio por justaposição de cadeias de produção, o qual pressupõe a separação total de áreas, e busca pela construção de sistemas integrados para a produção de compostos químicos, alimentos e energia<sup>3</sup>.

Apesar de ser um conceito relativamente novo, na prática a estruturação sob a forma de biorrefinaria, no sentido estrito que tange o aproveitamento majoritário das biomassas residuais, já é praticada em alguns setores da indústria. No Brasil, são exemplos o parque industrial sucroalcooleiro e a indústria de papel e celulose. No entanto, apesar do máximo aproveitamento das biomassas, a indústria,

2 Pereira, R. E. Avaliação do potencial nacional de geração de resíduos agrícolas para a produção de etanol. 133 f. Dissertação (Mestrado). Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

3 Sachs, I. Tecnologia atual permite criação de biocivilização, diz cientista. Entrevista para a Agência Fapesp. Autor: Fábio de Castro. 04/05/2008. Disponível em: < <http://bvs.fapesp.br/namidia/?act=view&id=23672> >. Acesso em dez 2009.



de um modo geral, agrega pouco valor ao uso das frações que a compõem. Isto se deve, em parte, à falta de conhecimento, oportunidades e comportamento empreendedor.

As oportunidades de negócio e formação de mercado são conceitos dinâmicos e estão diretamente ligados às características tecnológicas, econômicas, sociais e juntamente com o comportamento empreendedor requerem habilidades particulares dos agentes inovadores. Contudo, o acesso ao conhecimento tecnológico sempre foi um problema enfrentado pelos meios produtivos, de pesquisa e desenvolvimento. Isto tornou necessário medidas que sistematizassem a busca por informações relevantes, as organizassem e as transformassem em conhecimento.

No tocante ao conhecimento tecnológico, existem dificuldades em estabelecê-lo devido à dispersão das informações, sendo algumas, inclusive, de acesso restrito. O esforço para minimizar a distância entre as fontes de informações e os setores interessados vem logrando sucesso através de parcerias entre a academia e o setor produtivo, no âmbito nacional e internacional, estabelecendo assim uma relação de complementação mútua.

O conceito de biorrefinaria foi construído por grupos de pesquisa internacionais que buscavam o desenvolvimento de tecnologia para a produção de etanol de segunda geração, ou seja, aquele produzido a partir de resíduos de composição lignocelulósica. Os esforços nesta temática já apresentam expressivos resultados, traduzidos pela construção de dezenas de unidades demonstrativas, algumas já em operação, para a produção deste biocombustível, em particular nos Estados Unidos da América do Norte.

Nessa perspectiva, o presente Capítulo focaliza as tendências e desafios para a produção de etanol de segunda geração, buscando ressaltar etapas críticas do processo, particularmente às ligadas a montante (*upstream*), as quais definirão o êxito tecnológico para a produção de etanol de segunda geração e também de qualquer outra substância por rota bioquímica, na medida em que os pré-tratamentos são análogos. Adicionalmente, por se tratar de um processo tecnológico mais complexo, os conceitos expressos neste Capítulo aplicam em maior ou menor extensão a outras biomassas baseadas em carboidratos (açúcares).

O Brasil encontra-se em posição bastante privilegiada para assumir a liderança no aproveitamento integral das biomassas, pelo fato de ser um dos maiores potenciais de matérias-primas renováveis do planeta; pela grande disponibilidade de culturas agrícolas de grande extensão, com destaque para a indústria canavieira; possuir intensa radiação solar; água em abundância; diversidade de clima e pioneirismo na produção de biocombustível em larga escala, o etanol. O país reúne, ainda, condições

para ser o principal receptor de recursos de investimentos, provenientes do mercado de carbono no segmento de produção e uso de bioenergia, por ter no meio ambiente sua maior riqueza e possuir enorme capacidade de absorção e regeneração atmosférica.

Descrevem-se, a seguir, o panorama mundial e nacional do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” e, na sequência, apresentam-se os resultados das análises prospectivas referentes a este tema. Inicialmente, apresentam-se os tópicos associados a “biorrefinarias: rota bioquímica” e os setores que serão mais impactados pelo seu desenvolvimento. Em seguida, discutem-se os mapas tecnológicos em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo *portfolio* tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010 -2030. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas tecnológicos e do *portfolio*, com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o Brasil. Em seguida, identificam-se os condicionantes para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e *portfolio* tecnológicos.

## 1.1. Panorama mundial da rota bioquímica

O panorama mundial da produção científica e propriedade intelectual sobre o tema “Biorrefinarias: rota bioquímica” foi elaborado a partir de levantamento direto em duas bases de dados internacionais de referência: (i) Web of Science, para o levantamento da produção científica<sup>4</sup>; e (ii) Derwent Innovations Index, para o levantamento de patentes<sup>5</sup>. Esses levantamentos abrangeram diversos termos de busca e cobriram o período 1998 – 2009, como apresentado a seguir. A Tabela 1.1 apresenta os termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes e os resultados agregados por termo<sup>6</sup>.

Com o objetivo de conferir maior abrangência ao estudo bibliométrico, selecionaram-se termos gerais relacionados ao tema, como por exemplo “*biomass biochemical conversion*”, e alguns termos específicos associados aos tópicos abordados neste Capítulo, como por exemplo “*biomass pretreatment*”. As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “*topic*” (TS) e “*year published*” (PY).

Considerando-se o período 1998-2009 e adotando-se a estratégia apresentada na Tabela 1.1, foram identificadas 3.774 publicações científicas e 1.359 patentes.

A Figura 1.1 mostra a evolução do Número de publicações científicas sobre o tema “biorrefinarias:

4 ISI Web of Science. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

5 Derwent Innovations Index. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

6 Almeida, M.F.L. Produção científica e propriedade intelectual em biorrefinarias – rota bioquímica: 1998-2009. Texto para discussão. Mimeo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. CGEE. Dez 2009.

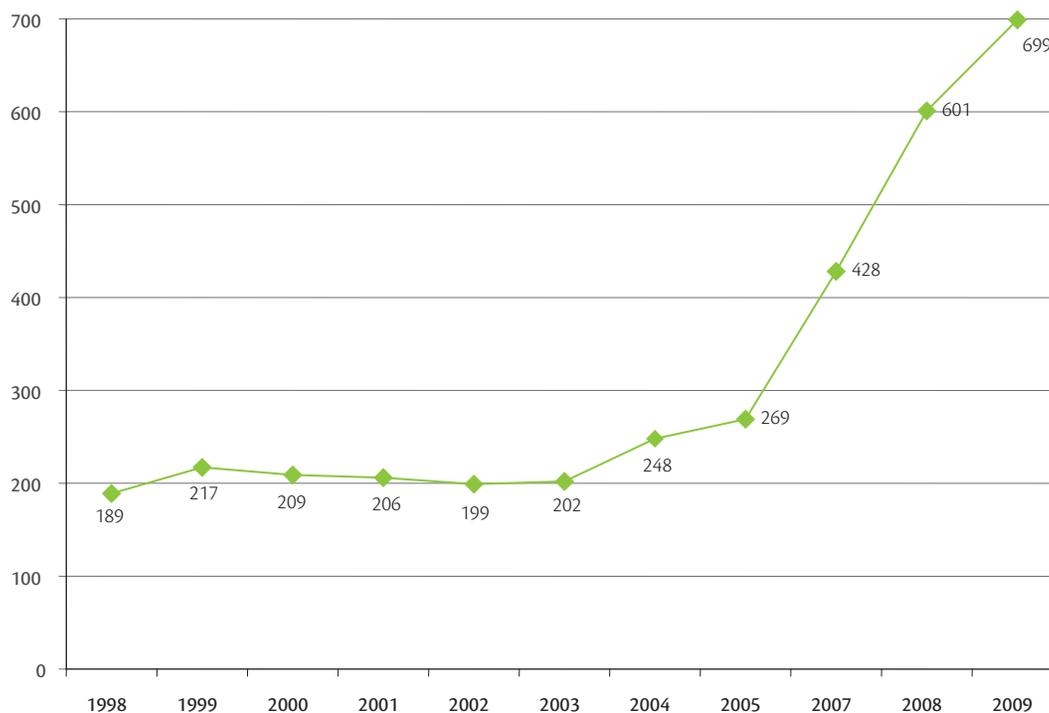


rota bioquímica” no referido período. Observa-se uma curva ascendente da produção científica deste tema a partir de 2004, período no qual o número de publicações científicas indexadas na base de dados consultada cresceu a uma taxa média anual de 31%.

**Tabela 1.1:** Termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes

Ref.	Termos da estratégia de busca	Número de publicações (Web of Science)	Número de patentes (Derwent Innovations Index)
#1	TS=(biomass enzymatic hydrolysis) OR TS=(biomass enzymatic conversion)	646	136
#2	TS=(lignocellulosic ethanol) OR TS=(lignocellulosic biofuel) OR TS= (lignocellulosic ethyl alcohol)	677	253
#3	TS=(lignocellulosic biomass conversion) OR TS= (biomass biochemical conversion)	380	63
#4	TS=(biomass pretreatment) OR TS=(biomass pre-treatment)	1.270	238
#5	TS=(cellulase production) OR TS=(cellulolytic enzyme*)	1.943	883
#6	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5	3.774*	1.359*

**Nota:** (\*) Resultado da estratégia de busca abrangendo todos os termos com o operador booleano OR, e eliminando os documentos em duplicata. Campo TS= tópico (mais abrangente, do que o campo TI=título).

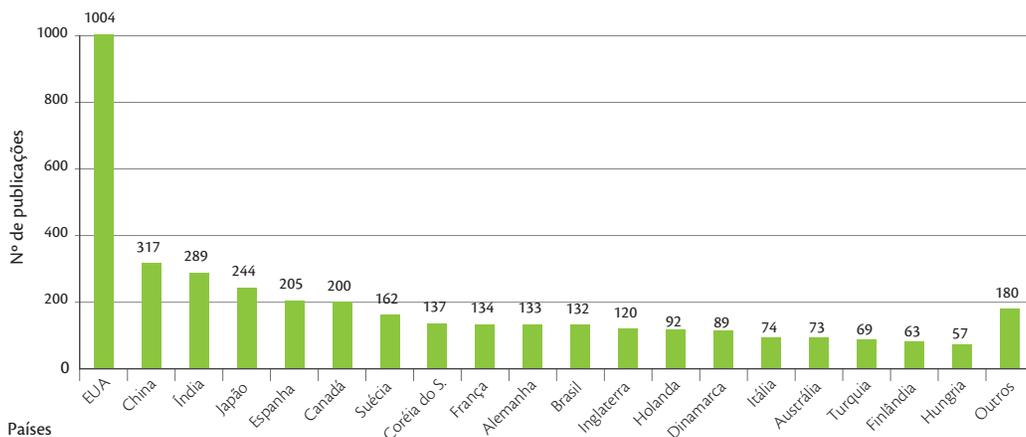


**Figura 1.1:** Evolução do Número de publicações científicas sobre biorrefinarias - rota bioquímica: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Figura 1.2 mostra os resultados da análise das 3.774 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores. Observa-se que os EUA lideram o *ranking*, com 1.004 publicações, seguidos da China e da Índia, com 317 e 289 publicações, respectivamente. Essa busca indicou um total de 91 países.

Observa-se na Figura 1.2 que o Brasil ocupa a 11ª posição do *ranking* mundial de produção científica no tema “biorrefinarias: rota bioquímica”, com 132 publicações indexadas na referida base.



**Figura 1.2:** Publicações científicas sobre biorrefinarias - rota bioquímica por país: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela 1.2 apresenta o conjunto das 3,774 publicações científicas classificadas por área de especialização.

**Tabela 1.2:** Publicações científicas sobre biorrefinarias - rota bioquímica, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Biotecnologia e microbiologia aplicada	1.747	46,29
Bioquímica e biologia molecular	544	14,41
Energia e combustíveis	480	12,72
Engenharia química	411	10,89
Microbiologia	373	9,88
Engenharia agrícola	357	9,46
Ciências ambientais	309	8,19
Ciência e tecnologia de alimentos	298	7,89
Engenharia ambiental	165	4,37
Botânica	161	4,26

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Constata-se que um percentual significativo de publicações associa-se diretamente a uma área específica: biotecnologia e microbiologia aplicada (46,29%). As demais áreas situam-se em patamares bem

inferiores na faixa de 14,41 a 4,26% de publicações classificadas nas respectivas áreas. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 99 áreas de conhecimento, confirmando-se a concentração dos temas em poucas áreas, como mostra a Tabela 1.2. Cabe destacar que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

A Tabela a seguir apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

**Tabela 1.3:** Publicações científicas sobre biorrefinarias - rota bioquímica, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 20”)

Instituição	País	Número de publicações
National Renewable Energy Laboratories	EUA	90
Lund University	Suécia	79
US Department of Agriculture. Agricultural Research Service (USDA. ARS)	EUA	72
Dartmouth College	EUA	60
Chinese Academy of Science	China	59
Michigan State University	EUA	56
Technical University of Denmark	Dinamarca	56
University British Columbia	Canadá	50
North Carolina State University	EUA	42
Universidade de Vigo	Espanha	38
University of Wisconsin	EUA	38
University of Florida	EUA	36
Auburn University	EUA	35
Kyoto University	Japão	35
Texas A&M University	EUA	35
Agriculture & Agri Food Canada	Canadá	33
Purdue University	EUA	33
Institut National de la Recherche Agronomique	França	32
University of Geórgia	EUA	31
Cornell University	EUA	29

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009



Em um total de 2.236 instituições, o National Renewable Energy Laboratories dos EUA lidera o *ranking* mundial, com 90 publicações no período considerado, seguido da Lund University, da Suécia, e do Agricultural Research Service (USDA/ARS), dos EUA, com 79 e 72 publicações, respectivamente. Destacam-se também o Dartmouth College dos EUA, a Chinese Academy of Science (59 e 60 publicações, respectivamente) e a Technical University of Denmark, com 56 publicações no período. Entre as 25 primeiras colocadas no *ranking* da produção científica, 12 são instituições americanas, confirmando-se os indicadores da Figura 1.2.

Na sequência, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes referentes ao tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no período 1998 – 2009. Como mencionado, esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index e abrangeu os mesmos termos de busca do levantamento anterior. Foram identificadas 1.359 patentes no referido período.

Os resultados do levantamento de patentes permitiram identificar: (i) as principais áreas de especialização associadas ao conjunto de patentes (critério “*top 10*”), conforme indexação das áreas pelas próprias bases de dados consultadas; (ii) o número de depositantes e os destaques, enfatizando-se a presença de empresas (critério “*top 15*”); e (iii) uma análise por código da International Patent Classification (ICP), que revela as subclasses ICP e respectivos códigos de maior representatividade para posterior monitoramento da evolução da propriedade intelectual no tema nos próximos anos.

A Tabela 1.4 apresenta o conjunto das patentes levantadas, segundo a classificação por área de especialização do próprio sistema de indexação da referida base. A pesquisa indicou um total de 22 áreas de conhecimento.

**Tabela 1.4:** Patentes no tema biorrefinarias - rota bioquímica, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Química	1.346	99,04
Biotecnologia e microbiologia aplicada	1.059	77,92
Ciência e tecnologia de alimentos	429	31,57
Farmacologia e farmácia	403	29,65
Engenharia	355	26,12
Ciência dos polímeros	268	19,72
Energia e combustíveis	266	19,57
Ciência dos materiais	252	18,54
Agricultura	214	15,74
Instrumentos e instrumentação	169	12,43

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Ao se analisar as informações sobre patentes mostradas na Tabela 1.4, observa-se que percentuais significativos referem-se diretamente à química (99,04%) e à área de biotecnologia e microbiologia aplicada (77,92%). Em um segundo patamar, situam-se três áreas: ciência e tecnologia de alimentos (31,57%); farmacologia e farmácia (29,65%) e engenharia (26,12%). Neste *ranking* (critério “top 10”), as demais áreas possuem de 19,72 a 12,43% do total de patentes classificadas segundo o próprio sistema da base Derwent Innovations Index. Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes, observando-se que a empresa líder é a Novozymes AS com 99 patentes, seguida da Genencor Int. Inc com 44 patentes. Os demais depositantes que se destacam no *ranking* são: Kao Corporation, com 31 patentes, a Henkel KGAA, com 23 patentes, a logen Energy Corp. com 21 patentes e a Danisco US Inc com 20 patentes. A busca indicou ainda um total de 1.578 depositantes (Tabela 1.5).



**Tabela 1.5:** Patentes no tema biorrefinarias - rota bioquímica, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 15”)

Depositante	Número de patentes
Novozymes AS	99
Genencor Int Inc	44
Kao Corp.	31
Novo Nordisk AS	25
Novozymes Inc	25
Novo-Nordisk AS	25
Henkel KGAA	23
logen Energy Corp	21
Danisco US Inc Genencor Division	20
Novozymes Biotech Inc	20
Novozymes North America Inc.	19
Goedgebuur, F.	12
Midwest Research Institute	12
Du Pont De Nemours & Co	11
Dunn- Coleman, N.	11

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Vale destacar, entretanto, que uma busca delimitada pelo campo “Assignee Codes” permite revelar um pouco mais sobre a concentração de poucas empresas no *ranking* mundial de patentes neste tema. A Tabela a seguir apresenta os resultados desta busca.

**Tabela 1.6:** Patentes no tema “biorrefinarias: rota bioquímica”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Código do depositante	Empresa, inventor ou instituição	Número de patentes
NOVO-C	Novo	147
GEMV-C	Genencor Int Inc	46
DASC-C	Danisco	36
KAOS-C	Kao Corp	31
HENK-C	Henkel &Co	27
IOGE-N	logen Energy Corp	23
DUPO-C	Du Pont	13
GOED-I	Goedegebuur, F.	12
MIDE-C	Midwest Research Institute	12
PROC-C	Procter & Gamble Co	12

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

A título de ilustração, sob o código NOVO-C estão classificados os depositantes Novozymes AS, Novo Nordisk AS, Novo-Nordisk AS Novozymes Inc e Novozymes North America Inc., que na Tabela 1.5 se encontravam em diferentes posições no ranking (1ª, 4ª, 5ª, 6ª, 10ª e 11ª). Na Tabela 1.6, o código NOVO-C aparece em 1º lugar, perfazendo 147 patentes, em um total de 1.359 patentes e 1.295 códigos de depositantes.

Na sequência, a tabela mostra os resultados da análise das 1.359 patentes segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP).



**Tabela 1.7:** Patentes no tema “biorrefinarias - rota bioquímica”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
C12P-007/02	291
C12N-009/42	198
C12P-019/00	189
C12P-007/06	170
C12N-015/09	154
C12N-001/21	148
C12P-007/10	146
C11PD-003/386	112
C12N-001/15	111
C12N-009/00	109

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Buscou-se mostrar indicadores bibliométricos de patentes e publicações científicas associados ao tema “biorrefinarias; rota bioquímica”, objeto deste Capítulo. Vale destacar, entretanto, que qualquer resultado de uma análise bibliométrica tem caráter apenas indicativo, recomendando-se seu cruzamento posterior com outras informações e análises referentes aos tópicos associados ao tema (Seção 1.3).

Recomenda-se ainda que os tópicos gerais aqui abordados, bem como outros mais específicos, deverão ser objeto de monitoramento tecnológico em bases de dados internacionais de referência, como as que foram acessadas neste estudo. Para efeito de um futuro monitoramento da propriedade intelectual em nível mundial baseado nas classes e subclasses da ICP, constata-se que as subclasses ICP de maior representatividade em relação ao tema são: C12P-007 – “preparação de compostos orgânicos contendo oxigênio”; C12N-009 – “enzimas, por ex., ligases; pro-enzimas; suas composições; processos para preparar, ativar, inibir, separar, ou purificar enzimas” e C12P-019 – “preparação de compostos contendo radicais sacarídeos”.

Complementando o panorama da produção científica e propriedade intelectual, a Tabela 1.8 apresenta as mais importantes empresas que vêm empregando tecnologias para a produção de etanol de segunda geração e informações complementares, como localização, características de processo e capacidade instalada.

**Tabela 1.8:** Empresas que empregam tecnologias para a produção de etanol de segunda geração e características de processo

Empresa	País de origem	Características de processo	Localização	Capacidade (m <sup>3</sup> /ano)
AE Biofuels	EUA	Hidrólise enzimática	Montana	567
Blue Fire Ethanol	EUA/Japão	Hidrólise com ácido concentrado	Califórnia Izumi	12.110 n.d.
Chempolis Ou	Finlândia	Hidrólise com ácido diluído	Oulu	n.d.
Iogen	Canadá	Hidrólise enzimática	Ontario	4.000
KL Energy	EUA	Hidrólise enzimática	Wyoming	5.680
Lignol Energy	Canadá	Pré-tratamento Organosolv	Vancouver	2.500
Mascoma	EUA	n.d.	Nova Iorque	1.890
Poet	EUA	n.d.	Dakota do Sul	75
Sekab	Suécia	Hidrólise enzimática	n.d.	n.d.
ST1	Finlândia	n.d.	Lappeenranta Hamina Närpiö	1.000 1.000 1.000
St. Petersburg State Forest-Technical Academy	Rússia	Hidrólise c/ácido diluído	13 unidades no país	n.d.
Sun Opta	Canadá	Hidrólise enzimática	China	n.d.
University of Florida	EUA	Hidrólise enzimática com E. coli recombinantes (modelo integrado)	Flórida	7.570
Verenium	EUA	Hidrólise enzimática (modelo de duas correntes)	Louisiana Japão	5.300 4.920

Todas as empresas mencionadas na Tabela 1.8 exploram o conceito de biorrefinaria, como apresentado na introdução deste Capítulo. Para se ter uma dimensão dos movimentos nesta temática, apresentam-se dados adicionais considerados relevantes. Verifica-se, pelas capacidades instaladas, que todas as iniciativas estão em fase de demonstração.

A Tabela a seguir mostra os projetos aprovados pelo US Department of Energy (DOE) para a construção de pequenas biorrefinarias naquele país, ao final de 2008. Observa-se uma tendência de implementação da plataforma bioquímica.



**Tabela 1.9:** Projetos aprovados pelo US Department of Energy (DoE) para a construção de pequenas biorrefinarias nos EUA

Empresa	Custo total 10 <sup>6</sup> US\$	Participação DoE 10 <sup>6</sup> US\$	Capacidade anual de produção	Localização	Matérias- primas	Tecnologia
Verenium	91,35	76,0	1.500.000	Jennings, LA	Bagasse, energy crops, agricultural wastes, wood residues	Rota bioquímica
Flambeau Llc	84,0	30,0	6.000.000	Park Falls, WI	Forest residue	BTL
ICM	86,0	30,0	1.500.000	St. Joseph, MO	Switchgrass, forage sorghum, stover	Rota bioquímica
Lignol Innovations	88,0	30,0	2.500.000	Commerce City, CO	Woody biomass, agricultural residue	Rota bioquímica Organosolv
Pacific Ethanol	73,0	24,34	2.700.000	Boardman, OR	Wheat straw, stover, poplar residuals	Biogásol (EtOH, biogás, solid fuels)
New Page	83,6	30,0	5.500.000	Wisconsin, WI	Wood biomass – mill residues	BTL
Rse Pulp	90,0	30,0	2.200.000	Old Town, Maine	Wood chips (mixed hardwood)	Rota bioquímica
Ecofin, Llc	77,0	30,0	1.300.000	Washington Country, KY	Corn cobs	Rota bioquímica (Solid state fermentation)
Mascoma	135,0	25,0	2.000.000	Monroe, TN	Switchgrass and hardwoods	Rota bioquímica
Total	808,0	305,3	25,2 M galões = 95,4 M litros			

Fonte: US DOE, 2009.

## 1.2. Panorama nacional da rota bioquímica

Com relação à produção científica nacional no período 1998-2009, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 11<sup>a</sup> posição do *ranking* mundial de produção científica, com 132 publicações indexadas na referida base (Ver Figura 1.2).

Buscou-se analisar esse conjunto de publicações em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 1.10.

**Tabela 1.10:** Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “biorrefinarias: rota bioquímica”, classificados segundo a instituição de origem de seus autores: 1998 – 2007 (critério “top 15”)

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	24
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	13
Universidade Estadual Paulista (UNESP)	São Paulo	12
Universidade Federal do Paraná	Paraná	12
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	10
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	8
Universidade de Brasília	DF	7
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	7
Universidade Estadual de Maringá	Paraná	6
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	6
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	5
Universidade de Caxias do Sul	Rio Grande do Sul	4
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	São Paulo	4
Universidade Estadual de Londrina	Paraná	3
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	3

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Lidera o *ranking* das instituições brasileiras a Universidade de São Paulo (24 publicações), em um total de 120 publicações indexadas no período 1998-2009. Nas próximas quatro colocações, encontram-se a Universidade Estadual de Campinas (13 publicações), a Universidade Estadual de São Paulo, a Universidade Federal do Paraná (ambas com 12 publicações) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, com 10 publicações. Foram identificadas 123 instituições às quais os autores brasileiros estão vinculados. Cabe ressaltar que das instituições brasileiras identificadas nesta busca, as três primeiras do *ranking* são do Estado de São Paulo.

O Quadro 1.1 apresenta os laboratórios nacionais considerados referências (âncoras), que potencialmente poderão integrar a Rede Brasileira de Química Verde para o desenvolvimento mais amplo



do conceito de biorrefinaria. Essa Rede deverá enfatizar a integração efetiva dos projetos que hoje fazem parte desta temática (otimização de pré-tratamentos, produção/engenharia de enzimas, hidrólise enzimática, processos fermentativos, integração energética e escalonamento).

**Quadro 1.1:** Laboratórios nacionais que desenvolvem tópicos relacionados ao tema “biorrefinarias: rota bioquímica”

Laboratório/Instituição	Estágio de maturação dos projetos
Laboratório de Desenvolvimento de Bioprocessos (Ladebio) da Escola de Química da UFRJ.	Avançado, com ênfase no desenvolvimento de plataforma bioquímica para a produção de etanol de segunda geração, polióis, enzimas (celulases e xilanases), ácidos orgânicos e valorização da lignina para a produção de energia.
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da Unicamp.	Avançado. Desenvolve estudos com ênfase em integração energética.
Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG) da Coppe/UFRJ.	Avançado. Desenvolve estudos e pesquisas em três grandes áreas interligadas e relacionadas às transformações globais: mudanças climáticas globais e mudanças de paradigmas e inovações tecnológicas no setor de energia.
Laboratórios de Engenharia Bioquímica – DEQ/USP	Avançado na produção de celulases por fermentação no estado sólido.
Centro de Tecnologia Canavieira (CTC)	Avançado, com ênfase na produção de etanol de primeira geração. Incipiente na segunda geração.
Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT/SP)	Mediano, com alguns desenvolvimentos na temática.
Laboratórios de Biologia Molecular (Labiomol) do ICB da Universidade de Brasília	Avançado em técnicas de manipulação genética para a construção de biocatalisadores ótimos. Referência nacional em Biologia Molecular.
Centro de Pesquisas Leopoldo Miguez de Mello (Cenpes)/Petrobras	Avançado. Possui a única e primeira planta-piloto na América Latina para a produção de etanol de segunda geração.
Centro de Apoio Multidisciplinar (CAM)/UFAM	Avançado em técnicas de manipulação genética para a construção de biocatalisadores ótimos. Interage fortemente com o Labiomol/Universidade de Brasília.
Laboratório de Engenharia de Processos Enzimáticos (LEE) do DEQ/UFSCar	Avançado em tecnologias de imobilização de enzimas.
Laboratório de Cristalografia do Instituto de Física da USP (Campus de São Carlos).	Avançado em técnicas moleculares de caracterização e engenharia de enzimas. Interage fortemente com o Laboratório de Desenvolvimento de Bioprocessos (Ladebio) da Escola de Química da UFRJ.
Laboratório de Tecnologia Enzimática/UFRJ	Avançado em produção de enzimas, com ênfase em celulases.
Laboratórios de Biotecnologia da EEL/USP (Campus Lorena)	Avançado em pré-tratamento e em processos fermentativos para a produção de polióis.
Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol	Incipiente. Centro recentemente criado.
Vários laboratórios da Embrapa	Avançado em ocorrência e composição de biomassas residuais, havendo alguns laboratórios com grande experiência em genética vegetal, microbiana, bem como com processos biológicos para a produção de enzimas.

Identifica-se ainda uma rede nacional que foi estabelecida em 2005 (Projeto Bioetanol-Finep), mas que infelizmente não foi bem sucedida devido ao baixo nível de sinergismo apresentado. Identificam-se, também, vários laboratórios da Embrapa, que poderão agregar conhecimento à temática. A Embrapa é um ator que não se pode prescindir na integração da Rede Brasileira de Química Verde.

A única empresa nacional que está utilizando tecnologias referentes à presente temática é a Petrobras, que possui uma instalação piloto em seu Centro de Pesquisas (Cenpes) para a produção de etanol de segunda geração seguindo o modelo de duas correntes. A empresa também utiliza sua instalação piloto, dimensionada através de resultados levantados pelos Laboratórios de Desenvolvimento de Bioprocessos da UFRJ, para ensaios de pré-tratamento e produção enzimática.

Um levantamento do Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil mantido pelo CNPq<sup>7</sup> revelou 1.265 grupos de pesquisa nacionais com competências complementares, que poderiam se associar à Rede Brasileira de Química Verde, tendo os laboratórios especificados anteriormente como âncoras. A Tabela 1.11 apresenta a distribuição desses grupos por palavra-chave ou termo de busca no referido Diretório. As áreas de conhecimento com maior expressão são: microbiologia e microbiologia industrial (517 grupos); agronegócio (148 grupos); biocombustíveis (119 grupos) e produção de biomassa (103 grupos).

---

<sup>7</sup> Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. CNPq. Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil. Disponível em: < [dgp.cnpq.br/censos/inf\\_gerais/p\\_q\\_serve.htm](http://dgp.cnpq.br/censos/inf_gerais/p_q_serve.htm) >. Acesso em dez 2009.



**Tabela 1.11:** Laboratórios nacionais que desenvolvem tópicos relacionados ao tema “biorrefinarias: rota bioquímica”

Palavra-chave	Grupos
Etanol	95
Biocombustíveis	119
Biomassas	12
Biorrefinaria	3
Enzimas industriais	36
Processos bioquímicos	21
Processos enzimáticos	23
Processos fermentativos	53
Tecnologia de bioprocessos	11
Engenharia bioquímica	23
Planejamento energético	41
Integração energética	12
Produção de biomassa	103
Agronegócio	148
Biologia molecular	3
Genética	11
Microbiologia	492
Microbiologia industrial	25
Química verde	34
Total	1.265

### 1.3. Tópicos associados ao tema

As matérias-primas lignocelulósicas, principalmente os resíduos da agroindústria, têm sido objeto de intensivas pesquisas em todo o mundo por se constituírem em fontes renováveis de carbono e energia disponíveis em grandes quantidades.

O aproveitamento integral e racional das matérias-primas lignocelulósicas poderá revolucionar uma série de segmentos industriais, tais como os de combustíveis líquidos, de alimentos/rações e de insumos químicos, trazendo benefícios imensuráveis para países de grandes extensões territoriais e de elevada produtividade de biomassa, entre os quais o Brasil ocupa posição de destaque. O bagaço de cana-de-açúcar é o principal resíduo agroindustrial brasileiro, sendo produzidos cerca de 250 kg de bagaço por tonelada de cana-de-açúcar. Apesar do grande potencial desta matéria-prima, grande parte desse resíduo agro-industrial é queimada nas usinas para produção de energia e uma fração menor é empregada na composição de ração animal, havendo ainda excedentes<sup>8</sup>.

A utilização efetiva dos materiais lignocelulósicos em processos microbiológicos esbarra em dois obstáculos principais: a estrutura cristalina da celulose, altamente resistente à hidrólise; a associação lignina-celulose, que forma uma barreira física que impede o acesso enzimático ou microbiológico ao substrato. Adicionalmente, a hidrólise ácida da celulose apresenta o inconveniente de requerer o emprego de elevadas temperatura e pressão, levando à destruição de parte dos carboidratos e à obtenção de produtos de degradação tóxicos aos microrganismos<sup>9</sup>. A sacarificação enzimática, por sua vez, requer o emprego de pré-tratamentos físicos (moagem, aquecimento, irradiação) ou químicos (ácido sulfúrico, ácido fosfórico, álcalis), para atingir rendimentos viáveis.

As Figuras 1.3, 1.4 e 1.5 contextualizam, graficamente, o conceito de biorrefinaria lignocelulósica e suas aplicações em torno da agroindústria, tendo suas biomassas residuais como centro dos processos de produção de uma grande variedade de moléculas.

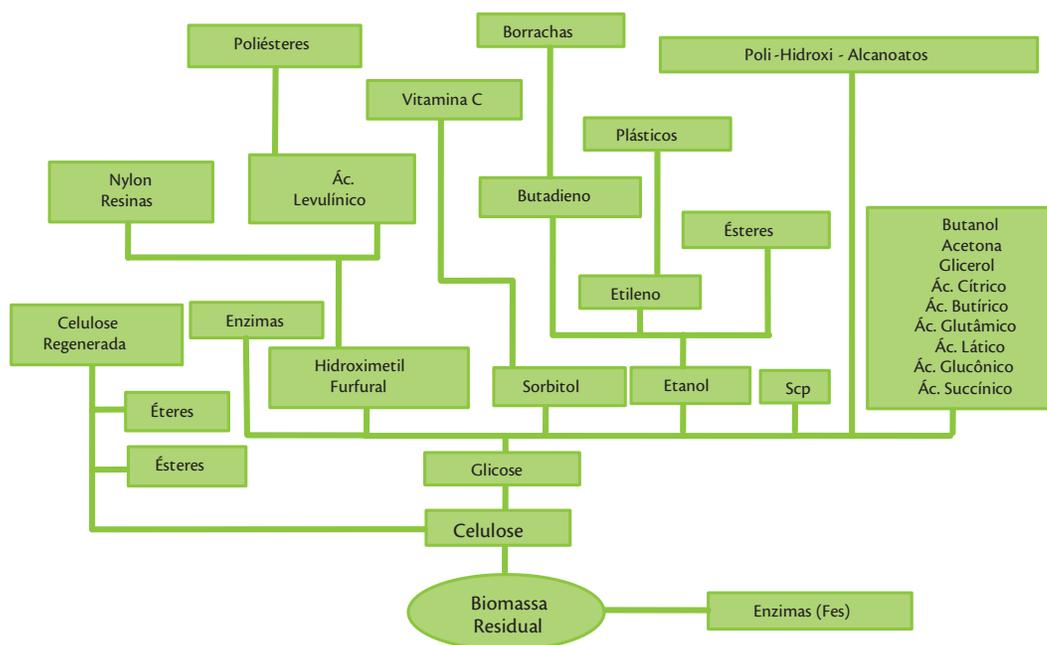
Tal conceito tem sido alvo de pesados investimentos, pelos norte-americanos, com intuito de reestruturar sua indústria, principalmente a alcooleira. A ideia de criar um “cinturão” de processos apresenta enormes vantagens logísticas, principalmente de transporte de matéria-prima, escoamento de produtos e oferta de serviços. No Brasil, essa nova estrutura industrial ainda está em estágio de germinação, sendo crescentemente estudada.

A hidrólise total da celulose gera apenas glicose, que pode ser convertida a uma série de substâncias químicas e bioquímicas. Pode-se dizer que a glicose, por ter uma via metabólica exclusiva e comum à grande maioria dos seres vivos, pode ser, igualmente como a sacarose, convertida biologicamente a etanol, bem como utilizada para a produção de uma gama de substâncias como: ácidos orgânicos, glicerol, sorbitol, manitol, frutose, enzimas, entre outras, por processos químicos ou bioquímicos.

---

8 Zanin, G. M. et al. Brazilian bioethanol program. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, v. 84-86, p. 1147-1161. 2000.

9 Jacobsen, S. E.; Wyman, C. E. Cellulose and hemicellulose hydrolysis models for application to current and novel pretreatment processes. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v.84, n.1-9, p. 81-96. 2000.



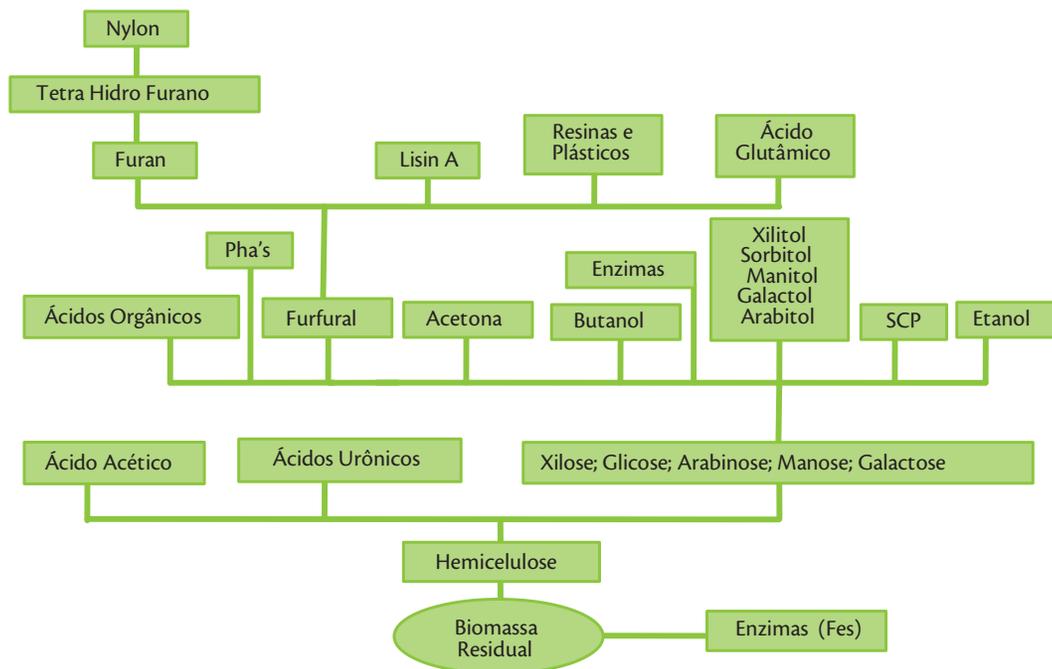
**Figura 1.3:** Biorrefinaria lignocelulósica: produtos da celulose

Fonte: Pereira Jr. et al., 2008.

O produto de hidrólise da fração hemicelulósica é uma mistura de açúcares, com predominância, no caso do bagaço de cana-de-açúcar, de xilose. O mercado tradicional para este açúcar tem sido na produção de furfural, que é um solvente seletivo, muito reativo, sendo usado em larga escala na purificação de óleos minerais, de vegetais e animais, como também na concentração de vitamina A de óleo de fígado de peixe. Alternativamente, xilose pode ser hidrogenada para produzir xilitol, que apresenta aplicações como adoçante não cariogênico, com poder adoçante igual a de sacarose e com metabolização no organismo humano independente de insulina.

No entanto, xilose pode ser convertida biologicamente à proteína de unicelular (*Single Cell Protein*) e a uma variedade de combustíveis e solventes, como etanol por leveduras com habilidade de fermentar esta pentose (*Pichia stipitis*, *Candida sheratae* ou *Pachysolen tannophilus*); a xilitol, por leveduras com atividade redutásica sobre xilose, como por exemplo, *Candida guilliermondii*, *Debaromyces hansenii* e *Candida tropicalis*<sup>10</sup> e, ainda, a uma série de ácidos orgânicos, solventes e outros combustíveis (ácidos succínico, acético, láctico e butírico, butanol, 2,3 butanodiol, acetoína, acetona e propanol) por bactérias.

<sup>10</sup> Fogel, R.; Garcia, R.; Oliveira, R.; Palácio, D.; Madeira, L. Pereira Jr, N., 2005; Vasquez, M. P.; Souza Jr, M. B.; Pereira Jr, N., 2006.



**Figura 1.4:** Biorrefinaria lignocelulósica: produtos da hemicelulose

Fonte: Pereira Jr. et al., 2008.

Aproximadamente, 50 milhões de toneladas de lignina são geradas por ano, mundialmente, como resíduo dos processos de produção de pastas celulósicas e papel. A maioria da lignina residual é queimada para gerar energia neste segmento industrial. Entretanto, tendo em vista suas interessantes propriedades funcionais, a lignina oferece perspectivas de utilização para a obtenção de produtos de alto valor agregado, como ligantes, dispersantes, emulsificantes e sequestrantes.

As propriedades físicas e químicas da lignina diferem dependendo da tecnologia de extração (processo sulfito, processo Kraft, processo alcalino e *Organosolv*). Por exemplo, os lignosulfonatos<sup>11</sup> são hidrofílicos e as ligninas Kraft<sup>12</sup> são hidrofóbicas<sup>13</sup>.

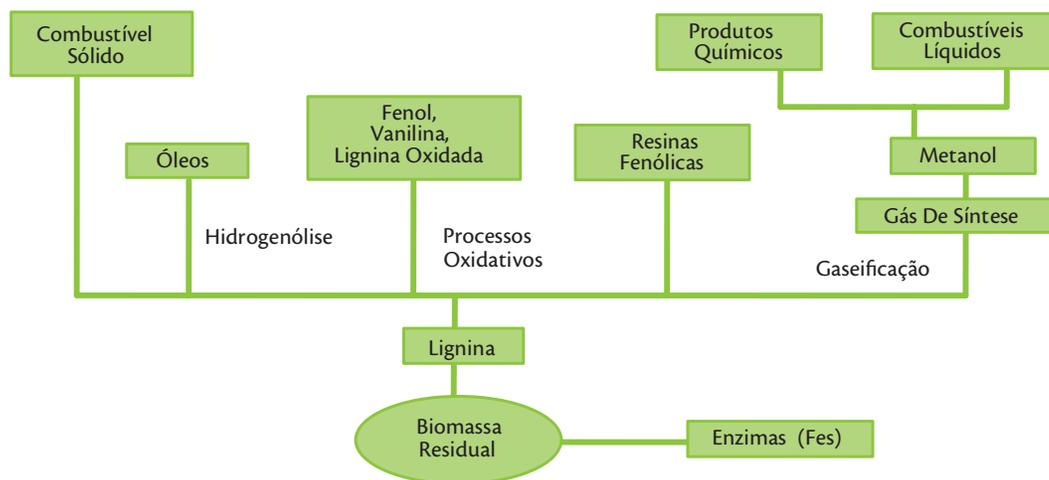
<sup>11</sup> No processo sulfito de polpação, a madeira em cavacos é submetida à cocção em ácidos e a lignina é sulfonada de modo a se tornar solúvel em água e, assim, poder ser separada da celulose insolúvel. As ligninas solúveis em água são denominadas de lignosulfonatos.

<sup>12</sup> Na produção da polpa pelo processo Kraft os cavacos de madeira são aquecidos em um vaso de pressão (digestor) com licor de cozimento constituído principalmente de uma solução aquosa de hidróxido de sódio e de sulfeto de sódio.

<sup>13</sup> Van Dam, J.; Gosselink, R.; Jong, E. Lignin applications. *Agrotechnology & food innovations*. 2006. Disponível em: <<http://www.biomassandbioenergy.nl/>>. Acesso em: dez 2009.



A indústria começou primeiramente a usar lignina nos idos de 1880s quando os lignosulfonates foram utilizados em banhos de tanagem para a produção de couros e m banhos de tintura<sup>14</sup> Desde então, a lignina vem sendo empregada como matéria-prima para a produção de emulsificantes com aplicação na área alimentícia e na produção de vanilina, que é usada extensamente como flavorizante em alimentos, como componente na formulação de produtos farmacêuticos e também com fragrância em indústria de perfumaria. As aplicações de produtos derivados da lignina expandiram literalmente, impactando muitos segmentos industriais.



**Figura 1.5:** Biorrefinaria lignocelulósica: produtos da lignina

Fonte: Pereira Jr. et al., 2008.

Para que a tecnologia de produção de etanol de materiais lignocelulósicos possa ser implementada industrialmente os seguintes aspectos devem ser focalizados:

- desenvolvimento de tecnologia de pré-tratamento que seja eficaz e que não gere substâncias tóxicas que possam obstaculizar a fermentação alcoólica, nem tampouco requiera equipamentos onerosos de alta pressão;
- desenvolvimento de processos de produção de celulasas por fermentação submersa e no estado sólido, bem como de engenharia de enzimas (*formulação inteligente*) para eficiente hidrólise da fração celulósica das biomassas residuais;

<sup>14</sup> Lignin Institute. Welcome to Lignin Institute. Disponível em: < <http://www.lignin.info> >. Acesso em dez 2009.

- construção de microrganismos ótimos, através da Biologia molecular, para eficiente fermentação de C<sub>5</sub> e C<sub>6</sub>;
- conversão de ambas as frações, celulósica (glicose) e hemicelulósica (principalmente xilose) a etanol, seja pelo modelo de duas correntes (*two stream model*), no qual a fermentação do hidrolisado hemicelulósico se dá separadamente do hidrolisado celulósico ou através do modelo integrado (*integrated model*), no qual um mesmo microrganismo (recombinante) seja capaz de fermentar tanto pentoses quanto hexoses;
- realização de estudo detalhado de integração de processo, englobando todas as correntes, seja de processo quanto de utilidades, a fim de favorecer a relação *input/output* de energia;
- realização de estudos detalhados sobre a viabilidade econômica dos processos de aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais, incluindo as questões de logística.

Considerando esses aspectos e com base no panorama mundial e nacional do tema “biorrefinarias: rota bioquímica”, foram selecionados cinco tópicos tecnológicos a serem abordados na análise prospectiva, cujos resultados serão apresentados nas seções seguintes. O Quadro 1.2 apresenta os tópicos, seus descritivos, grau de maturidade e setores que serão impactados pelo seu desenvolvimento.

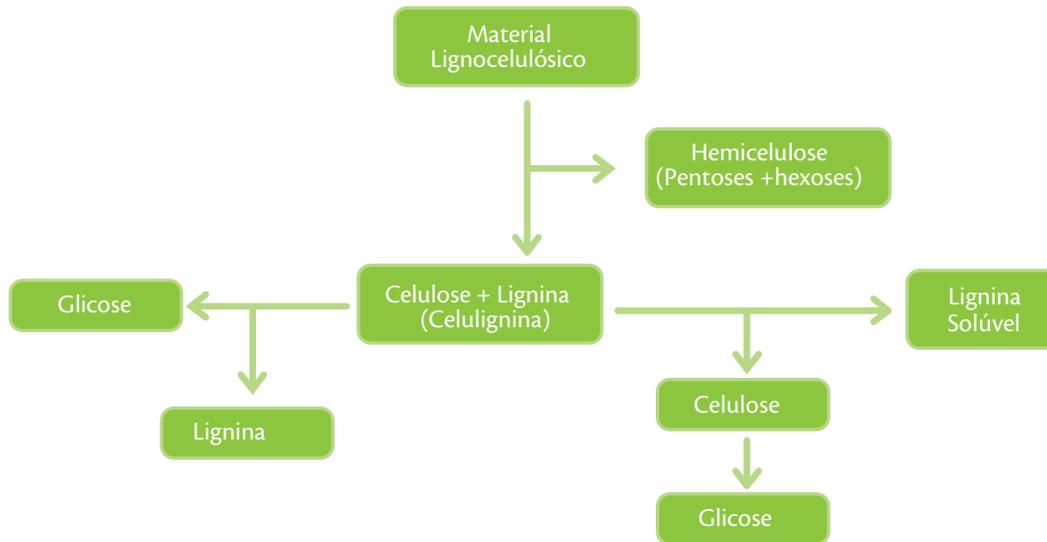
**Quadro 1.2:** Tópicos associados ao tema “biorrefinarias: rota bioquímica”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T1a	Pré-tratamento da biomassa	Etapa essencial que visa desorganizar o complexo lignocelulósico, fracionando-o, e aumentar a acessibilidade da celulose à hidrólise enzimática.	Crescimento	Agroindústrias; biocombustíveis; celulose e papel; química; meio ambiente; plásticos.
T1b	Produção de celulasas	Etapa essencial para viabilizar técnica e economicamente a rota bioquímica e minimizar a dependência estrangeira de biocatalisadores. Visa produzir enzimas para a hidrólise de celulose (principal componente de biomassas lignocelulósicas).	Crescimento	Agroindústrias; biocombustíveis; celulose e papel; química; energia; meio ambiente; plásticos; têxtil e confecções.
T1c	Biologia molecular	Construção de células ótimas para eficiente produção de biomoléculas, a partir de diferentes carboidratos (pentoses + hexoses) gerados nos processos de hidrólise dos polissacarídeos das biomassas residuais.	Crescimento	Agroindústrias; biocombustíveis; celulose e papel; química; energia; meio ambiente e plásticos.
T1d	Produção de biocombustíveis de segunda geração e de outras moléculas	Definição de estratégias tecnológicas para a produção de biomoléculas: modelo de duas correntes ou modelo integrado; processo em batelada ou contínuo; recuperação das enzimas. Necessidade imperiosa de se avançar no escalonamento (plantas pilotos e demonstrativas) no país.	Crescimento	Agroindústrias; biocombustíveis; celulose e papel; química; energia; meio ambiente e plásticos.
T1e	Integração energética de processo	Definição de estratégias tecnológicas para a produção de biomoléculas: modelo de duas correntes ou modelo integrado; processo em batelada ou contínuo; recuperação das enzimas. Necessidade imperiosa de se avançar no escalonamento (plantas pilotos e demonstrativas).	Maduro	Agroindústrias; biocombustíveis; celulose e papel; química; energia; meio ambiente e plásticos.

Para que os materiais lignocelulósicos possam ser utilizados como matérias-primas para a produção de etanol e de outras substâncias químicas, é necessário que sejam separados. Nesta separação é imprescindível uma etapa de pré-tratamento (T1a), que visa fundamentalmente desorganizar o complexo lignocelulósico. O pré-tratamento pode ser realizado por meio de processos físicos, físico-químicos, químicos, ou biológicos, podendo estar associado ou ser seguido de processos de hidrólise das porções polissacarídicas (hemicelulose e celulose) em suas respectivas unidades monoméricas (pentoses e hexoses).

Os pré-tratamentos mais adequados são: a pré-hidrólise ou a explosão a vapor, com despolimerização e dissolução quase completa das hemiceluloses. Do material restante (celulose + lignina), a celulose pode ser separada, pela dissolução da lignina com álcalis (deslignificação), ficando com a

sua acessibilidade aumentada ao ataque catalítico, ou a lignina pode ser separada, pela hidrólise da celulose com ácidos minerais fortes, concentrados ou diluídos, a temperaturas elevadas<sup>15</sup>. Na Figura 1.6 encontra-se um esquema simplificado para o fracionamento dos principais componentes dos materiais lignocelulósicos.



**Figura 1.6:** Fracionamento dos componentes de biomassas lignocelulósicos

Fonte: Schuchardt et al, 2001.

No contexto da produção de etanol e outras substâncias a partir de materiais lignocelulósicos, entende-se por pré-tratamento o(s) processo(s) através do(s) qual(is) a molécula da celulose se torna mais acessível à atuação das enzimas hidrolíticas (celulases). Na literatura, muitas vezes os termos pré-hidrólise e auto-hidrólise são utilizados como sinônimos de pré-tratamento (T1a). A acessibilidade da molécula de celulose é decorrente da remoção da fração hemicelulósica, bem como da remoção parcial da lignina, promovendo uma espécie de “abertura” da matriz lignocelulósica. Adicionalmente, conforme detalhado adiante, as técnicas usuais de pré-tratamento envolvem um sinergismo entre a ação do calor, do pH do meio e do tempo de exposição da matriz nas condições do processo, levando à diminuição da cristalinidade da molécula da celulose, com conseqüente aumento de sua “digestibilidade”<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Harris, J. F. Acid hydrolysis and dehydration reactions for utilizing plant carbohydrates. Appl. Polym. Symp., v. 28, p. 131. 1975.

<sup>16</sup> Ramos, L. P., 2003; Lynd, L. R., 1996; Lynd, L. R. et al, 2002; Mc Millan, J. D., 1994; Mosier, N. et al., 2005; Ogier, J. C. et al., 1999; Sun, Y.; Cheng, J., 2002.



Os pré-tratamentos podem ser divididos em quatro tipos: físicos (cominuição do material por fragmentação ou moagem); físico-químicos (explosão a vapor, catalisada ou não); químicos (hidrólise ácida; ozonólise ou deslignificação oxidativa) e biológicos (microbianos ou enzimáticos), conforme o agente que atua na alteração estrutural<sup>17</sup>.

Dada a heterogeneidade dos materiais lignocelulósicos, não se pode eleger um único processo de pré-tratamento como sendo o melhor. A escolha dependerá, basicamente, da natureza do material a ser tratado, bem como da finalidade do uso do hidrolisado. Vários processos vêm sendo desenvolvidos no sentido de aumentar a eficiência da remoção da fração hemicelulósica.

Destaca-se, o pré-tratamento térmico, envolvendo o processo de explosão a vapor, e, ainda, os pré-tratamentos termoquímicos, empregando ácido inorgânico diluído e submetendo-se o material a ação do calor<sup>18,19,20</sup>.

Deve-se salientar que, quando se tenciona hidrolisar a fração celulósica com enzimas do complexo celulásico, o pré-tratamento por explosão a vapor é uma das tendências tecnológicas mais adotadas para aumentar a acessibilidade das enzimas às moléculas de celulose. Nesse caso, o processo hidrolítico é realizado em várias etapas, quer sejam: cominuição do material lignocelulósico, explosão a vapor, podendo-se empregar insumos auxiliares como ácido inorgânico diluído (explosão a vapor catalisada), que tem como resultado a remoção da fração hemicelulósica (fase líquida) e emprego de celulases para a obtenção de um meio rico em glicose<sup>21</sup>.

Em que pese o fato de ser uma tecnologia amplamente estudada, alguns “gargalos” tecnológicos podem ser identificados nesse processamento, conforme resumidos a seguir: (i) formação de compostos tóxicos, oriundos da degradação dos açúcares (furfural e metil furfural) e da degradação da lignina (substâncias aromáticas), que podem acarretar problemas de inibição ao processo de conversão biológica; (ii) problemas relacionados à corrosão de equipamentos quando se trabalha com meios ácidos em altas temperaturas; e (iii) remoção da lignina e dos compostos resultantes da sua degradação parcial.

---

17 Mc Millan, J. D., 1994; Sun, Y.; Cheng, J., 2002.

18 Glasser, W.G.; Wright, R.S. Steam-assisted biomass fractionation. II. fractionation behavior of various biomass resources. *Biomass and Bioenergy*, v.14, p.219-235, 1998.

19 Mosier, N.; Wyman, C.; Dale, B.; Elander, R.; Lee, Y. Y.; Holtzapple, M.; Ladish, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, v.96, p.673-686, 2005.

20 Sun, Y.; Cheng, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, v.83, p.1-11, 2002.

21 Lynd, L. R.; Weimer, P. J.; Van Zyl, W. H.; Pretorius, I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology Molecular Biology Review*, v. 66, p. 506-577. 2002.

A compreensão dos mecanismos envolvidos nos processos de pré-tratamento ainda não foi completamente elucidada e os projetos associados a esses processos são feitos, normalmente, em bases empíricas. Pode-se, ainda, afirmar que há diferentes níveis de importância dos mecanismos envolvidos em função dos diferentes processos de pré-tratamento. Nos materiais lignocelulósicos encontrados na natureza, a celulose acha-se intimamente associada à hemicelulose e a outros polissacarídeos estruturais, sendo as microfibrilas ricas em carboidratos envolvidas por uma espécie de 'selo' constituído pela lignina<sup>22</sup>. Claramente, a função primária do pré-tratamento é abrir esta matriz multicomponente, de modo a torná-la mais acessível. Desta forma, vários fatores assumem destacada importância, conforme resumido a seguir:

- **binômio tempo x temperatura:** em um primeiro momento, pode-se acreditar que, quanto mais elevada a temperatura, maior será a eficiência de hidrólise. No entanto, temperaturas muito altas podem levar à degradação dos açúcares liberados a furfurais, diminuindo a eficiência do pré-tratamento e aumentando a toxicidade dos hidrolisados. Por outro lado, mesmo com temperaturas mais baixas, o mesmo poderá ocorrer se o tempo de exposição for muito grande. De uma maneira geral, temperaturas maiores implicam em menores tempos e vice-versa<sup>23</sup>;
- **tamanho das partículas:** geralmente, a eficiência do pré-tratamento quando se emprega processos com ácido diluído é aumentada em sistemas com partículas de tamanhos menores. O tamanho das partículas afeta a área de superfície disponível para posterior atuação do(s) agente(s) de hidrólise, bem como a cristalinidade da celulose e seu grau de polimerização. Ao contrário, verifica-se que, ao se realizar o pré-tratamento com explosão com vapor, especialmente com bagaço de cana, é mais conveniente se trabalhar com partículas de tamanhos maiores<sup>24</sup>;
- **estrutura da molécula:** a cristalinidade e o grau de polimerização da molécula de celulose estão intimamente associados à sua reatividade. Maiores eficiências são atingidas em menores graus de polimerização e índices de cristalinidade<sup>25</sup>;
- **acidez do meio:** a concentração de prótons tem um papel importante nas reações químicas envolvidas na etapa de pré-tratamento. Ainda que a tecnologia não envolva a adição de ácido no processo, com o emprego de temperaturas elevadas é favorecido o aumento da acidez do meio, mediante a liberação de ácidos orgânicos endógenos, principalmente acético e fórmico, bem como pela protonação decorrente da dissociação da água<sup>26</sup>;

<sup>22</sup> Lynd, L. R. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. Annual Reviews, Energy Environment, 21, 403-465. 1996.

<sup>23</sup> Mc Millan, J. D., 1994; Mosier, N. et al., 2005.

<sup>24</sup> Cadoche, L.; López, G. D., 1989; Lynd, L.R., 1996.

<sup>25</sup> Mc Millan, J.D. 1994; Mosier, N. et al. 2005.

<sup>26</sup> Lynd, L. R., 1996; Mosier, N. et al., 2005.



- **teor de umidade:** o papel da água nos processos de pré-tratamento não deve ser subestimado. A presença de água diminui a temperatura de degradação da lignina, facilitando a sua remoção da fibra. Além disso, as ligações glicosídicas, tanto na celulose, como na hemicelulose, são clivadas através de hidrólise e, no caso da hemicelulose, a fração mais susceptível à hidrólise, ocorre desacetilação parcial e despolimerização das moléculas. Similarmente, a lignina também sofre parcial despolimerização. A clivagem das ligações químicas pode ser incrementada através do aumento da constante de desproporção da água em elevadas temperaturas, o que leva à queda do pH. Por exemplo, a 220°C, o pH do meio atinge 5,6, ao passo que, à temperatura ambiente, o mesmo tem valor igual a 7. Devido a este efeito, acredita-se que, em temperaturas elevadas, o papel da água na protonação do meio é mais relevante do que o papel desempenhado pelos ácidos orgânicos liberados.<sup>27</sup>

Finalmente, não se pode perder de vista o fato de que a eficiência dos processos de pré-tratamento é a resultante do sinergismo entre temperatura, tempo e acidez do meio. Tal sinergismo é tão importante, que muitos autores trabalham com um parâmetro denominado “grau de severidade”, que relaciona estes fatores. De uma forma geral, há um grau de severidade ótimo, acima do qual menor será a eficiência de hidrólise, pois maior será a degradação dos açúcares e a formação de outros inibidores derivados da lignina<sup>28</sup>.

De acordo com vários autores, alguns fatores são cruciais na escolha do pré-tratamento mais adequado<sup>29</sup>:

- **tipo de matéria-prima:** conforme mencionado anteriormente, a composição dos materiais lignocelulósicos varia de acordo com a fonte, e requererão diferentes pré-tratamentos;
- **formação de inibidores:** dependendo da aplicação do hidrolisado, a presença de inibidores pode ser crucial às etapas subseqüentes do processo, levando à necessidade de etapas de destoxificação. Os principais inibidores são originados de: (i) ácidos orgânicos oriundos da hemicelulose (acético, fórmico, glucurônico e galacturônico); (ii) produtos da degradação de açúcares (furfural e hidroxi-metilfurfural); (iii) produtos da degradação da lignina (cinamaldeído, p-hidroxi-benzaldeído e siringaldeído, entre outros); (iv) produtos oriundos da corrosão dos equipamentos (íons metálicos);
- **tamanho de partícula requerido:** depende da tecnologia a ser empregada. Geralmente, a demanda energética e o custo dos equipamentos para cominuição do material aumentam em proporção geométrica de acordo com a diminuição do tamanho da partícula;

<sup>27</sup> Lynd, L. R. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. *Annual Reviews, Energy Environment*, 21, 403-465. 1996.

<sup>28</sup> Mc Millan, J. D. Pretreatment of lignocellulosic biomass. In: Himmel, M.E., Baker, J.O., Overend, R.P. (eds). *Enzymatic conversion of biomass for fuel production*. Washington DC: ACS. p. 292-324, 1994.

<sup>29</sup> Lynd, L.R., 1996; Mc Millan, J. D., 1994; Mosier, N. et al., 2005; Ogier, J. C. et al., 1999; Ramos, L. P., 2003.

- **custo do material de construção dos reatores:** o tamanho do reator é definido pelo tempo de residência e concentração de sólidos. O tipo de material é função, primeiramente, da corrosividade do meio e, de uma forma secundária, da pressão operacional;
- **formação de resíduos:** se a tecnologia envolver uso de ácido sulfúrico com posterior neutralização do meio com uso de cálcio (cal virgem ou hidratada), há uma grande produção de gesso, o que requererá uma adequada destinação. Deve-se ainda levar em consideração a possibilidade de acoplar à planta uma unidade de recuperação de ácido, levando à minimização de custos.
- **número de etapas:** o processo preferencialmente deve envolver um número reduzido de etapas, especialmente no que diz respeito à neutralização e à destoxificação.

A seguir, apresentam-se as principais tecnologias disponíveis para pré-tratamento de materiais lignocelulósicos: (i) pré-tratamentos térmicos; (ii) pré-tratamentos químicos; (iii) pré-tratamentos biológicos; (iv) outras tecnologias para pré-tratamento.

Uma alternativa bastante eficaz para a extração e hidrólise da hemicelulose é a tecnologia de compressão e descompressão rápidas, realizada através de explosão a vapor, também denominada de auto-hidrólise. Sua operação dá-se pela impregnação do material lignocelulósico em água, em um sistema sob elevada pressão (7 a 50 atm) e temperatura (160 a 190 °C)<sup>30</sup>. Em seguida, alivia-se a pressão instantaneamente e a água, que se encontra na fase líquida, passa imediatamente para a fase vapor. Esta mudança provoca uma expansão violenta, resultando no rompimento das ligações estruturais do material lignocelulósico<sup>31</sup>. Obtém-se um material úmido com o complexo lignocelulósico desorganizado (sólido denominado de celulignina) e uma fase líquida extraível por explosão, composta de: xilose, xilooligossacarídeos e ácidos urônicos e acético. A parcial hidrólise da hemicelulose, em especial de xilanas altamente acetiladas, decorre, fundamentalmente, de suas características ácidas, daí o termo auto-hidrólise. A recuperação dos açúcares oriundos da fração hemicelulósica é, basicamente, função das condições operacionais (binômio temperatura x tempo) e da concentração dos ácidos orgânicos, principalmente ácido acético, os quais são formados durante o tratamento.

Os conteúdos de hemiceluloses diferem significativamente em função de suas origens<sup>32</sup>. As hemiceluloses de *hardwood* são compostas na maior parte de heteroxilanas altamente acetiladas, classificadas geralmente como 4-*O*-metil glucuronoxilanas. Hexosanas, na forma de glucomananas também estão presentes, mas em quantidades muito baixas. Devido às características ácidas e às pro-

<sup>30</sup> Sun, Y.; Cheng, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, v.83, p. 1-11. 2002.

<sup>31</sup> Negro, M. J., Manzanares, P., Oliva, J. M., Ballesteros, I., Ballesteros, M. Changes in various physical/chemical parameters of Pinus pinaster wood after steam explosion pretreatment. *Biomass and Bioenergy*, v. 25, n. 3, p.301-308. 2003.

<sup>32</sup> Hamelinck et al., 2005; Sun, Y.; Cheng, J., 2002.



priedades químicas, as xilanas de *hardwood* são relativamente lábeis à hidrólise ácida e sofrem auto-hidrólise em condições relativamente moderadas. Contrastando, as hemiceluloses de *softwoods* têm uma proporção mais elevada de glucomananas e de galactoglucomananas em parte acetiladas, e as xilanas correspondem somente a uma fração pequena de seu conteúdo total de hemicelulose. Em consequência, as hemiceluloses de *softwood* (na maior parte hexosanas) são mais resistentes a processos hidrólise do que as hemiceluloses de *hardwood* (na maior parte pentosanas<sup>33</sup>.

A explosão a vapor é uma operação de amplo domínio setor sucro-alcooleiro brasileiro, que a emprega para aumentar a digestibilidade do bagaço de cana para consumo na alimentação forrageira. De forma que, a utilização de resíduos gerados por este segmento industrial para a produção adicional de etanol, não esbarraria em dificuldades para a adoção desta tecnologia de pré-tratamento.

Na última década, têm sido realizados vários trabalhos envolvendo o uso de agentes químicos, visando o aumento da eficiência do processo de explosão a vapor. Neste caso, tem sido usada a denominação “pré-tratamento termoquímico” ou “explosão a vapor catalisada”. Os principais agentes químicos empregados são: ácido sulfúrico, com concentrações variando entre 0,1 e 5% v/v ou anidrido sulfuroso (que em solução forma ácido sulfúrico). Quando se emprega ácido sulfúrico, previamente à explosão a vapor, o material é embebido na solução ácida. Após esta etapa, é realizado o processo de explosão com vapor. No caso de uso de anidrido sulfuroso, é realizada a passagem de uma corrente rica neste composto, concomitantemente à explosão a vapor. Em ambos os casos, a faixa de temperatura e os intervalos de tempo não diferem muito dos citados anteriormente<sup>34</sup>.

Outras substâncias químicas podem ser utilizadas, como o gás carbônico, que em solução forma ácido carbônico<sup>35</sup> ou amônia, processo conhecido como a sigla AFEX (*Ammonia Fiber Explosion*), cujo princípio se baseia na elevada solubilidade de hemiceluloses em ambientes alcalinos<sup>36</sup>. Contudo, há que se considerar que, similarmente, a lignina também apresenta alta solubilidade nesses ambientes alcalinos, podendo haver a necessidade de etapa de destoxificação dos meios gerados por este processo.

São vários os pré-tratamentos químicos de materiais lignocelulósicos que vêm sendo estudados, objetivando a remoção da fração hemicelulósica, a clivagem das ligações entre a lignina e os polissacarídeos e a redução do grau de cristalinidade da celulose antes da hidrólise enzimática. Embora muitos destes processos atinjam alta eficiência, há a desvantagem dos mesmos requererem plantas

<sup>33</sup> Ramos, L.P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *Química Nova*, v.6, p.863-871. 2003.

<sup>34</sup> Lynd, L. R., 1996; Ogier, J. C. et al., 1999; Hamelinck, C. N. et al., 2005.

<sup>35</sup> Hohlberg, A. I.; Aguilera, J.M.; Agosin, E.; San Martín, R. Catalyzed flash pretreatments improve saccharification of pine (*Pinus radiata*) sawdust. *Biomass*, v.18, p. 81-93. 1989.

<sup>36</sup> Teymouri, F, Laureano-Perez, L., Alizadeh, H.; Dale, B. E. Optimization of the ammonia fiber explosion (AFEX) treatment parameters for enzymatic hydrolysis of corn stover. *Bioresource Technology*, v. 96, p. 2014-2018. 2005.

construídas com materiais que tenham grande resistência às condições reacionais drásticas, principalmente sob o aspecto da corrosividade do meio. Os principais agentes químicos empregados são: ácidos, álcalis, gases, agentes oxidantes, solventes, etc.<sup>37</sup>.

O pré-tratamento alcalino é usado freqüentemente para aumentar a digestibilidade de substratos lignocelulósicos. Este processo foi desenvolvido originalmente na indústria de papel e celulose em processos de polpação para a obtenção de papel com fibras longas, sendo indicado, em especial quando se trabalha com palhas, devido aos seus baixos teores de lignina. As condições usualmente empregadas nesse pré-tratamento são: concentração de NaOH entre 8 e 12% da biomassa seca a ser tratada, tempo de exposição entre 30 e 60 minutos e temperatura entre 80 e 120°C<sup>38</sup>. A desvantagem deste processo está relacionada ao preço da soda cáustica e à dificuldade de sua recuperação, que envolve custos ainda proibitivos<sup>39</sup>.

Uma alternativa ao pré-tratamento alcalino é o uso simultâneo de peróxido (*"alkaline peroxide medium"*). A deslignificação de materiais lignocelulósicos com peróxido de hidrogênio é fortemente dependente do pH, uma vez que a sua dissociação ocorre em valores de pH em torno de 11,5. Tal dissociação leva à formação de radicais altamente reativos, os quais atuam sobre a molécula de lignina, ocorrendo a sua solubilização e oxidação. Algumas variações desse processo envolvem duas etapas, sendo a primeira com o uso de soda cáustica e a segunda com o uso de soda e peróxido. A deslignificação oxidativa com peróxido ocorre a temperaturas baixas (25-40°C) e, via de regra, os resíduos gerados tem baixa carga poluente. Outro agente que tem sido reconhecido pelo alto poder oxidante e seletividade no rompimento da estrutura da lignina é o ácido peracético. Este ácido promove a abertura dos anéis aromáticos da lignina, gerando ácidos dicarboxílicos e suas lactonas<sup>40</sup>. Similarmente ao caso anterior, o processo também pode ser realizado em duas etapas, visando minimizar os gastos com o ácido peracético, visto que o seu preço é alto.<sup>41</sup>

Notoriamente, a vantagem do pré-tratamento alcalino ou do alcalino-oxidativo é a baixa demanda energética. No entanto, estes processos apresentam algumas desvantagens em potencial. Meios fortemente alcalinos podem degradar a hemicelulose em ácidos sacarínicos, os quais não se constituem em substratos para fermentações e a degradação oxidativa da lignina gera o acúmulo de monômeros e oligômeros fenólicos, que são inibidores dos processos de transformação biológica.

---

<sup>37</sup> Hamelinck, C. N. et al., 2005; Sun, Y.; Cheng, J., 2002; Ogier, J. C. et al., 1999.

<sup>38</sup> Mosier, N.; Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y.; Holtzapple, M.; Ladisch, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96, 673-686. 2005..

<sup>39</sup> Hamelinck, C. N. et al., 2005; Sun, Y.; Cheng, J., 2002.

<sup>40</sup> Teixeira, L. C.; Linden, J. C.; Schroeder, H. A. Simultaneous saccharification and cofermentation of peracetic acid-pretreated biomass. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 84-86, p. 111-127. 2000.

<sup>41</sup> Hamelinck, C. N. et al., 2005; Sun, Y.; Cheng, J., 2002; Ogier, J. C. et al., 1999.



O chamado processo *organosolv*, envolvendo o emprego de soluções diluídas de álcalis em conjunto com solventes (etanol, por exemplo) vem sendo citado como uma alternativa promissora para a deslignificação<sup>42</sup>. No entanto, tal tecnologia ainda encontra-se em estudo e, experiências recentes de sua aplicação no Brasil, mostram que o problema da formação de inibidores tóxicos ainda não foi equacionado.

Como já abordado previamente, a acidez do meio é um dos quesitos fundamentais para o aumento da eficiência do pré-tratamento. Baseado nisto, os processos de pré-tratamento ácido, em especial aqueles que empregam ácido sulfúrico diluído, vêm, cada vez mais, se tornando alvo de estudos em todo o mundo. As taxas reacionais elevadas, o reduzido consumo de ácido e o seu custo baixo, quando comparado aos álcalis, se constituem nas vantagens desses processos. Como também citado, as desvantagens residem na questão da corrosividade e, também, dependendo das condições empregadas, na formação de inibidores. A faixa de concentração de ácido pode variar de 0,1 a 5%, a temperatura entre 110 e 220°C e o tempo de exposição de 10 a 180 min. Muitos trabalhos indicam que o pré-tratamento realizado em mais de um estágio, ou ainda, empregando-se a combinação de mais de uma tecnologia, pode levar a elevadas eficiências, acarretando um menor consumo de celulases na etapa de hidrólise enzimática.<sup>43</sup>

Os pré-tratamentos biológicos consistem no uso de um “pool” de enzimas, visando à hidrólise da fração hemicelulósica e à deslignificação.

No caso da hidrólise das hemiceluloses, a despeito da especificidade das xilanases, onde a ação se dá pela sinergia das enzimas  $\beta$ -xilosidase, endo 1,4- $\beta$ -xilanaase, acetil-xilanaesterase,  $\alpha$ -glucuronidase e L-arabinofuranosidase, há problemas relacionados ao custo dessas enzimas, que ainda consiste em impeditivo para a implantação dessa tecnologia em escala industrial. Neste sentido, têm sido desenvolvidos trabalhos com o objetivo de se produzir enzimas do complexo xilanásico<sup>44</sup>. Entretanto, o principal foco tem sido o setor de papel e celulose, no qual há um crescente interesse em empregar tais enzimas na etapa de branqueamento da polpa, em substituição ao cloro. Isto se observa, principalmente, devido a uma tendência irreversível em favor do branqueamento livre de cloro - sistemas TCF (*total chlorine free*) e ECF (*elemental chlorine free*).<sup>45</sup>

<sup>42</sup> Sun, Y.; Cheng, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, v.83, p. 1-11. 2002.

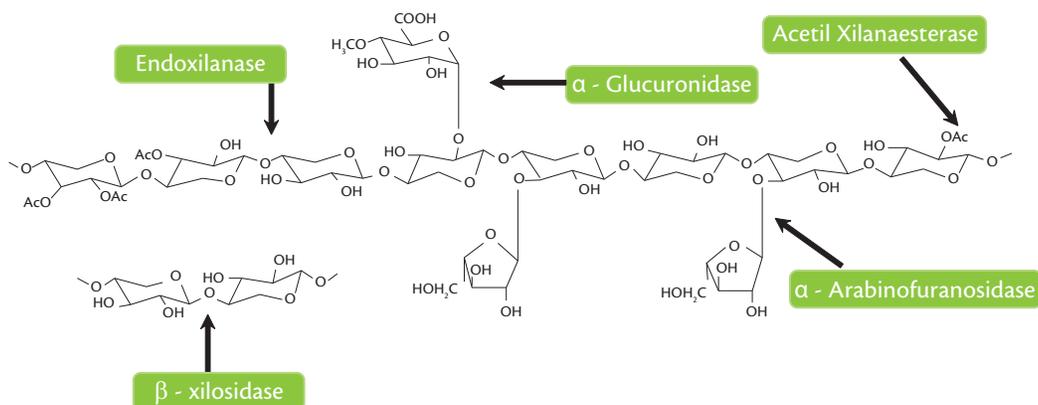
<sup>43</sup> Mosier, N., 2005; Ogier, J. C. et al, 1999; Lynd, L. R. 1996.

<sup>44</sup> Ferreira, V. et al, 2006; Damaso, M. C. T. et al, 2004.

<sup>45</sup> Viikari, L.; Kantelinen, A.; Sundquist, J. M.; Linko, M. Xylanases in bleaching: from an idea to the industry. *FEMS Microbiology Reviews*, v.13, p. 335-350. 1994.

O desenvolvimento comercial de hemicelulases para a hidrólise de materiais lignocelulósicos não está tão avançado quanto o de celulasas, pois as preparações celulásicas comerciais correntes têm sido principalmente desenvolvidas para a hidrólise de biomassa pré-tratada com ácido diluído, onde a hemicelulose é removida antes da sacarificação de celulose, como descrito anteriormente. No entanto, com o desenvolvimento de pré-tratamentos não ácidos, nos quais a fração hemicelulósica permanecerá intacta, as hemicelulasas serão compulsoriamente requeridas.

As celulasas atuais, como as de *Trichoderma reesei* tendem a possuir fraca atividade hemicelulásica e não são adequadas para a completa conversão aos açúcares monoméricos. Espera-se que o desenvolvimento da produção de hemicelulasas a baixo custo e que trabalhem em sinergismos com celulasas seja intensamente focalizada em um futuro próximo. A Figura 1.7 exibe a ação de diferentes enzimas do complexo xilanásico.



**Figura 1.7:** Enzimas envolvidas na hidrólise de xilanas: exemplo de pré-tratamento enzimático

A lignina impõe desafios para a hidrólise enzimática de celulose devido a sua ligação não-produtiva com as celulasas, que resulta na inativação enzimática. Uma nova abordagem para melhorar a atividade de celulasas na hidrólise de materiais lignocelulósicos usando enzimas que fracamente se ligam à lignina foi proposta recentemente.<sup>46</sup> Segundo essa nova abordagem, celulasas de microrganismos naturalmente ocorrentes, com similar atividade catalítica em um substrato celulósico modelo, diferem significativamente em relação às suas atividades por lignina e, portanto, afetam o desempenho das enzimas sobre os substratos nativos. A localização e a estrutura da lignina afetam a hidrólise enzimática mais do que a quantidade absoluta de lignina no complexo lignocelulósico. Modificações na superfície

<sup>46</sup> Berlin, A.; Gilkes, N.; Kurabi, A.; Bura, R.; Tu, M.; Kilburn, D.; Saddler, J. Weak lignin-binding enzymes: A novel approach to improve activity of cellulases for hydrolysis of lignocellulosics. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v.121, n.1-3, p.163-170. March 2005.



da lignina por tratamentos oxidantes com lacase conduzem a um aumento na hidrólise de celulose<sup>47</sup>. Porém ainda não há estudos suficientes de transposição de escala laboratorial para piloto que mostrem a sua viabilidade técnico-econômica para a substituição dos pré-tratamentos químicos.

Outros processos de pré-tratamento também estão sendo estudados. Alguns trabalhos propõem o uso de água líquida quente (“*liquid hot water – LHW*”). Esta tecnologia, chamada de termohidrólise, envolve simplesmente a lavagem do material com água pré-aquecida em alta pressão, com temperaturas da ordem de 220°C e tempos em torno de 2 minutos, mas as eficiências ainda são baixas, quando comparadas aos processos de explosão a vapor ou com a pré-hidrólise ácida<sup>48</sup>.

O uso de irradiação com microondas tem sido o alvo de algumas pesquisas<sup>49</sup>. Comumente emprega-se irradiação a 240 W por 10 minutos. Entretanto, ao contrário de todas as tecnologias citadas, esta ainda encontra-se em estudos em escala de bancada, não se sabendo, ainda, como seria a sua aplicação em escalas maiores, haja vista a demanda energética inerente ao processo.

A Tabela 1.12 resume as principais características das tecnologias de pré-tratamento de emprego mais corrente (T1a).

<sup>47</sup> Palonen, Hetti. Role of lignin in the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. PhD Thesis. Helsinki University of Technology. Helsinki. Finlândia. 2004.

<sup>48</sup> Mosier, N.; Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y.; Holtzapple, M.; Ladisch, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96, 673-686. 2005.

<sup>49</sup> Kitchaia, P.; Intanakul, P.; Krairiksh, M. Enhancement of enzymatic hydrolysis of lignocellulosic wastes by microwave pretreatment under atmospheric-pressure. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, v.23, p.217-225. 2003.

**Tabela 1.12:** Características das principais tecnologias de pré-tratamento

Características	Tecnologias de pré-tratamento			
	Explosão com vapor	Explosão com vapor catalisada	Hidrólise com ácido diluído	Termohidrólise
Condições operacionais típicas	Batelada ou contínuo 190-270°C 1min a 10 mi	Batelada ou contínuo 160-200°C 1 a 10 min	Batelada ou contínuo 150-180°C 5 a 30 min	Batelada 170-230°C 5 a 60 min
Consumo de insumos químicos	Não	Sim	Sim	Não
Recuperação de pentoses	45 a 65% (10% xilose; 90% xilooligossacarídeos)	> 80%	> 80%	> 80%
Formação de inibidores	Sim, sob condições severas	Sim, sob condições severas	Sim, sob condições severas	Pouca
Redução de tamanho de partícula requerida	Média	Média	Alta	Média
Eficiência de hidrólise enzimática da celulose	> 70%	> 80%	> 90%	> 80%
Geração de rejeitos	Pouco significativos	Medianos	Significativos	Pouco significativos
Corrosividade do meio	Baixa	Baixa a moderada	Moderada a alta	Baixa
Simplicidade do processo (potencial)	Alta	Moderada a alta	Moderada	Não avaliada
Estado da arte	Várias plantas piloto	Várias plantas piloto	Plantas piloto e demonstrativas	Escala de bancada

Fonte: Lynd, L.R., 1996; Ogier, J.C. et al., 1999.

Dependendo da aplicação dos hidrolisados e da tecnologia de pré-tratamento adotada, pode ser necessária uma etapa de destoxificação dos mesmos. Preferencialmente, deve-se minimizar a formação de inibidores na etapa de pré-tratamento, pois, em muitos casos, a tecnologia de destoxificação pode levar a uma perda parcial dos açúcares oriundos da hidrólise da fração hemicelulósica<sup>50</sup>. O Quadro 1.3 mostra, de forma resumida, algumas técnicas usuais de destoxificação.

<sup>50</sup> Mussato, S. I.; Roberto, I. C. Alternatives for detoxification of diluted-acid lignocellulosic hydrolysates for ethanol production. *Bioresource Technology*. 96, 1-10. 2004.

**Quadro 1.3:** Alguns procedimentos empregados na destoxificação de hidrolisados

Procedimentos	Efeitos
Tratamento com vapor fluente.	Remoção de voláteis (furfural, fenóis, ácido acético).
Neutralização com CaO, NaOH, KOH; tratamento com carvão ativo; filtração.	Redução da concentração de ácido acético.
Neutralização (pH=6,5) ou alcalinização (pH=10) com Ca(OH) <sub>2</sub> , CaO ou KOH; remoção do precipitado; adição de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH=6,5).	Precipitação de acetato, metais pesados, furfural, taninos, terpenos, compostos fenólicos.
Cromatografia de exclusão iônica.	Remoção de aromáticos.
Neutralização (pH=6,5) com CaCO <sub>3</sub> ; remoção do precipitado; tratamento com carvão ativo; filtração.	Clarificação; remoção de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> e compostos fenólicos.
Extração com éter.	Remoção de furfural.
Evaporação a vácuo.	Remoção de ácido acético.
Extração com acetato de etila.	Remoção de compostos derivados da degradação da lignina.
Tratamento com carvão ativo; filtração; neutralização com CaO (pH = 7,0).	Clarificação; remoção de furfural.

Estudos recentes desenvolvidos no Brasil sobre a pré-hidrólise de bagaço de cana mostraram que a tendência é, cada vez mais, minimizar, ou mesmo, abolir o uso de técnicas de destoxificação. Por meio da aclimação progressiva de cultivos de leveduras nos hidrolisados não destoxificados, atingiram-se bons resultados na produção de xilitol e de etanol, respectivamente<sup>51</sup>. A não necessidade de tratamentos posteriores à pré-hidrólise potencialmente torna o aproveitamento das biomassas lignocelulósicas economicamente mais competitivo.

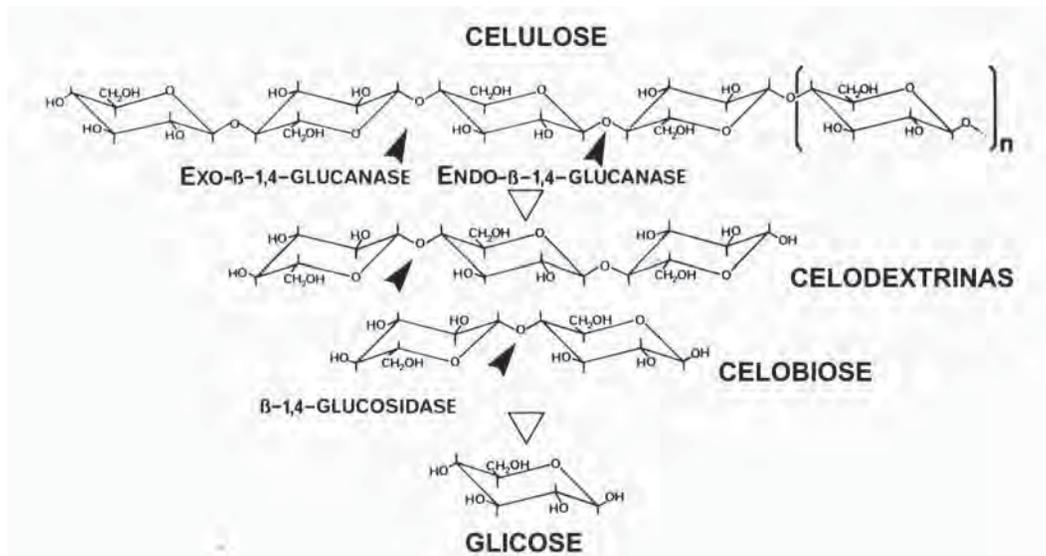
Os processos de hidrólise da celulose podem ser químicos ou enzimáticos. O primeiro, de maior conhecimento, dá-se em condições estabelecidas de temperatura (pressão), tempo de exposição, tipo e concentração de ácido, bem como relação sólido:líquido, à semelhança da pré-hidrólise. No entanto, a hidrólise química (ácida) da celulose vem sendo abandonada em substituição à hidrólise enzimática e, portanto, a sua descrição não será abordada no presente Capítulo.

A opção pela hidrólise enzimática da celulose decorre da ausência de condições severas. Essa estratégia tecnológica difere da concepção de processos antigos em que se buscava pela hidrólise química conjunta da celulose e da hemicelulose (polissacarídeos que apresentam diferentes suscetibilidades ao ataque hidrolítico). Estes processos geravam hidrolisados com alta toxicidade (furfurais e substâncias aromáticas derivadas da lignina), que obstaculizavam o metabolismo da célula viva.

<sup>51</sup> Fogel, R.; Garcia, R.; Oliveira, R.; Palácio, D.; Madeira, L. Pereira Jr., N., 2005.; e Betancur, 2005.

As celulasas têm na natureza o papel fundamental de, através da degradação da celulose presente na biomassa vegetal, estabelecer um elo fundamental no desenvolvimento do ciclo do carbono na natureza (T1b). Para fazer frente ao desafio de degradar a celulose, os microrganismos celulolíticos produzem uma mistura complexa de enzimas: as celulasas. Estas enzimas, que coletivamente apresentam especificidade para as ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4, são todas necessárias para a solubilização completa da celulose, mesmo das regiões cristalinas, existindo sinergismo na sua forma de atuar. Os solos de superfície são o principal "habitat" da microflora aeróbica celulolítica.

As enzimas do complexo celulolítico são classificadas em três grupos: (i) Endoglucanases, que clivam ligações internas da fibra celulósica; (ii) Exoglucanases, que atuam na região externa da celulose; e (iii)  $\beta$ -glucosidases, que hidrolisam oligossacarídeos solúveis a glicose<sup>52</sup>. A Figura a seguir esquematiza a atuação dessas enzimas sobre a celulose.



**Figura 1.8:** Enzimas envolvidas na hidrólise da celulose

Fonte: Malburg et al. ; 1992.

As endoglucanases, ou 1,4- $\beta$ -D-glucana-4-glucanohidrolases (EC 3.2.1.4) são as enzimas do complexo celulásico responsáveis por iniciar a hidrólise. Tais enzimas hidrolisam randomicamente regiões internas de estrutura amorfa da fibra celulósica, liberando como produtos oligossacarídeos de diversos graus de polimerização e, conseqüentemente, novos terminais redutores, sendo um redutor e um não redutor. Durante a reação de hidrólise uma molécula de água é consumida.

<sup>52</sup> Lynd, L. R., Weimer, P.J.; Van Zyl, W. H.; Pretorius, I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Review*, v. 66, p. 506-577. 2002.



O grupo das exoglucanases é constituído majoritariamente pelas enzimas 1,4- $\beta$ -D-glucana-glucanohidrolases (EC 3.2.1.74), também conhecidas como celodextrinases e 1,4- $\beta$ -D-glucana-celobiohidrolases (EC 3.2.1.91), mais comumente conhecidas como celobiohidrolases. Entre os dois tipos, certamente o mais reportado na literatura é o das celobiohidrolases (CBH).

As celobiohidrolases são distinguidas em dois tipos: As enzimas do tipo I (CBH I) hidrolisam terminais redutores, enquanto que as do tipo II (CBH II) hidrolisam terminais não redutores. Essas enzimas geralmente sofrem inibição pelo seu produto de hidrólise (celbiose)<sup>53</sup>.

A estrutura das celobiohidrolases apresenta uma região na forma de “gancho”, cuja função é se ligar à fibra celulósica, facilitando o seu acesso ao sítio catalítico.

Adicionalmente, é reportado que as CBH I possuem dez subsítios ativos no domínio catalítico, cuja função é se ligar fisicamente à celulose e iniciar as reações químicas que hidrolisa as cadeias a celbiose.

O terceiro e último grande grupo das enzimas do complexo celulolítico engloba as enzimas  $\beta$ -glucosidásicas, ou  $\beta$ -glicosídeo glucohidrolases (EC 3.2.1.21). As  $\beta$ -glucosidases têm a propriedade de hidrolisar celbiose e oligossacarídeos solúveis (com menos de sete unidades monoméricas) a glicose. Assim como as celobiohidrolases, também são reportadas por sofrerem inibição por seu produto de hidrólise.

Quando atuam conjuntamente, as celulasas apresentam um rendimento melhor do que a soma dos rendimentos individuais, ou seja, quando atuam isoladamente umas das outras. Tal efeito é conhecido como sinergia. São conhecidas pelo menos três formas de sinergia<sup>54</sup>:

- **sinergia endo-exo:** As endoglucanases, atuando nas regiões amorfas da fibra, disponibilizam terminais redutores e não redutores para atuação das CBH I e CBH II, respectivamente;
- **sinergia exo-exo:** As CBH I e CBH II atuam simultaneamente na hidrólise dos terminais redutores e não redutores liberados por ação das endoglucanases;
- **sinergia exo-BG:** Como seu produto de hidrólise, as celobiohidrolases liberam celbiose, que são substratos para as  $\beta$ -glucosidases.

<sup>53</sup> Awafo, V.A., Chahal, D.S.; Simpson, B.K. Optimization of ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 60868) and *Pichia stipitis* Y-7124: a response surface model for simultaneous hydrolysis. *Journal of Food Biochemistry* v. 22, p. 489-510. 1998.

<sup>54</sup> Lynd, L. R., Weimer, P.J.; Van Zyl, W. H.; Pretorius, I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Review*, v. 66, p. 506-577. 2002.

A hidrólise do polímero celulósico pelas celulasas envolve basicamente duas etapas: A adsorção das celulasas à superfície do substrato celulósico e a hidrólise de celulose em açúcares fermentáveis. Para tal, os seguintes passos acontecem<sup>55</sup>:

- difusão do complexo celulásico do seio do fluido para a região de localização do substrato celulósico. No caso de substrato insolúvel, a difusão acontece na direção do filme imediatamente adjacente à partícula do substrato;
- adsorção do complexo celulásico aos sítios disponíveis no substrato celulósico;
- formação de um complexo ativo celulasas-substrato;
- hidrólise das ligações glicosídicas do polímero celulósico;
- difusão dos produtos de hidrólise do sítio ativo celulasas-substrato para o seio do fluido;
- desorção do complexo celulásico do substrato hidrolisado.

Celulasas são produzidas, entre outros microrganismos, por diferentes fungos filamentosos, sendo os maiores produtores, os pertencentes aos gêneros *Trichoderma*, *Penicillium* e *Aspergillus* (T1b). Embora, de forma geral, os níveis deste complexo enzimático, secretado pelos fungos, atendam na natureza às necessidades de decomposição da matéria lignocelulósica e disponibilização de açúcares para o seu metabolismo, o uso industrial das celulasas requer a obtenção de preparações enzimáticas com altos níveis de atividade e estabilidade, sendo necessário modificarem linhagens de fungos naturalmente ocorrentes em hiper-secretoras, empregando-se técnicas da genética clássica ou da biologia molecular. Trabalhos nesta direção têm sido desenvolvidos por diferentes laboratórios nacionais e internacionais, de universidades e empresas, merecendo destaque as linhagens hiper-produtoras de *Trichoderma reesei*.

Várias abordagens têm sido utilizadas para melhorar o desempenho de celulasas e diminuir a quantidade de enzimas necessárias para a eficiente hidrólise de materiais lignocelulósicos. A primeira meta para a engenharia de celulasas tem sido as celobiohidrolases, pois elas tendem a constituir 60-80% dos sistemas celulásicos naturais<sup>56</sup>. Estudos recentes demonstraram que a utilização de técnicas combinadas da engenharia genética (*site-directed mutagenesis*, *site-saturation mutagenesis*, *error-prone PCR* and *DNA shuffling*) gerou linhagens altamente produtoras de celobiohidrolase (*Trichoderma reesei* Cel7a), que superaram a linhagem selvagem na hidrólise de resíduo agrícola pré-tratado do processamento do milho<sup>57</sup>.

<sup>55</sup> Awafo, V.A., Chahal, D.S.; Simpson, B.K. Optimization of ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 60868) and *Pichia stipitis* Y-7124: a response surface model for simultaneous hydrolysis. *Journal of Food Biochemistry* v. 22, p. 489-510. 1998.

<sup>56</sup> Lynd, L. R., Weimer, P.J.; Van Zyl, W. H.; Pretorius, I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Review*, v. 66, p. 506-577. 2002.

<sup>57</sup> Teter, S.; Cherry, J.; Ward, C.; Jones, A.; Harris, P.; Yi, J. Variants of cellobiohydrolase I from *Trichoderma reesei* with improved properties. Novozyme Biotechnology IU, EU patent nb. 2005048619. 2004.



Outra abordagem que tem sido utilizada é a introdução de genes heterólogos que codificam para a produção de celulasas em sistemas já existentes, de tal forma que o desempenho global da linhagem recombinante fique melhorado<sup>58</sup>. Introduziram-se vários genes bacterianos que codificaram para endoglucanase em *T. reesei*. Um deles, GH5A de *Acidothermus cellulolyticus*, foi fusionado com o de celobiohidrolase (CBH1) de *T. reesei*. O produto da fusão foi expresso em *T. reesei* e demonstrou ser mais efetivo na sacarificação da celulose do resíduo de processamento do milho do que aquele oriundo da linhagem parental (redução no tempo de hidrólise da celulose de 10 para 6 horas).

Esses resultados sinalizam que maiores desenvolvimentos deverão ocorrer em um futuro próximo a fim de se viabilizar a produção de celulasas, em particular na própria planta industrial (*dedicated cellulase production*), já que grandes quantidades de enzimas serão requeridas para a eficiente hidrólise dos abundantes materiais lignocelulósicos visando à produção de etanol. Ressalta-se que a integração da produção de celulasas com a produção de etanol na própria instalação industrial também se insere no contexto do tema “biorrefinarias: rota bioquímica”.

As tecnologias da produção de etanol de matérias-primas açucaradas (caldo de cana-de-açúcar) e amiláceas (milho) estão comercialmente estabelecidas e levadas a cabo pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Entretanto, como descrito anteriormente, os hidrolisados das porções polissacarídicas de materiais lignocelulósicos possuem uma mistura de hexoses (principalmente glicose) e pentoses (principalmente xilose), sendo a grande maioria das linhagens naturalmente ocorrentes de *Saccharomyces cerevisiae* incapaz de metabolizar xilose.

A produção de etanol a partir de xilose é realizada em três estágios, tanto em bactérias, leveduras ou fungos filamentosos. Primeiramente, ocorre a conversão de xilose a xilulose 5-P. Em bactérias esta conversão é realizada através de uma reação de isomerização, ao passo que em leveduras e fungos filamentosos primeiramente xilose é reduzida a xilitol pela ação da enzima xilose redutase NADPH-dependente, com posterior oxidação de xilitol a xilulose pela ação da enzima xilitol desidrogenase NAD<sup>+</sup>-dependente. Xilulose é, então, incorporada à via das pentoses-fosfato, originando gliceraldeído 3-P e frutose 6-P. Ambos são convertidos a piruvato pela via glicolítica, que dá origem ao etanol através de duas reações sequenciais (descarboxilação e redução). A equação química, a seguir, ilustra as duas reações iniciais do catabolismo de xilose.

<sup>58</sup> Bower, B.S. Fusion proteins of an exocellobiohydrolase and an endoglucanase for use in the saccharification of cellulose and hemicellulose. US patent 2005093073. 2005.



**Figura 1.9:** Catabolismo de xilose em leveduras e fungos filamentosos

Fonte: Malburg et al., 1992.

Embora certas leveduras naturalmente ocorrentes, como por exemplo *Pichia stipitis*, *Pichia sego-biensis*, *Candida tenuis*, *Candida shehatae* e *Pachysolen tannophilus*<sup>59</sup>, sejam capazes de fermentar xilose a etanol, as taxas de produção são mais reduzidas, quando comparadas as da fermentação alcoólica de glicose.

Visando à integração desses dois processos, pesquisas têm sido desenvolvidas basicamente com duas abordagens (T1c). Na primeira, busca-se pela construção de um recombinante com adicional habilidade de processar a via das pentoses-fosfato<sup>60</sup>. Já na segunda abordagem, visa-se aumentar os rendimentos em etanol através da engenharia genética em microrganismos que já possuem a habilidade de fermentar tanto hexoses quanto pentoses<sup>61</sup>. Mesmo que ambas as estratégias tenham se revelado factíveis, as taxas de produção e rendimentos da fermentação alcoólica de hidrolisados de materiais lignocelulósicos com esses recombinantes não se mostraram ainda comercialmente viáveis. Adicionalmente, em contraste às correntes prontamente fermentáveis de sacarose e de hidrolisado de amido, os hidrolisados derivados de biomassas lignocelulósicas tendem a ter inibidores da fermentação, provenientes do pré-tratamento (ácido acético, furfurais e aromáticos), que necessitam ser removidos quando suas concentrações forem muito altas ou requererão o desenvolvimento de linhagens robustas que sejam resistentes a esses inibidores.

Como a maioria dos açúcares nos hidrolisados constitui-se de glicose e xilose (com menores quantidades de arabinose, galactose e manose), os esforços iniciais para a construção de um microrganismo etanologênico têm focalizado a co-fermentação de glicose e xilose. Nesta abordagem, genes que codificam para o catabolismo de xilose têm sido inseridos em linhagens selvagens da levedura *Saccharomyces cerevisiae* e da bactéria *Zymomonas mobilis*<sup>62</sup>. Linhagens recombinantes de *Saccharomyces*

<sup>59</sup> Toivola, A.; Yarrow, D.; van den Bosch, E.; van Dijken, J.P. e Scheffers, W.A. Alcoholic fermentation of D-xylose by yeasts. Applied and Environmental Microbiology, v. 47, p.1221-1223. 1984.

<sup>60</sup> Jeffries, T.W.; Jin, Y.S. Metabolic engineering for improved fermentation of pentoses by yeast. Appl Microbiol Biotechnol. V.63, n.5, p. 495-509. 2004.

<sup>61</sup> Dien, B. S., Cotta, M. A., Jeffries, T. W. Bacteria engineered for fuel ethanol production: current status. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 63, p. 258- 266. 2003.

<sup>62</sup> Dien, B.S. et al., 2003; Jeffries; Jim, 2004.



*cerevisiae* com habilidade de co-fermentar glicose e xilose têm sido construídas através da adição de genes de *Pichia stipitis* (XYL1 e XYL2) que codificam para xilose redutase NADPH-dependente e xilitol desidrogenase NAD<sup>+</sup>-dependente, bem como pelo aumento da expressão de xiluloquinase<sup>63</sup>.

Desta forma, xilose é convertida a xilulose-5-fosfato, que é um metabólito central da via das pentoses-fosfato. Embora estes mutantes tenham sido construídos com sucesso e demonstrado desempenho satisfatório em escala laboratorial, a co-fermentação anaeróbica de glicose e xilose ainda não atingiu os requerimentos para a produção industrial. Isto porque, o metabolismo de xilose com esses recombinantes apresenta um desbalanceamento no potencial redox na célula em relação aos cofatores, em particular no que tange à razão NAD<sup>+</sup>/NADH.H<sup>+</sup>, o que levará a célula a requerer oxigênio, mesmo que em baixas tensões. A fim de se contornar este problema, outras estratégias têm sido utilizadas, como a inserção de uma gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase NADP<sup>+</sup>-dependente que auxilia na regeneração de NADPH<sup>64</sup> ou pela construção de uma mutante que expresse uma xilose redutase com maior afinidade por NADH e, portanto, diminua o seu consumo por NADPH.

Desenvolvimentos nesta área têm avançado de forma acelerada e em um futuro próximo leveduras recombinantes que fermentem eficientemente glicose e xilose de hidrolisados de biomassa lignocelulósica e com taxas de produção compatíveis com os requerimentos industriais estarão disponíveis.

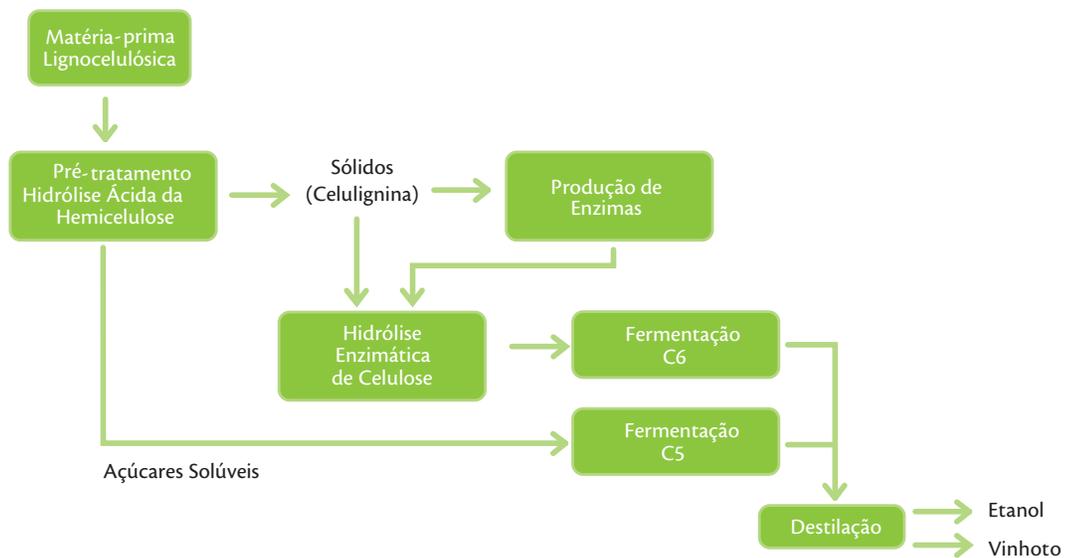
A transformação dos materiais lignocelulósicos para a produção de etanol vem sendo estudada sob diferentes estratégias de processamento (T1d). Devido à presença de diferentes açúcares, muitas vezes se faz necessário o multiprocessamento, ou seja, o emprego de enzimas simultaneamente à ação de microorganismos. Ou mesmo a utilização de diferentes microorganismos em etapas sucessivas, ou de microrganismos recombinantes de maneira a se aproveitar ao máximo dos açúcares (substratos) disponíveis.

Neste sentido, quatro estratégias são concebidas, cada uma com diferente estágio de desenvolvimento: (i) hidrólise e fermentação em separado (*Separate Hydrolysis and Fermentation - SHF*); (ii) sacarificação e fermentação simultâneas (*Simultaneous Saccharification and Fermentation - SSF*); (iii) sacarificação com co-fermentação simultâneas (*Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation-SSCF*); e (iv) bioprocesso consolidado (*Consolidated Bioprocess-CBP*).

<sup>63</sup> Jeffries, T.W.; Jin, Y.S. Metabolic engineering for improved fermentation of pentoses by yeast. *Appl Microbiol Biotechnol.* v. 63, n.5, p. 495-509. 2004.

<sup>64</sup> Verho, R.; Londesborough, J.; Penttilä, M.; Richard, P., Engineering redox cofactor regeneration for improved pentose fermentation in *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 69, p.5892–5897. 2003.

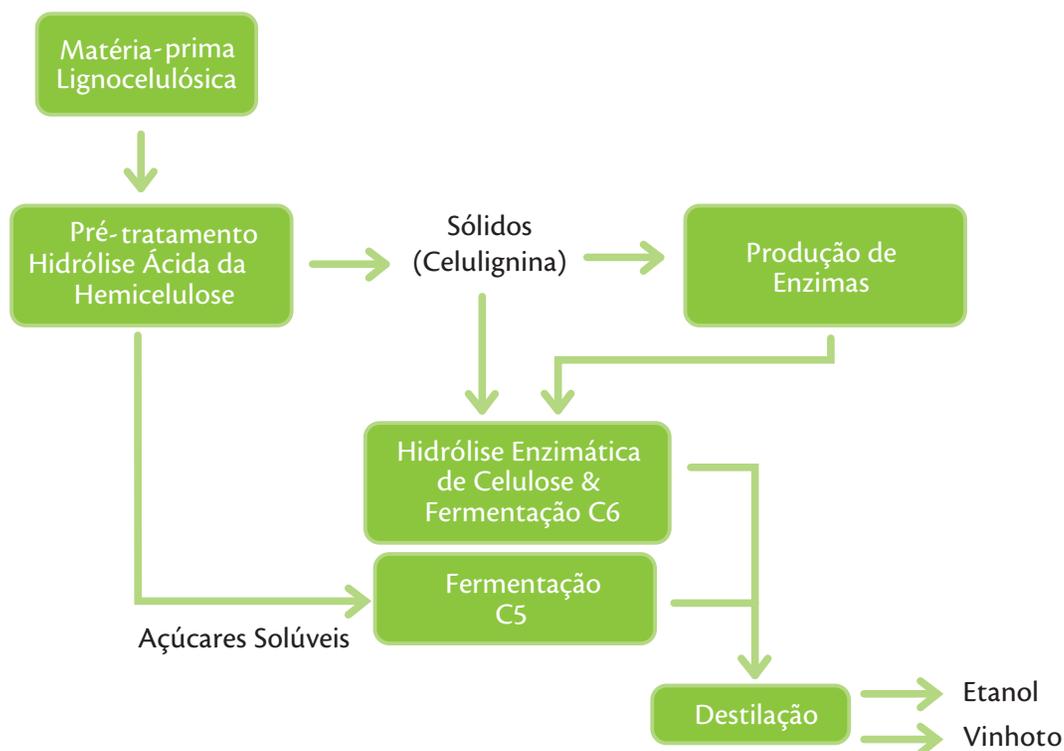
A hidrólise e fermentação em separado é a concepção mais antiga, na qual a hidrólise da celulose, após o pré-tratamento da matéria-prima para a solubilização e hidrólise da hemicelulose, ocorre em um estágio separado da fermentação. O fluxograma apresentado na Figura 1.10 mostra um processo que utiliza ácido diluído para a hidrólise da fração hemicelulósica. Em seguida, a celulose é hidrolisada enzimaticamente, antes da etapa de fermentação alcoólica. Esta estratégia tem sido abandonada, devido à baixa eficiência de hidrólise enzimática da celulose, quando esta ocorre separadamente da fermentação de glicose.



**Figura 1.10:** Diagrama de blocos do processo hidrólise e fermentação em separado

Fonte: Wingren et al., 2003.

De acordo com a segunda estratégia, a hidrólise enzimática de celulose e a fermentação ocorrem em uma mesma etapa. A fração hemicelulósica é hidrolisada e fermentada em etapa separada, como também a produção de enzimas do complexo celulásico (Figura 1.11).



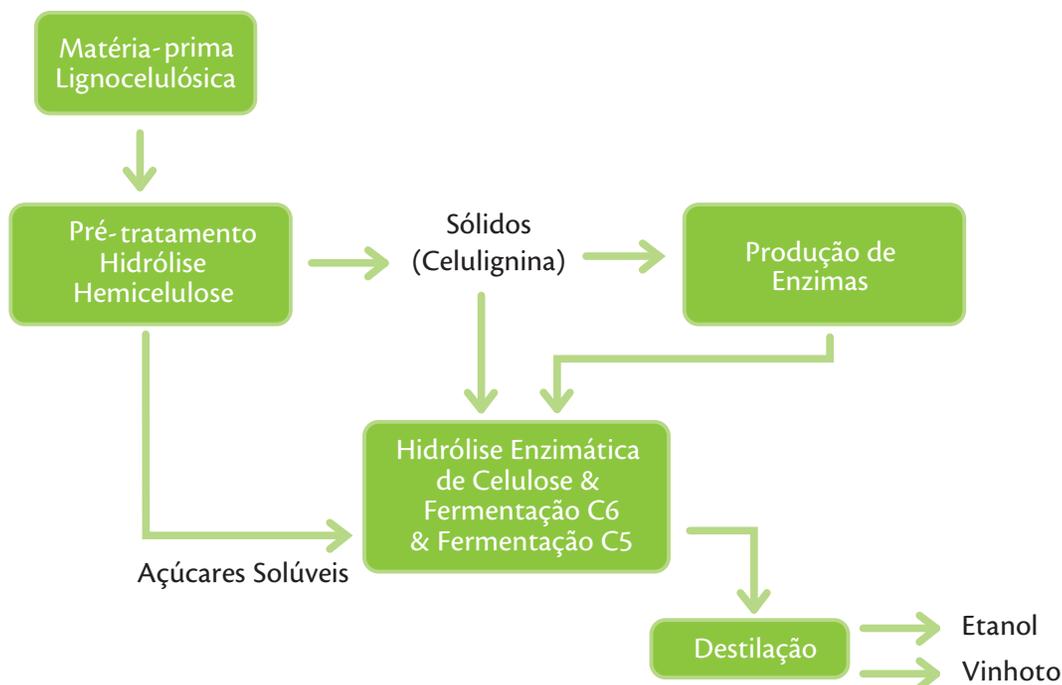
**Figura 1.11:** Diagrama de blocos do processo de sacarificação e fermentação simultâneas

Fonte: Wingren et al., 2003.

Ao contrário do que ocorre com a fração hemicelulósica, da qual açúcares podem ser obtidos mediante a sua hidrólise, quando se objetiva realizar a hidrólise enzimática da celulose, esta deverá estar associada a um processo de transformação. Isto decorre do fato de que, ainda que apresentem altas atividades catalíticas, as enzimas do complexo celulolítico são inibidas pelos produtos gerados na hidrólise (glicose e celobiose). Desta forma, a alternativa encontrada para solucionar os problemas de inibição consiste em deslocar o equilíbrio da reação de hidrólise, mediante a “retirada” da glicose do meio reacional. Para se alcançar esse intento, a estratégia adotada é a de se acoplar ao processo hidrolítico um processo fermentativo que ocorra simultaneamente, à medida que a glicose seja formada. Esse processo é chamado, na literatura, de “*Simultaneous Saccharification and Fermentation*” (SSF), o qual visa, principalmente, à produção de etanol. Por um lado, esse processo oferece a vantagem de se minimizar os problemas inibitórios, por outro, as condições operacionais ideais para a hidrólise enzimática não necessariamente serão as mesmas da fermentação. Em relação a este aspecto, esforços têm sido envidados no sentido de se produzir enzimas que atuem em temperaturas e valores de pH próximos àqueles empregados na fermentação alcoólica.

A terceira estratégia - sacarificação com co-fermentação simultâneas - envolve 3 etapas, das quais a hidrólise da fração hemicelulósica e a produção de celulases ocorrem separadamente, conforme ilustrado na Figura 1.12.

De acordo com esta concepção, a corrente líquida rica em pentoses, obtida após o pré-tratamento permanece no reator, ao qual são adicionadas as celulases e, posteriormente, inoculado com uma linhagem recombinante (capaz de fermentar pentoses e hexoses). A maior vantagem desta estratégia reside no fato de apenas um reator ser utilizado para a produção de etanol.



**Figura 1.12:** Diagrama de blocos do processo de sacarificação com co-fermentação simultâneas

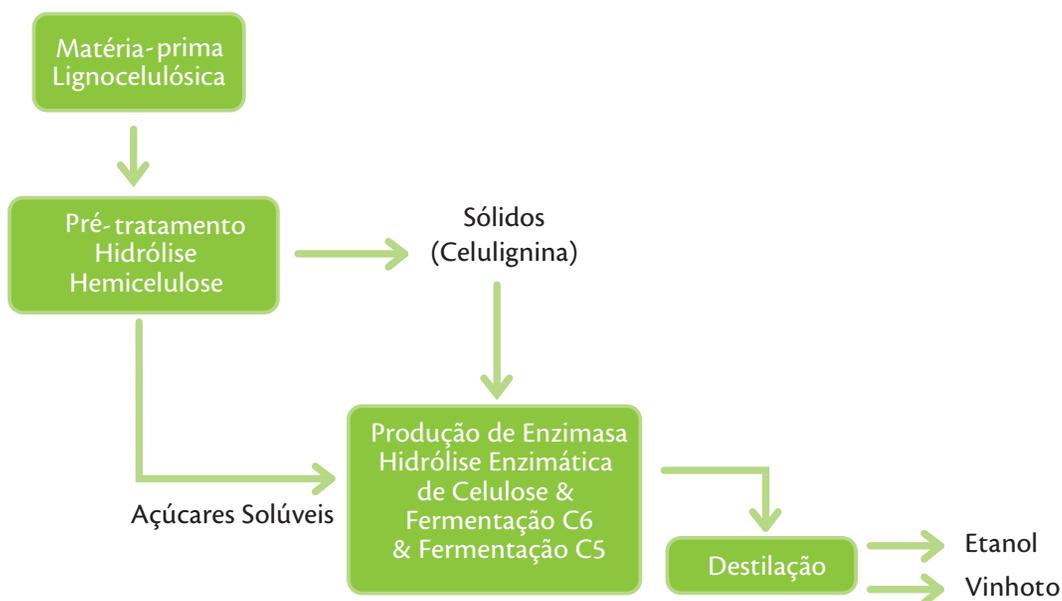
Fonte: Wingren et al., 2003.

Finalmente, a quarta estratégia, denominada bioprocessos consolidados (CBP, na sigla em inglês) é o processo de concepção mais avançada, no qual todas, ou pelo menos três das etapas, podem ser realizadas em um mesmo equipamento.



A Figura 1.13 exibe esta concepção de processo, que parece ser o ponto final lógico na evolução das tecnologias de conversão de biomassas lignocelulósicas, sendo uma perspectiva de médio/longo prazo, onde a Biologia Molecular desempenhará um papel fundamental.

No CBP, etanol e todas as enzimas requeridas são produzidos em um único biorreator. Com as ferramentas modernas da Biologia molecular há possibilidade de se expressar diversas atividades em um único microorganismo, sejam elas associadas à capacidade de produção de enzimas dos complexos xilanásico e celulásico, bem como eficiente capacidade fermentativa, tanto de pentoses quanto hexoses.



**Figura 1.13:** Diagrama de blocos do processo de sacarificação com co-fermentação simultânea

Fonte: Wingren et al., 2003.

Para finalizar esta Seção, discute-se o último tópico tecnológico escolhido para a construção dos mapas tecnológicos do tema “biorrefinarias: rotas bioquímicas”. Trata-se da integração energética de processo, que se refere à definição de estratégias tecnológicas para a produção de biomoléculas. Tais estratégias, por sua vez, compreendem: (i) modelo de duas correntes ou modelo integrado; (ii) processo em batelada ou contínuo; e (iii) recuperação de enzimas.

Destaca-se a necessidade de realização de estudo detalhado de integração de processo, englobando todas as correntes, seja de processo quanto de utilidades, a fim de favorecer a relação input/output de energia (T1e). Outro ponto de destaque a considerar em relação a esse tópico é a necessidade imperiosa do Brasil avançar no escalonamento dos resultados alcançados até o momento. Esse tema será abordado em maior detalhe no Capítulo 12, que trata de dois temas transversais no contexto da Química Verde.

Esse é o panorama das possibilidades e desafios das tecnologias associadas ao tema “biorrefinarias: rota bioquímica”, cujo desenvolvimento pode ser observado em seu conjunto nos mapas tecnológicos mundial e do Brasil, apresentados nas Seções 1.4 e 1.5, a seguir.

#### 1.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010-2030

A Figura 1.14 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no mundo, visando comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.



Estágios	Desenvolvimento do tema “biorrefinarias : rota bioquímica” no mundo		
	2010-2015	2016-2025	2026-2030
Comercialização		T1b T1a T1d	T1c
Produção/ processo	T1e T1e	T1a T1b T1d	T1c
Inovação/ implantação	T1b	T1a T1d	T1c
Scale-up	T1d T1a	T1c	
Fase demonstração	T1d T1a	T1c	
Fase piloto	T1d T1a	T1c	
Pesquisa em bancada	T1c		

**Figura 1.14:** Mapa tecnológico do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no mundo: 2010 – 2030

Notação: T1a – Pré-tratamento da biomassa; T1b – Produção de celulases; T1c – Biologia molecular; T1d – Produção de biocombustíveis de segunda geração e de outras moléculas; T1e – Integração energética de processo.

As informações e dados constantes no panorama apresentado na Seção 1.1 e as principais tendências tecnológicas que foram discutidas na Seção 1.3 deste Capítulo sustentam o exercício prospectivo das trajetórias tecnológicas dos cinco tópicos tecnológicos indicados na Figura 1.14, considerando-se os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030.

Desse modo, com relação às trajetórias indicadas na Figura 1.14, observa-se que, no início do período 2010-2015, a trajetória do tópico “pré-tratamento” (T1a), por ser fundamental para o desenvolvimento do tema como um todo, consegue avançar até os níveis superiores do mapa tecnológico – produção e comercialização em larga escala. O tópico “produção de celulases” (T1b) que hoje já se encontra em fase de implantação/inação também alcançará os níveis superiores do mapa tecnológico – produção e comercialização em larga escala.

Conforme o exercício de prospecção e pelos resultados alcançados até o momento no mundo, estima-se que os esforços de desenvolvimento do tópico “biologia molecular” (T1c) alcançarão a fase de demonstração no período 2010-2015, como pode ser visualizado na Figura 1.14. O tópico “produção de biocombustíveis de segunda geração e de outras moléculas (T1d) atingirá o estágio de produção em larga escala no final desse período.

Já o tópico “integração energética de processo” (T1e), como indicado no Quadro 1.2, encontra-se em estágio maduro, situação que se reflete no desenho do mapa tecnológico. No período 2010-2015, esse tópico já atingiu os níveis superiores do mapa tecnológico.

No período intermediário do mapa (2016 – 2025), o tópico “biologia molecular” (T1c) terá atingido o estágio superior do mapa tecnológico, prevendo-se que a fase de escalonamento seja concluída no início desse período. Já os demais tópicos estarão em fase de comercialização em larga escala, como pode ser visualizado na Figura 1.14.

## 1.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010-2030

A Figura 1.15 apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais.

As principais tendências tecnológicas referentes ao tema que foram discutidas na Seção 1.3 e as informações e dados constantes no panorama apresentado na Seção 1.2 deste Capítulo serviram de base para a construção do mapa tecnológico do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no Brasil. Indicam-se as trajetórias dos cinco tópicos tecnológicos na Figura 1.15, considerando os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030. A seguir, comentam-se os destaques e pontos críticos do mapa.

Observa-se, inicialmente, que o mapa tecnológico no Brasil encontra-se defasado em relação ao mapa mundial (Figura 1.14). Isso se deve fundamentalmente à falta de ações prioritárias e de investimentos nesta temática no país, particularmente na década de 90, quando os centros de pesquisa internacionais dedicavam-se intensamente à pesquisa para a produção de etanol de segunda geração, inserida no contexto de biorrefinaria. Fato que corrobora esta afirmação é a realização anual de um importante evento, organizado pelos principais laboratórios norte-americanos (National



Renewable Energy Laboratory REL e Oakridge), que focaliza exclusivamente esta temática<sup>65</sup>. Dele participam não só representantes do meio acadêmico, mas também empresarial e governamental.

Estágios	Desenvolvimento do tema “biorrefinarias : rota bioquímica” no Brasil		
	2010 - 2015	2016 - 2025	2026 - 2030
Comercialização	T1e		T1d T1a T1b T1c
Produção/ processo	T1e		T1b T1c T1d T1a
Inovação/ implantação		T1a T1d T1b T1c	
Scale-up		T1d T1b T1a T1c	
Fase demonstração		T1d T1a T1b T1c	
Fase piloto	T1d T1a T1b T1c		
Pesquisa em bancada	T1d T1a T1b T1c		

**Figura 1.15:** Mapa tecnológico do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no Brasil:2010 – 2030

**Notação:** T1a – Pré-tratamento da biomassa; T1b – Produção de celulases; T1c – Biologia molecular; T1d – Produção de biocombustíveis de segunda geração e de outras moléculas; T1e – Integração energética de processo.

Considerando-se um cenário otimista, no qual investimentos sejam priorizados, grupos com capacitação comprovada nesta temática sejam mobilizados e mecanismos concretos de inter-cooperação sejam criados, entre os quais a rede cooperativa, construiu-se o mapa tecnológico apresentado na Figura 1.15.

<sup>65</sup> US Department of Energy. DOE. Symposium on Biotechnology for Fuels & Chemicals. Disponível em:<http://www.simhq.org/meetings/30symp/index.html>>. Acesso em: dez 2009.

No Brasil, a grande maioria das etapas que compõem a plataforma bioquímica da biorrefinaria encontra-se em fase embrionária (bancada), havendo um único caso em que se desenvolveu a tecnologia de forma mais integrada e que resultou na construção de uma unidade piloto: a planta localizada no Centro de Pesquisas da Petrobras.

No que tange à produção de celulases (T1b), quando se avalia nossa balança comercial, verifica-se que o Brasil é fortemente dependente desses biocatalisadores. A grande totalidade de nossas importações atende o setor têxtil, no qual se empregam formulados (cocktails enzimáticos) que apresentem composições diferentes daquelas requeridas para a completa hidrólise da celulose de biomassas residuais. Dito de outra forma, os preparados enzimáticos para a hidrólise das biomassas celulósicas, visando à produção de biocombustíveis e de outras substâncias químicas, devem possuir um balançamento adequado das atividades que compõem o seu pool catalítico, que é diferente daqueles utilizados em outros segmentos industriais que empregam estes biocatalisadores.

Adicionalmente, quando se vislumbra a plataforma bioquímica da biorrefinaria, a produção de enzimas está inserida no portfólio de produtos/insumos nesta concepção. A isto se denomina produção dedicada (dedicated production) de enzimas, cujo desempenho dependerá da origem da matéria-prima e dos pré-tratamentos utilizados. Como colocado anteriormente, o país possui grupos que poderiam, indubitavelmente, acelerar a viabilização da produção industrial desses biocatalisadores. Já a construção de microrganismos recombinantes, através das técnicas modernas da Biologia Molecular (T1c), que devem ser empregadas para se avançar na integração de processo (modelos integrado e consolidado), segue a tendência mundial, tendo em vista se tratar de um tema mais recente e fortemente demandante de pesquisa e inovação.

Quanto à etapa de produção de biocombustíveis e outras substâncias químicas de biomassas de composição lignocelulósica (T1d), que é intensamente dependente das etapas pré-tratamento (químicos e enzimáticos), vemos, em nosso país, o desenvolvimento das tecnologias de produção também em fase embrionária. No entanto, esses processos guardam similaridades com aqueles a partir de outras matérias-primas (sacaríneas e amiláceas). De forma que, uma vez contornados os fatores limitantes das etapas que antecedem o processo produtivo propriamente dito, a tecnologia para a obtenção de tais moléculas apresentará maior viabilidade.

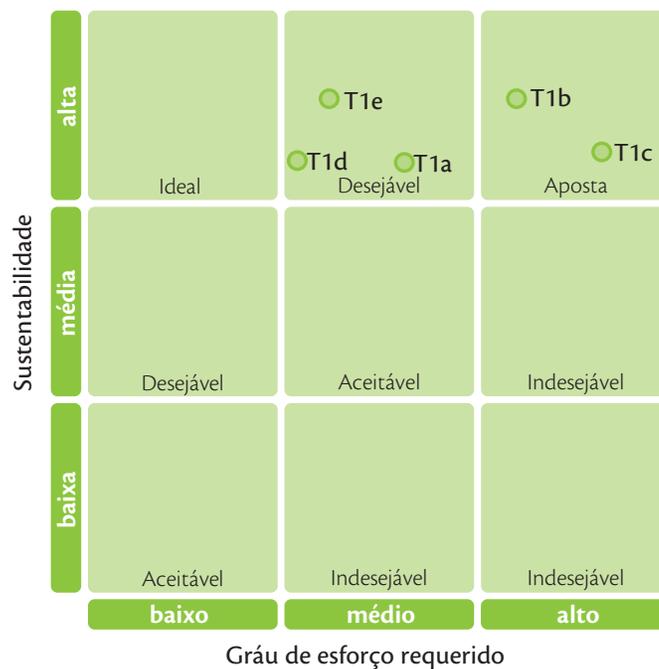
Um único caso, em que se tem a tecnologia já disponível para comercialização refere-se à etapa de produção de energia (T1e) no próprio complexo industrial, cuja ampla experiência dos setores sucroalcooleiro e de celulose e papel seria facilmente incorporada/transferida para a implantação de biorrefinarias no país. O setor sucroalcooleiro acumulou grande experiência com a queima de bagaço de



cana e o setor de papel e celulose com a queima da lignina, sendo ambos os setores auto-suficientes em energia pela adoção dessas práticas industriais.

Ressalta-se que o conceito de biorrefinaria engloba também a produção de energia para atender a demanda energética de várias operações e processos unitários que compoem as unidades industriais, como por exemplo: moagem, pré-tratamentos, filtração, fermentação, centrifugação, destilação, entre outros.

A Figura 1.16 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema “biorrefinarias: rota bioquímica”, no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 1.15).



**Figura 1.16:** *Portfolio* tecnológico estratégico do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no Brasil (2010 – 2030)

Notação: T1a – Pré-tratamento da biomassa; T1b – Produção de celulases; T1c – Biologia molecular; T1d – Produção de biocombustíveis de segunda geração e de outras moléculas; T1e – Integração energética de processo.

Ao se analisar o portfólio tecnológico da Figura 1.16, confirma-se o posicionamento estratégico indicado nos mapas tecnológicos (Figuras 1.14 e 1.15), particularmente no que tange aos tópicos em posição desejável, a saber: “pré-tratamento” (T1a); “produção de biocombustíveis de segunda geração e de outras moléculas” (T1d); e “integração energética de processo” (T1e). Cabe ressaltar, porém, que os tópicos com maior potencial e que representam as chamadas “apostas” estratégicas para o país são “produção de celulases” (T1b) e “biologia molecular” (T1c).

No que concerne à produção de celulases (T1b), o Brasil é fortemente demandante de preparados comerciais de multinacionais (Genencor e Novozymes) para atender outros segmentos industriais, como mencionado anteriormente, sendo a incipiente produção brasileira não competitiva com a daqueles grupos. A falta de políticas industriais definidas para a produção de biocatalisadores em nosso país, nas décadas passadas, também obstaculizou os desenvolvimentos nesta temática. No entanto, o amplo conhecimento acumulado nas universidades e instituições de C&T brasileiras exigirá um grau de esforço mediano para a materialização desses desenvolvimentos, que deverão resultar em um alto impacto econômico e socioambiental.

Quanto ao tópico “biologia molecular” (T1c), embora sejam identificados grupos internacionais que já anunciaram a construção de células ótimas para as bioconversões pretendidas, ainda verificam-se gargalos que necessitam ser resolvidos, particularmente no tocante à robustez e tolerância das células recombinantes aos seus produtos do metabolismo e a outras substâncias geradas nos processos hidrolíticos.

## 1.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

Apontam-se nesta seção os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilizem o desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos.

O Quadro 1.4 apresenta tais condicionantes no curto, médio e longo prazo. Para cada período, destaca-se um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância, em função do potencial da geração de novos conhecimentos e inovações no país e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos.



Construiu-se uma visão de futuro, no que se refere à geração de conhecimentos que permitirá o desenvolvimento tecnológico da plataforma bioquímica da biorrefinaria em nosso país. Neste contexto, é fortemente recomendado que as idéias e ações aqui apresentadas sejam consideradas como prioridades na formulação de políticas, a fim de sejam criadas oportunidades para que o Brasil possa seguir a sua “vocação natural” para o uso das biomassas vegetais como matérias-primas.

Dado o estágio embrionário em que se encontra a maioria das tecnologias associadas ao tema no Brasil e sua intensidade em P,D&I, sinaliza-se para a necessidade imperiosa de forma o de recursos humanos em nível graduado e, principalmente, pós-graduado durante todo o período considerado (2010-2030). Esses recursos humanos deverão se capacitar para incorporar inova es na temática, bem como operar plantas em nível de bancada, piloto e demonstrativo, visando concluir o escalonamento dos processos produtivos inseridos neste contexto.

**Quadro 1.4:** Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota bioquímica” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
Recursos humanos em nível técnico, graduado e pós-graduado;	Recursos humanos em nível técnico, graduado e pós-graduado;	Recursos humanos em nível técnico e graduado e pós-graduado;
Parcerias público-privadas;	Legisla�o ambiental mais restritiva;	Maior equilíbrio das desigualdades regionais;
Forma�o de arranjos cooperativos de pesquisa, como redes, clusters e sistemas locais de inova�o;	Convergência Tecnológica Biotecnologia – Química Fina – Tecnologias de Produto;	Impactos da Química Verde e da Biotecnologia (estado-da-arte mundial);
Insumos básicos para P,D&I;	Parcerias público-privadas;	A agricultura dirigida ao mercado internacional com solicita�o de tecnologias que maximizem o rendimento;
�nfase na ado�o de mecanismos da propriedade intelectual;	Exigência de escala de produ�o;	Diminui�o das barreiras técnicas;
Aquecimento global e seus impactos;	Produ�o mais limpa;	Uso de energias limpas;
Difusão científica sobre sistemas e processos biológicos;	Biossegurança (legisla�o, risk assessment institucionalizado);	Consumidores mais conscientes do ecologicamente correto.
Educa�o em todos os níveis.	Percep�o da sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.	

Ao lado do reconhecimento da importância de recursos humanos altamente capacitados no processo de produção e difusão de conhecimentos e inovação, reconhece-se também que o Brasil já conseguiu desenvolver uma pós-graduação cuja qualidade, diversidade de áreas do conhecimento e quantidade de titulados têm crescido de maneira sistemática e acelerada. Por outro, lado verifica-se que o sistema de avaliação de programas de pós-graduação reconhecidos pela Capes privilegia fundamentalmente critérios acadêmicos, com ênfase na qualificação de pesquisadores e na produção de artigos científicos em periódicos com seletiva política editorial. Menor ênfase é dada a geração de patentes, considerado importante instrumento e indicador de inovação tecnológica. Neste sentido, mecanismos para se valorizar este importante instrumento da inovação necessitam ser incorporados, principalmente no meio acadêmico.

Ações governamentais para o estímulo de parcerias público-privadas e para a formação de redes cooperativas de pesquisa, que suportarão esses desenvolvimentos, deverão também ser implementadas no horizonte mais próximo (2010-2015). Felizmente, verifica-se que os especialistas em políticas científicas e tecnológicas já se convenceram de que a inovação depende de “uma rede de instituições públicas e privadas cujas atividades e interações iniciam, modificam e difundem novas tecnologias”.<sup>66</sup> No entanto, ratifica-se a necessidade de uma formatação de rede cooperativa que estabeleça um alto grau de sinergismo entre os seus participantes, diferentemente da forma com que vem sendo praticada em nosso país. Identificou-se, ainda, o requerimento de maior difusão sobre os sistemas e processos biológicos em outros segmentos industriais que também se beneficiarão desses desenvolvimentos, como, por exemplo, o químico e o de celulose e papel, que necessitarão incorporar mudanças em suas bases técnicas industriais.

Finalmente, mas não de menor importância, recomenda-se a formulação de políticas educacionais pró-ativas em todos os níveis com o intuito de se criar uma maior conscientização à população brasileira sobre a necessidade de adoção de novas práticas de consumo inseridas no desenvolvimento sustentável.

Para o horizonte em médio prazo (2016-2025), estimou-se que as legislações ambientais estarão mais restritivas, o que conduzirá ao desenvolvimento/implantação de processos de produção mais limpa. Obviamente, as parcerias público-privadas devem continuar sendo fomentadas, visando acelerar a concretização desses conceitos no setor produtivo, bem como definir a escala de produção necessária, à semelhança do que vem acontecendo nos Estados Unidos da América do Norte, como mostrado anteriormente.

Outro condicionante de suma importância, neste período, refere-se à saudável convergência tecnológica que deverá existir entre a biotecnologia e a química para o desenvolvimento da plataforma bioquímica da biorrefinaria. O setor químico “emprestando” a sua vasta experiência industrial e a

<sup>66</sup> Freeman, C. The national system of innovation in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, v.19, p. 5-224. 1995.



biotecnologia aportando as inovações tecnológicas inseridas neste contexto. Têm-se verificado no Brasil alguns movimentos nesta direção, no entanto, ainda de forma muito incipiente. Exemplos são as empresas Braskem, Oxiteno, Dow Química e Petrobras.

Pelo fato de as tecnologias relacionadas à plataforma bioquímica da biorrefinaria poderem utilizar material biológico modificado geneticamente na etapa de produção propriamente dita, o atendimento à legislação de biossegurança será uma condição *sine qua non* para a implantação desses processos. Biossegurança e qualidade estão vinculadas pelo conceito de boas práticas, entendido como um conjunto de ações que permite alcançar um grau satisfatório de segurança diante dos riscos a que estão expostos os profissionais dos serviços, os clientes e o meio ambiente<sup>67</sup>. Portanto, biossegurança também é uma questão de qualidade. No entanto, não vemos a incorporação destas práticas como uma barreira aos desenvolvimentos pretendidos, na medida em que as construções genéticas dos agentes biológicos de tais processos inserem-se na categoria mais baixa de risco biológico, como colocado anteriormente.

Uma vez fomentada a educação em todos os níveis, prevê-se, ao final deste segundo período, uma maior percepção da Sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.

Para o último período (2026-2030) vislumbra-se um maior equilíbrio das desigualdades regionais, já que estes desenvolvimentos permitirão gerar emprego e renda para o homem no campo, evitando-se o tão problemático êxodo rural. Os impactos da Química Verde e da Biotecnologia também poderão ser sentidos, com a agricultura dirigida ao mercado internacional, não só como fornecedora de matérias-primas, mas, fundamentalmente, de produto acabado e de tecnologias. Caso esses desenvolvimentos recebam a devida prioridade por parte dos formuladores de políticas de Ciência e Tecnologia em nosso país, seguramente, reduzir-se-ão as barreiras técnicas, tendo em vista a geração de conhecimento tecnológico no próprio país; avançar-se-á em um dos temas mais importantes da atualidade (desenvolvimento da biorrefinaria), para o qual o país tem vocação natural.

Finalmente, ressalta-se que a biotecnologia moderna oferece inovadoras possibilidades para a produção de substâncias químicas e processos mais limpos. Em seu cerne está o princípio de se trabalhar em harmonia com o mundo natural. A biotecnologia tem soluções para suplantare tecnologias que poluem a biosfera ou que contribuam para a depleção de fontes finitas. No entanto, a indústria, a comunidade científica e o governo necessitam trabalhar em conjunto para que o Brasil possa lançar mão plenamente do potencial da biotecnologia, a fim de alcançar sua sustentabilidade industrial/econômica/ambiental e permitir que o país siga a sua vocação natural para a área. Em países desenvolvidos, pesquisas integradas e o desenvolvimento de processos químicos e bioquímicos a partir de resíduos lignocelulósicos têm avançado de forma célere e plantas comerciais para o aproveitamento de tais materiais estão por se tornar realidade.

67 Cavalcante, N.J.; Barbieri, D. D.; Monteiro, A.L.C. Biossegurança. Atualidades em DST/AIDS, v.1, n.1, p. 15-25. 1998.





## 2. Biorrefinarias — Rota termoquímica<sup>1</sup>

O termo “biorrefinarias” foi abordado no Capítulo 2 e representa um novo conceito que envolve muitas áreas e cuja definição ainda não é muito clara. Neste sentido, há várias definições possíveis para o que seja de fato uma biorrefinaria, conforme destacado a seguir:

- co-produção de um espectro de bioprodutos (alimentos, materiais e produtos químicos) e energia (combustíveis, energia e calor) obtidos a partir de biomassa<sup>2</sup>;
- uma planta industrial na qual biomassa é processada e convertida em biocombustíveis, produtos químicos, biomateriais e outros bioprodutos<sup>3</sup>;
- uma instalação (incluindo equipamentos e processos), capaz de converter biomassa renovável em biocombustíveis e bioprodutos e produzir eletricidade<sup>4</sup>;
- uma estrutura baseada em três diferentes fontes, a saber: biorrefinaria baseada em carboidratos (*sugar biorefinery*); biorrefinaria baseada em biomassas de natureza lignocelulósica (*lignocellulosic biorefinery*) e biorrefinaria baseada em lipídios (*lipids biorefinery*)<sup>5</sup>.
- uma planta industrial que recebe como insumo material biológico e transforma-o em uma variedade de produtos químicos, materiais, combustíveis e outros produtos de maior valor agregado<sup>6</sup>.

Para fins da análise prospectiva sobre o tema “biorrefinarias: rota termoquímica”, adota-se a seguinte definição: biorrefinaria é um conceito que envolve as instalações e os processos através dos quais, a partir de biomassa renovável, biocombustíveis e outros produtos clássicos do refino tradicional do petróleo, tais como petroquímicos, são produzidos. Procura-se, a partir desta definição, dar uma visão mais direcionada para o refino tradicional, de modo a enquadrar as biorrefinarias como refinarias que utilizam uma matéria-prima alternativa ao petróleo, ou seja, a biomassa, quer na forma de produtos de origem animal ou vegetal (como exemplo, óleos vegetais ou gorduras animais) ou ainda rejeitos de origem orgânica, como, por exemplo, bagaço e palha de cana.

- 
- 1 Este capítulo foi elaborado por Eduardo Falabella Sousa-Aguiar com coautoria de Arthur José Gerbasi da Silva e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.
  - 2 IEA Biorefineries: co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass. Task 42. 2007.. Disponível em: <[www.biorefinery.nl/ieabioenergy-task42](http://www.biorefinery.nl/ieabioenergy-task42)>. Acesso em: dez 2009.
  - 3 Bioenergy. Glossary. Disponível em: <[www.greatlakesbioenergy.org/research/bioenergy-glossary](http://www.greatlakesbioenergy.org/research/bioenergy-glossary)>. Acesso em: dez 2009.
  - 4 Definição que consta do 2008 Farm Act dos EUA. Disponível em: <[www.ers.usda.gov/Briefing/bioenergy/glossary.htm](http://www.ers.usda.gov/Briefing/bioenergy/glossary.htm)> Acesso em dez 2009.
  - 5 Thomas, D; Octave, S. Biorefinery: toward an industrial metabolism. Biochimie, v. 21, I.1, p. 300-303, 2009.
  - 6 Definição de biorrefinaria disponível em: <[www.biobasics.gc.ca/english/View.asp](http://www.biobasics.gc.ca/english/View.asp)>. Acesso em: dez 2009.

Neste Capítulo, descrevem-se os resultados das análises realizadas para o tema “biorrefinarias: rota termoquímica”, apresentando-se inicialmente o panorama mundial e nacional do tema, os tópicos tecnológicos e os setores que serão mais impactados pelo seu desenvolvimento. Na sequência, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo *portfolio* tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010-2030. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas tecnológicos e do *portfolio*, com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o Brasil. Em seguida, identificam-se os condicionantes para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas tecnológicos e *portfolio* estratégico.

## 2.1. Panorama mundial da rota termoquímica

O futuro reserva inúmeros desafios para a indústria de refino. Entre os fatores responsáveis por estes desafios, destacam-se: (i) aumento crescente das preocupações com o meio ambiente; (ii) políticas e regulação governamental; (iii) altas expectativas dos consumidores com relação aos combustíveis; e (iv) competição global<sup>7</sup>.

As mudanças climáticas globais (MCG) são cada vez mais vistas como o mais grave de todos os problemas ambientais da humanidade e podem vir a ser o maior desafio já enfrentado pela indústria de petróleo e gás. A recente divulgação dos “Sumários para Tomadores de Decisão” dos documentos dos Grupos 1, 2 e 3, do “4º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima (IPCC)” (2007a; 2007b; 2007c), aliada à concessão do prêmio Nobel da Paz de 2007 ao IPCC e a Al Gore, por suas ações em prol da divulgação da problemática das MCG<sup>8</sup>, vem causando um grande impacto na opinião pública. Isto, provavelmente, resultará na adoção de medidas adicionais às já adotadas com a ratificação do Protocolo de Quioto<sup>9</sup> para tentar mitigar este problema.

A combinação de regulações, tanto para limitar as emissões provenientes da utilização dos combustíveis derivados de petróleo, quanto para limitar as emissões das refinarias com relação a poluentes locais, como, por exemplo, óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), particulados e gases de efeito estufa (GEE) como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano

---

<sup>7</sup> American Petroleum Institute. API, 2000; 1999; Perissé, 2007.

<sup>8</sup> Nobel Foundation, 2007.

<sup>9</sup> United Nations Framework Convention on Climate Change, 2007.



(CH<sub>4</sub>) e outros, fazem da indústria de petróleo uma das mais reguladas do mundo<sup>10</sup>. Os consumidores, em última análise, são os responsáveis pela demanda dos derivados de petróleo e estão exigindo, cada vez mais, combustíveis seguros, menos poluentes, de alto desempenho e a preços acessíveis<sup>11</sup>. Ademais, as escolhas dos consumidores com relação à tecnologia da próxima geração de veículos (híbridos elétricos a diesel ou gasolina, híbridos plug-in, flex fuel, gás natural veicular, célula a combustível, etc.) influenciarão decisivamente o setor de refino de petróleo.

A competição global tem levado à reestruturação da indústria de refino. O número de refinarias diminuiu dramaticamente desde 1980, sendo que as que permaneceram operando possuem maior capacidade e eficiência. As refinarias têm lidado com os impactos econômicos causados por mudanças no preço do petróleo, variação na sua qualidade e períodos de baixas margens de lucro, enquanto atendem a uma demanda crescente de produtos refinados com especificações cada vez mais restritivas. No futuro, a indústria de refino precisa continuar mantendo este balanço entre demanda por maiores quantidades de produtos cada vez melhores e lucratividade<sup>12</sup>

Os principais desafios da indústria de refino podem ser assim resumidos: (i) regulações ambientais cada vez mais restritivas; (ii) exigência de combustíveis cada vez mais limpos; (iii) globalização; (iv) aumento da produção de derivados a partir de petróleos de qualidade declinante; (v) incerteza sobre as escolhas dos consumidores; (vi) pressões crescentes para a redução de emissões de GEE; (vii) busca da sustentabilidade; e (viii) atuação pró-ativa com relação à opinião pública, ao meio ambiente e às mudanças climáticas globais; (ix) adoção maciça de matérias primas alternativas ao petróleo, tais como biomassa e carvão<sup>13</sup>. A seguir, analisam-se os esquemas de refino que podem ser utilizados para vencer tais desafios, avaliando-se qual das opções tem maior probabilidade de ser adotada.

### 2.1.1. Cenários para a indústria do refino

Os futuros esquemas de refino podem assumir diversas configurações que vão desde esquemas tradicionais, baseados em hidrorrefino, até esquemas inovadores, que utilizam gás natural, biomassa e resíduos e integram processos de pirólise, gaseificação, síntese química, como por exemplo, o processo Fischer-Tropsch (FT), fermentação e biorrefino. O Department of Energy (DOE) dos EUA incentivou uma parceria entre as indústrias de petróleo para identificar as necessidades dessa indús-

<sup>10</sup> American Petroleum Institute. API, 2000.

<sup>11</sup> American Petroleum Institute. API, 2000; 1999; Perissé, 2007.

<sup>12</sup> American Petroleum Institute. API, 2000, 1999.

<sup>13</sup> American Petroleum Institute. API, 2000.

tria na área de pesquisa e desenvolvimento. Esta parceria, chamada “Petroleum Refining Industry of the Future”<sup>14</sup> foi encerrada após a geração de dois documentos com a visão da indústria de refino americana sobre o futuro do refino<sup>15</sup>.

Segundo a visão descrita nos referidos documentos, em 2020, a indústria de refino terá evoluído por meio de melhorias contínuas relativas ao uso eficiente da matéria prima, ao desempenho ambiental das refinarias e de seus produtos e à confiabilidade e segurança das instalações de refino. As refinarias terão uma operação mais simples e utilizarão processos bem compreendidos em seus fundamentos. Para alcançar esta visão será necessário atuar em três vetores estratégicos: (i) eficiência energética e melhoria de processos; (ii) desempenho ambiental; e (iii) tecnologias de inspeção e materiais.

Para melhorar a eficiência energética dos processos, as refinarias integrarão tecnologias avançadas com baixa intensidade energética e economicamente viáveis, como, por exemplo, separações, catalisadores, sensores e controladores, biotecnologia, entre outras tecnologias. O resultado será uma refinaria altamente flexível e eficiente que poderá produzir uma maior variedade de produtos a partir de crus de qualidade variável e de cargas não convencionais. As refinarias aproveitarão melhor as oportunidades de geração ou co-geração de energia para venda, o que aumentará sua lucratividade. Haverá uma utilização crescente de processos biológicos, como por exemplo, bioprocessamento de petróleo, biotratamento de águas residuais, biorremediação de solos, etc.

Tendo em vista a melhoria de seu desempenho ambiental, a indústria de refino buscará a redução de suas emissões. Todas as etapas do processo produtivo (produção, armazenamento e transporte) estarão sob controle através da utilização de sensores para evitar ou detectar e corrigir emissões de poluentes. As emissões veiculares serão reduzidas através de uma combinação de novas regulações e melhorias no projeto dos veículos, dos sistemas de transporte e das formulações dos combustíveis. Uma abordagem de análise de ciclo de vida (LCA) será utilizada para minimizar a poluição de todo o processo, do refino ao uso final no veículo. Novas tecnologias de inspeção e de materiais reduzirão o custo de manutenção, aumentarão a segurança industrial e a vida útil dos equipamentos. As tecnologias de inspeção serão globais, em linha, não-invasivas e em alguns casos, operadas remotamente e os equipamentos serão altamente instrumentados para monitorar sua integridade estrutural.

O US Department of Energy (DOE) também patrocina um programa chamado “Vision 21”<sup>16</sup> com o objetivo de fomentar o desenvolvimento de uma planta modular capaz de produzir energia elétrica,

---

<sup>14</sup> US Department of Energy. DOE, 2007c.

<sup>15</sup> American Petroleum Institute. API, 2000, 1999.

<sup>16</sup> US Department of Energy. DOE, 2007d.



calor, combustíveis e matérias primas, a partir de diversos insumos como carvão, petróleos pesados, gás natural, biomassa e resíduos, sem emitir poluentes locais e utilizando sequestro de carbono, para diminuir a emissão de gases de efeito estufa<sup>17</sup>. Esse programa foi concebido originalmente para viabilizar a utilização das reservas de carvão dos EUA, porém, seus objetivos foram evoluindo e, atualmente, são bastante ambiciosos e, se forem atingidos, poderão revolucionar a indústria de combustíveis e de energia nos próximos 15 anos. Esse programa visa ao desenvolvimento de um conjunto de tecnologias modulares que podem ser interconectadas de diversas formas para gerar os produtos desejados (energia elétrica, calor, combustíveis, etc.) a partir de diversos insumos. As eficiências esperadas são 60% para conversão de carvão em eletricidade, 75% para conversão de gás em eletricidade e 75% para produção de H<sub>2</sub> a partir de carvão.

Algumas tecnologias utilizadas nos módulos já estão sendo desenvolvidas fora deste programa e incluem: combustão com baixa emissão de poluentes, gaseificação, fornos e trocadores de calor de alta eficiência, turbinas a gás avançadas, células a combustível, e síntese de combustíveis. Outras tecnologias críticas e técnicas de integração de sistemas serão desenvolvidas durante o projeto. Quando os sistemas desenvolvidos neste projeto forem combinados com sistemas de captura de dióxido de carbono e posterior reciclo ou sequestro, seu impacto ambiental será minimizado. A Figura 2.1 mostra um dos esquemas que uma planta do projeto “*Vision 21*” poderia utilizar.

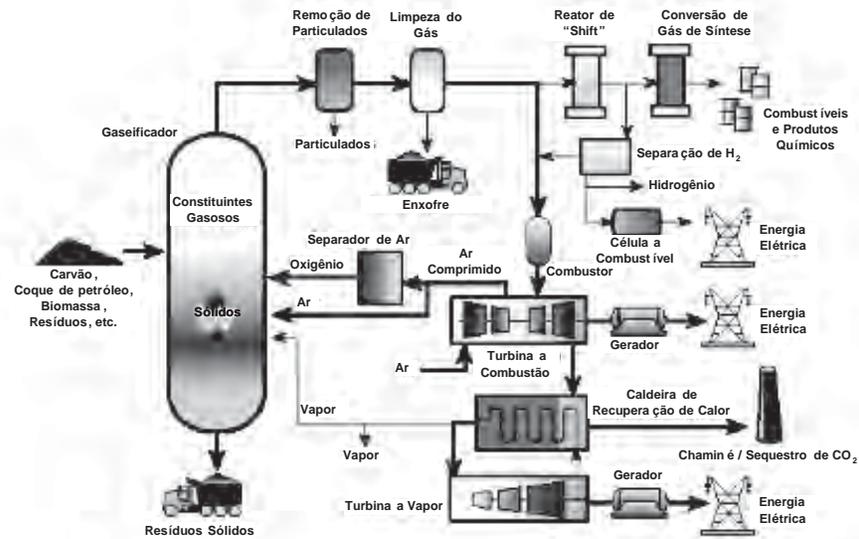
As tecnologias mais importantes que estão sendo desenvolvidas neste projeto são: (i) combustão e trocadores de calor de alta temperatura; (ii) gaseificação com flexibilidade de matéria-prima; (iii) turbinas com flexibilidade de combustíveis; (iv) células a combustível; (v) processos químicos para transformação de hidrocarbonetos gasosos em combustíveis líquidos, também conhecidos como processos “*gas-to-liquids*” (GTL)<sup>18</sup>.

É importante enfatizar que os objetivos deste programa são muito ambiciosos, uma vez que combinam eficiência térmica muito alta, emissões de poluentes próximas a zero e custos competitivos num prazo bastante reduzido. Alcançar esses objetivos exigirá saltos de desenvolvimento (*breakthroughs*) em várias tecnologias, tanto com relação aos seus custos quanto com relação ao seu desempenho técnico<sup>19</sup>.

<sup>17</sup> US Department of Energy, DOE, 2007d; Moure, 2002d.

<sup>18</sup> US Department of Energy, DOE, 2007d.

<sup>19</sup> Moure, 2002d; Moure, 2002b; Moure, 2002c.



**Figura 2.1:** Possível esquema de uma planta do projeto “Vision 21” do US DOE

Fonte: Adaptado de Department of Energy, DOE (2007)

Outro programa patrocinado pelo US Department of Energy (DOE) é o Biomass Program<sup>20</sup>, cujo foco é o desenvolvimento de tecnologias para a produção de biocombustíveis, bioprodutos e bioenergia. Este programa tem como meta principal a produção de etanol a partir de lignocelulose, mas para isto, estabelece como um de seus objetivos a implementação de biorrefinarias, que na visão do DOE são plantas que convertem biomassa em combustíveis, produtos químicos e energia elétrica. Além dos processos bioquímicos (hidrólise enzimática, fermentação, etc), as biorrefinarias podem utilizar processos termoquímicos, como por exemplo, pirólise para geração de bio-óleo ou gasificação seguida de síntese química através do processo (Fischer-Tropsch), para geração de biocombustíveis. Uma descrição detalhada dos processos de biorrefino pode ser encontrada em Huber et al. (2006) e uma compilação das companhias que estão desenvolvendo tecnologias de biorrefino pode ser encontrada em Hayes (2007).

Erickson (2007) descreve os processos termoquímicos que podem ser empregados em uma biorrefinaria. O aprimoramento desses processos cria a possibilidade do co-processamento dos produtos em uma refinaria convencional de petróleo, o que pode propiciar uma implementação mais rápida da utilização de biocombustíveis sem que isto se oponha à indústria do refino<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> US Department of Energy, DOE, 2007a.

<sup>21</sup> Szklo e Schaeffer, 2006.



Um estudo realizado pelo Instituto Mexicano del Petróleo em 2001<sup>22</sup> para direcionar suas atividades de pesquisa e desenvolvimento até o horizonte de 2025 desenvolveu três cenários para a indústria de refino: inercial, incremental e inovador, resumidos no Quadro 2.1, a seguir.

**Quadro 2.1:** Cenários para a indústria de refino construídos pelo IMP

Cenário	Matéria-prima	Mercado	Processos	Foco
Inercial (visão predominante entre os refinadores)	Proporção crescente de petróleos pesados	- Combustíveis tradicionais com especificações mais rigorosas - Mercado crescente	Tradicionais.	Rentabilidade.
Incremental (visão compartilhada por refinadores, empresas de engenharia e de catalisadores, indústria automobilística e agências governamentais)	- Petróleos pesados - Gás natural	- Hidrogênio como combustível; - Mercado crescente.	- Uso de tecnologias comprovadas; - Compactação de equipamentos; - Pré-tratamento do petróleo nos campos de produção.	Integração com petroquímica.
Inovador	- Petróleos pesados; - Gás natural; - Carvão; - Biomassa; - Resíduos.	Novas tecnologias automotivas.	- Mudança de paradigmas tecnológicos e produção de energia renovável; - Gaseificação completa do cru.	Mínimo impacto ambiental.

Fonte: IMP, 2001.

No cenário “inercial”, utiliza-se o pré-tratamento do petróleo (dessalgação e hidrotratamento) e as destilações atmosférica e a vácuo são substituídas por destilação catalítica envolvendo craqueamento e hidrodesulfurização. O craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) opera com uma conversão maior a olefinas para alimentar as unidades de alquilação, dimerização e isomerização esquelética que produzirão gasolina de alta qualidade. A reforma catalítica opera com alta seletividade a compostos com oito átomos de carbono, também para aumentar a octanagem da gasolina.

O fundo de barril pode ser processado pela unidade de coqueamento retardado, pela unidade de redução de viscosidade ou pela unidade de hidroconversão. O hidrogênio é gerado pela unidade de reforma a vapor. A refinaria possui um alto grau de automação e o controle de processos é realizado em linha. Os passivos ambientais são minimizados<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> IMP. Prospectiva de la investigación y el desarrollo tecnológico del sector petrolero al año 2025. México, 2001.

<sup>23</sup> Moure, 2002a; Moure, 2002b; Moure, 2002c; Moure, 2002d.

Já no cenário “incremental”, o pré-tratamento do petróleo ocorre no campo, com a utilização de ultra-som, microondas, etc. A corrente composta por hidrocarbonetos com um ou dois átomos de carbono ( $C_1$ - $C_2$ ) é convertida a álcoois via oxidação seletiva (petroquímica). O gás liquefeito de petróleo (GLP) é convertido a gasolina via alquilação e polimerização. Os destilados são hidrotratados em reatores de lama com nanocatalisadores. O óleo diesel hidrotratado é submetido a um processo de acabamento por biodessulfurização. Já a gasolina de FCC, após o hidrotratamento, é submetida a um processo de acabamento via oxidação catalítica. Para o fundo de barril, utilizam-se a gaseificação para produção de Hidrogênio e a conversão de coque a fibra de carbono (petroquímica). O hidrogênio também é produzido via gaseificação e reforma a vapor. O gás natural também é utilizado para produzir hidrogênio e combustíveis líquidos através do processo FT. A refinaria possui elevada automação e controle de processo em linha, com um alto grau de compactação de seus equipamentos (*engineering intensification*). Os passivos ambientais são minimizados. Vale ressaltar, porém, que não são consideradas alternativas para a captura e o sequestro de  $CO_2$  neste cenário<sup>24</sup>.

No terceiro cenário – “inovador”, o petróleo é gaseificado para produzir hidrocarbonetos com cadeias de um a quatro átomos de carbono ( $C_1$ - $C_4$ ), com grande quantidade de olefinas. A gaseificação também é utilizada para produzir hidrogênio. A biomassa é gaseificada e o gás de síntese obtido é utilizado para gerar combustíveis líquidos pelo processo Fischer-Tropsch. A refinaria produz eletricidade através da co-geração com vapor para aumentar a sua rentabilidade. São utilizadas algumas iniciativas para o sequestro de  $CO_2$ <sup>25</sup>.

O cenário “inovador” poderia, ainda, incluir algumas rotas que visariam à utilização de matérias primas alternativas, à agregação de valor e à introdução de combustíveis alternativos. O carvão é matéria prima cuja importância de sua gaseificação vem crescendo, principalmente na China, onde anunciam-se investimentos de cerca de 120 bilhões de dólares em rotas CTL (*coal-to-liquids*) para gerar diesel. A partir da síntese de Fischer-Tropsch, parafinas seriam produzidas e estas sofreriam hidroisomerização para gerar lubrificantes do tipo IV, de grande valor agregado. Estudos primários revelam ser esta a tecnologia mais viável de produção de lubrificantes de alto desempenho. Por outro lado, as grandes trocas térmicas envolvidas na síntese de Fischer-Tropsch, uma reação altamente exotérmica, poderiam ser usadas para gerar energia elétrica em combinação com a queima de um “tail gas” formado na própria síntese. Finalmente, há que se considerar a possibilidade do mercado buscar combustíveis alternativos à gasolina e ao diesel. Aparentemente, o combustível alternativo mais indicado seria o dimetiléter (DME), um gás polivalente capaz de substituir tanto o GLP, por suas propriedades de queima, quanto o diesel, por apresentar um índice de cetano superior a 60.

---

<sup>24</sup> Moure, 2002a; Moure, 2002e.

<sup>25</sup> Moure, 2002a; Moure, 2002e.



DME, ademais, queima mais limpo que o diesel tradicional, não gerando fuligem ou particulados por não apresentar ligações carbono-carbono em sua molécula.

Os cenários “inercial” e “incremental” são semelhantes ao utilizado no programa tecnológico do US Department of Energy (DOE): “Petroleum Refining Industry of the Future”<sup>26</sup>. Já o cenário “inovador” é semelhante ao definido pelo Programa “Vision 21”<sup>27</sup>, também publicado por aquele Departamento americano.

### 2.1.2. Produção científica e propriedade intelectual

O panorama mundial da produção científica e propriedade intelectual sobre o tema “Biorrefinarias: rota termoquímica” foi elaborado a partir de levantamento direto em duas bases de dados internacionais de referência: (i) Web of Science, para o levantamento da produção científica<sup>28</sup>; e (ii) Derwent Innovations Index, para o levantamento de patentes<sup>29</sup>. Esses levantamentos abrangeram diversos termos de busca, gerais e específicos por tópico tecnológico, e cobriram o período 1998 – 2009<sup>30</sup>.

Com o objetivo de conferir maior abrangência ao estudo bibliométrico, selecionaram-se termos gerais relacionados ao tema, como por exemplo, “*biomass thermochemical conversion*”, e alguns termos específicos extraídos da proposta conceitual do National Renewable Energy Laboratory (NREL) dos EUA, como por exemplo “*biomass pyrolysis*”. As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “*topic*” (TS) e “*year published*” (PY).

A Tabela 2.1, mostra os termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes e os resultados agregados por termo. Considerando-se o período 1998-2009 e utilizando-se a estratégia apresentada na Tabela 2.1, foram identificadas 7.903 publicações científicas e 4.802 patentes.

<sup>26</sup> US Department of Energy. 2007.

<sup>27</sup> US Department of Energy. 2007.

<sup>28</sup> ISI Web of Science. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

<sup>29</sup> Derwent Innovations Index. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

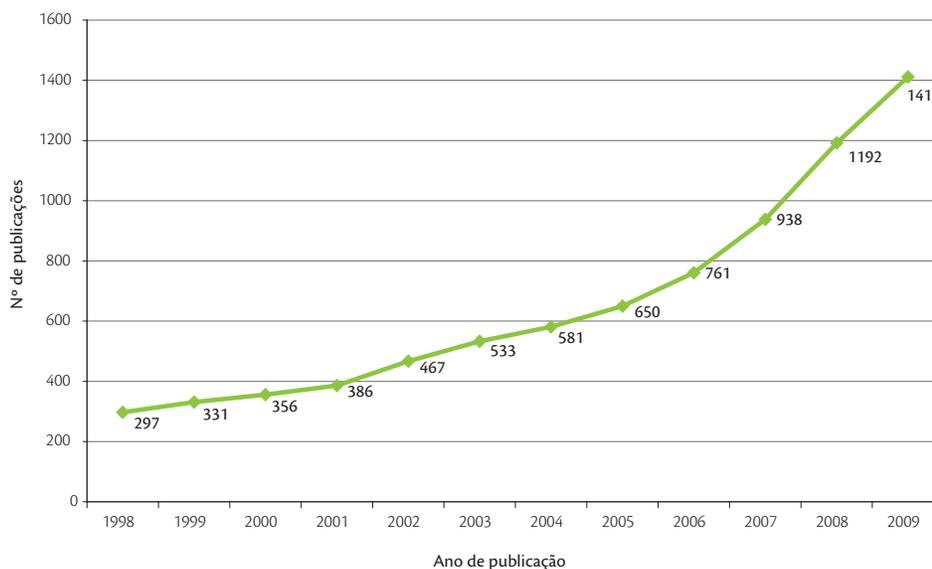
<sup>30</sup> Almeida, M.F.L. Produção científica e propriedade intelectual em biorrefinarias – rota termoquímica :1998-2009. Texto para discussão. Mimeo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. GGEE. Dez 2009.

**Tabela 2.1:** Termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes no tema “biorrefinarias: rota termoquímica”

Ref.	Termos da estratégia de busca	Número de publicações (Web of Science)	Número de patentes (Derwent Innovations Index)
#1	TS=biomass chemical conversion OR TS=biomass chemical process* OR TS=biomass thermochemical process* OR TS=biomass thermochemical platform OR TS=biomass thermochemical conversion	1.008	694
#2	TS=biomass gasification	1.921	1.404
#3	TS=biomass pyrolysis	2.348	479
#4	TS=Fischer-Tropsch OR TS=Fischer Tropsch	2.284	2.581
#5	TS=biomass chemical* OR TS=biomass fuel* OR TS=biomass product*	37.374	11.384
#6	#1 AND #5	2.860	689
#7	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #6	7.903*	4.802*

**Nota:** (\*) Resultado da estratégia de busca abrangendo todos os termos com o operador booleano OR, e eliminando os documentos em duplicata. Campo TS= tópico (mais abrangente, do que o campo TI=título).

A Figura 2.2 mostra a evolução do Número de publicações científicas sobre “biorrefinarias: rota termoquímica” no referido período.

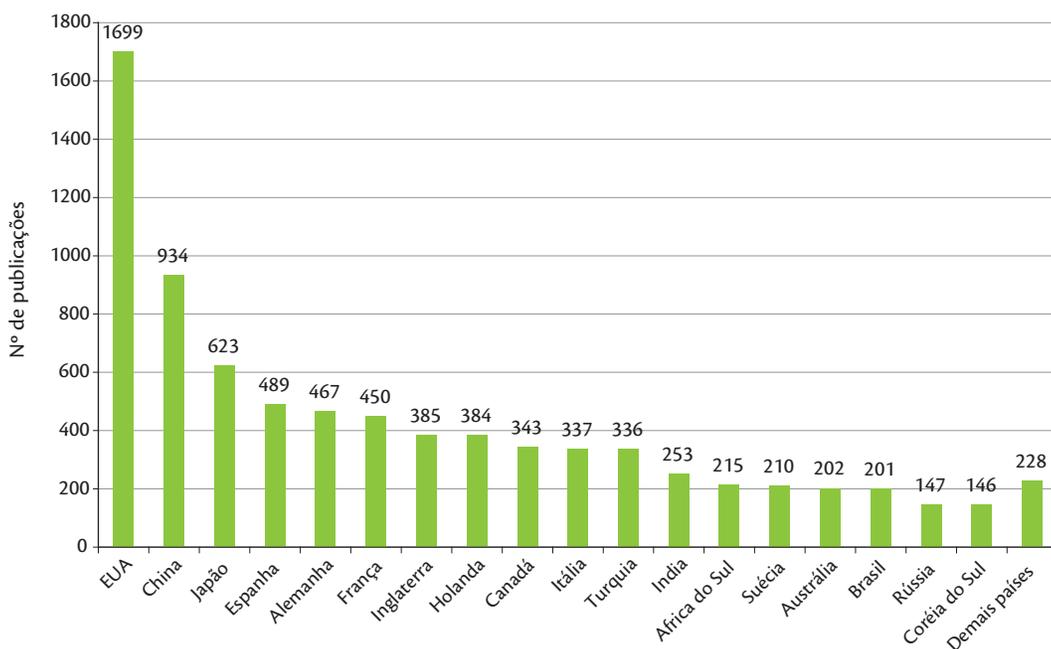


**Figura 2.2:** Evolução do Número de publicações científicas sobre biorrefinarias - rota termoquímica: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Observa-se uma curva ascendente da produção científica deste tema desde 1998, destacando-se os três últimos anos da série, período no qual o número de publicações indexadas na base de dados consultada atingiu a média anual de 1.180 publicações científicas.

A Figura 2.3 mostra os resultados da análise das 7.903 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores. Observa-se que os EUA lideram o *ranking*, com 1.699 publicações, seguidos da China e do Japão, com 934 e 623 publicações, respectivamente, em um total de 101 países.



**Figura 2.3:** Publicações científicas sobre biorrefinarias - rota termoquímica por país: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Observa-se na Figura 2.3 que o Brasil ocupa a 16ª posição do *ranking* mundial de produção científica no tema “biorrefinarias: rota termoquímica”, com 201 publicações indexadas na referida base.

Na sequência, a Tabela 2.2 apresenta o conjunto das 7.903 publicações científicas classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação da referida base.

Constata-se que um percentual significativo de publicações associa-se diretamente a duas áreas específicas: engenharia química e energia/combustíveis (34,86 e 28,37, respectivamente). As demais áreas situam-se em dois patamares distintos: o primeiro, na faixa de 19,33 a 11,16% de publicações classificadas nas respectivas áreas; e o segundo com percentuais na faixa de 8,97 a 4,49. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 125 áreas de conhecimento, confirmando-se a concentração dos temas em poucas áreas, como mostra a Tabela 2.2. Ressalta-se, porém, que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.



**Tabela 2.2:** Publicações científicas sobre biorrefinarias – rota termoquímica, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Engenharia química	2.755	34,86
Energia e combustíveis	2.242	28,37
Físicoquímica	1.528	19,33
Ciências ambientais	1.168	14,78
Biotecnologia e microbiologia aplicada	882	11,16
Química multidisciplinar	709	8,97
Química aplicada	552	6,98
Engenharia ambiental	495	6,26
Engenharia agrícola	458	5,79
Química analítica	355	4,49

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Tabela 2.3 apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

Em um total de 3.648 instituições, a Chinese Academy of Science lidera o *ranking* mundial, com 335 publicações no período considerado, seguido do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), da Espanha, e da University of Kentucky, dos EUA, com 103 e 91 publicações, respectivamente. Destacam-se também a Delft University Technology, a Russian Academy of Science e a University of Tokyo, com respectivamente 75, 73 e 72 publicações no período.

Na sequência, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes referentes ao tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no período 1998 – 2009. Como mencionado, esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index e abrangeu os mesmos termos de busca do levantamento anterior. Foram identificadas 4.802 patentes no referido período.

Os resultados do levantamento de patentes permitiram identificar: (i) as principais áreas de especialização associadas ao conjunto de patentes (critério “top 10”), conforme indexação das áreas pelas próprias bases de dados consultadas; (ii) o número de depositantes e os destaques, enfatizando-se a presença de empresas (critério “top 25”); e (iii) uma análise por código da International Patent Classification (ICP), que revela as subclasses ICP de maior representatividade para posterior monitoramento da evolução da propriedade intelectual no tema nos próximos anos.

**Tabela 2.3:** Publicações científicas sobre biorrefinarias - rota termoquímica, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009

Instituição	País	Número de publicações
National Renewable Energy Laboratories	EUA	90
Lund University	Suécia	79
US Department of Agriculture. Agricultural Research Service (USDA. ARS)	EUA	72
Dartmouth College	EUA	60
Chinese Academy of Science	China	59
Michigan State University	EUA	56
Technical University of Denmark	Dinamarca	56
University British Columbia	Canadá	50
North Carolina State University	EUA	42
Universidade de Vigo	Espanha	38
Chinese Academy of Science	China	335
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	Espanha	103
University of Kentucky	EUA	91
Delft University Technology	Holanda	75
Russian Academy of Science	Rússia	73
University of Tokyo	Japão	72
Tech Univ Denmark	Dinamarca	68
Tohoku University	Japão	68
Indian Institute of Technology	Índia	67
Natural Renewable Energy Laboratory	EUA	66
University of Leeds	Inglaterra	66
University of Utrecht	Holanda	66
University Science&Technology of China	China	65
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Japão	63
Anadolu University	Turquia	60

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009



A Tabela 2.4 apresenta o conjunto das 4.802 patentes classificadas por área de especialização. A pesquisa indicou um total de 23 áreas de conhecimento.

Ao se analisar as informações sobre patentes mostradas na Tabela 2.4, observa-se que percentuais significativos referem-se diretamente à química (95,06%) e às áreas de engenharia e energia/combustíveis (85,44 e 72,97%). Em um segundo patamar, situam-se as áreas: instrumentos/ instrumentação e ciência dos polímeros (27,45 e 21,90%, respectivamente). Neste *ranking (top 10)*, as demais áreas possuem indicadores bem inferiores, na faixa de 8,89 a 3,48 % do total de patentes classificadas segundo o sistema da base Derwent Innovations Index. Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

**Tabela 2.4:** Patentes no tema biorrefinarias - rota termoquímica, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	% de publicações associadas à área
Química	4.565	95,06
Engenharia	4.103	85,44
Energia e combustíveis	3.504	72,97
Instrumentos e instrumentação	1318	27,45
Ciência dos polímeros	1052	21,90
Biotecnologia e microbiologia aplicada	427	8,89
Recursos hídricos	295	6,14
Ciência da Imagem e tecnologia fotográfica	261	5,43
Agricultura	184	3,83
Farmacologia e farmácia	167	3,48

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes, conforme apresentado na próxima Tabela.

**Tabela 2.5:** Patentes no tema biorrefinarias - rota termoquímica, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Depositante	Número de patentes
Chevron USA Inc.	293
Shell International Research Maatschappij B.V.	270
Exxon Mobil Res & Eng Co.	144
Sasol Technology Pty Ltd	135
Institute Français du Pétrole (IFP)	95
Shell Oil Co	92
Conoco Phillips Co	75
ENI Spa	69
Exxon Res & Eng Co	65
Exxon Mobil Res & Eng Co	20

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Observa-se que a empresa líder é a Chevron USA Inc. com 293 patentes, seguida da Shell International Research Maatschappij B.V. com 270 patentes. Os demais depositantes que se destacam no *ranking* são: Exxon Mobil Research & Engineering Co. com 144 patentes e a Sasol Technology Pty Ltd. com 135 patentes. A busca indicou um total de 4.268 depositantes.

Vale destacar, entretanto, que uma busca delimitada pelo campo “Assignee Codes” permite revelar um pouco mais sobre a concentração de poucas empresas no *ranking* mundial de patentes neste tema. A Tabela 2.6 apresenta os resultados desta busca.



**Tabela 2.6:** Patentes no tema “biorrefinarias: rota termoquímica”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Código do depositante	Empresa, instituição ou pesquisador	Número de patentes
CALI-C	Chevron	307
SHEL-C	Shell	290
ESSO-C	Exxon	219
SASO-C	Sasol Technology	152
INSF-C	Institute Français du Pétrole	105
CONO-C	Conoco	96
SHAN-N	Shangai Yankuang Energy	82
ENIE-C	ENI	72
OREA-I	Orear, D.J.	55
MITO-C	Mitsubishi	54

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Na Tabela 2.6, o código CALI-C aparece em 1º lugar, perfazendo 307 patentes, em um total de 4.802 patentes e 2.965 códigos de depositantes. Vale destacar que no levantamento anterior a Chevron situou-se também em 1º lugar, mas com um número inferior de patentes. Na sequência, a Tabela 2.7 mostra os resultados da análise das 4.802 patentes segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP).

**Tabela 2.7:** Patentes no tema “biorrefinarias - rota termoquímica”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
C10G-002/00	652
C10J-003/002	544
C07C-027/00	461
C10B-053/00	452
C07C-001/04	448
C10B-053/02	407
C07C-001/00	403
C10G-000/00	310
C07C-027/06	303
B09B-003/00	300

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Na análise das patentes PR código da ICP, constatou-se que as subclasses ICP de maior representatividade são: C10G – “craqueamento de óleos hidrocarbonetos; produção de misturas hidrocarbonetos líquidos”, C10J – “produção de gasogênio, de gás de água, de gás de síntese a partir de matérias carbonáceas sólidas, ou de misturas contendo esses gases”, C07C – “compostos acíclicos ou compostos carbocíclicos”, C10B – “destilação destrutiva de substâncias carbonáceas para produção de gás, coque, alcatrão ou substâncias similares” e B09B – “eliminação de resíduo sólido”.

Buscou-se mostrar indicadores bibliométricos de patentes e publicações científicas associados ao tema “biorrefinarias; rota termoquímica”, foco deste Capítulo. Vale destacar, entretanto, que qualquer resultado de uma análise bibliométrica tem caráter apenas indicativo, recomendando-se seu cruzamento posterior com outras informações e análises referentes aos tópicos associados ao tema (Seção 2.3).

Recomenda-se ainda que os tópicos gerais aqui abordados, bem como específicos, deverão ser objeto de monitoramento tecnológico em bases de dados internacionais de referência, como as que foram acessadas neste estudo.



## 2.2. Panorama nacional da rota termoquímica

No caso do Brasil, apesar da grande participação da biomassa, o petróleo ainda é a principal fonte de energia primária, com uma participação de 37,7% na matriz energética brasileira em 2006, o equivalente a cerca de 76 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), de um total de 202,9 milhões de tep<sup>31</sup>.

Devido à influência das características do petróleo a ser processado e da demanda do mercado consumidor, a definição do esquema de refino com maior probabilidade de adoção deve ser realizada para uma determinada região. Assim, será analisado o caso do Brasil levando-se em consideração um potencial sítio de localização de uma nova unidade de refino.

Segundo Perissé (2007), o esquema de refino que será adotado no Brasil sofrerá a influência dos três cenários anteriormente descritos, como mostra o Quadro 2.2. O autor ressalta que, devido ao perfil do mercado brasileiro de combustíveis (com um excedente de gasolina e necessidade de importação de óleo diesel), deverá ocorrer uma mudança no esquema de refino utilizado atualmente, que utiliza o FCC para a conversão de gasóleo.

Unidades de hidrocrackeamento deverão ser adicionadas ao parque de refino nacional, aproximando-o do modelo de refino europeu, que é voltado para a produção de óleo diesel. As unidades de coqueamento retardado para processamento de resíduo de vácuo (RV), as quais já fazem parte do planejamento da Petrobras, devem ser implantadas até o início da próxima década, quando devem começar a ser planejadas unidades de hidroconversão de RV ou de Resíduo atmosférico (RAT), dependendo do esquema de refino específico de cada refinaria.

**Quadro 2.2:** Evolução dos esquemas de refino até 2020

Matéria-prima	Mercado	Processo	Foco
Proporção crescente de petróleos pesados: abordando as alterações necessárias para se viabilizar o processamento de petróleos pesados e ácidos conforme os que vêm sendo descobertos no Brasil, sem pré-tratamento no campo	Combustíveis tradicionais e mercado crescente: tratando das questões relacionadas à demanda e às modificações nas especificações que vão gerar a necessidade de alterações nos esquemas de refino	Uso de tecnologias comprovadas: ressaltando o papel fundamental da conversão e do hidrorrefino no cenário futuro brasileiro e mundial, com a utilização de tecnologias comprovadas	Integração com petroquímica e mínimo impacto ambiental: ratificando o compromisso do desenvolvimento sustentado e da integração com a indústria petroquímica
Cenário inercial	Cenário inercial	Cenário incremental	Cenário incremental/ inovador

Fonte: Perissé, 2007.

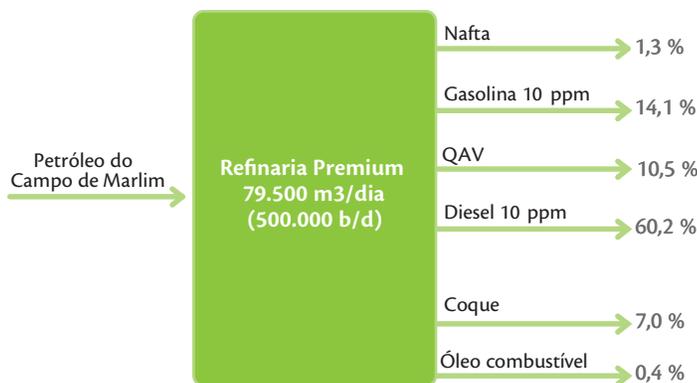
31 Ministério de Minas e Energia, 2007.

Essas unidades devem utilizar leito de lama, com um catalisador de baixo custo, em função da desativação do catalisador devida ao processamento de frações pesadas. Para a produção de gasolina será utilizada uma mistura das seguintes correntes: nafta hidrotratada, isomerizado, reformado, alquilado, dimerizado e nafta craqueada hidrodessulfurizada.

Um esquema inovador de refino está sendo avaliado pela Petrobras para implantação em uma refinaria que deverá ser construída na próxima década, conhecida como Refinaria Premium e que processará o petróleo proveniente do campo Marlim, da Bacia de Campos, no estado do Rio de Janeiro. Esse esquema apresenta flexibilidade para atender o mercado com os níveis de qualidade e o perfil de demanda esperados para 2020.

A Figura 2.4 apresenta os rendimentos que seriam obtidos com a nova configuração, que permitirá uma produção de derivados médios (óleo diesel + querosene de aviação) da ordem de 70% (350.000 bpd) em relação à carga destilada<sup>32</sup>.

Considerando que a necessidade por olefinas leves é uma realidade em qualquer cenário e que, entre elas, o propeno é o que apresenta maior crescimento da demanda, muito vem sendo estudado para desenvolver rotas alternativas de produção de propeno. A mais promissora parece ser a rota MTO (methanol-to-olefin) que utiliza como catalisador uma nova zeólita denominada SAPO-34, cujo peculiar tamanho de poros confere ao processo uma enorme seletividade a olefinas leves, principalmente propeno.



**Figura 2.4:** Perfil de produção de derivados da Refinaria Premium da Petrobras

Fonte: Perissé, 2007.

<sup>32</sup> Perissé, 2007.



Nesta linha, a rota de produção de DME em uma etapa é, sem dúvida, um dos grandes desafios para os catalíticos. DME, que pode substituir GLP e diesel, mas também pode servir como matéria prima para produção de olefinas pela rota MTO, requer catalisadores que combinem o tradicional catalisador de produção de metanol com uma função ácida para desidratação deste, além de características de hidrogenação de  $\text{CO}_2$ .

Com respeito à síntese de Fischer-Tropsch, principal etapa do processo GTL, recentes estudos demonstraram que a melhor utilização do catalisador tradicional (cobalto suportado em alumina) é uma função de conhecimentos em nanocatálise. Quando se utilizaram catalisadores contendo partículas de cobalto em nanofibras de carbono, foi possível determinar que partículas entre 6 e 8 nanômetros apresentavam os melhores resultados de conversão e seletividade. Resta agora o desenvolvimento de metodologias industriais de preparação de catalisadores com partículas tão pequenas.

Ainda abordando Fischer-Tropsch e GTL, o futuro aponta para tecnologias compactas que utilizem o conceito de intensificação de processos. Neste sentido, o desenvolvimento de reatores de microcanais é, sem dúvida, o principal foco de desenvolvimento. Quanto a catalisadores, resta o desafio de saber introduzi-los nos microcanais, conseguindo uma distribuição homogênea e uma boa aderência, de modo a impedir sua lixiviação. Outro ponto interessante reside no fato de que Fischer-Tropsch (FT) não produz gasolina de qualidade (alta octanagem). Assim sendo, um grande desafio está na busca de novos catalisadores capazes de gerar gasolina em FT.

Finalmente, no que concerne a hidrotratamentos, os processos de hidroisomerização parecem representar um excelente campo de pesquisa em catálise. A remoção de parafinas de longa cadeia de óleos lubrificantes é essencial para que sejam obtidas boas propriedades de fluxo a frio. Portanto, platina suportada em ZSM-22, um catalisador bi-funcional que utiliza uma zeólita que apresenta um mecanismo denominado *key-lock*, o qual permite uma isomerização seletiva das parafinas, parece ser o catalisador do futuro. Todavia, sua preparação em escala industrial ainda não é uma realidade, o que abre frente para novas pesquisas em zeólitas alternativas.

Com relação à produção científica nacional no período 1998-2009, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 16ª posição do *ranking* mundial de produção científica, com 201 publicações indexadas na referida base (Ver Figura 2.3). Buscou-se analisar esse conjunto de artigos em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 2.8.

Entre as 240 instituições identificadas nesta busca, destacam-se: a Universidade de São Paulo (49 publicações), seguida da Universidade Federal do Rio de Janeiro, da Universidade Estadual de Campinas,

da Universidade Federal do Ceará e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (com 28, 17, 12 e 11 publicações, respectivamente).

Complementando a visão fornecida pelos indicadores bibliométricos de produção científica, apresentam-se algumas informações de relevo referentes às pesquisas que se encontram em andamento no Brasil, no que tange à rota termoquímica. Pode-se afirmar que o país já têm razoável tradição neste tema, com grupos atuando há bastante tempo, principalmente na área de gaseificação. Destacam-se a Universidade de Itajubá (MG), a Petrobras/Cenpes (RJ) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (SP) como centros âncora, instituições nas quais pesquisas na área de gaseificação vêm sendo realizadas.

Recentemente, foi criado o Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) em Campinas (SP). Sua missão é contribuir para a liderança brasileira no setor de fontes renováveis de energia e de insumos para a indústria química, em especial, o desenvolvimento da cadeia produtiva do bioetanol de cana-de-açúcar, por meio de pesquisa, desenvolvimento e inovação na fronteira do conhecimento. Tal centro criou uma plataforma chamada “biorrefinaria virtual”, cujos objetivos são: (i) otimizar os conceitos e os processos envolvidos numa biorrefinaria; (ii) avaliar diferentes alternativas de biorrefinaria no que se refere à sua sustentabilidade (econômica, ambiental e social); (iii) avaliar o estágio de desenvolvimento de novas tecnologias incluídas na análise.



**Tabela 2.8:** Tabela 2.8: Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “biorrefinarias: rota termoquímica”, classificados segundo a instituição de origem de seus autores: 1998 – 2007 (critério “top 15”)

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	49
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	28
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	17
Universidade Federal do Ceará	Ceará	12
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	11
Universidade Federal de São Carlos	São Paulo	9
Universidade Federal Fluminense	Rio de Janeiro	7
Universidade de Brasília	DF	7
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	5
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	Vários	5
Universidade Estadual Paulista (UNESP)	São Paulo	5
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	4
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	4
Petrobras. Cenpes.	Rio de Janeiro	4
Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	DF	3
Embrapa Soja	Paraná	3
Escola de Engenharia de Mauá	São Paulo	3
Universidade Federal do Espírito Santo	Espírito Santo	3
Universidade Federal do Paraná	Paraná	3
Universidade Federal de Uberlândia	Minas Gerais	3
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas	Rio de Janeiro	3
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia	Amazonas	2
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	2
Centro Universitário Central Paulista (Unicep)	São Paulo	2
Universidade de Brasília	DF	2

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Entre as rotas avaliadas, estão as seguintes:

- rota 1: etanol (1a geração), açúcar, eletricidade;
- rota 2: etanol (2a geração) – hidrólise;
- rota 3: combustíveis líquidos – gás de síntese;
- rota 4: álcoolquímica;
- rota 5: sucroquímica;
- rota 6: lignocelulosequímica;
- rota n: outras rotas.

Como parte dos estudos a desenvolver, foi criada uma Subrede, denominada Subrede 6, totalmente dedicada à rota termoquímica a partir de rejeitos oriundos da indústria sucro-alcooleira. Entre as ações previstas para esta rede, destacam-se: (i) estudar transporte da palha; (ii) estudar adequação da biomassa; (iii) estudar pré-tratamento da biomassa (torrefação, pirólise, outras); (iv) estudar gaseificação; (v) estudar adequação do gás de síntese; (vi) estudar síntese dos combustíveis líquidos; (vii) definir prioridades de modelagem entre as operações; (viii) estudar/definir alternativas de produtos; e (ix) definir conjunto/banco de correlações de propriedades.

Com respeito à área de Fischer-Tropsch, há uma longa tradição de pesquisa no Programa de Engenharia Química da Coppe/UFRJ, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento de catalisadores e à determinação de condições de processo. De modo semelhante, a Petrobras, mais precisamente o Cenpes, há vários anos mantém um forte grupo trabalhando nesta linha, tendo feito associações com empresas do exterior para o desenvolvimento de sua própria linha de catalisadores (Avantium, Albemarle e HTE). Sua planta piloto está em construção e a partida de sua unidade de bancada está prevista para os primeiros dias do mês de janeiro de 2010.

As rotas de estudo e desenvolvimento de dimetiléter (DME) são mais recentes e têm sua base na Rede de Transformações Químicas de Gás Natural, criada em 2001 com apoio da Petrobras. O grupo âncora de DME foi e continua sendo o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), com forte participação do CENPES.

Outros tópicos tecnológicos que serão tratados na Seção 2.3, tais como metanol de CO<sub>2</sub>, dimetilcarbonato, etanol de gás de síntese e pirólise são ainda bastante incipientes no panorama nacional e, embora haja propostas de pesquisa nas áreas, essas representam ações isoladas de alguns grupos.

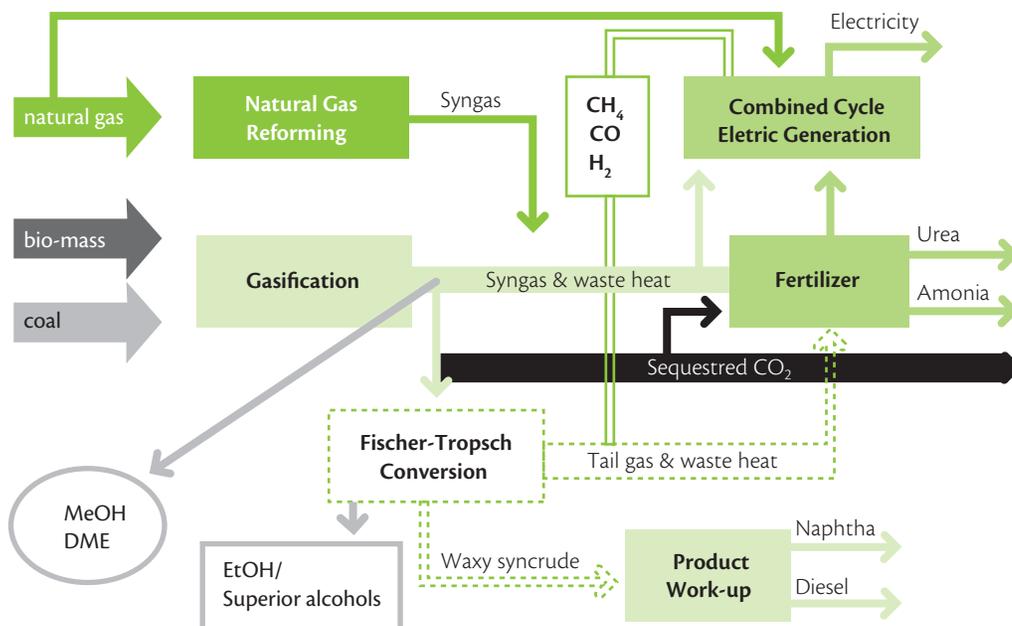
Merece especial destaque a rota HBio, desenvolvida totalmente pela Petrobras/CENPES, que já ultrapassou o estágio de planta piloto, tendo sido realizados testes industriais com grande sucesso. Entre as ações desenvolvidas na Petrobras estão, também, os estudos das rotas hidrocraqueamento catalítico/



hidroisodesparafinação (HCC/HIDW). O hidrocraqueamento catalítico (HCC) é uma realidade e deverá em breve ser introduzida nas refinarias da empresa. Contudo, no que diz respeito à hidroisodesparafinação (HIDW), a rota ainda está sendo desenvolvida, não havendo previsão de sua instalação.

Os cenários descritos na Seção 2.1 deste Capítulo tiveram o objetivo de apresentar uma visão que se acredita ser o caminho para a instalação de uma biorrefinaria no Brasil. De fato, o cenário inovador deixa claro o uso potencial de biomassa como complemento a uma refinaria baseada em petróleo. Nesse sentido, a política de operação da unidade de refino pode variar bastante, aceitando, por exemplo, a biomassa apenas como complemento de uma refinaria totalmente dedicada (e otimizada) para processar petróleo e eventualmente um pouco de gás natural, ou até mesmo uma verdadeira biorrefinaria, onde a biomassa é sua principal fonte de matéria prima e as unidades de processamento visam a otimizar o aproveitamento de distintas fontes de biomassa.

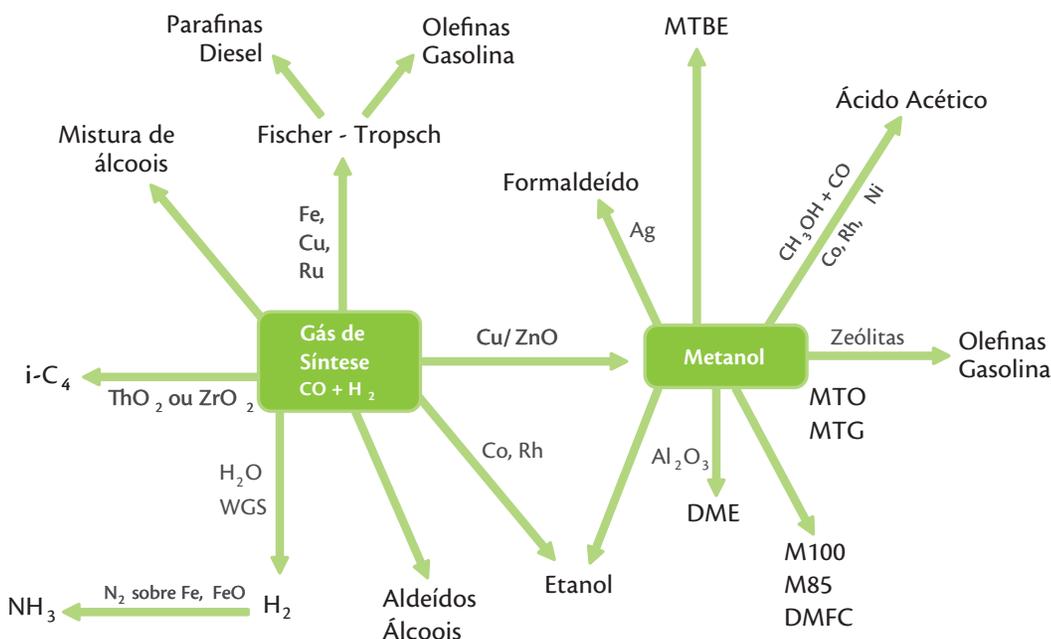
A visão de se ter uma refinaria totalmente dedicada à biomassa é parte de um conceito mais abrangente que se denomina XTL, ou seja, a transformação de qualquer fonte de carbono (X) em frações líquidas de alto valor agregado (TL = *to liquids*). Desta forma, XTL engloba tanto tecnologias tradicionais tais como GTL (*gas-to-liquids*) e CTL (*coal-to-liquids*), como também outras mais inovadoras do tipo BTL (*biomass-to-liquids*) e PTL (*petroleum-to-liquids*). A Figura 2.5 apresenta o conceito de uma refinaria XTL.



**Figura 2.5:** O conceito de uma refinaria XTL (X= gás natural, carvão ou biomassa)

Ao se considerar apenas a parte relativa à biomassa, constata-se que, independentemente de sua origem (sacarínea, amilácea, celulósica ou oleaginosa) ou forma (bagaço, palha, rama seca, óleo, cavacos, etc.), a biomassa deverá sofrer um tratamento termoquímico para transformar-se em gás de síntese ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), segundo uma rota denominada gaseificação. Esta é, pois, a base do conceito de “biorrefinarias: rota termoquímica” – tema estratégico abordado neste Capítulo. A partir do gás de síntese, que, indubitavelmente, é um petroquímico básico, uma extensa árvore de produtos pode ser delineada, conforme apresentado na Figura 2.6, proposta pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) dos EUA.

O fluxograma da Figura 2.6 serviu de base para definição dos tópicos tecnológicos que foram objeto das discussões durante o Workshop realizado em Brasília, nos dias 5 e 6 de dezembro de 2009. Com base neste fluxograma e em outros estudos sobre o tema foram propostas cerca de vinte rotas tecnológicas consideradas mais relevantes. Ditas rotas foram avaliadas e as 15 selecionadas foram consideradas as mais significativas para a área de termoquímica.



**Figura 2.6:** Rotas potenciais a partir de gás de síntese

Fonte: NREL

Vale ressaltar que, na Figura 2.6, não foram levadas em consideração as rotas de fixação de  $\text{CO}_2$ , as quais, entretanto, foram incluídas nos mapas de tecnologias associadas porque se considerou de vi-



tal importância, na atual conjuntura, apresentar uma eventual solução para a grande quantidade de anidrido carbônico gerada pelas rotas termoquímicas. É importante destacar ainda que, neste estudo prospectivo, a árvore de produtos petroquímicos não foi contemplada por razões de espaço, tempo e pertinência ao tema. Entretanto, recomenda-se que, em estudos futuros, tal abordagem seja feita.

### 2.3. Tópicos associados à rota termoquímica

O Quadro 2.3 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema “biorrefinarias: rota termoquímica” que foram selecionados para a construção dos mapas tecnológicos no mundo e no Brasil. Inclui os descritivos dos tópicos, o grau de maturidade de cada tópico no mundo<sup>33</sup> e os setores mais impactados pelo seu desenvolvimento no país. As referências alfanuméricas na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos respectivos mapas tecnológicos deste tema.

Cabe ressaltar ainda que, durante a seleção dos tópicos, houve um cuidado especial em evitar que tópicos fossem representações de áreas de conhecimento. Portanto, cada tópico representa uma tecnologia com grau de maturidade específico.

**Quadro 2.3:** Tópicos associados ao tema “biorrefinarias: rota termoquímica”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T2a	Gaseificação para síntese química	Geração de gás de síntese de biomassa por ação de agente gaseificante.	Crescimento	Agroindústrias; celulose e papel; madeira e móveis; energia; meio ambiente; plásticos.
T2b	Pirólise	Geração de bioóleo por ação térmica.	Embrionário	Agroindústrias; celulose e papel; madeira e móveis; energia.
T2c	Fischer-Tropsch	Síntese de HCs de alto PM (olefinas, diesel, querosene, nafta, lubrificantes, parafinas), álcools superiores, a partir da mistura CO/H <sub>2</sub> .	Maduro	Aeronáutico; automotivo; biocombustíveis; fabricação de produtos químicos; petróleo, gás natural e petroquímica; plásticos.

<sup>33</sup> De acordo com Roussel, P. Technological maturity proves a valid and important concept. *Research Management*. 27(1), January-February 1984; Roussel, P. A., Saad, K. N., & Erickson, T. J. *Third generation R&D: managing the link to corporate strategy*. Cambridge: Harvard Business School Press. 1991.

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T2d	Metanol	Síntese de metanol a partir da mistura CO/H <sub>2</sub> .	Pós-maduro	Aeronáutico; automotivo; biocombustíveis; defesa; fabricação de produtos químicos; energia; petróleo, gás natural e petroquímica; plásticos.
T2e	DME rota direta	Obtenção de DME em uma etapa a partir de gás de síntese.	Embrionário	Fabricação de produtos químicos, incluindo fármacos.
T2f	Etanol e outros alcoóis de alto peso molecular	Síntese de etanol e outros álcoois de alto peso molecular a partir da mistura CO/H <sub>2</sub> por: (i) Fischer-Tropsch modificado; (ii) novos catalisadores.	Embrionário	Aeronáutico; automotivo; agroindústrias; biocombustíveis; petróleo, gás natural e petroquímica; fabricação de produtos químicos; energia; higiene, perfumaria e cosméticos; plásticos.
T2g	HBio	Hidrotratamento de bioóleo de pirólise e outros óleos vegetais gerando diesel diretamente.	Crescimento	Biocombustíveis; petróleo, gás natural e petroquímica; agroindústrias.
T2h	Hidrocrackeamento catalítico (HCC')	Hidrocrackeamento de parafinas para produzir diesel.	Maduro	Petróleo, gás natural e petroquímica.
T2i	Hidroisodesparafinação (HIDW)	Hidroisomerização / desparafinação de frações pesadas para produzir lubrificantes.	Crescimento	Petróleo, gás natural e petroquímica.
T2j	Síntese de amônia	Síntese de fertilizantes por rota tradicional.	Pós-maduro	Petróleo, gás natural e petroquímica; agroindústrias.
T2k	Síntese de uréia	Síntese de fertilizantes por rota tradicional.	Pós-maduro	Petróleo, gás natural e petroquímica; meio ambiente.
T2l	Síntese de metanol a partir de CO <sub>2</sub>	Síntese de metanol usando CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> oriundo de fotólise de água.	Embrionário	Meio ambiente; aeronáutico; automotivo; biocombustíveis; defesa; fabricação de produtos químicos; energia; petróleo, gás natural e petroquímica; plásticos.
T2m	Dimetil carbonato	Síntese de aditivo a partir de DME e CO <sub>2</sub> .	Embrionário	Meio ambiente; petróleo, gás natural e petroquímica.
T2n	Geração de energia	Geração de energia elétrica aproveitando o calor de FT e seu tail gas.	Pós-maduro	Energia
T2o	Intermediários para química fina	Síntese de aditivos, corantes e outros a partir de DME e CO <sub>2</sub> .	Subtópicos em diferentes graus de maturidade	Fabricação de produtos químicos, incluindo fármacos



## 2.4. Mapa tecnológico mundial da rota termoquímica (2010-2030)

A Figura 2.7 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no mundo, visando comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.

Observa-se que no bordo superior esquerdo da Figura 2.7 se encontram tecnologias maduras, como é o caso de Fischer-Tropsch (T2c), metanol (T2d), sínteses de amônia e uréia (T2j e T2k), hidrocrackeamento catalítico - HCC (T2h) e geração de energia a partir de biomassa (T2n). Todas estas tecnologias já existem há vários anos em escala industrial no mundo e utilizam gás de síntese como matéria prima. Portanto, não há uma trajetória tecnológica clássica, já que tampouco se espera um declínio destas nos próximos anos. É evidente que numa planta integrada, na qual o gás de síntese seria gerado por gaseificação de biomassa, a trajetória tecnológica seria totalmente distinta. No entanto, optou-se por dividir as tecnologias em blocos, ou seja, considerando que, uma vez gerado o gás de síntese, as etapas subsequentes não representariam um gargalo tecnológico.

No canto inferior esquerdo destacam-se as tecnologias que de fato apresentam (ou podem apresentar) uma real trajetória tecnológica. Tais tecnologias estão em escala de laboratório e deverão passar por todas as etapas de desenvolvimento até sua comercialização (bancada, piloto, demonstração, scale-up, produção e comercialização). O principal exemplo está na rota de produção de dimetilcarbonato (T2m), um potencial aditivo para gasolina que pode ser produzido a partir de  $\text{CO}_2$ . Sua trajetória tecnológica apresenta uma inclinação acentuada porque se acredita que rotas usando  $\text{CO}_2$  como matéria prima terão grande aceitação mundial, devido a seu impacto na captura de carbono. Algo similar acontece com a síntese de metanol a partir de  $\text{CO}_2$  (T2l), uma rota altamente inovadora que, ademais, utiliza hidrogênio renovável a partir de fotólise de água. O Japão já tem sua planta de demonstração e acredita-se que em pouco a tecnologia será comercializada.

Estágios	Desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no mundo		
	2010 - 2015	2016 - 2025	2026 - 2030
Comercialização	T2c, T2d, T2g, T2j, T2h, T2n, T2k	T2a, T2i, T2e, T2l, T2m, T2b	T2f
Produção/ processo		T2a, T2b	
Inovação/ implantação		T2a, T2e, T2l, T2m, T2f, T2b	
Scale-up			
Fase demonstração	T2g, T2l, T2e, T2a, T2b	T2i, T2m, T2f	
Fase piloto	T2b, T2m, T2i, T2f		
Pesquisa em bancada	T2e, T2i, T2m, T2f		

**Figura 2.7:** Mapa tecnológico do tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no mundo: 2010 – 2030

Notação: T2a – Gaseificação para síntese química; T2b – Pirólise; T2c – Fischer-Tropsch; T2d – Metanol; T2e – DME rota direta; T2f – Etanol e outros alcoóis de alto peso molecular; T2g – HBio; T2h – Hidrocraqueamento catalítico (HCC); T2i – Hidroisodesparafinação (HIDW); T2j – Síntese de amônia; T2k – Síntese de uréia; T2l – Síntese de metanol a partir de CO<sub>2</sub>; T2m – Dimetilcarbonato; T2n – Geração de energia; T2o – Intermediários para química fina.

Trajetória similar é observada para etanol termoquímico (T2f), rota na qual etanol e outros alcoóis superiores são produzidos a partir de gás de síntese com um catalisador específico ou através de um processo Fischer-Tropsch modificado. Embora a trajetória seja similar ao caso anterior, pois o desenvolvimento ainda está em escala de laboratório, acredita-se que sua implantação seja mais lenta, em função da competição com outras rotas geradoras de etanol, como é o caso do etanol lignocelulósico.

A tecnologia do processo hidroisodesparafinação (HIDW), notada como T2i, tem uma interessante trajetória, que parte do desenvolvimento em bancada e rapidamente sobe para a comercialização. Tal desenvolvimento acelerado deve-se ao fato de que já há muito realizado em maior escala para



HIDW tradicional. No entanto, novos catalisadores zeolíticos apresentando mecanismo *key lock* estão revolucionando esta área de desparafinação. Acredita-se que uma vez seja desengargalada a produção destas zeólitas extremamente sofisticadas, a tecnologia rapidamente chegará ao mercado.

Dimetiléter por síntese direta (T2e) e pirólise (T2b) são casos à parte, que merecem alguns comentários mais detalhados, tanto no que diz respeito ao produto quanto aos processos em si.

O DME é considerado um combustível multipropósito. Ele pode ser usado como substituto do GLP, do diesel, como insumo para geração de petroquímicos (formaldeído e olefinas) e hidrogênio, no transporte do gás natural, em termoelétricas, entre outras aplicações. Este éter pode ser obtido a partir da desidratação do metanol, sendo este gerado via gás de síntese. Este processo envolve duas etapas, bastante conhecidas, sendo a referente à síntese do metanol praticada desde o início do século passado. O DME pode, também, ser gerado em uma única etapa, diretamente a partir do gás de síntese. Este processo, naturalmente, está associado à diminuição de custos de produção e de investimento em comparação com a rota em duas etapas. Vale destacar que este é um processo novo que envolve alguns desafios de cunho tecnológico.

Embora DME a partir de carvão seja uma realidade na China e a partir de petróleo em outros países (Chile e Irã), a rota direta ainda carece de desenvolvimento, ainda que já haja planta piloto funcionando no Japão. De qualquer modo, sua trajetória apresenta uma acentuada inclinação, acreditando-se que tal tecnologia possa ser comercializada no começo da década de 20, ou mesmo antes. Tal inclinação se deve ao fato de que DME representa um combustível que queima limpo, ou seja, não causa emissões de particulados ao sofrer combustão. Além disso, ele próprio é inofensivo, mais ainda se comparado ao metanol. Há uma forte tendência de que DME venha a substituir metanol em muitas de suas aplicações por pressões ecológicas, ou seja, o uso de um combustível/intermediário que queima limpo e que é não-tóxico.

Quanto à pirólise, muito esforço tem sido aplicado, principalmente nos EUA, ao desenvolvimento desta tecnologia, que, basicamente, se propõe a gerar um líquido, também conhecido como bio-óleo, a partir de rejeitos da agroindústria. Este bio-óleo poderia ser transportado através dos dutos de óleo já existentes, diminuindo desta maneira os problemas logísticos clássicos de transporte de biomassa. De novo, já se tem conhecimento de planta piloto e, a partir desta, acredita-se que a tecnologia decolará como o DME, ainda que de modo mais lento.

A rota HBio (T2g), desenvolvida pela Petrobras, merece igualmente um comentário à parte devido a suas peculiaridades. HBio, ao contrário do que se pensa, não é um produto e sim uma tecno-

logia que permite a obtenção de diesel a partir do processamento de matéria prima renovável no esquema de refino de petróleo, através da hidroconversão de óleo vegetal, em processamento conjunto com frações de petróleo em Unidades de hidrotreatamento (HDT). Nas refinarias, o HDT é empregado principalmente para a redução do teor de enxofre e melhoria da qualidade do óleo diesel. No processo HBio, o óleo vegetal, em contato com o catalisador usualmente utilizado no HDT convencional de óleo diesel, sofre craqueamento e hidrogenação em condições controladas de elevadas temperatura e pressão de hidrogênio. Assim, o óleo vegetal é transformado em hidrocarbonetos parafínicos lineares, similares aos existentes no óleo diesel de petróleo, sem a geração de resíduos.

Os compostos parafínicos formados contribuem para a melhoria da qualidade do óleo diesel final, destacando-se o aumento da qualidade de ignição (número de cetano), a redução da densidade e do teor de enxofre. O benefício na qualidade final do produto é proporcional ao volume de óleo vegetal usado no processo. A desvantagem está no maior consumo de hidrogênio e na grande geração de água.

Com esta tecnologia, a Petrobras detém uma nova rota para, em futuro próximo, produzir biocombustíveis, complementando o Programa de Biodiesel, em pleno desenvolvimento, o que amplia a utilização de biomassa na matriz energética, gerando benefícios ambientais e de inclusão social.

A trajetória tecnológica desta rota é peculiar, conforme já comentado. Ela já ultrapassou as etapas tradicionais de desenvolvimento e, como utiliza unidades existentes, já realizou com sucesso testes industriais. Sua implantação depende apenas de decisões econômicas e políticas, não havendo qualquer gargalo tecnológico para ela.

Resta comentar sobre a tecnologia base de todas aquelas que utilizam a rota termoquímica, ou seja, a produção de gás de síntese a partir de biomassa por gaseificação (T2a), principalmente de resíduos. Gaseificação é, em princípio, a conversão térmica de um material orgânico - carvão, petróleo ou seus derivados, biomassa, gás natural - em produto gasoso constituído principalmente de monóxido carbono e hidrogênio. O gás obtido do processo de gaseificação, chamado de gás de síntese, uma mistura de monóxido de carbono e hidrogênio, pode ser utilizado para geração de energia elétrica, de produtos químicos, fertilizantes e combustíveis.

A capacidade mundial de gaseificação, expressa em megawatts térmicos de gás de síntese gerado, atingiu o valor aproximado de 38.400 MWth até o ano de 1999. Entre os anos de 2000 e 2004 o crescimento da capacidade de gaseificação foi limitado por incertezas econômicas e pelo baixo custo do gás natural. Neste período a produção de gás de síntese cresceu cerca de 17,0%, atingindo a capacidade de 45.000 MWth.



No período de 2005 a 2010 houve um crescimento na produção de gás de síntese de aproximadamente 25.000 MWth (55,0% em relação a 2004), com base nas novas plantas já anunciadas. Neste período o crescimento está sendo impulsionado pelas condições econômicas mais favoráveis e pelo aumento dos preços do petróleo e gás natural. As maiores contribuições para o acréscimo de capacidade são das plantas de gaseificação da China (22 de carvão e 2 de coque) com 8500 MWth e da planta da unidade GTL do Qatar (gás natural e 140.000 BPD) com 11000 MWth.

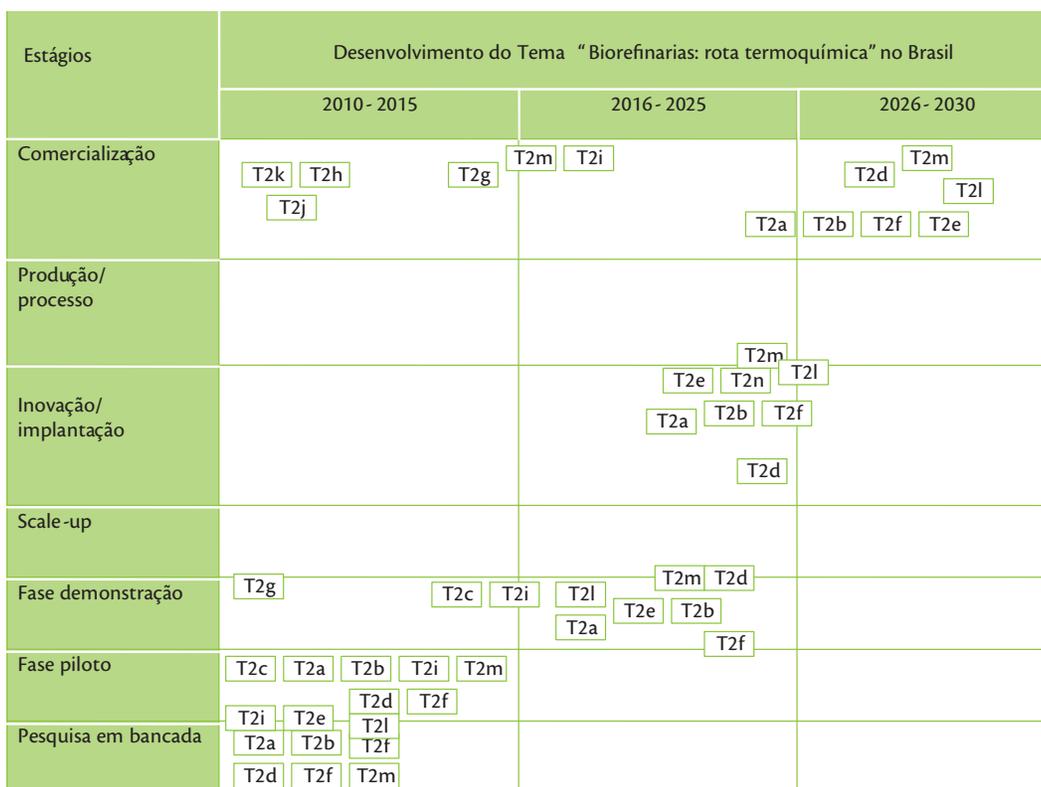
Após o ano de 2010, espera-se crescimento na capacidade de gaseificação pela construção de novas plantas ligadas a projetos de captura de  $\text{CO}_2$  ou impulsionadas pela redução da disponibilidade de petróleo e gás natural a preços baixos. Contudo, a gaseificação de biomassa ainda é muito pequena e representará 0,3% da capacidade esperada para o ano de 2010. O grande volume de biomassa envolvido no processo e a necessidade de transporte por longas distâncias dificultam a construção de plantas de gaseificação de biomassa em escala industrial.

Ainda assim, a trajetória tecnológica do tópico “gaseificação” (T2a) no mundo prevê um crescimento quase exponencial que parte da etapa de demonstração, considerando que já há plantas de gaseificação em Varnamo, na Suécia, utilizando rejeitos de madeira, e na Alemanha, foi construída uma planta pela empresa Choren. Os problemas principais relativos a esta rota estão na etapa de limpeza do gás de síntese e ajuste de sua composição (relação hidrogênio/monóxido de carbono).

## 2.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A Figura 2.8 apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais. A seguir, comentam-se os destaques e pontos críticos do mapa.

Comparando-se as Figuras 2.7 e 2.8, a prospecção para o Brasil é, obviamente, outra. Todavia, as tecnologias de sínteses de amônia e uréia (T2j e T2k) são praticadas há muito no país e permanecem na parte superior, como tecnologias maduras. Já o tópico hidrocraqueamento catalítico - HCC (T2h) permanece no bordo superior, porque a Petrobras é detentora dos direitos desta rota e planeja introduzi-la em breve em suas refinarias.



**Figura 2.8:** Mapa tecnológico do tema "biorrefinarias: rota termoquímica" no Brasil:2010 – 2030

Notação: T2a – Gaseificação para síntese química; T2b – Pirólise; T2c – Fischer-Tropsch; T2d – Metanol; T2e – DME rota direta; T2f – Etanol e outros alcoóis de alto peso molecular; T2g – HBio; T2h – Hidrocrackeamento catalítico (HCC); T2i – Hidroisodessparafinação (HIDW); T2j – Síntese de amônia; T2k – Síntese de uréia; T2l – Síntese de metanol a partir de CO<sub>2</sub>; T2m – Dimetilcarbonato; T2n – Geração de energia; T2o – Intermediários para química fina.

A rota HBio (T2g), desenvolvida no Brasil pela Petrobras, foi considerada em estágio de demonstração, mas sua implementação e comercialização deverá ocorrer antes do final desta década.

Os tópicos "gaseificação" (T2a) e "pirólise" (T2b) estão sendo alvo de desenvolvimento na academia e na Petrobras, de modo que suas trajetórias mantêm as mesmas características do mundo, embora num estágio menos avançado.

Quanto ao tópico "Fischer-Tropsch" (T2c), que no mapa mundial foi considerada madura, no caso do Brasil sua trajetória é peculiar. Esta tecnologia é considerada moeda de troca e seus detentores não a licenciam. Por conseguinte, a Petrobras decidiu colocar grande esforço no seu desenvolvimen-



to e sua planta de bancada com tecnologia própria deverá partir em breve. O scale-up desta está previsto para 2016, embora não haja qualquer previsão para sua comercialização.

Já os tópicos “DME rota direta” e “etanol termoquímico (T2e e T2f) guardam as mesmas características do mundo, com pequena defasagem no caso do Brasil. Há grande esforço colocado no seu desenvolvimento no Brasil e no caso do DME, especificamente, as pesquisas são lideradas pelo Instituto Nacional de Tecnologia (RJ), enquanto que no caso do etanol termoquímica a liderança é da Petrobras.

O caso do metanol (T2d) merece um comentário adicional. Admitiu-se que, no Brasil, seria possível retomar as pesquisas introduzidas pela extinta Acesita Florestal, nos anos 80, que se propunha a fazer metanol de madeira por ação térmica. Esta rota, apresentada no mapa do Brasil, teria que passar pelos estágios clássicos de desenvolvimento.

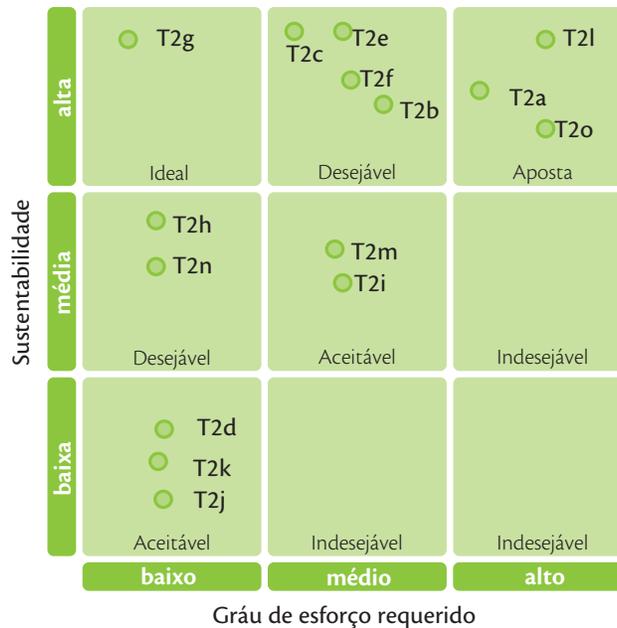
O tópico “hidroisodesparafinação - HIDW” (T2i) impacta diretamente o setor dos lubrificantes especiais sintéticos, de alto valor agregado e utiliza tecnologia já desenvolvida, porém com novos catalisadores, poderia dar um salto da fase de demonstração para a fase de comercialização.

Os tópicos “síntese de metanol a partir de CO<sub>2</sub> (T2l) e “dimetil carbonato” (T2m) são rotas altamente inovadoras e terão, no Brasil, o mesmo tipo de trajetória observada para o resto do mundo. Seu desenvolvimento será fortemente influenciado pela economia ambiental. O mesmo ocorre com a geração de energia (T2n) por queima de gás gerado a partir de gaseificação de biomassa. Esta rota é madura, disponível para compra e sofre concorrência da geração hidrelétrica no país.

A Figura 2.9 representa o portfólio tecnológico estratégico do tema “biorrefinarias: rota termoquímica”, no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 2.8).

Os posicionamentos dos tópicos no portfólio tecnológico estratégico da Figura 2.9, confirmam as trajetórias indicadas nos respectivos mapas tecnológicos do tema no mundo e no Brasil (Figuras 5.7 e 5.8), particularmente no que tange àqueles em posição desejável, cujas indicações de sustentabilidade variam entre alta e média. Os dois nonantes da situação “desejável” contemplam tecnologias de diferentes características. Assim, encontram-se na posição desejável tanto tecnologias inovadoras, como é o caso de “pirólise” (T2b) e “síntese direta de DME” (T2e), que ainda não dispõem de plantas industriais, mas já existem plantas de demonstração, quanto

tecnologias tradicionais com plantas comerciais em operação, conforme ocorre com “Fischer-Tropsch” (T2c) e “HCC” (T2h). Ainda na posição “desejável”, situam-se o tópico “etanol e outros alcoóis de alto peso molecular” (T2f), com indicação de alta sustentabilidade, e o tópico “geração de energia” (T2n), considerado de sustentabilidade média e com baixa exigência de recursos e esforço para sua materialização.



**Figura 2.9:** Portfolio tecnológico estratégico do tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no Brasil: 2010 – 2030

Notação: T2a – Gaseificação para síntese química; T2b – Pirólise; T2c – Fischer-Tropsch; T2d – Metanol; T2e – DME rota direta; T2f – Etanol e outros alcoóis de alto peso molecular; T2g – HBio; T2h – Hidrocraqueamento catalítico (HCC); T2i – Hidroisodesparafinação (HIDW); T2j – Síntese de amônia; T2k – Síntese de uréia; T2l – Síntese de metanol a partir de CO<sub>2</sub>; T2m – Dimetilcarbonato; T2n – Geração de energia; T2o – Intermediários para química fina.

Na Figura 2.9, fica evidente também que a rota HBio (T2g), que já passou as etapas de pesquisa e desenvolvimento e teve testes industriais bem sucedidos, representa o caso ideal. Já na posição aceitável, situam-se os tópicos: “dimetilcarbonato” (T2m); “HIDW” (T2i); “metanol” (T2d); “síntese de uréia” (T2k); e “síntese de amônia” (T2j).

Cabe ressaltar, porém, que os tópicos com maior potencial e que representam as chamadas “apostas” para o país no que tange ao tema objeto deste Capítulo são: uma tecnologia ainda emergente



- gaseificação de biomassa para gerar produtos químicos (T2a) - e outra ainda mais incipiente, que é a hidrogenação de  $\text{CO}_2$  (T2l). A gaseificação de biomassa com fins de geração de energia já existe em escala comercial, contudo sua utilização para a síntese de hidrocarbonetos por Fischer-Tropsch (rota BTL), que demanda um ajuste da relação  $\text{H}_2/\text{CO}$  e uma cuidadosa limpeza dos gases gerados, ainda não é uma realidade comercial.

Vale lembrar que, embora não se tenham discriminado as rotas para o tópico “intermediários para química fina” (T2o), devido a sua abrangência e complexidade, elas também foram consideradas uma aposta, a despeito do fato de que as trajetórias tecnológicas não tenham sido delineadas em ambos os mapas tecnológicos – mundo e Brasil. Considera-se que qualquer rota de química fina a partir de biomassa, onde já se dispõe naturalmente de uma grande sofisticação molecular, está destinada ao sucesso, quando comparada com rotas sintéticas mais tradicionais, que levam a uma economia atômica mais baixa.

## 2.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

Apontam-se nesta Seção os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilizem o desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos. O Quadro abaixo apresenta tais condicionantes no curto, médio e longo prazo.

**Quadro 2.4:** Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “biorrefinarias: rota termoquímica” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
Diminuição das barreiras técnicas; Formação de arranjos cooperativos de pesquisa, como redes, clusters e sistemas locais de inovação; Insumos básicos para P&D; Recursos humanos em nível técnico e graduado.	Legislação ambiental mais restritiva; Exigência de escala de produção; Recursos humanos em nível técnico e graduado; Impactos da química verde e da biotecnologia (estado-da-arte mundial)	Percepção da sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.

Destacam-se para cada período um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância, em função do potencial da geração de novos conhecimentos e inovações no país e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos.

Considerou-se, em princípio, que nos primeiros cinco anos (2010-2015) ainda haverá barreiras técnicas a transpor, e que a formação de redes servirá como base para atingir tal objetivo. Além disso, foi considerado que a formação de recursos humanos é fundamental para gerar uma massa crítica capaz não só de transpor barreiras tecnológicas, como também para operar etapas em escalas de bancada e piloto.

Para a década seguinte (2016-2025), estimou-se ser fundamental o suporte de uma legislação ambiental mais rígida, a qual daria condições de instalação de unidades de demonstração e industriais. A demanda por capacitação continuará nesse período, apenas a atuação das pessoas capacitadas mudará de escala, considerando-se que já haverá plantas industriais no fim dessa década.

Finalmente, nos últimos cinco anos (2026-2030), a percepção da sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas será fundamental para a consolidação do mercado das tecnologias limpas, especialmente as que foram abordadas neste Capítulo.

A visão de futuro construída para o Brasil, no que se refere à geração de novos conhecimentos e inovações no tema “biorrefinarias: rota termoquímica” estará sujeita, portanto, a tais condicionantes, como mostrado no Quadro 2.4. Os investimentos necessários para a construção de novas refinarias, ou para a construção de novas unidades em refinarias já existentes, são muito altos (da ordem de bilhões de dólares) e o tempo de retorno dos investimentos também é elevado (cerca de 10 anos). Portanto, mesmo com investimentos elevados em pesquisa, como os previstos para o biorrefino, a entrada de tecnologias inovadoras neste mercado será gradual. Por isto, o esquema de refino que deve prevalecer num horizonte de 15 anos é o inercial, com a implementação de algumas características do esquema incremental, como a integração com a petroquímica, no final deste período.

No Brasil, unidades de hidrotreamento de correntes intermediárias e produto final devem assumir um papel fundamental no futuro esquema de refino, possibilitando a produção de combustíveis cada vez mais limpos. Para contemplar a necessidade de aumento de conversão de frações pesadas em derivados médios devem ser utilizadas, além de unidades de coqueamento retardado, unidades de hidroconversão de resíduo. Com isso, as refinarias devem ficar mais flexíveis, porém mais complexas. As refinarias também devem integrar seus processos tornando-os mais ecoeficientes, com menor consumo de energia por volume de petróleo processado.



É difícil prever qual esquema de refino será mais utilizado, porém, seja qual for o esquema preferido, sua escolha será baseada em uma busca por maior eficiência, com menores níveis de emissões e rejeitos industriais, produção de derivados compatíveis com as demandas da sociedade e manutenção da viabilidade econômica da indústria do refino.

Independentemente do esquema de refino a ser selecionado, grandes desafios estarão associados ao desenvolvimento do tipo de catalisador para atingir a demanda requerida. Pesquisas em novos materiais, em nanopartículas com atividade catalítica diferenciada bem como em novas zeólitas conduzindo a novos mecanismos de seletividade de forma parecem ser a direção em busca do futuro.

No que concerne a biorrefinarias, particularmente a rota termoquímica, deve-se levar em consideração o fato de que, em termos de biocombustíveis, as rotas de produção envolvem etapas com distintos níveis de maturidade tecnológica, indo desde tecnologias muito maduras (como, por exemplo, Fischer-Tropsch) a outras mais modernas como o hidrocraqueamento catalítico (HCC), passando por etapas híbridas do tipo gaseificação, uma tecnologia madura para a geração de energia que, no entanto, enfrenta sérios desafios tecnológicos de limpeza de gases.

Rotas novas, como é o caso de dimetiléter, apresentam os desafios inerentes à introdução de um novo produto energético no mercado, bem como os tradicionais problemas tecnológicos de sua produção em larga escala.

Considera-se, entretanto, que em relação ao tema “biorrefinarias: rota termoquímica”, a visão de futuro para o país mostra-se bastante favorável. A educação ambiental crescente da população, a postura de líder assumida pelo Brasil no que concerne a biocombustíveis e a abundância de rejeitos de biomassa em território nacional são fatores que fortemente suportam a introdução de uma biorrefinaria no Brasil. A diversidade de produtos oriundos desta, no entanto, é e será assunto de muita controvérsia.





### 3. Alcoolquímica<sup>1</sup>

A alcoolquímica refere-se à utilização de álcool etílico como matéria-prima para fabricação de diversos produtos químicos. No Brasil, percebe-se o ressurgimento da alcoolquímica, implantada no país na década de 1920, mas abandonada quando da consolidação da petroquímica. Esta tendência vem se consolidando devido ao interesse crescente das empresas em investirem em negócios sustentáveis do ponto de vista econômico, ambiental, além do social; à grande valorização dos produtos químicos produzidos a partir de recursos renováveis e ao baixo custo do etanol brasileiro. Vale destacar, que grande parte das atuais iniciativas industriais concentra-se na geração de eteno. Neste Capítulo, apresentam-se claras evidências que existem condições para o surgimento no país de um moderno segmento industrial baseado no etanol como matéria-prima, que compreende não somente a geração do eteno, mas, muitos outros produtos e intermediários químicos de grande interesse comercial.

Busca-se mostrar inicialmente a evolução da alcoolquímica no Brasil em uma perspectiva histórica, desde seu início na década de 20 até o panorama atual, para em seguida descrever os resultados do estudo prospectivo para o tema “alcoolquímica”, considerando-se o período 2010-2030. Apresentam-se os tópicos associados que foram selecionados para fins de orientação estratégica para a futura Rede Brasileira de Química Verde no que tange a este tema, o grau de maturidade dos tópicos tecnológicos em nível mundial e os setores que serão mais impactados pelo seu desenvolvimento no Brasil. Na sequência, descrevem-se os mapas tecnológicos da alcoolquímica em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo portfólio tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010 -2030. Discutem-se ainda os resultados da análise conjunta dos mapas tecnológicos e do portfólio, com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o Brasil. Em seguida, identificam-se os condicionantes para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e portfólio tecnológicos.

#### 3.1. Evolução da alcoolquímica no Brasil: perspectiva histórica

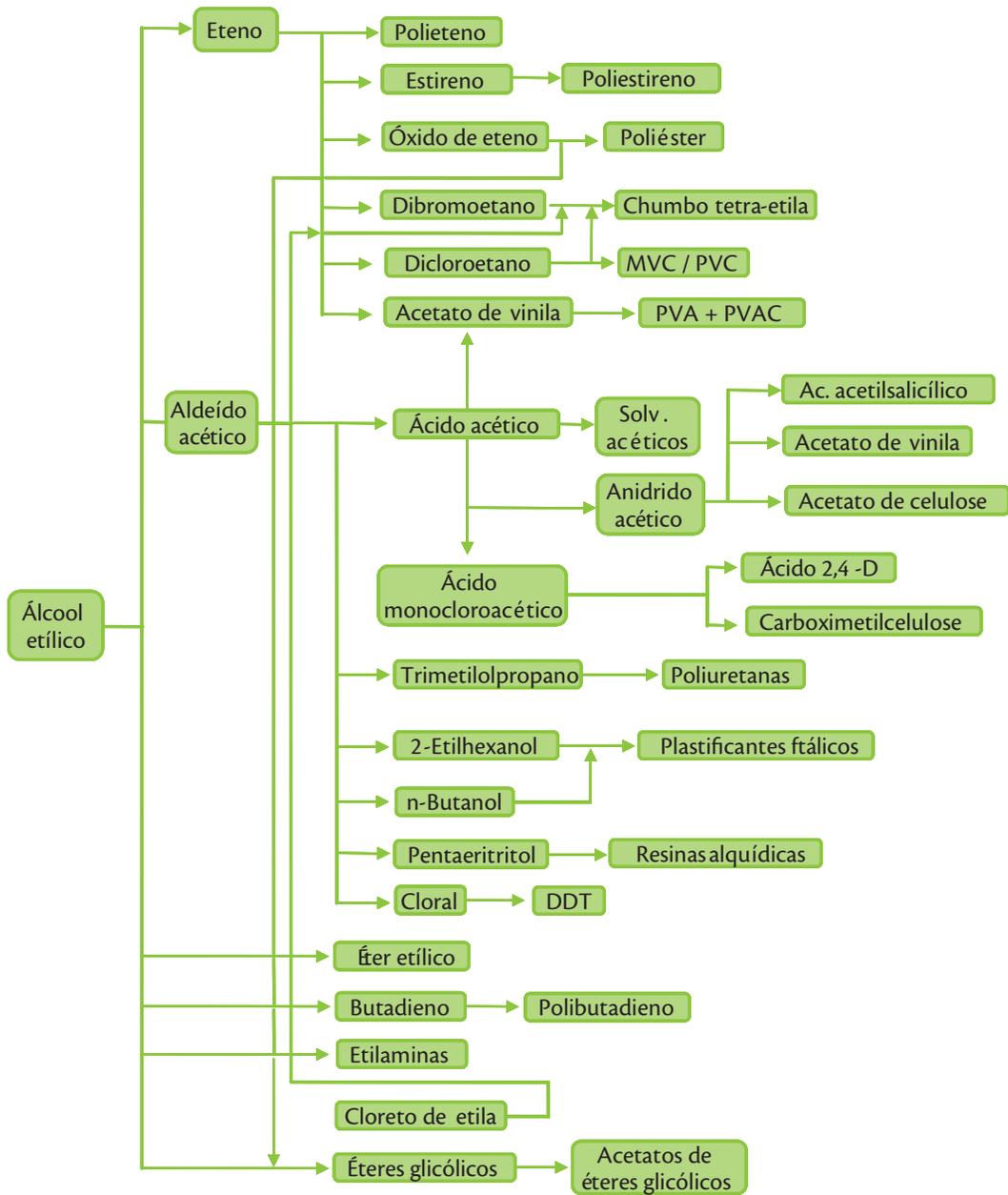
No Brasil, o etanol ou álcool etílico é considerado como insumo para a indústria química desde as primeiras décadas do século 20. As empresas Elekeiroz, Usina Colombina e Rhodia destacaram-se

<sup>1</sup> Este capítulo foi elaborado por Lucia Gorenstin Appel e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo e de Daniela Cruz e Sonia Letichevsky.

neste período pela produção de cloreto de etila, ácido acético, anidrido acético, acetato de celulose e éter etílico. A partir da década de 40, a Fábrica de Piquete (Ministério da Guerra) iniciou a produção de éter etílico e cloreto de etila. Nesta mesma época, a Victor Sence, instalada no estado do Rio de Janeiro, passou a gerar ácido acético, acetato de butila, butanol e acetona. Nas décadas de 50 e 60 houve um crescimento significativo da indústria alcoolquímica. Nesse período, o eteno era gerado a partir do etanol visando complementar a produção das refinarias. Nos anos 70, esse panorama modificou-se com o crescimento da indústria petroquímica, baseado na disponibilidade de matéria-prima e na modernidade tecnológica. Pode-se afirmar que nesse período houve, praticamente, o desmonte dos processos que utilizavam etanol como insumo industrial<sup>2</sup>. A partir de 1975, durante o Proálcool, o Governo Brasileiro passou a incentivar o setor através de subsídios e garantia de fornecimento de matéria-prima. Muitas empresas que haviam encerrado as suas atividades ressurgiram nestas condições. Além disso, muitas unidades novas foram construídas. Na Figura 3.1 é possível ter uma visão das diferentes rotas praticadas na época.

---

<sup>2</sup> Bastos, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. BNDES Setorial, n.25, p. 5-38, mar 2007; Appel et al. Programa de Pesquisas em Alcoolquímica. Instituto Nacional de Tecnologia, v. 1, p. 40, 1986; Ribeiro Filho, F. A. R. A indústria alcoolquímica no Brasil. In: Anais do 1º Congresso Brasileiro de Alcoolquímica. São Paulo, 23 a 26 de junho de 1981.



**Figura 3.1:** Matriz da indústria alcoolquímica no período do Proálcool

Fonte: Ribeiro Filho, 1981.

Vale destacar, que não foram gerados mecanismos específicos voltados para o desenvolvimento de tecnologias, quando do estabelecimento dos incentivos ao setor. Por outro lado, modernos processos alcoolquímicos não estavam disponíveis no mercado internacional. De fato, naquela época o etanol não era considerado combustível pelos países desenvolvidos, nem tampouco matéria-prima para a indústria química. Assim, grande parte das empresas optou por utilizar antigas tecnologias, alguns inclusive sem a proteção de patentes. Evidentemente, essas unidades não agregavam os desenvolvimentos presentes na moderna indústria petroquímica, que conduzissem a processos de maior economicidade. Algumas poucas exceções, no entanto, devem ser citadas. A de maior destaque foi o projeto da Salgema (eteno de etanol visando à obtenção de cloreto de vinila) com base em tecnologia desenvolvida pelo Centro de Pesquisas da Petrobras.

Os incentivos à indústria alcoolquímica tiveram curta duração. A partir de 1982, o preço do etanol foi equiparado ao da nafta petroquímica e em 1984 os subsídios à exportação foram também retirados. As unidades foram progressivamente desativadas, algumas convertidas para o eteno petroquímico, enquanto umas poucas passaram a operar com matéria-prima importada. A valorização do real no final da década de 90 impactou fortemente as unidades remanescentes. Sem dúvida, o baixo investimento em tecnologia, quando da implantação destas unidades, foi um dos fatores que contribuiu para a ruína desse segmento industrial <sup>3</sup>.

Como resultado deste processo, alguns produtos obtidos anteriormente via alcoolquímica passaram a ser importados. Um exemplo emblemático é a importação de ácido acético que acarretou nos últimos três anos (2007, 2008 e 2009) dispêndios de US\$ 56, 53 e 36 milhões<sup>4</sup>. Esta substância, na década de 80, era produzida, no Brasil, por algumas empresas, que supriam totalmente a demanda. Este ácido era obtido via oxidação do acetaldeído, o qual era gerado a partir via oxidação ou desidrogenação do etanol.

Outro aspecto importante que merece destaque nesta retrospectiva da alcoolquímica no Brasil é a participação da academia no seu desenvolvimento durante as décadas de 80 e 90. As atividades de P&D na área de alcoolquímica no Brasil tiveram seu ápice durante o Proálcool, nos anos 80. Vale destacar que, na época as instituições de C&T (ICT) dispunham de poucos mecanismos de financiamento. Assim, obviamente, o volume de investimento em pesquisa era pouco significativo. Apesar disso, um razoável volume de trabalhos foi desenvolvido nas universidades brasileiras sobre este tema no referido período. É preciso salientar, entretanto, que a grande maioria desses trabalhos não foi expressa em termos de registros de patentes, nem indexadas nas bases internacionais

---

<sup>3</sup> Bastos, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. BNDES Setorial, n.25, p. 5-38, mar 2007.

<sup>4</sup> Informações obtidas no Alice-web. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em dez 2009.



de produção científica. Grande parte dos estudos desenvolvidos foi relatada em textos de teses ou em trabalhos técnicos apresentados em congressos nacionais. Essa prática dificulta o emprego dos modernos sistemas de busca bibliográfica e conseqüentemente o levantamento apurado das informações geradas.

Os institutos de pesquisa também participaram desse processo. Como exemplo, pode-se citar o caso do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, onde foi instalado um laboratório dedicado ao desenvolvimento e adaptação do processo de desidratação do etanol em colaboração com o antigo Ministério Indústria e Comércio, atual MDIC, e entidades japonesas.

Outro exemplo de destaque refere-se à atuação do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), localizado no Rio de Janeiro. Após a elaboração de um programa de pesquisas em alcoolquímica<sup>5</sup>, esta instituição montou um Laboratório de Catálise dedicado ao tema. Ainda com base neste programa, a equipe do INT optou pela pesquisa nas rotas acéticas, via oxidativa. Assim, foram desenvolvidos trabalhos na geração de acetaldéido, ácido acético em uma etapa, acetato de etila também em uma etapa, que resultaram em algumas patentes na área e diversas participações em congresso.

A seguir são elencados as principais linhas de P&D na época e algumas referências associadas a essas linhas. Vale destacar que, as citações abaixo não pretendem ser exaustivas. Elas representam somente exemplos do trabalho desenvolvido na época.

Como pode-se verificar no Quadro 3.1, houve, de modo geral, uma mobilização da academia em torno dessas linhas de pesquisa. No entanto, o setor produtivo, conforme já mencionado anteriormente, usufruiu muito pouco do conhecimento científico e tecnológico gerado no período. Na realidade, esses dois agentes praticamente não interagem na época, possivelmente porque existiam poucos mecanismos que possibilitavam a cooperação e troca de informações neste âmbito. Talvez por esta razão se verificasse certa concentração nas duas primeiras linhas de pesquisa (eteno e acetaldéido) que, de fato, não era o desejável.

---

5 Appel et al. Programa de Pesquisas em Alcoolquímica. Instituto Nacional de Tecnologia, v. 1, p. 40, 1986.

**Quadro 3.1:** Exemplos de destaque da produção científica brasileira em alcoolquímica nas décadas de 80 e 90

Linha de pesquisa	Produção científica
Obtenção de eteno a partir do etanol	Conforme mostrado na Figura 2.1, um grande número de intermediários e produtos são obtidos a partir do eteno. A geração de eteno a partir do etanol pode ser considerada como a “ponte” entre a alcoolquímica e a petroquímica. De fato, a geração de eteno via etanol se constitui no tópico que detém o maior volume de informações geradas na época (Ramos, 1997; Araujo, 1989; Aquino, 1989; Bueno, 1983; Silva, 1981). Algumas patentes foram também obtidas pelo setor produtivo, com destaque para a atuação da Petrobras (Petróleo Brasileiro, 1981, 1983).
Obtenção de acetaldeído a partir do etanol	O acetaldeído é também um importante intermediário químico característico de processos alcoolquímicos, conforme mostrado na Figura 2.1. A sua síntese, também, despertou um interesse significativo da academia. (Valença, 1984; Instituto Nacional de Tecnologia, 1986; 1991; Volf, 1988; Pereira, 1986; Appel, 1986; Filho, 1985).
Obtenção de ácido acético a partir do etanol (uma etapa)	Apesar da sua importância para a indústria química este tema despertou menor interesse da academia (Santana, 1988; Appel, 1989; Instituto Nacional de Tecnologia, 1990).
Obtenção de butadieno	Conforme mostra a Figura 2.1, a rota de obtenção de 1,3 butadieno via etanol foi praticada no Brasil (COPERBO) no período do Proálcool. Alguns trabalhos foram também desenvolvidos nesta linha, especialmente teses de mestrado e doutorado (Bueno, 1987; Silva, 1983).
Obtenção de acetato de etila a partir do etanol em uma etapa (rota oxidativa)	Apesar da sua importância, este tópico despertou pouco interesse da academia. (Appel, 1989; Instituto Nacional de Tecnologia, 1992).

Após o Proálcool e o desmonte da indústria alcoolquímica, as atividades na área diminuíram significativamente. As principais razões foram a dificuldade de obtenção de recursos que subsidiassem essas iniciativas e também certo descrédito com relação ao emprego do etanol como matéria-prima pela indústria química.

### 3.2. Panoramas mundial e nacional da alcoolquímica

Atualmente, a situação é bastante diversa daquela descrita na seção anterior. As atenções do mundo estão voltadas para o etanol e o seu uso como combustível. Há, também, um grande interesse mundial no sentido de se utilizar insumos renováveis, ou seja, biomassa na geração de produtos ou intermediários químicos. O Brasil, como é notório, tem grande destaque neste ambiente, devido não somente ao grande volume de etanol produzido, mas, principalmente, pelo seu baixo custo de produção.

Vale destacar também que, os países produtores de petróleo, especialmente, aqueles situados no Oriente Médio vêm já alguns anos se tornando pólos de geração de produtos e intermediários pe-



troquímicos. Esses países dispõem de grandes vantagens no que se refere à escala e ao suprimento de matéria-prima. Além disso, encontram-se geograficamente próximos à China, o grande centro de consumo desses materiais. Este fato tem promovido o fechamento de diversas unidades no 1º mundo. O uso do etanol como matéria-prima na indústria química, sem dúvida, resultará na geração de produtos e intermediários com um diferencial mercadológico bastante interessante (matéria-prima renovável), com potencial para se antepor a situação descrita anteriormente na retrospectiva.

No Brasil, muitas empresas do setor petroquímico têm estabelecido estratégias com relação ao emprego do etanol como matéria-prima. Um exemplo importante é a Dow Química que está desenvolvendo projeto de produção de polietileno a partir do etanol, o chamado “polietileno verde”. O valor anunciado do projeto é de US\$ 1 bilhão<sup>6</sup>. Esta planta, que ficará localizada no estado de Minas Gerais, envolve as diversas etapas da cadeia produtiva, desde o plantio da cana-de-açúcar até a obtenção do polímero.

A Braskem, petroquímica brasileira líder do mercado de resinas termoplásticas na América Latina, está também envolvida na produção de eteno e polietileno a partir do etanol. Neste caso, a unidade está localizada no Rio Grande do Sul. A perspectiva é de que a produção de 200 mil t/ano tenha início ainda em 2010. O investimento estimado neste caso pode chegar a R\$ 500 milhões<sup>7</sup>.

A Solvey anunciou também o seu interesse no sentido da geração de etileno via etanol, mais especificamente em Santo André, no estado de São Paulo, visando a obtenção de cloreto de vinila, e conseqüentemente, o policloreto de vinila (PVC) verde<sup>8</sup>. As cifras no caso da Solvey atingem US\$135 milhões de dólares para produzir 120 t/ano de etileno<sup>9</sup>. A Quattor, outra importante produtora brasileira de polietileno também tem anunciado o seu interesse na produção de eteno via etanol<sup>10</sup>.

Cabe citar também a tradicional produção de acetato de etila e diversos outros acetatos pela Rhodia. Um dado interessante neste contexto é que o Brasil, através desta empresa, nos últimos três anos (2007, 2008 e 2009) exportou em torno de 78, 84 e 64 mil t /ano de acetato de etila, gerando receitas de US\$66, 82 e 51 milhões, respectivamente<sup>11</sup>. A Cloretil e a Butilamil em menor escala também seguem produzido diversos compostos na rota dos acéticos para o mercado interno<sup>12</sup>.

<sup>6</sup> <http://www.jornaldaciencia.org.br>, 2010.

<sup>7</sup> <http://www.jornaldaciencia.org.br>, 2010; Tullio, 2009.

<sup>8</sup> <http://www.institutodopvc.org>, 2010.

<sup>9</sup> <http://www.icis.com>, 2010.

<sup>10</sup> <http://www.icis.com>, 2010.

<sup>11</sup> <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>, 2009.

<sup>12</sup> <http://www.abiquim.org.br>, 2010.

Algumas unidades voltadas para o eteno alcoolquímico têm sido anunciadas pela China. Por exemplo, a Heyang Ethanol and Bio-Glycols pretende produzir 87mil t/ano de oxido de etileno a partir de eteno gerado via etanol<sup>13</sup>. Cabe, no entanto, citar que, do ponto de vista industrial o foco atual da indústria alcoolquímica é efetivamente o Brasil, devido basicamente a dois fatores: disponibilidade e custo da matéria-prima.

Como é de amplo conhecimento, atualmente existe um enorme investimento, especialmente no primeiro mundo, no sentido da geração de etanol via resíduos celulósicos, o chamado etanol de segunda geração. Pode-se prever que, no futuro, países que não dispõem de etanol passem a produzi-lo a partir de resíduos da agricultura. Este estará prioritariamente focado no seu emprego como combustível, mas a sua disponibilidade e futuro custo deverão propiciar também o seu emprego como insumo da Indústria química, possibilitando a geração de produtos e intermediários de origem renovável.

No Brasil existe, atualmente, um consenso em relação à relevância da inovação tecnológica para o desenvolvimento socioeconômico do país. Diversos instrumentos foram criados e estão sendo mantidos ao longo dos anos de forma a apoiar as ICT e as universidades na geração e transferência do conhecimento para o setor produtivo. O momento atual é, sem dúvida, uma janela de oportunidade para que o Brasil se torne líder no que se refere ao desenvolvimento de modernos processos alcoolquímicos. O país poderá alcançar essa posição não somente na produção de produtos e intermediários obtidos a partir de recursos renováveis, mas também na venda de tecnologia neste âmbito.

A modernização da alcoolquímica está associada, naturalmente, ao desenvolvimento de novos processos que envolvam menores custos de produção e investimento que os tradicionais. Frequentemente, esses novos processos referem-se à diminuição das etapas de síntese e catalisadores multifuncionais são capazes de conduzir essas reações. Esse fato torna a catálise heterogênea área chave no desenvolvimento de novos processos alcoolquímicos, como será abordado nas seções seguintes deste Capítulo, que aborda a importância da catálise e do escalonamento no desenvolvimento da Química Verde como um todo.

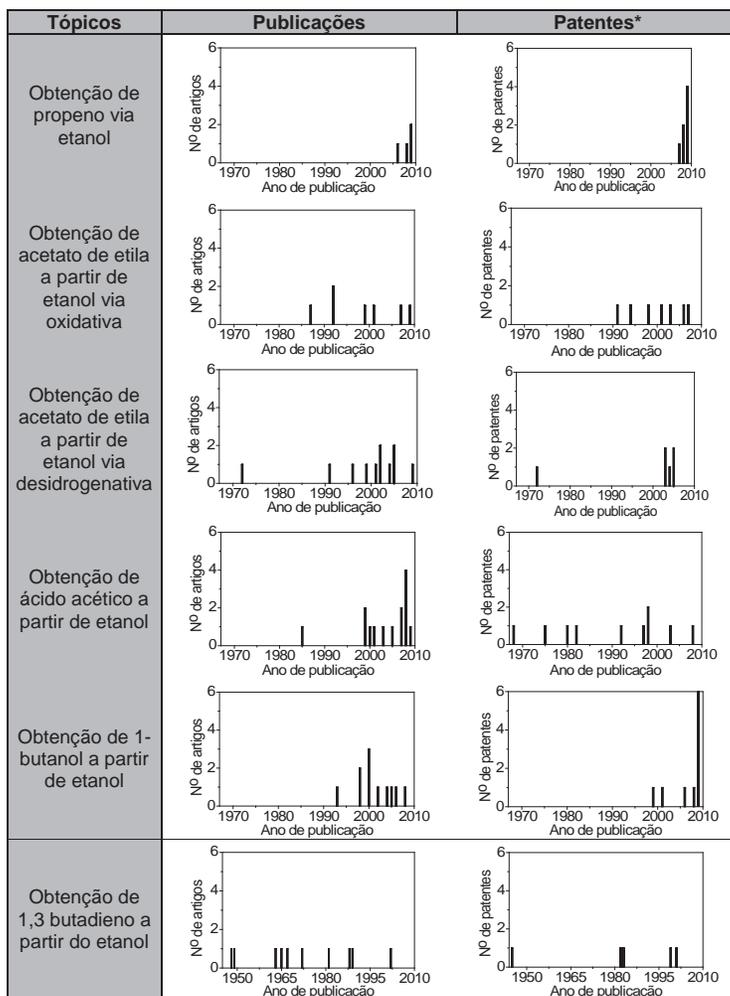
---

13 [http:// www.chemtex.com](http://www.chemtex.com), 2010.



### 3.3. Produção científica e propriedade intelectual

A Figura 3.2 apresenta de forma sintética indicadores da produção científica e propriedade intelectual relacionadas a tópicos tecnológicos de interesse para o estudo prospectivo.



**Figura 3.2:** Produção científica e propriedade intelectual em alcoolquímica

Nota: (\*) o ano da publicação do primeiro depósito (no caso da publicação em vários países).

Os indicadores da Figura 3.2 foram obtidos pela busca direta de documentos nas seguintes bases de dados internacionais: Scopus, Web of Science e Espacenet.

A literatura científica referente aos processos que empregam etanol como matéria-prima é significativa, mas não é numerosa. Efetivamente, atualmente os EUA dispõem da maior produção de etanol do mundo voltada para o seu uso como aditivo da gasolina. No entanto, este fato parece não influenciar as atividades de P&D referentes ao uso do etanol pela indústria química. Possivelmente, o custo de produção do etanol via material amiláceo (milho) deve desestimular o seu emprego como matéria-prima para indústria, e conseqüentemente, desacelerar os investimentos em P&D nesta área. Este comportamento de certo modo é acompanhado pelos países europeus. No entanto, o etanol devido a sua simplicidade do ponto de vista químico, vem sendo empregado no desenvolvimento de metodologias, no estudo de reações modelo, etc. Algumas vezes, esses dados servem de base ou referência para novos desenvolvimentos em termos de processos alcoolquímicos <sup>14</sup>.

Já o Japão, apesar de não produzir etanol, e talvez, por também não dispor de petróleo, tem contribuído de forma bastante significativa para o desenvolvimento científico e também tecnológico neste tema. Cabe citar, por exemplo, trabalhos no âmbito da obtenção de butanol e acetato de etila, ambos em uma etapa a partir de etanol<sup>15</sup>.

Recentemente, com a valorização dos recursos renováveis e mais especificamente do etanol, observa-se um discreto ressurgimento das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em alcoolquímica no país. No XV Congresso Brasileiro de Catálise realizado em 2009, alguns trabalhos voltados para a síntese de acetaldeído e de acetato de etila em uma etapa foram apresentados por grupos universitários e centros de pesquisa governamentais<sup>16</sup>. Vale citar também apresentação de trabalho na Rio Oil & Gás Conference de 2008 <sup>17</sup>. Recentemente, também, alguns pedidos de privilégio foram solicitados e patentes foram concedidas <sup>18</sup>. Finalmente, cabe ainda destacar alguns artigos publicados recentemente <sup>19</sup>.

Outro aspecto importante a destacar é que os laboratórios de catálise brasileiros estão muito bem equipados, devido à efetividade da atual política de P&D. Esses laboratórios, juntamente com as empresas interessadas, são aqueles capazes de conduzir o desenvolvimento de novos processos químicos. A partir de diretrizes claras e com o apoio adequado, principalmente, no que se refere à questão de recursos humanos, esses laboratórios poderão contribuir de forma decisiva para o surgimento de uma moderna indústria alcoolquímica brasileira.

---

<sup>14</sup> Wang, 1999.

<sup>15</sup> Tsuchida, 2008; Inui, 2004.

<sup>16</sup> Andrade, 2009; Appel, 2009; Pires, 2009.

<sup>17</sup> Silvério, 2008.

<sup>18</sup> Instituto Nacional de Tecnologia, 2008; Universidade Federal de São Carlos, 2004; Hércio Valadares, 2007.

<sup>19</sup> Gaspar, 2009; Pereira, 2008.



### 3.4. Tópicos associados ao tema

O Quadro à seguir apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema “alcoolquímica” que foram selecionados para a construção dos mapas tecnológicos no mundo e no Brasil. Inclui os descritivos dos tópicos, o grau de maturidade de cada tópico no mundo e os setores mais impactados pelo seu desenvolvimento no país. As referências alfanuméricas na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos respectivos mapas tecnológicos.

**Quadro 3.2:** Tópicos associados ao tema “alcoolquímica”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T3a	Obtenção de propeno via etanol	Processo voltado para a obtenção de propeno, empregando o menor número possível de etapas reacionais.	Embrionário.	Automotivo; agroindústrias; construção civil; fabricação de produtos químicos; material eletrônico; higiene, perfumaria e cosméticos; petroquímico; biocombustíveis; e medicina e saúde.
T3b	Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via oxidativa	Processo voltado para a obtenção de acetato de etila a partir do etanol em um único reator.	Embrionário	Construção civil; petroquímico; fabricação de produtos químicos; perfumaria e cosméticos; agroindústrias; e biocombustíveis.
T3c	Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via desidrogenativa	Processo voltado para a obtenção de acetato de etila a partir do etanol em um único reator.	Crescimento	Construção civil, petroquímico, fabricação produtos químicos perfumaria e cosméticos, agroindústria biocombustíveis, entre outros
T3d	Obtenção de ácido acético a partir de etanol	Processo voltado para a obtenção de ácido acético a partir do etanol em um único reator.	Embrionário	Petroquímico; biocombustíveis; têxtil; farmacêutico; fabricação de tintas e vernizes; e alimentício.
T3e	Obtenção de 1-butanol a partir de etanol	Obtenção de butanol em um único reator.	Embrionário	Biocombustíveis; fabricação de tintas e vernizes; e petroquímica.
T3f	Obtenção de 1,3 butadieno a partir do etanol	Obtenção de 1,3 butadieno empregando o menor número possível de etapas reacionais.	Crescimento	Automotivo; biocombustíveis; e petroquímico.

Discutem-se, a seguir, os tópicos tecnológicos apresentados no Quadro 3.1, tomando-se como referências as informações levantadas na literatura especializada e a experiência da autora deste Capítulo.

Com relação ao primeiro tópico (T3a), o polipropileno tem liderado uma nova onda de crescimento na indústria de polímeros. De fato, ele apresenta uma série de propriedades muito interessantes. É relativamente resistente ao calor, extremamente leve e pode ser usado numa grande gama de aplicações. Pode-se citar como exemplo, o seu emprego em fibras têxteis, para roupas esportivas, em substituição ao poliéster, que é duas vezes mais pesado. Outra vantagem é a destacada durabilidade da fibra de polipropileno. Efetivamente, a demanda mundial de polipropileno tem crescido fortemente e atualmente encontra-se em torno de aproximadamente 6% ao ano<sup>20</sup>.

Considerando o número de carbonos do etanol e do propileno, a proposta de se gerar o polipropileno verde, a partir de etanol, com rendimentos e condições operacionais adequadas à exploração industrial é sem dúvida desafiadora.

O levantamento de patentes e de artigos científicos neste tópico indicou que a produção é bastante restrita, mas fortemente crescente (vide Figura 3.2). Os documentos são todos muito recentes, sendo a tecnologia mais citada aquela que expõe o etanol a um catalisador zeolítico. Os resultados apresentados sugerem que catalisadores mais seletivos devem ser desenvolvidos<sup>21</sup>.

Recentemente, a Braskem solicitou pedido de privilégio referente a esse tópico, contemplando rota que implica em uma hidroformilação do eteno gerado a partir do etanol, seguida de uma hidrogenação e uma desidratação. A análise do conjunto de patentes recuperado na busca às referidas bases de dados indicou que a União Européia (Total) e o Japão estão liderando os estudos nesta área.

Na sequência, comentam-se os tópicos “obtenção do acetato de etila em uma etapa via oxidativa” (T3b) e “obtenção do acetato de etila em uma etapa via desidrogenativa” (T3c).

O acetato de etila é largamente empregado como solvente em tintas, adesivos e revestimentos. Esse produto é frequentemente utilizado como solvente em substituição a compostos aromáticos, que são prejudiciais ao meio ambiente e aos seres humanos<sup>22</sup>. O acetato de etila é obtido via alcoolquímica, atualmente no Brasil, pela simples reação de esterificação do ácido acético com o etanol. O ácido (importado) empregado é obtido via carbonilação do metanol, este gerado via gás de síntese, que por sua vez é obtido a partir da reforma do gás natural. Já o processo praticado no período do Proálcool envolvia a geração do acetaldeído, a posterior oxidação deste composto a ácido e, finalmente, a esterificação deste com o etanol (Figura 3.1).

---

<sup>20</sup> Appel, 2005.

<sup>21</sup> Song, 2009.

<sup>22</sup> Kirk-Othmer, 2005a.



Publicações e patentes da área mostram claramente que é possível gerar este éster em um só reator, ou seja, em uma única etapa. A síntese direta de acetato a partir do etanol tem sido proposta a partir de duas rotas: a desidrogenativa que utiliza catalisadores de cobre ou paládio<sup>23</sup> e a oxidativa, que emprega catalisadores a base de PdO suportado<sup>24</sup>. A primeira rota produz, além do acetato, hidrogênio e outros subprodutos como a butanona. A geração de hidrogênio é um crédito ao processo. Por outro lado, a presença de subprodutos, em especial a butanona (composto nocivo à saúde) encarece significativamente os procedimentos de purificação. No caso da oxidação, o principal subproduto é o ácido acético, sendo as etapas de separação/purificação muito mais simples que as da desidrogenação. Neste caso, a desvantagem é intrínseca aos processos de oxidação, que envolvem uma diluição importante do reagente ou o uso de reciclo. Em ambos os casos, desenvolvimentos que promovam o aumento da seletividade dos catalisadores para acetato de etila e a conseqüente eliminação dos subprodutos é extremamente desejável.

No caso da desidrogenação o processo já é disponível comercialmente pela Davy Process Technology. Segundo os licenciadores, esta rota já é praticada na África do Sul, empregando etanol gerado pelo processo Fischer-Tropsch em uma unidade de 50t/ano. Segundo a empresa Davy Process Technology<sup>25</sup>, uma segunda planta estaria em fase de projeto e neste caso o etanol de fermentação seria empregado. Como já citado anteriormente, pesquisadores brasileiros dispõem de patente focada nesta tecnologia com dados gerados em escala de bancada<sup>26</sup>.

No caso do processo oxidativo não se tem notícia de comercialização de tecnologia. Também, neste caso, é disponível em escala de bancada tecnologia brasileira<sup>27</sup>. Na Figura 3.2, percebe-se que, de modo geral, o número de artigos como de patentes é restrito, para ambos os processos. Atualmente, as atividades no Brasil nestes dois tópicos destacam-se frente aos demais países (vide dados referentes a patentes apresentados anteriormente).

Quanto ao tópico “obtenção do ácido acético em uma etapa” (T3d), o ácido acético é um importante intermediário químico. A partir dele, são sintetizadas diversas substâncias, as quais são empregadas em diferentes setores industriais, tais como: têxtil, farmacêutico, tintas e vernizes, alimentação, entre outros<sup>28</sup>. No Brasil, o ácido acético era produzido a partir do etanol em duas etapas, por tecnologia bastante antiga (Figura 3.1). Na primeira etapa, o etanol é desidrogenado ou oxidado a

<sup>23</sup> Colley, 2005; Inui, 2004.

<sup>24</sup> Gaspar, 2009.

<sup>25</sup> <http://www.davyprotech.com>, 2010.

<sup>26</sup> Universidade Federal de São Carlos, 2004.

<sup>27</sup> Instituto Nacional de Tecnologia, 1992; 2008.

<sup>28</sup> Kirk-Othmer, 2005b.

acetaldeído. Posteriormente, este aldeído é oxidado a ácido acético em fase líquida. De fato, o uso de dois reatores onera os custos do processo, devendo-se considerar ainda, alguns gargalos tecnológicos, tais como a desativação dos catalisadores de desidrogenação.

Algumas patentes e publicações<sup>29</sup> evidenciam a possibilidade de obtenção deste ácido em uma etapa, conforme apresentado na Figura 3.2. Como o processo é catalítico e envolve o emprego de catalisadores de oxidação, o desafio, neste caso, é gerar catalisadores ativos e seletivos que possam trabalhar em condições de altas concentrações de etanol.

À semelhança dos demais tópicos apresentados até então, o volume da produção científica e de artigos científicos ainda é baixo. Apesar da importância inerente ao tópico, não se nota no momento um foco internacional específico (Figura 3.2). No Brasil, entretanto, este tópico deve, sem dúvida, ter destaque no estudo prospectivo, uma vez que grande parte do ácido acético atualmente consumido no Brasil é importado, sendo significativo o volume de recursos despendidos com sua importação.

Em relação ao tópico “obtenção de 1-butanol em uma única etapa” (T3e), o consumo do butanol no mercado nacional é determinado pelos fabricantes de tintas, solventes e plastificantes. Como solvente é usado na formulação de tiner, wash primer, resinas de uréia-formaldeído e na preparação de lacas de nitrocelulose, produtos direcionados principalmente para a indústria de tintas e vernizes. Sua aplicação na área de plastificantes concentra-se na fabricação do dibutilftalato (DBP), diisobutilftalato (DIPB) e dibutilmaleato (DBM), empregados na formulação do PVC<sup>30</sup>.

Recentemente, empresas de alguns países têm desenvolvido pesquisas relativas à aplicação do butanol como combustível. Efetivamente, comparando-se o valor energético do butanol (110.000 Btu) com o do etanol (84.000 Btu) e com o da gasolina (115.000 Btu), pode-se inferir que há a possibilidade deste álcool ser um substituto da gasolina ou do etanol. Alguns autores citam que o butanol seria mais vantajoso que o etanol, devido a sua baixa solubilidade na água, baixa corrosividade, pelo fato de pode ser conduzido na mesma tubulação da gasolina e ainda apresentar propriedades semelhantes a moderna gasolina<sup>31</sup>. Existem propostas também relativas ao uso do butanol como aditivo da gasolina. Com base nesta argumentação a DuPont e instituições japonesas e nórdicas (Suécia e Finlândia) têm investido de forma bastante significativa em processos

---

<sup>29</sup> Gonçalves, 2001; 2002.

<sup>30</sup> CEPED. MEIQ, 2006.

<sup>31</sup> <http://www.butanol.com>, 2010; Toukoniitty, 2009.



de geração de 1-butanol via etanol<sup>32</sup>. Evidentemente, neste caso são considerados em paralelo os aprimoramentos na rota fermentativa.

No Brasil, durante o Proálcool, a produção industrial do 1-butanol a partir de etanol era conduzida num processo que envolvia três etapas, ou seja, três sistemas reacionais. A primeira reação era a desidrogenação do etanol, que gerava hidrogênio e acetaldeído. Este último era separado e submetido à reação de condensação aldólica, formando crotonaldeído. Na etapa final, o hidrogênio gerado no início do processo era usado na hidrogenação do crotonaldeído, obtendo-se, finalmente, o butanol (Figura 3.1). Pode-se inferir que, este processo devido as suas características intrínsecas deve envolver custos elevados de produção. De fato, a síntese em três etapas foi desativada quando da queda dos subsídios da indústria alcoolquímica.

O número de trabalhos científicos relativos à conversão do etanol a butanol em uma etapa e de patentes é ainda baixo, mas fortemente crescente (vide Figura 3.2). Os resultados da busca nas bases de dados internacionais mostraram a viabilidade técnica do processo proposto. A questão apontada como crítica atualmente é a geração de catalisadores mais ativos. De fato, os rendimentos anunciados pela literatura científica e por patentes ainda são significativamente baixos. A Figura 3.2 evidencia a ênfase recente neste tópico, seguramente devido a sua associação com a questão dos biocombustíveis, como já mencionado anteriormente.

A obtenção de 1,3 butadieno em uma ou duas etapas (T3f) é conhecida deste o início do século passado e já foi praticada no Brasil<sup>33</sup>, Índia e Rússia. Os dados técnicos disponíveis indicam que juntamente com o butadieno outros subprodutos são gerados<sup>34</sup>. A minimização desses compostos reveste-se de grande interesse, pois, naturalmente, favoreceria a viabilização econômica do processo. Considera-se que este buteno é um importante intermediário químico. Ele é utilizado na síntese da borracha sintética e também em outros polímeros em mistura com o estireno (SBR) ou acrilonitrila (NBR), os quais são amplamente utilizados na indústria automobilística<sup>35</sup>.

<sup>32</sup> Tsuchida, 2008; DuPont, 2009.

<sup>33</sup> COPERBO, 2010.

<sup>34</sup> Kitayama, 1981.

<sup>35</sup> Rocha, 2007.

### 3.5. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030

A Figura 3.3 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “alcoólquímica” no mundo, visando comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.

Estágios	Desenvolvimento do tema “alcoólquímica” no mundo		
	2010- 2015	2016- 2025	2026- 2030
Comercialização			
Produção/ processo		T3c	T3b T3e T3d T3f T3a
Inovação/ implantação	T3c		T3b T3d T3f
Scale-up		T3e T3a	T3b T3d T3f
Fase demonstração			
Fase piloto		T3e T3a	T3b T3f T3d
Pesquisa em bancada	T3a T3e T3d T3b	T3f	

**Figura 3.3:** Mapa tecnológico do tema “alcoólquímica” no mundo: 2010 – 2030

Notação: T3a – Obtenção de propeno via etanol; T3b – Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via oxidativa; T3c – Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via desidrogenativa; T3d – Obtenção de ácido acético a partir de etanol; T3e – Obtenção de 1-butanol a partir de etanol; T3f – Obtenção de 1,3 butadieno a partir do etanol.

Conforme já comentado anteriormente, o etanol, de uma forma geral, não é considerado matéria-prima para indústria química. No entanto, essa assertiva deve tender a se alterar com o aumento



da oferta de etanol, que deve ocorrer quando da entrada em operação no mundo das unidades de produção de etanol de segunda geração (em torno de 2015). Assim, quando da elaboração do mapa de desenvolvimento tecnológico no mundo, se pressupôs que a dinâmica de implantação dos processos alcoolquímicos será função, naturalmente, da disponibilidade de matéria-prima.

Neste mapa se sugere que os processos que envolvem a geração de propeno (T3a) e o butanol (T3e) devam tomar a dianteira em relação aos demais elencados. O primeiro devido a sua posição de grande relevância na Indústria Petroquímica, enquanto que o segundo pelo seu potencial uso como combustível ou aditivo de combustíveis. Esta pressuposição esta também baseada na dinâmica dos pedidos de patentes (vide Figura 3.2).

Conforme já citado, o processo de obtenção de acetato de etila via desidrogenação (T3c) já esta sendo praticado (África do Sul/ Processo Davy), no entanto, se sugere que a disseminação desta tecnologia sofra certo atraso devido à disponibilidade de matéria-prima. A posição do tópico “obtenção de acetato de etila a partir de etanol via desidrogenativa” (T3c) no mapa reflete esta consideração.

Com relação à Figura 3.3 como um todo, pode-se perceber que a dinâmica de implantação dessas tecnologias é semelhante. Isto se deve ao fato de que todos os tópicos associados se referem a tecnologias de certo modo semelhantes (catálise heterogênea).

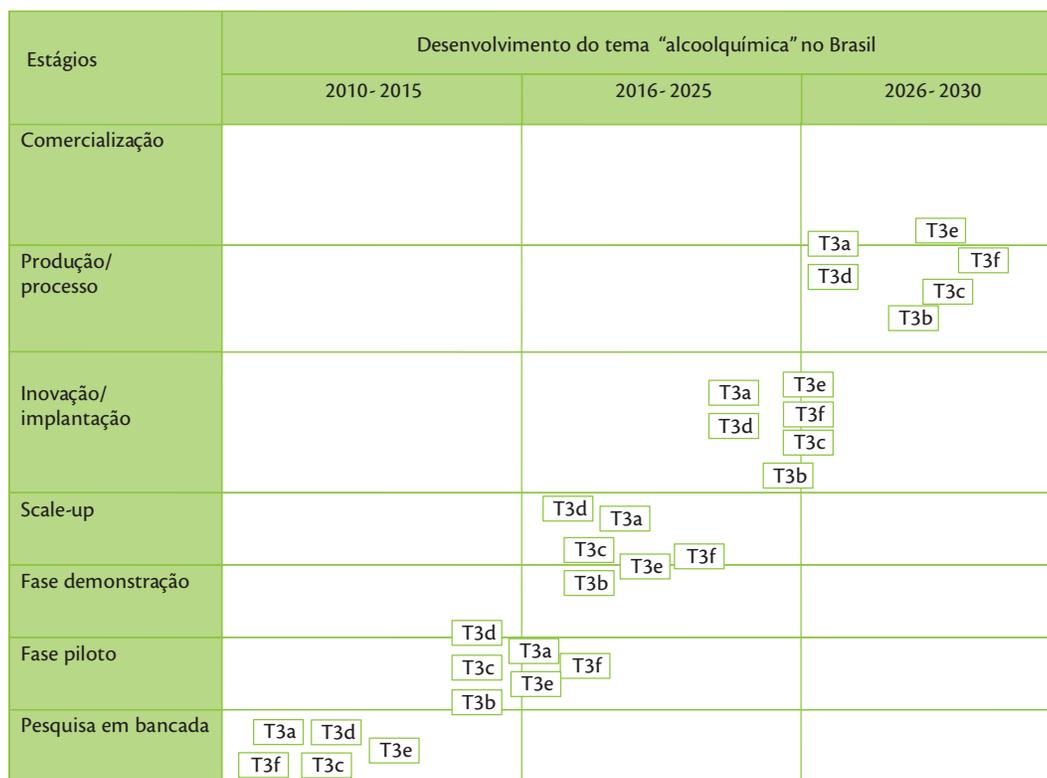
### 3.6. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A Figura 3.4 apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “alcoolquímica” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais.

Com relação ao mapa tecnológico representado na Figura 3.4, observa-se que a dinâmica de implantação dos processos abordados é semelhante às trajetórias desenhadas no mapa tecnológico no mundo. No entanto, pode-se pressupor que algumas dessas tecnologias envolvam uma defasagem maior na escala de bancada.

Nesse contexto, pode-se citar a síntese do propeno, que constitui um processo ainda embrionário ou ainda o 1-butanol, cuja síntese apresenta rendimentos baixos. Por outro lado, pode-se tam-

bém supor que alguns processos terão seu desenvolvimento acelerado devido a fortes interesses comerciais. Considerando que, esse último fator seja determinante, pode-se sugerir que os processos envolvendo a geração de propeno e ácido acético devam ser priorizados no Brasil por razões já apresentados anteriormente neste Capítulo. De fato, a situação da disponibilidade de etanol no país coloca-se de forma diferenciada em relação ao resto do mundo. Esta, sem dúvida, não se caracteriza como um óbice ao desenvolvimento da alcoolquímica brasileira.



**Figura 3.4:** Mapa tecnológico do tema "alcoolquímica" no Brasil: 2010 – 2030

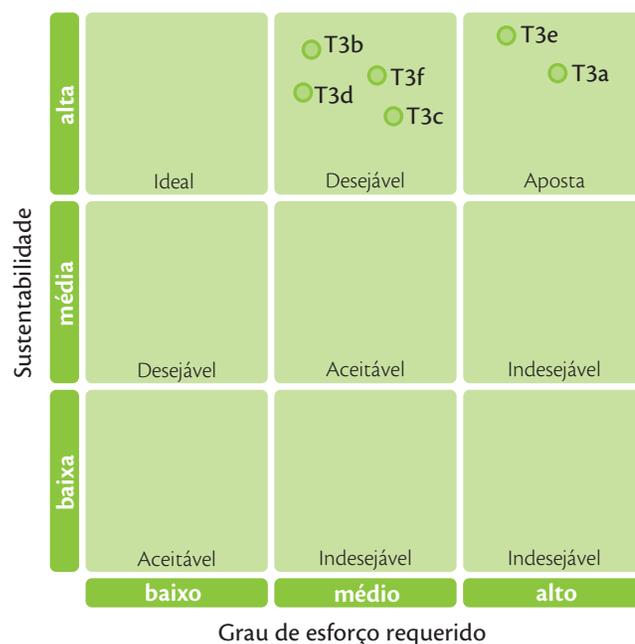
Notação: T3a – Obtenção de propeno via etanol; T3b – Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via oxidativa; T3c – Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via desidrogenativa; T3d – Obtenção de ácido acético a partir de etanol; T3e – Obtenção de 1-butanol a partir de etanol; T3f – Obtenção de 1,3 butadieno a partir do etanol.

A Figura 3.5 representa o portfólio tecnológico estratégico do tema "alcoolquímica", no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico



no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 3.4).

Ao se analisar o portfólio tecnológico da Figura 3.5, confirma-se o posicionamento estratégico indicado nos mapas tecnológicos, particularmente no que tange aos tópicos em posição desejável, a saber: “obtenção de acetato de etila a partir de etanol via oxidativa” (T3b); “obtenção de acetato de etila a partir de etanol via desidrogenativa” (T3c); “obtenção de ácido acético a partir de etanol” (T3d) e “obtenção de 1,3 butadieno a partir do etanol” (T3f). Cabe ressaltar, porém, que os tópicos com maior potencial e que representam as chamadas “apostas” no processo decisório são “obtenção de propeno via etanol” (T3a) e “obtenção de 1-butanol a partir de etanol” (T3e).



**Figura 3.5:** Portfólio tecnológico estratégico do tema “alcooolquímica” no Brasil: 2010 – 2030

Notação: T3a – Obtenção de propeno via etanol; T3b – Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via oxidativa; T3c – Obtenção de acetato de etila a partir de etanol via desidrogenativa; T3d – Obtenção de ácido acético a partir de etanol; T3e – Obtenção de 1-butanol a partir de etanol; T3f – Obtenção de 1,3 butadieno a partir do etanol.

Constata-se que todos os tópicos associados situam-se em nonantes que indicam alta sustentabilidade. Já o grau de esforço necessário é de médio para alto. Esses resultados estão intrinsecamente

ligados ao grau de maturidade das tecnologias elencadas. Conforme citado na parte introdutória deste Capítulo, a indústria alcoolquímica brasileira somente terá sucesso nas próximas décadas se processos químicos com baixos custos de operação e investimento forem desenvolvidos, ou seja, processos modernos que possam efetivamente competir com os de origem petroquímica. Sem dúvida, essa condição irá requerer, por sua vez, um grau de esforço considerável, mas que os pesquisadores brasileiros são capazes de enfrentar.

### 3.7. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

O Quadro 3.3 apresenta os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “alcoolquímica” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilizem o desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos. Esses, por sua vez, apóiam-se nas seguintes premissas: (i) foco no desenvolvimento de processos alcoolquímicos competitivos; (ii) relevância do estabelecimento de uma aliança entre a indústria química e o setor sucroalcooleiro; (iii) importância da participação da academia no processo de modernização da alcoolquímica; e (iv) o papel do governo como catalisador deste processo.

Destacaram-se para cada período de análise um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância, em função do potencial da geração de novos conhecimentos e inovações no país e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos.

A visão de futuro construída para o Brasil, no que se refere à geração de novos conhecimentos e inovações no tema “alcoolquímica” estará sujeita, portanto, a tais condicionantes, como mostrado no Quadro 3.3. Nesse contexto e visando a concretização das trajetórias tecnológicas preconizadas na Figura 3.4, as ações voltadas à estruturação e ao fortalecimento da capacidade nacional devem ser implementadas como prioridades estratégicas, como será devidamente abordado no Roadmap Estratégico da Rede Brasileira de Química Verde.



**Quadro 3.3:** Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “alcoolquímica” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “alcoolquímica” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
Determinação do setor produtivo no sentido da implantação de unidades alcoolquímicas a partir de tecnologias competitivas com o setor petroquímico.	Apoio governamental no financiamento da implantação das novas unidades alcoolquímicas alocadas nas refinarias.	Continuidade no apoio governamental com referência ao financiamento da implantação das novas unidades alcoolquímicas alocadas nas refinarias.
Participação efetiva do setor sucro-alcooleiro no processo de expansão da indústria alcoolquímica.	Avaliação dos resultados e estabelecimento de novas metas para as redes cooperativas.	Reavaliação dos resultados e estabelecimento de novas metas para as redes cooperativas.
Apoio do governo à expansão da indústria alcoolquímica no Brasil.	Estabelecimento de estratégias que possibilitem o país se tornar um player de destaque na venda de tecnologia na área de processos alcoolquímicos.	Estabelecimento de estratégias que possibilitem o país de se manter como um player de destaque na venda de tecnologia na área de processos alcoolquímicos.
Estabelecimento de redes cooperativas envolvendo representantes da Indústria Química, setor sucro-alcooleiro, órgãos financiadores, universidades e centros de pesquisa visando o desenvolvimento tecnológico na área.		
Planejamento, instalação e operacionalização de consórcios envolvendo produtores de etanol, empresas químicas e o BNDES vislumbrando a instalação de processos alcoolquímicos nas destilarias.		
Definição de uma política de pessoal para as equipes das universidades e centros de pesquisa envolvidas no processo de desenvolvimento tecnológico.		
Estabelecimento de mecanismos de cooperação internacional nas áreas de P&D e industrial.		





## 4. Oleoquímica<sup>1</sup>

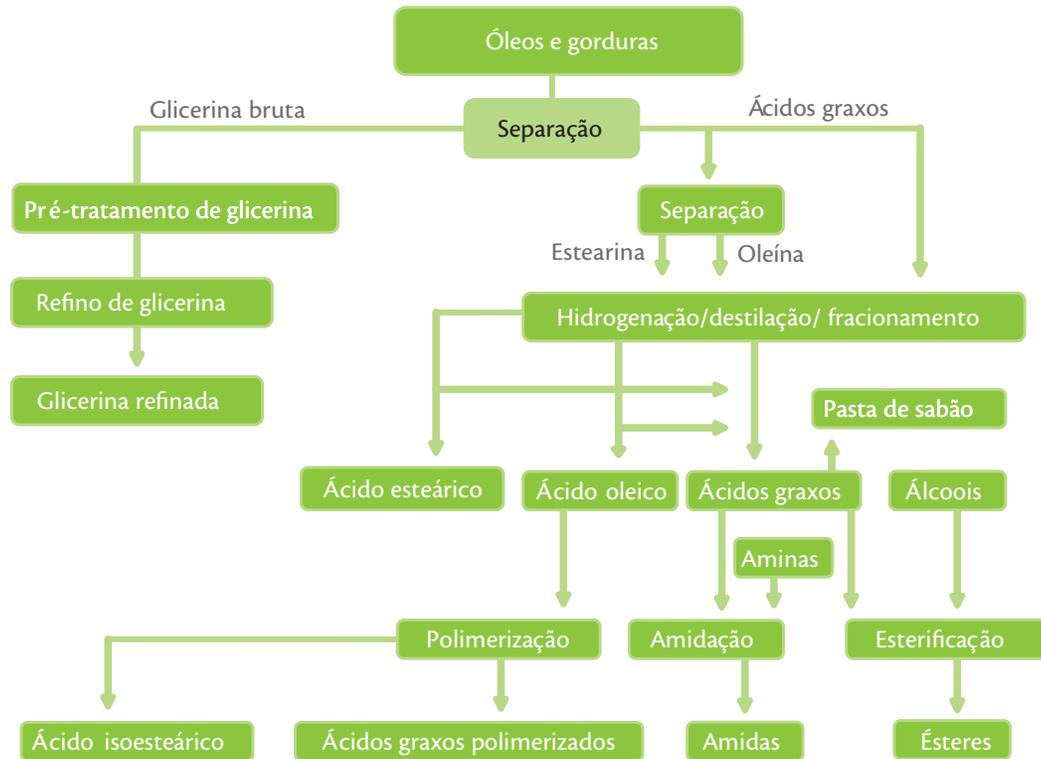
Para fins do presente estudo prospectivo, o tema “oleoquímica” compreende processos de transformação de óleos vegetais e gorduras animais em produtos de alto valor agregado. Inclui também os novos processos que estão sendo objeto de projetos de P,D&I, em consequência da utilização de matérias-primas oleaginosas como fontes de biodiesel. Essas matérias-primas são essencialmente ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos empregados como substitutos de combustíveis utilizados em motores a diesel. Vários países já incluem esses derivados, em sua matriz energética.

A indústria oleoquímica é mais do que centenária e vinha perdendo prestígio frente à petroquímica, face aos ganhos de escala e preços relativamente mais baixos de derivados do petróleo, pelo menos até a década de 1970. No entanto, com a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a busca da sustentabilidade em termos de matérias-primas e processos, a oleoquímica está retomando faixas de mercado nos produtos de consumo e começa a disputar algumas aplicações industriais.

Os oleoquímicos principais são derivados de ácidos graxos, compostos nitrogenados graxos, alcoóis graxos e glicerol, conforme apresentado na Figura 4.1. O glicerol, por ser o principal co-produto da transesterificação usada na produção do biodiesel e produzido em grande escala, vem recebendo uma atenção especial.

---

<sup>1</sup> Este capítulo foi elaborado por Peter Seidl e Regina Celi Araújo Lago e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.



**Figura 4.1:** Esquema básico da oleoquímica

Óleos vegetais e gorduras animais encontradas na natureza são triacilgliceróis constituídos por ácidos graxos saturados e insaturados e glicerol. Têm a fórmula geral:



onde R, R' e R'' são grupos alquila ou alquênica. Geralmente há mais do que um ácido graxo presente e o triacilglicerol é considerado misto. Os principais ácidos graxos encontrados em óleos vegetais e gorduras animais são identificados na Tabela a seguir.



Tabela 4.1: Ácidos graxos comuns

Fórmula	Nome comum	Ponto de ebulição (°)	Posição da dupla ligação e estereoquímica	Fonte
$n\text{-C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$	Ácido láurico	44,2		Óleo de coco, óleo de palma de dendê
$n\text{-C}_{13}\text{H}_{27}\text{COOH}$	Ácido mirístico	53,9		Óleo de coco, óleo de palma de dendê
$n\text{-C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Ácido palmítico	63,1		Muitos óleos vegetais e gorduras animais
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$	Ácido esteárico	69,6		Muitos óleos vegetais e gorduras animais
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$	Ácido oleico <sup>a</sup>	16,0	cis-9	Muitos óleos vegetais e gorduras animais (azeite, nozes, vagens, "tall oil")
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Ácido linoleico	-9,5	cis-9, cis-12	Muitos óleos vegetais (cártamo, girassol, soja, "Tall oil")
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$	Ácido $\alpha$ -linolênico <sup>a</sup>	-11,3	cis-9, cis-12, cis-15	Óleo de linhaça
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$	Ácido $\gamma$ -linolênico		cis-6, cis-9, cis-12	Óleo de primula
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$	Ácido $\alpha$ -eleosteárico	48,5	cis-9, trans-11, trans-13	Óleo de tungue
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$	Ácido $\beta$ -eleosteárico	71,5	trans-9, trans-11, trans-13	Óleo de tungue
$n\text{-C}_{17}\text{H}_{32}(\text{OH})\text{COOH}$	Ácido ricinoléico <sup>a</sup>	5,0	cis-9	Óleo de mamona
$n\text{-C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$	Ácido eicosapentanóico		cis-5, cis-8, cis-11, cis-14, cis-17	Óleo de peixe
$n\text{-C}_{19}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Ácido araquidônico	-49,5	cis-5, cis-8, cis-11, cis-14	Gorduras e órgãos de animais
$n\text{-C}_{21}\text{H}_{41}\text{COOH}$	Ácido erúxico	33,5	cis-13	Óleo de canola
$n\text{-C}_{21}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Ácido docosahexaenoico	22,6	cis-4, cis-7, cis-10, cis-13, cis-16, cis-19	Óleo de peixe

Notas: <sup>a</sup>Ácido oléico:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ ; Ácido linoléico:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ ; Ácido linolênico:  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ ; Ácido ricinoléico:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ .

Neste Capítulo, descrevem-se os resultados das análises realizadas para o tema "oleoquímica" no contexto do desenvolvimento da Química Verde no Brasil. Apresenta-se inicialmente uma descrição sumária das principais matérias primas oleaginosas e seus processos de obtenção. Em seguida,

descrevem-se os panoramas mundial e nacional do tema, como ponto de partida para a escolha dos tópicos de interesse e as respectivas análises prospectivas. Nas seções seguintes, descrevem-se os tópicos de interesse para o estudo prospectivo do tema e os setores que serão mais impactados pelo seu desenvolvimento. Na sequência, discutem-se os mapas tecnológicos da oleoquímica em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo portfólio tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010 - 2030. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas tecnológicos e do portfólio, com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o Brasil. Em seguida, identificam-se os condicionantes para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas tecnológicos e portfólio estratégico.

## 4.1. Matérias-primas oleaginosas e proteoleaginosas

As matérias primas oleaginosas e proteoleaginosas fornecem os óleos vegetais que tanto quanto as gorduras animais constituem a base da oleoquímica e da produção de biodiesel, assim como de inúmeros outros produtos alimentícios e industriais, para os mais variados fins.

O uso tradicional dessas matérias-primas vegetais, sobretudo soja, milho, girassol, dendê, tem sido a alimentação humana e animal. Por isso, a destinação de parcela substancial da sua produção para fins energéticos vem suscitando um debate controverso sobre alimentos *versus* usos energéticos. Isso vem forçando a busca por matérias-primas alternativas. Por outro lado, a pressão mundial voltada para a proteção ao meio ambiente também vem intensificando, e forçando, o uso de técnicas mais sustentáveis de produção bem como o desenvolvimento de processos ecologicamente mais corretos de tratamento e transformação das matérias primas.

O Brasil tem uma situação privilegiada quanto à produção dessas matérias-primas agropecuárias não só porque detém a maior oferta de tecnologia agrícola para os trópicos como por uma biodiversidade inigualável.

### 4.1.1. Obtenção

Gorduras animais são extraídas de tecidos gordurosos que constituem os resíduos de abatedouros. São obtidos via seca, usando apenas calor para secar o material e liberar as gorduras. As gorduras também podem ser liberadas por água quente ou vapor, e depois separadas por decantação ou centrifugação.



Óleos são extraídos por prensagem ou por extração com solventes. Hoje há prensas bastante eficientes, mas há uma tendência no sentido de usar apenas a extração por solvente devido aos seus melhores rendimentos. Há alguns casos de extração por gás carbônico supercrítico. No entanto devido aos altos investimentos requeridos, este processo só é utilizado para produtos de alto custo, como café descafeinado ou óleos essenciais utilizados em perfumaria.

Uma vez extraído, o óleo é submetido a processos de purificação: retirada de gomas, refino, branqueamento, desodorização e, possivelmente fracionamento por ponto de fusão e hidrogenação. Esses processos podem proporcionar subprodutos de interesse comercial, como a lecitina usada como surfactante em alimentos e em especialidades químicas. Óleos vegetais, comumente, contêm ácidos graxos livres que provém da decomposição enzimática. Se os óleos são usados na indústria alimentícia, estas substâncias podem ser removidas por álcali em processos de refino. Associados a estes compostos, são encontradas pequenas quantidades de tocoferóis, que podem ser convertidos em vitamina E, e pequenas quantidades de esteróis, inclusive estigmaesterol, o qual pode ser convertido em cortisona<sup>2</sup>.

#### 4.1.2. Glicerina

O termo glicerol aplica-se somente ao componente químico puro 1,2,3-propanotriol. O termo glicerina aplica-se aos produtos comerciais purificados, normalmente, contendo pelo menos 95% de glicerol. Vários níveis e designações de glicerina estão disponíveis comercialmente. Eles diferem um pouco em seu conteúdo de glicerol e em outras características, tais como odor e impurezas<sup>3</sup>. Em geral, esta glicerina contém cerca de 80% de glicerol, além de água, metanol e sais dissolvidos.

A glicerina purificada (grau USP ou glicerina farmacêutica) tem grande aplicação nos setores de cosméticos, higiene pessoal, alimentos, medicamentos e fumo. Em termos de derivados, a glicerina atualmente ainda apresenta aplicações limitadas, sendo as principais na produção de explosivos, como a nitroglicerina, e na formação de resinas alquídicas. No entanto, em face da sua crescente disponibilidade graças aos programas de produção de biodiesel em larga escala, há um intenso trabalho de P,D&I dirigido para novas aplicações da glicerina.

Já foram propostas algumas transformações químicas para converter a glicerina, em matérias primas para a produção de insumos da cadeia petroquímica (plásticos) e em aditivos para o setor de com-

<sup>2</sup> Wittcoff, H.A.; Bryan, G.R.; Plotkin, J.S.; Industrial organic chemicals, 2nd Edition, New York: Wiley-Interscience, 2004.

<sup>3</sup> Knothe, G.; van Gerpen, J.; Krahl, J.; Ramos, L. P. Manual de biodiesel, São Paulo:Edgard Blücher, 2006.

bustíveis. Entre as principais estão: (i) acetais, obtidos a partir de sua reação com aldeídos e cetonas, que podem ser usados na fabricação de aditivos, surfactantes e solventes; (ii) éteres, obtidos a partir de eterificação, que fornece produtos de menor volatilidade e viscosidade, usados como aditivos e solventes; (iii) mono- e diésteres que são encontrados em gorduras que foram parcialmente hidrolisadas e são bastante utilizados como surfactantes; (iv) monoacilgliceróis, compostos que estão sendo objeto de novos trabalhos de obtenção seletiva; (v) acroleína e ácido acrílico, obtidos por desidratação, e que são respectivamente intermediário e matéria prima na produção de polímeros super adsorventes e na produção de metionina para a indústria alimentícia; (vi) propeno, obtido por hidrogenólise, é monômero para a fabricação do polipropileno; (vii) diversos compostos obtidos por oxidação, entre eles aqueles usados na fabricação de polímeros. Há várias outras transformações catalíticas, inclusive para a produção de gás de síntese<sup>4</sup>.

#### 4.1.3. Ácidos graxos

Óleos e gorduras podem ser saponificadas para formar glicerol e sabão, o sal sódico de um ácido graxo, quando o produto final desejado é um sabão. Ácidos graxos também são matérias primas para a maioria dos outros derivados. Para se obter o ácido graxo livre usa-se uma hidrólise não-catalítica a altas temperaturas e pressões. Em unidades menores utiliza-se uma autoclave contínua e a hidrólise é feita na presença de óxidos usados como catalisadores, como o óxido de zinco. Em operações em escala ainda menor, trabalha-se em batelada com catalisadores que são combinações de ácidos sulfúricos e sulfônicos. Às vezes, torna-se necessário separar os ácidos saturados dos insaturados. Para tanto, utilizam-se cristalizações em estágios, que são muitas vezes difíceis e demorados. Em outros casos, usam-se processos específicos que dependem do tipo de ácido graxo presente<sup>5</sup>.

#### 4.1.4. Compostos nitrogenados graxos

Ácidos graxos podem ser convertidos em grande número de compostos nitrogenados graxos. Entre esses as aminas graxas, inclusive aminas quaternárias, são as mais importantes. Existem muitas aplicações industriais desses compostos como agentes surfactantes.

Ácidos graxos são as matérias primas para fabricação de aminas graxas. Tratamento com amônia converte o ácido graxo em uma nitrila através de sucessivas desidratações do sal de amônio e da

<sup>4</sup> Mota, C.J.A; Silva, C.X.A. da; Gonçalves, V.L.C. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. Química Nova, v.32, p.639-648. 2009.

<sup>5</sup> Wittcoff, H.A.; Bryan, G.R.; Plotkin, J.S.; Industrial organic chemicals, 2nd Edition, New York: Wiley-Interscience, 2004.



amida, não havendo necessidade de isolar esses intermediários. Entretanto, cada deles tem suas próprias aplicações. Amidas são utilizadas como antiaderentes na extrusão de plásticos enquanto sais de amônio são usados com amaciantes para tecidos em máquinas de lavar domésticas<sup>6</sup>.

#### 4.1.5. Álcoois graxos

Óleos e gorduras podem ser convertidos diretamente em alcoóis graxos e glicerol através da hidrogenólise. Existem vários processos de hidrogenólise e seu emprego depende da necessidade de preservar as insaturações da cadeia do álcool graxo. Na prática é mais fácil converter o triacilglicerol em seu éster metílico através da alcoolização com metanol e depois submeter o éster metílico à hidrogenólise. A maioria dos alcoóis graxos fabricados a partir de óleos vegetais é obtida dessa maneira.

O papel especial ocupado por alcoóis primários de cadeias lineares resulta não só das excelentes propriedades detergentes de seus derivados, mas também porque seus produtos são mais rapidamente biodegradáveis do que compostos contendo um anel aromático. Além disso, a degradação de anéis benzênicos contidos em detergentes pode levar à formação de fenóis que são tóxicos para peixes<sup>7</sup>.

#### 4.1.6. Outros produtos

Do ponto de vista químico, óleos vegetais proporcionam uma grande variedade de ácidos graxos com diferentes comprimentos de cadeia e grupos funcionais assim como diferentes números e posições de duplas ligações C=C (ver Tabela 4.1). Além dos ácidos graxos mais conhecidos e que estão disponíveis em grande variedade de diferentes óleos vegetais, existem óleos vegetais que servem como ponto de partida para a conversão catalítica em matérias primas orgânicas ou poliméricas<sup>8</sup>. Polímeros podem ser preparados de triacilgliceróis como óleos oxipolimerizados, poliésteres, poliéteres, poliuretanas, poliamidas, resinas epóxi, poliésteramidas, entre outros<sup>9</sup>.

<sup>6</sup> Wittcoff, H.A.; Bryan, G.R.; Plotkin, J.S, Ibid, 2004.

<sup>7</sup> Wittcoff, H.A.; Bryan, G.R.; Plotkin, J.S; Industrial organic chemicals, 2nd Edition, New York: Wiley-Interscience, 2004.

<sup>8</sup> Meier, M.A.R.; Macromol. Chem. Phys. v.210, p.1073-1079. 2009.

<sup>9</sup> Reznautt, Q.B.; Garcia, I.T.S.; Samios, D.; Materials Science and Engineering , v.29, p.2302-2311, 2009.

## 4.2. Panorama mundial

Na Tabela a seguir apresentam-se as sete principais oleaginosas produzidas em nível mundial, conforme dados do US Department of Agriculture, dos EUA.<sup>10</sup>

**Tabela 4.2:** Produção mundial de oleaginosas: 2008

Oleaginosa	Produção (1000 MT)	%
Soja	220,0	56
Colza/canola	48,4	12
Algodão	46,2	12
Amendoim	32,0	08
Girassol	27,2	07
Palmiste	11,1	03
Copra	5,7	01

Fonte: USDA, 2009

Dados dos principais países produtores de soja em grão e a produção mundial dos principais óleos e gorduras são apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4, respectivamente.

**Tabela 4.3:** Principais produtores de soja em grão: 2008/2009

País	Produção (1000 t)
Estados Unidos	86.954
Brasil	60.000
Argentina	51.000
China	15.000
Índia	10.000
Paraguai	5.750
Canadá	3.400

Fonte: USDA, 2009

<sup>10</sup> U.S. Department of Agriculture. Agriculture. Data and Statistics. Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usdahome>>. Acesso em: dez 2009.

**Tabela 4.4:** Produção mundial dos principais óleos e gorduras (milhões de toneladas)

Óleo	Ano					
	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07*
Coco	3,21	3,16	3,29	3,44	3,54	3,26
Algodão	3,80	3,51	3,84	4,71	4,55	4,73
Oliva	2,75	2,51	3,06	2,97	2,59	2,99
Palma	25,36	27,71	29,59	33,88	35,96	38,97
Palmiste	3,13	3,36	3,67	4,13	4,36	4,69
Amendoim	5,13	4,62	5,03	5,04	5,19	4,85
Colza/Canola	13,05	12,24	14,14	15,74	17,18	18,02
Soja	28,87	30,54	29,97	32,49	34,26	35,71
Girassol	7,42	8,12	9,13	8,99	10,34	10,83
Total	92,70	95,76	101,71	111,39	117,97	124,05

Fonte: USDA, 2009

De acordo com o jornal Oil World, a produção global de óleos e gorduras em 2008 atingiu 160 milhões de toneladas. Os óleos de palma e palmiste foram os que mais contribuíram para essa produção, com 48 milhões de toneladas ou 30% do total<sup>11</sup>.

O óleo de soja aparece em segundo com 37 milhões de toneladas (23%). Do total produzido, 38% são comercializados. Das 60,3 milhões de toneladas exportadas no mundo, 60% correspondem a óleo de palma e palmiste sendo que a Malásia domina o comércio de óleo de palma (45% do mercado). Os principais destinos são a China, União Européia, Paquistão, Estados Unidos e Índia, para uso como óleo de cozinha, margarina, óleos especiais e oleoquímicos.

Em 2008, a Malásia produziu 17,7 milhões de toneladas de óleo de palma, usando 4,5 milhões de ha de terra. Foi o principal produtor durante vários anos, mas desde 2007 sua produção foi suplantada pela da Indonésia<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Oil World. Independent Forecasting Service for Oilseeds, Oils & Meals. Disponível em: <<http://www.oilworld.biz>>. Acesso em: dez 2009.

<sup>12</sup> MPOIP. Malaysian Palm Oil Industry Performance 2008. Global Oils & Fats Business Magazine, v.6, n.1, 2009.

A aplicação de óleos e gorduras, ao longo dos tempos, tem sido a mais variada, compreendendo desde a iluminação caseira (onde evoluiu para outras formas de energia), sabões (onde evoluiu para inúmeros tipos de produtos de limpeza e desinfecção), em cosméticos, como ingredientes e veículos de ingredientes, em perfumaria, como um ótimo absorvedor de fragrâncias até sua maior aplicação como alimento, seja como óleo de mesa, salada ou de cozinha, seja na formulação de uma gama extensa de produtos alimentícios, como queijos e demais produtos lácteos, biscoitos, bolos, pratos preparados, entre outras aplicações.

O principal subproduto (no caso da soja é o principal produto), a torta de extração, encontra uso em ração animal além de constituir diferentes opções para alimentação humana.

A utilização de tortas oleaginosas vai além e pode resultar em produtos diferenciados, à base de proteínas e/ou polipeptídeos, com propriedades funcionais, tais como produtos energéticos.

A produção mundial de óleo de palma evoluiu de 11 milhões de toneladas em 1990 para 34 milhões em 2005 e 48 milhões em 2008.

Já a produção de óleo de soja assistiu ao crescimento da produção de óleo de palma que, primeiramente, na Malásia recebeu o aporte maciço de financiamento privado aliado a uma política de desenvolvimento. Isto não aconteceu no Brasil, onde a produção está próxima de 200 mil toneladas /ano.

É importante considerar que a Indonésia, atual principal produtor de óleo de palma, é uma zona geográfica de instabilidade considerável, e sua produção pode declinar repentinamente devido a qualquer acidente climático. Isto pode favorecer o Brasil.

A destinação de parte da produção de alimentos, sobretudo soja, para fins bioenergéticos suscitou questões de soberania alimentar. Já era esperada uma alta inicial no preço de alguns alimentos, mas foi o arroz o grande vilão, devido a uma queda brusca de produção. A partir daí, intensas discussões foram incentivadas principalmente por organizações não governamentais ligadas a questões ambientais. Mas, mesmo os críticos mais ferrenhos, como citado em recente artigo publicado em 2009 na revista *Science*<sup>13</sup>, parecem chegar a um consenso sobre as propriedades benéficas dos biocombustíveis, que pode ser resumido em: "biocombustíveis produzidos corretamente têm um futuro brilhante na solução de nossos desafios energéticos e ambientais"<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> Tilman, D. et al. Beneficial biofuels: the food, energy, and environment trilemma, *Science*, v. 325, p. 270-271, Jul 2009.

<sup>14</sup> Torrey, M. To make biofuels, or not to make biofuels: that is the question. *Inform*, v.20, n. 9, p. 579-580, 2009



Buscando balancear a produção de biocombustíveis, segurança alimentar e redução de emissões, a indústria mundial de biocombustíveis deveria focar cinco fontes principais de biomassa renovável: 1) plantas perenes cultivadas em áreas degradadas abandonadas ao uso agrícola; 2) resíduos das culturas; 3) madeira colhida sustentavelmente e resíduos florestais; 4) culturas duplas e sistemas integrados (mistos); e 5) resíduos municipais e industriais<sup>15</sup>. Esta afirmação não difere da política de energia que vem sendo praticada no Brasil e coincide com a matriz energética brasileira baseada em quatro plataformas: 1) biodiesel, 2) etanol, 3) florestas energéticas; e 4) resíduos e co-produtos<sup>16</sup>.

A viabilidade técnica, econômica e ambiental de um programa de biocombustíveis está fundamentalmente ligada a tecnologias agrícolas que resultem em alta produtividade, com um aumento pequeno das áreas cultivadas, redução do uso de água e de insumos e aproveitamento dos resíduos gerados para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado.

Interessante mencionar os resultados do Programa Agrimonde<sup>17</sup>, que reconstituiu as quantidades de alimentos produzidas entre 1961 e 2003 para que fossem feitas projeções para os próximos 45 anos. Em função disso, foram traçados dois cenários: (i) prolongamento das evoluções históricas da produção e uso de biomassa; e (ii) cenário de ruptura, segundo o paradigma de desenvolvimento sustentável.

O primeiro cenário corresponde ao prolongamento das evoluções históricas das produções e das utilizações de biomassa em um mundo totalmente liberalizado. Sendo assim, os rendimentos agrícolas continuariam a crescer, mas também as terras dedicadas à criação de animais, com o consumo de carne aumentando. Neste cenário, as desigualdades de acesso à alimentação aumentam e os desgastes ambientais são tratados “somente a partir do momento em que se tornam agudos”.

O segundo cenário aposta numa ruptura, com a humanidade adotando condições de desenvolvimento sustentável do planeta. De acordo com este segundo (e desejável) cenário, a quantidade média disponível de alimentos em 2050 seria igual a 3.000 quilocalorias (kcal) por habitante por dia, dos quais somente 500 kcal de origem animal. Esta condição pressupõe de um lado uma redução de 25% dos consumos individuais nos países industrializados e, por outro lado, um aumento equivalente na África Subsaariana.

<sup>15</sup> Tilman, D. et al. Beneficial biofuels: the food, energy, and environment trilemma, *Science*, v. 325, p. 270-271, Jul 2009.

<sup>16</sup> Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. Brasília, 2005. 119p.

<sup>17</sup> Dorin, B., Paillard, S. Agrimonde: scenarios and challenges for feeding the world in 2050. Summary Report, provisional version. June 2009. Cirad/INRA, 30p.

Existe a possibilidade de enormes ganhos na luta contra o desperdício, enquanto cálculos realizados em 2008 mostram que 30% da produção de alimentos mundial continuam não sendo utilizados, segundo os pesquisadores. Atualmente, 4.800 kcal são produzidas por dia por habitante na Terra, mas 600 kcal são perdidas nos campos e 800 kcal nas cadeias de transformação e distribuição. Como exemplo do desperdício, mais da metade da produção mundial de alimentos é destinada à ração para animais de abate, para produção de carne, mostra dossiê divulgado por organizações não-governamentais.

Nos países industrializados, a produção de carne capta uma parte importante das terras cultiváveis. São necessárias sete calorias vegetais para produzir uma caloria de carne bovina ou ovina. Para os porcos ou as aves, esta relação é de quatro para uma. Isto representaria uma revolução em termos de Química ou de Agricultura Verde, se assim pode ser chamada, mas enfrentaria uma batalha pesada com os produtores de carne e, por que não? com os consumidores sobretudo aqueles que, mais recentemente, tiveram acesso ao produto. Mas ainda assim tecnologia genética, sobretudo transgênica, pode resolver alguns desses problemas, em combinação com engenharia de solos, irrigação e melhor uso de fertilizantes e pesticidas, pode-se multiplicar a produção de alimentos e de combustíveis, sem destruir o que resta do planeta.

A escassez de terras está levando a China e a Arábia Saudita a adquirirem terras mais férteis na África. E o compromisso desses países com o meio ambiente, sobretudo a China, é quase nulo.

As preocupações ambientais na área de produção e transformação de óleos e gorduras não são recentes. Órgãos de classe, como a American Oil Chemists' Society (AOCS) e a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), já vêm se preocupando, por exemplo, com a substituição de solventes tóxicos, como os organoclorados, nas determinações analíticas de óleos, gorduras e derivados<sup>18</sup>.

Quanto ao processamento, as etapas desde a extração até à desodorização vem sendo tratadas buscando sustentabilidade, independente da utilização como biodiesel. Na extração, a substituição do hexano, volátil, inflamável e explosivo, tem tido sucesso reduzido, devido a sua atual disponibilidade, baixo custo, alto rendimento da extração (0,5% de óleo residual na torta). As instalações são cuidadosamente verificadas e otimizadas, mas ainda assim é difícil que não se transfira uma parcela para o meio ambiente.

---

<sup>18</sup> Lago, R. C. A. Laboratórios de óleos e gorduras e os riscos ambientais. Rev. Óleos & Grãos, Ano VIII, n.40 (jan/fev), p. 32-33, 1998.



O uso de etanol como solvente de extração tem sido preconizado, mas ainda apresenta gargalos. A aplicação de tecnologia enzimática encontra restrições de preço e escala e é mais conveniente para polpas de frutos<sup>19</sup>.

O sucesso do fruto da palma deve-se não só à alta produtividade/há, mas a outros fatores como a não necessidade de uso de solvente para a extração do óleo de palma, principal componente graxo do fruto (se bem que o óleo da amêndoa, palmiste, requer o uso de hexano). Mas a geração de grandes volumes de efluentes com alta carga orgânica merece a atenção dos pesquisadores.

Outras duas etapas do processamento, para uso alimentício, a hidrogenação e o branqueamento, pelas implicações ambientais vem sendo tentativamente melhoradas. No caso da hidrogenação, a busca por diferentes catalisadores vem sendo gradativamente deixada de lado pelo uso de interesterificação enzimática e pelo uso de frações mais sólidas de óleo de palma e de palmiste e de outras gorduras.

No caso do branqueamento, diferentes terras clarificantes têm sido testadas, mas ainda é uma etapa onde se dá uma perda substancial de óleo.

Oportuno ressaltar que a US Environmental Protection Agency (EPA), dos EUA, administra o Presidential Green Chemistry Challenge Awards para o reconhecimento de pesquisas com contribuições significativas à prevenção de poluição. O julgamento é feito por especialistas indicados pela American Chemical Society e seu ACS Green Chemistry Institute. Em 2009, entre os vencedores envolvendo temas ligados a oleaginosas, destacam-se um processo biocatalítico livre de solvente para ingredientes cosméticos e para cuidado pessoal e um analisador para proteínas que produz resultados rápidos e precisos sem reagentes tóxicos ou altas temperaturas<sup>20</sup>. Exemplificam-se duas linhas de pesquisas envolvendo oleaginosas e proteoleaginosas.

No caso das oleaginosas, é importante considerar aspectos de mercado não só para o óleo como também para o farelo desengordurado obtido após o processo de extração por solvente.

A demanda atual para a soja não é, em primeiro plano, para o óleo, mas para o farelo desengordurado que se destina a ração animal. A proteína de soja tem grande valor nutricional, biológico e, portanto, econômico, determinando a demanda pelo grão no mercado mundial. O óleo neste

<sup>19</sup> Freitas, S. P.; Lago, R. C. A.; Jablonka, F.H., Hartman, L. Extraction aqueuse enzymatique de l'huile d' avocat a partir de la pulpe fraîche. *Revue Française des Corps Gras*, 40 (11/12): 365-371, 1993.

<sup>20</sup> US Environmental Protection Agency. EPA. Presidential Green Chemistry Challenge (PGCC) Awards Program. Disponível em: <<http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/pgcc/presgcc.html>>. Acesso em dez 2009.

caso é um sub-produto e os processos para extração de óleo são dependentes da produção de farelo com qualidade adequada para tal. Assim, não é possível desassociar a produção de óleo da produção de farelo, não só por questões econômicas, mas também porque o óleo representa em média 20% do peso do grão.

A extração por solvente tem atendido esta demanda não só por questões técnicas, considerando as condições que permitem alta qualidade de uma proteína livre de óleo, como também devido à capacidade instalada desta indústria que pode processar até 3000 a 5000 toneladas/dia de matéria-prima.

O óleo de palma é o principal produto da palma (*Elaeis guineensis*) e a fibra que resulta da extração de óleo da polpa do fruto não tem valor comercial, mas é empregada para geração de energia nas usinas extratoras. O óleo da amêndoa é um sub-produto de menor relevância considerando sua produção e valor comercial do óleo.

O óleo de palma tem grande importância no mercado mundial porque permite a produção de diversos tipos de óleos e gorduras por fracionamento, evitando assim o processo de hidrogenação de óleos para produção de gorduras, processo que resulta na produção de ácidos graxos com duplas ligações trans, com deletérios efeitos para a saúde humana.

Desta forma, a partir de óleo de palma obtém-se oleínas de alta estabilidade oxidativa para uso, inclusive, em frituras como também diversos tipos de gorduras (estearinas) com aplicações distintas na indústria de alimentos.

A palma teve, de fato, condições propícias para aumento da produção mundial, devido ao interesse político e econômico, em virtude da alta produtividade da planta, mas também considerando a geração de uma tecnologia industrial especialmente desenvolvida para a extração, refino e fracionamento de óleo com alta capacidade instalada e ainda devido a demanda mundial por gorduras ser maior que a oferta.

O mercado de cosméticos e artigos de higiene e cuidado pessoal encontra-se em contínua ascensão. Também o mercado de produtos de higiene doméstica e industrial, parcela importante originária da petroquímica. Esses são segmentos nos quais a Química Verde deve entrar. Da mesma forma, o mercado de tintas para impressão e adesivos abre-se para a entrada de bioprodutos.



### 4.3. Panorama nacional

A Assessoria de Gestão Estratégica (AGE) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) divulgou um extenso estudo intitulado “Projeções do Agronegócio Brasil: 2008/09 a 2018/19”<sup>21</sup> em fevereiro de 2009.

A situação mundial *vis-a-vis* os estoques mundiais e aumento de consumo, cria condições favoráveis aos países como o Brasil, que têm imenso potencial de produção e tecnologia disponível e ressalta a disponibilidade de recursos naturais no Brasil como alto fator de competitividade.

Os produtos mais dinâmicos do agronegócio brasileiro e de maior potencial de crescimento deverão ser a soja, milho, trigo, carnes, etanol, farelo de soja, óleo de soja e leite. A produção de grãos (soja, milho, trigo, arroz e feijão) deverá passar de 139,7 milhões de toneladas em 2007/08 para 180,0 milhões em 2018/19. Isso indica um acréscimo de 40,0 milhões de toneladas à produção atual do Brasil. A produção de carnes (bovina, suína e aves), deverá aumentar em 12,6 milhões de toneladas. Isso representa um acréscimo de 51,0% em relação à produção de carnes de 2008. Três outros produtos com previsão de crescimento elevado são açúcar, mais 14,5 milhões de toneladas, etanol, 37,0 bilhões de litros e leite, 9,0 bilhões de litros.

O crescimento da produção agrícola deve dar-se com base na produtividade. Os resultados revelam maior acréscimo da produção agropecuária que os acréscimos de área. As previsões realizadas até 2018/19 são de que a área de soja deve crescer 5,2 milhões de hectares em relação a 2007/08; a área de milho, 1,75 milhão de hectares; a área de cana deve crescer de 6,0 milhões de hectares; as áreas de arroz e trigo devem aumentar e o café deve sofrer redução de área.

No total das lavouras analisadas, o Brasil deverá ter um acréscimo de área da ordem de 15,5 milhões de hectares nos próximos anos. O estudo da AGE também ressalta que existem 90 milhões de hectares não cultivados disponíveis para expansão.

A matéria prima é a principal consideração em termos de uma cadeia produtiva de oleoquímicos e de óleos e gorduras a serem utilizados na produção de biodiesel. Devem ser levados em conta: o preço comercial da gordura ou óleo; o percentual de óleo contido na matéria prima oleaginosa; o rendimento por área e o zoneamento agrícola de cada região. Estes pontos são considerados em mais detalhe a seguir.

<sup>21</sup> Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica (AGE). Projeções do Agronegócio - Brasil - 2008/09 a 2018/19. Brasília, 2009, 64 p.

A composição centesimal de sementes oleaginosas mostra, com boa aproximação, o que resulta como “resíduo” da extração dos óleos dessas oleaginosas (Tabelas 4.5 e 4.6).

**Tabela 4.5:** Composição centesimal de sementes oleaginosas: soja, girassol, colza, algodão e amendoim

Componente %	Soja	Girassol	Colza	Algodão	Amendoim
Umidade	8-10	6,9-10,3	6-9	7-11	4-13
Óleo	17-20	23,6-34,2	38-50	17-23	36-54
Proteínas	38-40	9-15	36-44	15-21	21-36
Fibras	6-7	27-30	11-16	-	1,2-4,3
Cinzas	5,5	1,2-3,6	7-8	3-5	1,8-3,1
Carboidratos	26-29	13,2-40,5	-	22-32	6-25

**Tabela 4.6:** Composição centesimal de outras sementes oleaginosas

Componente %	Sementes pinhão MS*	Amêndoa Pinhão	Mamona MS*	Macaúba (polpa)**
Umidade	-	5		
Óleo	35,6	55,3-57,7	51,4	69,6
Proteínas	19	31,1-34,5	18,9	-
Fibras	28,2	2,8-3,4	13,2	-
Cinzas	4,6	3,8-5,1	2,6	-
Carboidratos	-	9,0-10,3	13,8	-

Notas: \*MS = matéria seca; \*\*extremamente variáveis os valores encontrados na literatura.

Dados recentes fornecidos pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove)<sup>22</sup> dão um panorama dos óleos e gorduras no Brasil (Tabelas 4.7 e 4.8).

<sup>22</sup> Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Abiove. Capacidade instalada da indústria de óleos vegetais. Disponível em: <[http://www.abiove.com.br/capacidade\\_br.html](http://www.abiove.com.br/capacidade_br.html)>. Acesso em: dez 2009.

**Tabela 4.7:** Disponibilidade de óleos vegetais no Brasil, 2007/2008 (1000 t)

Produto	Produção	Importação	Oferta	Participação (%)
Óleo de soja	6.258	90	6.348	73,3
Sebo e gordura animal	598	6	604	7,0
Banha de porco	394	0	394	4,6
Óleo de palma	215	143	358	4,1
Óleo de algodão	278	0	278	3,2
Óleo de girassol	50	20	70	0,8
Óleo de colza	59	9	68	0,8
Óleo de mamona	56	8	64	0,7
Outros óleos vegetais	366	106	472	5,5
<b>Total</b>	<b>8.274</b>	<b>382</b>	<b>8.656</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Abiove, 2009.

**Tabela 4.8:** Produção de óleos e gorduras no Brasil (1000 t)

Produção	2003	2004	2005	2006	2007
Soja	5.347,0	5.546,0	5.736,0	5.428,0	6.046,0
Algodão	217,3	264,0	256,7	214,3	259,9
Amendoim	21,8	21,8	29,4	30,2	25,2
Girassol	23,2	28,4	22,5	30,6	39,9
Colza	20,4	22,5	27,0	39,9	37,7
Milho	55,0	63,6	71,8	75,2	79,0
Palma	129,0	142,0	160,0	170,0	190,0
Palmiste	14,5	15,8	17,3	18,7	22,5
Fat oil	79,5	81,5	83,5	85,5	87,5
Banha	345,2	335,4	346,6	376,7	384,6
Peixe	3,2	3,2	3,2	3,3	3,5
Linhaça	2,0	2,4	3,4	3,6	3,8
Mamona	39,3	55,3	70,2	48,7	43,8
Sebo	492,6	527,6	552,1	568,3	583,8
<b>Total</b>	<b>6.790,0</b>	<b>7.109,5</b>	<b>7.379,7</b>	<b>7.093,0</b>	<b>7.807,2</b>

Fonte: Abiove, 2009.

Em síntese, a soja é a principal cultura agrícola do país, com mais de 22 milhões de ha plantados na última safra. É a principal fonte oleaginosa, tanto para o mercado alimentício, quanto para a produção de biodiesel. Apresenta baixo rendimento de óleo por unidade agrícola. Tem um ciclo de 105 a 135 dias, teor médio de óleo no grão de 20% (produtividade média em grãos de 2.800kg/ha, rendimento em óleo 602L/ha), 80% de farelo destinado, principalmente, para alimentação animal.

A perspectiva de aumento de produção de óleo de palma no país depende das condições edafoclimáticas adequadas para a palmeira, além de investimento em área de cultivo próxima das plantas de extração de óleo. Este é um requisito de frutos com alta umidade, que necessitam de inativação enzimática o mais rápido possível, evitando a geração de acidez no óleo que é indesejável tanto para produção de biodiesel, tanto para produção de óleo comestível.

O crescimento do girassol vem sendo lento, ao contrário do algodão que é subproduto da fibra. O amendoim já ocupou um espaço importante que foi perdido pelos problemas de contaminação da torta (e dos grãos) com aflatoxina.

Para a canola e girassol, que apresentam teor de óleo mais elevado do que soja, variando de 40 a 50%, a extração por solvente ainda é a mais utilizada sendo que algumas plantas de processamento operam com pré-prensagem. Os farelos destas oleaginosas não apresentam a mesma qualidade e não alcançam o mesmo valor de mercado do farelo de soja, mas em contrapartida, os óleos alcançam valores expressivos no mercado brasileiro, na maioria das vezes superiores aos óleos de soja, principalmente em virtude da sua pequena produção no Brasil e importação de óleos brutos. Trata-se aqui de uma demanda para o óleo comestível.

Para o girassol que pode ser produzido em diversas regiões do Brasil, existem iniciativas de extração de óleo por prensagem em pequena escala, para atender demandas locais para produção de biodiesel.

Outras fontes oleaginosas como milho, arroz e algodão não são cultivadas para produção de óleo. O milho tem mercado como ração animal, para consumo direto e para produção de amido. O óleo é um sub-produto da produção de amido por via seca ou úmida e, em geral, nas plantas comerciais a extração de óleo é por solvente. O aumento da produção de óleo de milho dependerá de uma forte demanda pelo amido, seja até para produção de etanol como ocorre nos Estados Unidos.

O óleo de babaçu e a gordura de coco não apresentam uma produção expressiva no Brasil. O babaçu tem mercado na área alimentícia, química, de cosméticos e de limpeza, principalmente na produção de sabão e ao aumento da produção encontra obstáculos já que é produto de extrativismo, na maior parte.



Para o coco, o mercado preponderante é para a água de coco, que não é compatível com cultivo para produção de óleo e há mercado para os produtos obtidos a partir do coco maduro. Iniciativas para produção de óleo estão em estudo.

Óleos de amêndoas como castanhas, castanha-do-brasil, avelã, macadâmia podem ser usados para fins alimentícios, mas há um mercado na área de cosméticos, com demanda específica.

Pesquisas e iniciativas para uso de outras fontes oleaginosas não tradicionais, como macaúba, pinhão manso, tucumã, tucum, inajá, buriti entre outras, estão avançando no país, mas a produção é nula, em alguns casos, e muito pequena em outros.

Há muita aposta no Brasil em pinhão manso, mas não existem variedades comerciais e muito pouco se conhece sobre seu sistema de produção, incidência de pragas e viabilidade da cultura. Soma-se a isto, os aspectos de toxicidade do farelo quanto à presença de curcina e ésteres de forbol. Atualmente a maior parte da produção é vendida como semente.

A busca por fontes alternativas vem se intensificando, e a biodiversidade em palmáceas brasileiras é vista como atrativo. Destas, a macaúba, por oferecer um óleo adequado para produção de biodiesel, e mais abundante, vem sendo privilegiada. Faltam estudos sobre a cadeia produtiva e entorno da produção da matéria-prima, em andamento por pesquisadores da Embrapa Agroenergia.

Uma outra fonte alternativa de óleo não comestível é a mamona que, como o pinhão manso, pertence à família das Euforbiáceas.

A mamona foi vista como alternativa para produção de biodiesel considerando a perspectiva de aumento de área plantada inclusive no semi-árido. Trata-se de um óleo de grande valor econômico na oleoquímica, que pode ser usado na síntese de diversos produtos de alto valor agregado. Questões como a alta viscosidade do óleo e seu mercado já estabelecido na oleoquímica geram dúvidas quanto à aplicação do mesmo na produção de biodiesel. O processo de extração de óleo mais usual para produção industrial é com solvente com ou sem pré-prensagem. O rendimento de óleo está em torno de 50% e é necessário considerar que o farelo é tóxico e apresenta substâncias alergênicas, mas os processos tecnológicos são factíveis para viabilizar o uso do farelo na ração animal. A produção de óleo em pequena escala fica muito prejudicada porque o farelo para ração requer remoção completa do óleo que não ocorre na prensagem que gera uma torta parcialmente desengordurada, que tem sido utilizada como adubo.

A mamona adapta-se ao cultivo em regiões com poucas chuvas (ex: semi-árido nordestino) e pode consorciar-se com culturas alimentícias como feijão, mandioca, milho. Apresenta produtividade baixa, compensada por exploração em larga escala. As folhas não servem para ração e o óleo pode ser usado na lubrificação, transmissão e sistemas hidráulicos. Ciclo de 120 a 250 dias. O teor médio de óleo no grão é 47%. Sua produtividade média (baga) é de 1000kg/ha (700 a 2000) e o rendimento em óleo é de 495l/ha

O principal componente do óleo (85%), o ácido ricinoleico, exibe alta versatilidade química e através de reações de desidratação, hidrogenação, polimerização, transesterificação, pirólise dá origem a uma série extensa de derivados (ricinoleato de metila, aldeído undecilênico, ácido undecilênico, 12 OH estearato de metila, n-heptanol para citar apenas alguns) com inúmeras aplicações tais como coberturas, plásticos, tintas, cosméticos, itens pessoais. Todavia, para produção de biodiesel material genético com menor teor do ácido ricinoleico seria mais adequado, porém aparentemente de difícil modificação genética.

Os grãos de mamona apresentam componentes tóxicos, como a ricina e a ricinina além de alergênicos. A produção de óleo resulta em torta rica em nitrogênio, constituindo um ótimo adubo. Contudo uma vez que a torta contém componentes tóxicos, isto dificulta ou impede sua produção em grande escala. Portanto, a eliminação total ou inativação dos compostos tóxicos é mandatória para que a torta possa ser considerada para ração, fertilizante, para o pré-tratamento de efluentes ou qualquer outra aplicação. Mesmo que seu destino final seja a terra é necessário eliminar a toxicidade do resíduo para prevenir contaminação do solo. Métodos de destoxicação físico-química e biológica estão sendo conduzidos, mas devem ser intensificados<sup>23, 24</sup>.

O pinhão manso: *Jatropha curcas* (L.) aparece com uma produtividade estimada de 1.500-2000 litros óleo/há, teor de óleo em torno de 31 a 34% para a semente e 50% para amêndoa. Tem como vantagens a rusticidade, a precocidade, a produtividade, adaptabilidade, longevidade, qualidade do óleo, facilidade de prensagem. Há desafios agrônômicos e o ideal seria o desenvolvimento de variedades "atóxicas" como uma cultura para propósito duplo (óleo e ração animal). Suas sementes contêm componentes tóxicos ou indesejáveis, tais como a curcina (semelhante à ricina), os ésteres de forbol, fitatos, fator anti-tripsina, saponinas, lectinas. Os ésteres de forbol, aos quais são atribuídas propriedades carcinogênicas, são termoestáveis tanto quanto as lectinas, e seu teor residual depende do solvente usado na extração do óleo. Sua completa eliminação ainda não foi reportada.

<sup>23</sup> Ascheri, J. L. R et al. Detoxificação da torta de mamona por extrusão termoplástica: estudo preliminar. In: II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, Brasília. In: Anais do II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2007.

<sup>24</sup> Godoy M. G., Gutarra M. L. E, Maciel F.M. Use of a low-cost methodology for biodetoxification of castor bean waste and lipase production. 2009. Enzyme and Microbial Technology , v.44, p. 317-22. 2009.



Plantações, ainda experimentais, encontram-se na Índia e Madagascar, para citar alguns países. A empresa Abundant Biofuels Corp., das Filipinas, pretende exportar óleo de pinhão manso para os USA em 2010 (110 mil toneladas). A empresa também cultiva *Jatropha* no Peru, Indonésia e República Dominicana. No Brasil, as pesquisas com pinhão manso ainda estão pouco estabelecidas.

Vem despertando atenção a produção de algas para a produção de biocombustíveis e o aproveitamento de subprodutos. Raffaello Garofalo, presidente da recém criada European Algae Biomass Association, afirmou que a produção de biocombustíveis a partir de algas vai acontecer no período de 10 a 15anos. Presentemente, custa 10 a 30 vezes mais do que os biocombustíveis tradicionais e o aproveitamento de subprodutos contribuirá para sua viabilidade. Garofalo não está isolado nessa opinião, haja vista o acordo envolvendo 600milhões US\$, de cinco anos para produção de biocombustíveis de próxima geração a partir de algas que foi firmado entre a Exxonmobil Research and Engineering Company (EMRE) e a Synthetic Genomics Inc. (SGI, Ca). Também com produção prevista em um horizonte de 5 a 10anos.

Sem dúvida, o segmento mais dinâmico da oleoquímica está vinculado à produção de biodiesel. A cadeia produtiva do biodiesel vista no modo integrado contempla: matérias-primas e insumos; transformação (reação); processo de produção e purificação; controle de qualidade; transporte, armazenamento e estocagem; geração e aproveitamento de coprodutos (efluentes e subprodutos); e uso e emissões<sup>25</sup>. A química permeia toda a cadeia do biodiesel, sendo indispensável para sua viabilização econômica, ambiental e tecnológica, tanto nas áreas rurais como industriais.

Uma análise recente da cadeia produtiva do biodiesel, apontando gargalos e oportunidades e propondo ações de PD&I para este segmento, baseou-se no levantamento de artigos científicos e patentes, indicadores, respectivamente, de atividade científica e propriedade intelectual. A estratégia de busca visou garantir que a maior parte das patentes e dos artigos em cada elo da cadeia produtiva do biodiesel fosse localizada e processada. As evoluções anuais de artigos e patentes apresentam um padrão de tecnologia emergente, mostrando ser uma área ainda competitiva em termos de pesquisa científica e da apropriação do conhecimento por patentes.

Das patentes ainda vigentes, a primeira foi requerida em 1989 por Wimmer Theodor, da Austrália, e foca a etapa de purificação por lavagem ácida da glicerina bruta (GB), coproduto do biodiesel obtido por transesterificação<sup>26</sup>. No Brasil, a primeira patente de depositantes brasileiros foi requerida em

<sup>25</sup> Quintella, C.M.; Teixeira, L.S.G.; Korn, M.G.A.; Costa Neto, P.R.; Torres, E. A; Castro, M. J.; Jesus, C. A. C. Cadeia do biodiesel da banca à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P. & I. Química Nova, v. 32, p.793-808. 2009.

<sup>26</sup> Wimmer, T.; AT Pat. 19890002357 1989.

11/09/2003 e trata de biocatalisadores enzimáticos encapsulados<sup>27</sup>. O primeiro artigo publicado por brasileiros data de 2000 e relata a produção de biodiesel a partir de óleo de fritura<sup>28</sup>. Em biodiesel, o percentual de artigos oriundos do Brasil é superior à média anual brasileira desde 2000, crescendo sensivelmente a cada ano, mostrando que a participação da ciência brasileira neste tema tem se firmado em nível internacional a uma taxa superior à da média científica brasileira.

A razão anual entre o número global de patentes e de artigos mantém-se baixa de 1998 a 2002. Esse quinquênio compreendeu a etapa de acúmulo de conhecimento, ainda sem consciência do que poderia e de como deveria ser apropriado sob a forma de patentes. Seguidamente veio a fase de elevação de depósitos de patentes, correspondendo a maturação da visão de desenvolvimento tecnológico, típica de uma tecnologia emergente e com potencial futuro, sendo ainda reforçada pelo grande interesse internacional em biocombustíveis e pelo crescimento da consciência de preservação do planeta. Ainda não foi atingido um patamar estável, evidenciando que a tecnologia é realmente emergente, tendo ainda alta potencialidade de desenvolvimento tecnológico. No caso do Brasil, esta razão apresenta flutuações tendo um máximo em 2006 (170%), caindo logo a seguir em 2007 (45%), e tendendo a se igualar ao percentual geral em 2008. Isto pode ser atribuído à existência de demanda reprimida de depósitos de patentes que foi liberada em 2006, seja pela consciência do que poderia e deveria ser depositado e pela facilidade de arcabouço legal com a Lei da Inovação, seja porque a cultura de patentear está em seus primeiros anos de disseminação e não atingiu ainda um patamar estável.

No grupo dos países que apenas têm publicado artigos destacam-se a Índia, Turquia, Espanha, Itália e Coréia. Entre os países que geram conhecimento científico e apropriam o desenvolvimento tecnológico destacam-se os Estados Unidos da América (EUA), seguidos por China, Brasil, Japão, Canadá, Coréia do Sul, Alemanha e Reino Unido (UK). Cerca de 18% da apropriação é feita pelos EUA, percentual que é inferior ao percentual global de patentes dos EUA, mostrando que, apesar dos EUA terem a liderança numérica neste início de desenvolvimento tecnológico, é possível que outros países possam vir a repetir essa liderança como ocorreu anteriormente com o Japão em chá verde, erva doce e biossurfactantes, com a Espanha em extratos vegetais aplicados a cosméticos e com o Reino Unido em óleo de algodão para a área de saúde e fluorescência de petróleo<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> Castro, H. F. Método de encapsulação de lipasa em matriz hidrofóbica preparada por meio da técnica sol-gel e que emprega tetraetilortossilicato como precursor. BR Pat. P10306829. Set 2003.

<sup>28</sup> Neto, P. R. C.; Rossi, L. F. S.; Zagonel, G. F.; Ramos, L. P.; Quím. Nova, 23, 531.2000.

<sup>29</sup> Miyazaki, S. F. Cadernos de Prospecção 2008, 1, 10; Souza, M. P. Cadernos de Prospecção 2008, 1, 28; Curvelo A.; Coutinho, D.; Cadernos de Prospecção 2008, 1, 30; Santos, F.N.; Pereira, T.S. Cadernos de Prospecção 2008, 1, 22; Vinício, E.; Suzarte, E. Cadernos de Prospecção 2008, 1, 24; Cerqueira, G.; Rodrigues, P. Cadernos de Prospecção 2008, 1, 38)



Entre os países que mais depositam patentes, a China apresenta o maior percentual de patentes em relação a artigos, evidenciando uma postura agressiva na apropriação de conhecimento e da tecnologia, sendo seguida por Coréia do Sul, Brasil, Canadá e EUA.

Em 2006, o Brasil estava na oitava posição em artigos e na terceira posição em patentes, parecendo evidenciar a preocupação maior de proteger o conhecimento antes de sua divulgação sob a forma de artigos. Em 2008 o Brasil encontra-se em terceiro lugar, tanto em artigos como em patentes.

A evolução anual de artigos para cada país apresentou crescimento exponencial anual para os oito países que mais publicam. Já em patentes, observa-se crescimento exponencial apenas para os EUA. A China é um país entrante, tendo começado o depósito expressivo de patentes apenas em 2006, e os demais países apresentam irregularidade de seus depósitos. O percentual anual de patentes em relação a artigos mantém-se praticamente constante em até 70% para os EUA, Alemanha e Reino Unido, evidenciando a cultura já bem estabelecida de apropriação de conhecimento destes países. Nos demais países, o percentual flutua mostrando que ainda estão nos anos iniciais de apropriação, destacando-se os picos em 2005 da Coréia do Sul (550%) e do Canadá (270%), e em 2007 da China (200%).

O percentual de patentes requeridas internacionalmente pelo *Patent Cooperation Treaty* (PCT) na *World Intellectual Property Organization* (WIPO) caiu entre janeiro de 2006 e novembro de 2008, o que pode ser atribuído tanto à decisão dos países de proteger, principalmente no seu território nacional, a tecnologia que desenvolveram, devido à grande dependência do biodiesel nos tipos de insumos utilizados, logística e custo de transporte, como a falta de cultura de proteção patentária internacional (*know-how* e recursos financeiros). No caso do Brasil, 18% das patentes depositadas no INPI solicitaram PCT, sendo que nenhuma delas é oriunda do Brasil, evidenciando não só que os outros países estão considerando o Brasil como um país com grande potencial de desenvolvimento de tecnologia de biodiesel e de produção e comercialização, como também têm interesse de licenciar a sua tecnologia no Brasil. A ausência de patentes oriundas do Brasil com PCT pode ser atribuída ou ao Brasil não estar preocupado em exportar sua tecnologia, ou ainda à incipiência da cultura de depósito de patentes. Esta estratégia brasileira pode ser perigosa, pois apenas o território brasileiro fica restrito para produção e comercialização, podendo a tecnologia desenvolvida pelo Brasil ser utilizada em qualquer outro país como domínio público.

Das 27 empresas que depositam no Brasil, as que têm mais patentes são a Petrobras, a Stepan Co., a Fast Ind. Com. e a Degusa. A maioria é dos EUA, tendo também empresas da Alemanha, Índia, Itália e Japão. O percentual expressivo das empresas estrangeiras que depositam no Brasil confirma que o Brasil se tornou um território interessante para restringir comercialização e fabricação de biodiesel,

o que era de se esperar pela coerência e continuidade da política de Estado para o biodiesel. Das universidades e centros de pesquisas que depositam no Brasil, 79% são brasileiras (Unicamp, UFRJ, UFPR, UFBA e IME), sendo as estrangeiras as universidades de Carnegie Mellon (EUA), Mississippi (EUA) e Tsinghua (China).

Os artigos foram publicados em 432 revistas, principalmente *Energy & Fuels*, *Fuel*, *Journal of the American Oil Chemists Society* e *Bioresource Technology*. A *Química Nova* e o *Journal of the Brazilian Chemical Society* publicaram 19 e 5 artigos, respectivamente, compreendendo 17% dos artigos de autores brasileiros. Os autores com mais artigos são A. Dermibas (Turquia) em visão geral, gestão e estratégia; Marc A. Dube (Canadá) em reação, separação e uso; Wei Du (China em microbiologia e biocatálise; Dehua Liu (China) em produção; Breda Kegl (Eslovênia) em combustão e, Paulo A.Z. Suarez (Brasil) em catálise.

Os itens da cadeia produtiva do biodiesel geraram mais artigos do que patentes. Os artigos cobrem mais aspectos ligados à produção, seguidas do processo e da reação, enquanto que nas patentes o processo é o objeto mais freqüente do que a produção. Os resultados da análise eram de se esperar, considerando que o tema dominante é a reação de transesterificação, que é bem conhecida e de domínio público, e que a inovação nos processos de produção de biodiesel pode variar bastante. No caso do Brasil, são também encontradas várias patentes referentes a processos para garantia da qualidade, como aditivação, armazenamento, desidratação e diluição. Por outro lado cabe destacar a contribuição brasileira para a tecnologia do processo de produção de biodiesel de palma a partir da esterificação de ácidos graxos residuais do refino de óleo que é muito mais atrativo economicamente do que o processo de produção por transesterificação. Desenvolvido por professores da UFRJ, o processo foi adotado pela Agropalma, que construiu em Belém-PA uma nova usina para o processamento do biodiesel de palma. O processo utiliza um catalisador heterogêneo, ácido e reutilizável, que jamais forma sabão, ao contrário do processo de transesterificação convencional com catalisador básico que é perdido a cada reação. Em consequência, trata-se de um processo de produção muito mais limpo, com geração zero de rejeitos e menor custo operacional.

Com relação aos grupos de pesquisa em oleoquímica no Brasil, as principais instituições públicas que se ocupam de pesquisas agronômicas são: Embrapa, ESALQ, IAC, UFV e o IAPAR.

Nas pesquisas de transformação, ou estudo químico tecnológico de óleos, gorduras e derivados, citam-se pequenas equipes no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), na Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), na Faculdade de Farmácia da Universidade de São Paulo, na Universidade Federal de Santa Catarina, na Embrapa



Agroindústria de Alimentos, na Universidade Federal do Pará, na EQ/UFRJ e no Instituto Adolfo Lutz em São Paulo. A sua produção de artigos e patentes foi abordada no item anterior.

O CNPq registra três grupos de pesquisa, um coordenado pela FEA/Unicamp com oito pesquisadores (do qual faz parte o ITAL), um pela Universidade Federal de Pelotas com seis pesquisadores e outro pela Embrapa Agroindústria de Alimentos, com três pesquisadores.

A Embrapa Agroenergia, com sede física em construção, conta com um total de oito pesquisadores ligados ao tema, cujo número deve aumentar substancialmente em 2010.

Com relação aos aspectos de mercado, a obrigatoriedade de 5% de biodiesel em 2013 vai necessitar 2,4 bilhões de litros/ano (2,4 milhões de toneladas) o que, pelos dados do MAPA, citados anteriormente, não será uma fonte de preocupação. Isso vai corresponder a uma oferta de, pelo menos, 220 mil toneladas de glicerol<sup>30</sup>. Convém lembrar que em 1998 a produção mundial de glicerol era 750 mil kg, um nicho de mercado, ao preço de 50 centavos de dólar /libra. Em 2004 esse preço era cinco vezes menor. Se não mudar a curva da produção de carne, todo o farelo de soja encontrará demanda. O problema vai estar com outras tortas, sobretudo as da mamona e do pinhão manso.

As aplicações de glicerol são muito numerosas para uma lista completa. Mais do que 1.500 usos desde cremes cosméticos e para a pele até cigarros, medicamentos e produtos alimentícios. Produzido sinteticamente a partir do propileno é o principal co-produto da produção de biodiesel por transesterificação do óleo (cerca de 10%). O que se teme é a redução de preço do glicerol.

Inúmeros derivados já estudados ainda são economicamente inviáveis, situação que pode ser revertida dependendo dos preços que atinjam os diversos graus de glicerol. Assim, novas formas mais eficientes de purificação do glicerol proveniente dos diferentes processos deverão ser buscadas.

Entre os derivados que merecem atenção está o carbonato de glicerol, mais polar que a água e altamente solúvel em água. Trata-se de uma molécula bastante reativa que pode dar origem, por sua vez, a inúmeros outros derivados. Diferentes caminhos sintéticos foram propostos, mas é uma linha ainda em aberto<sup>31</sup>.

Várias possibilidades tecnológicas poderão ser investigadas, como por exemplo: (i) produção enzimática de ésteres específicos; (ii) uso de catalisadores sólidos heterogêneos para oligomerização

<sup>30</sup> Zheng, Y.; Chen, X. Shen, Y. .Commodity chemicals derived from glycerol, an important biorefinery feedstock Chem. Rev. v. 108, p. 5253–5277, 2008.

<sup>31</sup> Yoo, J-W, Mouloungui, Z. Studies in Surface Science and Catalysis, 146, p.757-760, 2003.

do glicerol para controlar o grau de polimerização e linearidade dos ésteres/éteres poliméricos; (iii) desenvolvimento de polímeros tipo dendriméricos (polímeros super ramificados) com aplicação em farmacêutica e biorremediação industrial; (iv) possibilidades para a recuperação de glicerol com microfiltração, osmose reversa e troca iônica; (v) adaptar, desenvolver, validar métodos para determinação de glicerol, livre ou combinado.

Não se pode esquecer que quantidades apreciáveis de glicerol são produzidas quando da fermentação de etanol (fundos de caldeira) de onde podem ser recuperadas por separação cromatográfica e processo de troca iônica<sup>32</sup>. Devido à natureza altamente reduzida de carbono no glicerol e o custo vantajoso de processos anaeróbicos, torna-se de interesse o metabolismo fermentativo do glicerol<sup>33</sup>. Soest *et al.* (2009)<sup>34</sup> acabam de patentear um método para refinar glicerol por meio de trocadores iônicos monodispersos numa unidade de purificação consistindo de processo de exclusão de íons e leito misto.

O isosorbitol, derivativo do glicol, está sendo usado em garrafas de tereftalato de polietileno para aumentar a temperatura de fusão (que permite manipular líquido em ebulição durante o enchimento da garrafa). A síntese atual do isosorbitol é prejudicada pelo alto custo do sorbitol e aplicação de catalisador pouco eficiente. Pode ser obtido a partir do glicerol.

#### 4.4. Tópicos associados ao tema

O Quadro 4.1 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema “oleoquímica” que foram selecionados para a construção dos mapas tecnológicos no mundo e no Brasil. Inclui os descritivos dos tópicos, o grau de maturidade de cada tópico no mundo<sup>35</sup> e os setores mais impactados pelo seu desenvolvimento no país. As referências alfanuméricas na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos respectivos mapas tecnológicos.

As matérias-primas oleaginosas para produção de biodiesel devem ser aquelas que apresentem óleos de boa estabilidade oxidativa, mas com teores adequados de ácidos graxos saturados evitando

---

32 Burris, B.D. Recovery of glycerol from still bottoms, Illinois Water Treatment, 1987.

33 Yazdani, S.S.; Gonzalez, R. Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry. *Current opinions in biotechnology*, v.18:p. 213-219, 2007.

34 Soez, H.-K, et al. Lanxess Deutschland GmbH, January 29, 2009, US 20090030243A12009.

35 De acordo com Roussel, P. Technological maturity proves a valid and important concept. *Research Management*. 27(1), January-February 1984; Roussel, P. A., Saad, K. N., & Erickson, T. J. *Third generation R&D: managing the link to corporate strategy*. Cambridge: Harvard Business School Press. 1991.



desta maneira, cristalização do biodiesel em tanques de armazenamento, nas regiões ou épocas mais frias. Matérias-primas contendo altos teores de ácidos graxos insaturados são indesejáveis em virtude da redução da estabilidade do produto bem como a presença de ácidos graxos epoxidados, conjugados entre outros.

A alta produtividade de óleo/área cultivada é um requisito, mas o tratamento de farelos ou tortas por processos tecnológicos adequados é fundamental para evitar a geração de um passivo ambiental.

**Quadro 4.1:** Tópicos associados ao tema “oleoquímica”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T5a	Glicerina	Purificação e desenvolvimento de derivados.	Crescimento	Petróleo, gás natural e petroquímica, agroindústria; biocombustíveis; defesa; produtos químicos e fármacos; higiene, perfumaria e cosméticos; meio ambiente; medicina e saúde; siderurgia.
T5b	Matérias primas oleaginosas convencionais	Soja, girassol, colza, amendoim, palma, algodão e coco.	Maduro	Agronegócio; agroindústria; biocombustíveis; meio ambiente; mineração; siderurgia; petróleo, gás e petroquímica.
T5c	Matérias primas oleaginosas não-convencionais	Pinhão manso, palmáceas e resíduos urbanos.	Embrionário	Agronegócio, agroindústria; biocombustíveis; meio ambiente.
T5d	Matérias primas oleaginosas especiais	Mamona, oiticica, linhaça, crambe e caritê.	Embrionário	Agronegócio; agroindústria; biocombustíveis; meio ambiente; fabricação de produtos químicos e fármacos.
T5e	Gorduras animais	Sebo, banha de porco, aves, pescado.	Crescimento	Agroindústria; couro, calçados e artefatos; meio ambiente.
T5f	Microalgas	Escalonamento do processo (biodiesel), ambientação.	Embrionário	Biocombustíveis; meio ambiente; petróleo, gás e petroquímica; fabricação de produtos químicos e fármacos.
T5g	Extração e processamento de oleaginosas	Processos heterogêneos, catalisadores, solventes.	Maduro	Agronegócio; agroindústria; biocombustíveis; meio ambiente; fabricação de produtos químicos e fármacos.
T5h	Aproveitamento de co-produtos	Tortas, efluentes, resíduos, couros, peles e penas.	Crescimento	Meio ambiente; agroindústria; plásticos; fabricação de produtos químicos e fármacos.
T5i	Produção agrícola de oleaginosas	Melhoramento genético, sistema de produção, fertilizantes, defensivos.	Maduro	Agroindústria; meio ambiente; indústria de fertilizantes e defensivos agrícolas; biocombustíveis.

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T5j	Caracterização de derivados oleoquímicos	Técnicas analíticas, propriedades físico-químicas de derivados.	Crescimento	Instrumentação e automação.
T5k	Caracterização de matérias-primas oleaginosas	Técnicas analíticas, Propriedades físico-químicas de matérias-primas.	Maduro	Instrumentação e automação.
T5l	Processos de biotecnologia em oleoquímica	Processamento dos co-produtos.	Crescimento	Agronegócio; meio ambiente; indústria química e petroquímica.

Oleaginosas que apresentem utilização como alimentos e para produção de óleo para biodiesel apresentam maiores chances de sucesso, não dependendo de um único mercado. Também as oleaginosas com capacidade de adaptação ou que possam ser cultivadas em áreas degradadas ou já utilizadas e abandonadas ou em áreas de pastagem.

A perspectiva de curto prazo, o aumento da produção de óleo ocorrerá certamente para as oleaginosas que apresentam tecnologia estabelecida seja ela agrônômica ou de processamento. A expansão da produção de monoculturas como a soja podem levar a ocupação de áreas de cerrado e de florestas e mecanismos de controle para sustentabilidade da cadeia deverão ser adotados. Por outro lado, culturas perenes necessitam de investimento de longo prazo e, em alguns casos, associado ao investimento em plantas de produção de óleo, como ocorre para a palma.

A geração de variedades comerciais não disponíveis neste momento, a seleção de materiais não convencionais mais adequados para produção de óleo, o estudo dos processos produtivos e de práticas agrícolas, além do adequado tratamento dos farelos obtidos, são as demandas mais urgentes para a pesquisa científica. Cultivos instalados sem materiais adequados ou práticas agrícolas conhecidas ou ainda, iniciativas de produção ou processamento, sem a produção de oleaginosas estão fadados ao insucesso.

O Brasil apresenta área e condições edafo-climáticas adequadas para a produção de inúmeras fontes de energia, mas por outro lado cada uma das possibilidades exige conhecimento técnico e científico específico. As vantagens têm assim de ser aproveitadas aliando alto investimento em tecnologia.



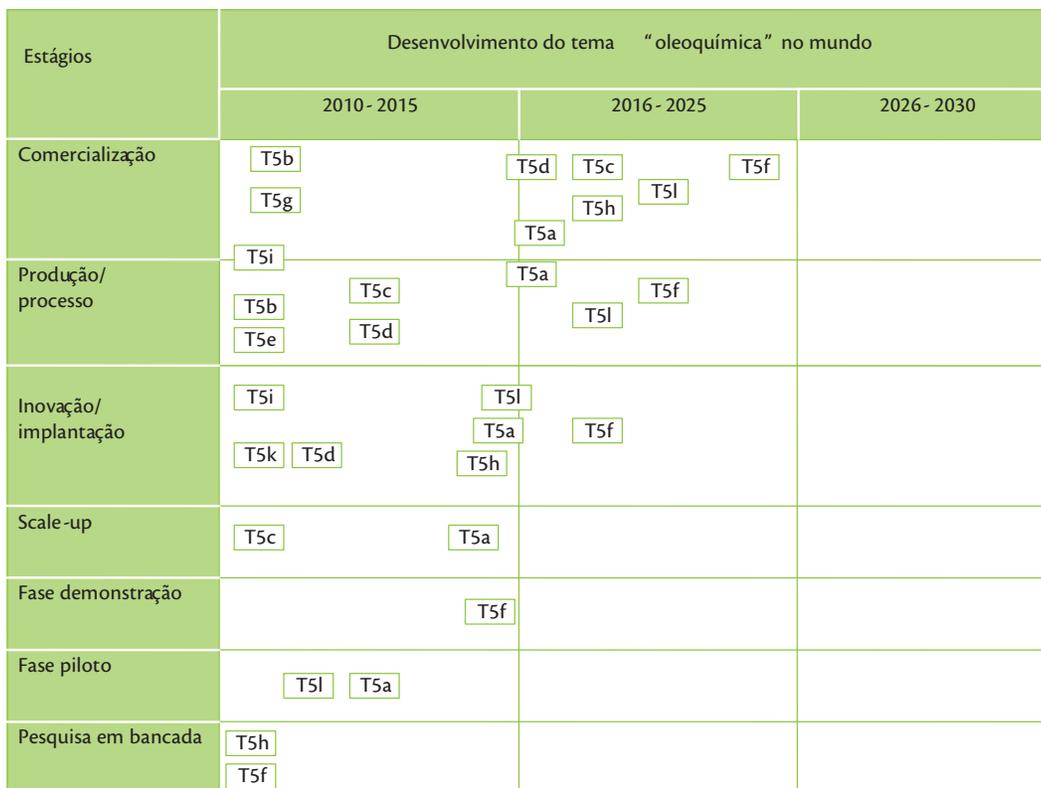
## 4.5. Mapa tecnológico no mundo: 2010-2030

A Figura 4.2 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “oleoquímica” no mundo. Esse mapa permite comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde, no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.

As informações e dados constantes no panorama mundial da oleoquímica e as principais tendências tecnológicas que foram discutidas na Seção 8.2 deste Capítulo sustentam o exercício prospectivo das trajetórias tecnológicas dos oito tópicos tecnológicos desenhadas na Figura 4.2, considerando-se os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030.

As trajetórias tecnológicas preconizadas no mapa tecnológico da Figura 4.2, indicam que, no início do período 2010-2015, os tópicos “aproveitamento de co-produtos” (T5h) e “algas” (T5f) encontram-se no estágio de pesquisa em bancada. Os resultados promissores da pesquisa em bancada referentes ao tópico “algas” (T5f) levarão ao estágio de demonstração ainda neste período.

Já os tópicos “processos de biotecnologia em oleoquímica” (T5l) e “glicerina” (T5a) situam-se na fase piloto em 2010-2015, porém algumas aplicações mais promissoras de glicerina já atingirão o estágio de inovação/implantação ainda neste período. O tópico “produção agrícola de oleaginosas” (T5i) já se encontra hoje no estágio de inovação/implantação, devendo alcançar a fase de produção em larga escala também neste período. A caracterização de matérias-primas oleaginosas (T5k) encontra-se bem desenvolvida, situando-se no estágio de implantação, que neste caso é o estágio máximo.



**Figura 4.2:** Mapa tecnológico do tema “oleoquímica” no mundo: 2010 – 2030

**Notação:** T5a – glicerina; T5b – matérias-primas oleaginosas convencionais; T5c – matérias-primas oleaginosas não-convencionais; T5d – matérias-primas oleaginosas especiais; T5e – gorduras animais; T5f – algas; T5g – extração e processamento de oleaginosas; T5h – aproveitamento de co-produtos; T5i – produção agrícola de oleaginosas; T5j – caracterização de derivados oleoquímicos; T5k – caracterização de matérias-primas oleaginosas; T5l – processos de biotecnologia em oleoquímica.

Finalmente, os tópicos “matérias-primas oleaginosas convencionais” (T5b) e “extração e processamento de oleaginosas” (T5g) encontram-se em estágio maduro, situando-se no estágio superior do mapa, no período 2010-2015. Os tópicos “matérias-primas oleaginosas não-convencionais (T5c); matérias-primas oleaginosas especiais (T5d); e gorduras animais (T5e) situam-se na fase de produção em larga escala neste período.

No período intermediário do mapa (2016 – 2025), como indicado na Figura 4.2, todos os tópicos já terão alcançado os níveis superiores do mapa tecnológico.



## 4.6. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A próxima Figura apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “oleoquímica” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais.

Estágios	Desenvolvimento do tema “oleoquímica” no Brasil		
	2010 - 2015	2016 - 2025	2026 - 2030
Comercialização	T5b, T5g T5e, T5i	T5d T5c	T5f T5l
Produção/ processo		T5a T5h	T3f T5l
Inovação/ implantação	T5d T5r T5i	T5a T5c	
Scale-up	T5a	T5h T5f	T5l
Fase demonstração		T5c	
Fase piloto	T5a T5h	T5l T5f	
Pesquisa em bancada	T5c T5f	T5h T5l	

**Figura 4.3:** Mapa tecnológico do tema “oleoquímica” no Brasil: 2010 -2030

**Notação:** T5a – glicerina; T5b – matérias-primas oleaginosas convencionais; T5c – matérias-primas oleaginosas não-convencionais; T5d – matérias-primas oleaginosas especiais; T5e – gorduras animais; T5f – algas; T5g – extração e processamento de oleaginosas; T5h – aproveitamento de co-produtos; T5i – produção agrícola de oleaginosas; T5j – caracterização de derivados oleoquímicos; T5k – caracterização de matérias-primas oleaginosas; T5l – processos de biotecnologia em oleoquímica.

As principais tendências tecnológicas referentes ao tema e as informações e dados constantes no panorama nacional apresentado na Seção 8.3 deste caderno serviram de base para a construção do

mapa tecnológico do tema “oleoquímica” no Brasil. Indicam-se as trajetórias dos oito tópicos tecnológicos desenhadas na Figura 4.3, considerando os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030.

Com relação às trajetórias indicadas no mapa tecnológico da Figura 4.3, observa-se que, no início do período 2010-2015, os tópicos “matérias-primas oleaginosas não-convencionais” (T5c), “algas” (T5f), “aproveitamento de co-produtos” (T5h) e “processos de biotecnologia em oleoquímica” (T5l) encontram-se no estágio de pesquisa em bancada. Os resultados promissores da pesquisa em bancada referentes ao tópico “aproveitamento de co-produtos” (T5h) levarão a experimentos em fase piloto ainda neste período.

Já os tópicos “matérias-primas oleaginosas especiais” (T5d), “caracterização de matérias-primas oleaginosas” (T5k) e “produção agrícola de oleaginosas” (T5i) situam-se na fase de inovação/implantação em 2010-2015, porém o último (T5i) alcançará o estágio de produção em larga escala ainda neste período. O tópico “glicerina” (T5a), com suas amplas possibilidades de uso como matéria-prima em diversos setores, alcançará os níveis superiores do mapa tecnológico – produção e comercialização em larga escala ainda neste período.

Finalmente, os tópicos “matérias-primas oleaginosas convencionais” (T5b), “extração e processamento de oleaginosas” (T5g) e “gorduras animais” (T5e) são considerados maduros neste período, tendo atingido o estágio de comercialização em larga escala.

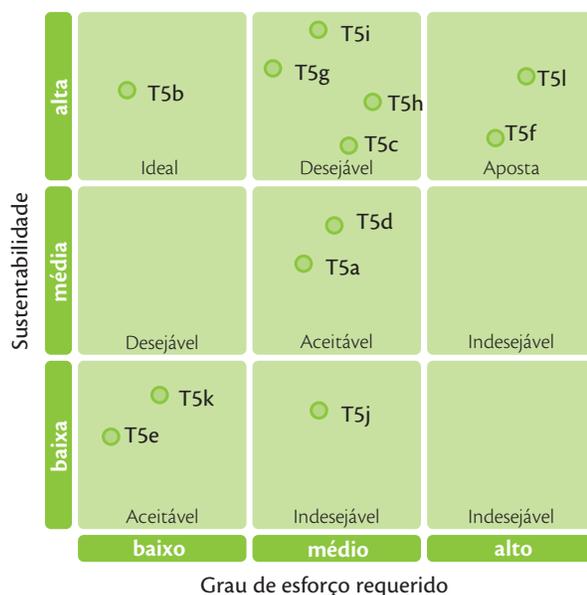
Observa-se que no período 2016-2025, o tópico “matérias-primas oleaginosas não convencionais” (T5c) já se encontrará em estágio avançado no mapa tecnológico do Brasil, acompanhando a trajetória indicada no mapa mundial. Já os tópicos “processos de biotecnologia em oleoquímica” (T5l) e “algas” (T5f) atingirão as fases de demonstração e scale-up neste 2016-2025. Entretanto, somente no início do período seguinte (2026-2030) alcançarão os estágios superiores do mapa: produção e comercialização em larga escala.

A Figura 4.4 representa o portfólio tecnológico estratégico do tema “oleoquímica”, no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 4.3).

Ao se analisar o portfólio tecnológico da Figura 4.4, confirma-se o posicionamento estratégico indicado nos mapas tecnológicos, particularmente no que tange aos tópicos em posição desejável, a



saber: “matérias-primas oleaginosas não-convencionais” (T5c); “extração e processamento de oleaginosas” (T5g); aproveitamento de co-produtos (T5h); produção agrícola de oleaginosas (T5i). Cabe ressaltar, porém, que os tópicos com maior potencial e que representam as chamadas “apostas” estratégicas para o país são os “processos de biotecnologia em oleoquímica” (T5l) e “algas” (T5f).



**Figura 4.4:** *Portfolio* tecnológico estratégico do tema “oleoquímica” no Brasil: 2010 – 2030

**Notação:** T5a – glicerina; T5b – matérias-primas oleaginosas convencionais; T5c – matérias-primas oleaginosas não-convencionais; T5d – matérias-primas oleaginosas especiais; T5e – gorduras animais; T5f – algas; T5g – extração e processamento de oleaginosas; T5h – aproveitamento de co-produtos; T5i – produção agrícola de oleaginosas; T5j – caracterização de derivados oleoquímicos; T5k – caracterização de matérias-primas oleaginosas; T5l – processos de biotecnologia em oleoquímica.

Comparando-se as trajetórias dos dois mapas e os dados da produção científica e propriedade intelectual no mundo, constata-se que o Brasil precisa se preparar para dar respostas em relação ao tema “oleoquímica”, aliando-se esforços das instituições públicas com iniciativas privadas. Uma patente de 2009 envolvendo a produção de biodiesel sob alta pressão e temperatura, sem catalisador, acaba de ser concedida e parece já ser uma dessas respostas<sup>36</sup>.

<sup>36</sup> Dall'Agnol, A. A process for the production of biodiesel in continuous mode without catalyst (Intecnia SA), April 28, 2009, US7524982B2.2009.

Novas tecnologias sustentáveis deverão ser alvo de desenvolvimento e implementação no país, como por exemplo: (i) novos métodos analíticos (ultrassom, microonda etc); (iii) catalisadores mais limpos e mais eficientes; (iv) tecnologias “limpas”; (v) métodos enzimáticos e uso de membranas; (vi) técnicas de fracionamento e interesterificação; e (vii) determinação da biodegradabilidade dos produtos desenvolvidos. Começa a ganhar atenção a técnica de extração baseada em microemulsão usando soluções mistas de tensoativos, com 94% de rendimento, como recentemente exemplificada com óleo de palmiste<sup>37</sup>.

## 4.7. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

Apontam-se nesta seção os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “oleoquímica” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilizem o desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos.

Os principais produtos das matérias primas oleaginosas, os óleos vegetais e as tortas (proteínas e amido) constituem, pode-se dizer, as bases para o estabelecimento de uma química de produtos biorenováveis. Em que pese a disputa entre a produção dessas matérias primas para fins energéticos e a produção para fins alimentícios, os estudos apontam ainda grande possibilidade de co-existência entre esses dois objetivos. Apontam ainda para a busca de fontes alternativas e para o desenvolvimento de tecnologias que possam aumentar a produtividade com diminuição de insumos e sem aumento de área.

O Brasil tem sido visto como um dos principais celeiros globais de alimentos e, mais recentemente, como o maior provedor de bioenergia. A tendência, entretanto, é que outras áreas produtivas apareçam, com investimentos estrangeiros em terras mais férteis da África, a exemplo do que vem ocorrendo na China. Vale frisar que o Brasil é o segundo produtor mundial da principal matéria-prima oleaginosa, não só alimentícia como bioenergética. Não se pode esperar, entretanto, um crescimento indefinido, pois a oferta de farelo tem que acompanhar a demanda de biodiesel. Quanto ao óleo de palma, a produção brasileira não tem avançado convenientemente e talvez seja a matéria-prima mais promissora, sob diversos aspectos, para o aproveitamento em biodiesel, mesmo que em *blends*.

---

<sup>37</sup> Naksuk, A.; Sabatinib, D.A.; Tongcumpou, S. Microemulsion-based palm kernel oil extraction using mixed surfactant solutions *Industrial Crops and Products*, v.30, p.194-198, 2009.



O Quadro 4.2 apresenta os principais condicionantes no curto, médio e longo prazo. Para cada período, destaca-se um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância, em função do potencial da geração de novos conhecimentos e inovações no país e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos.

**Quadro 4.2:** Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “oleoquímica” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “oleoquímica” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
Utilização de matérias primas tradicionais: soja, girassol, canola, palma.	Desenvolvimento agrônomico de matérias-primas alternativas, conhecidas: pinhão manso, macaúba, mamona;	Desenvolvimento de matérias primas alternativas: algas;
Aquecimento global e seus impactos;	Convergência Tecnológica Biotecnologia – Química Fina – Tecnologias de Produto	Recursos humanos em nível técnico e graduado e pós-graduado;
Legislação ambiental mais restritiva;	Parcerias público-privadas;	Impactos da Química Verde e da Biotecnologia (estado-da-arte mundial);
Parcerias público-privadas;	Exigência de escala de produção;	Uso de energias limpas;
Formação de arranjos cooperativos de pesquisa, como redes, clusters e sistemas locais de inovação;	Produção mais limpa;	Certificação e regulamentação técnica e metrologia vinculadas às novas tecnologias limpas.
Impactos da química verde e da biotecnologia (estado-da-arte mundial)	Bioética (legislação, risk assessment institucionalizado, valores e crenças em relação ao uso das tecnologias limpas).	
Estabelecimento de mecanismos de cooperação internacional nas áreas de P&D e industrial.		

No período 2010 – 2015 predominará a utilização de matérias primas tradicionais, como soja, girassol, canola e palma. Deverão ser intensificadas as parcerias público-privadas voltadas para o desenvolvimento de matérias-primas alternativas. Na comparação dos mapas tecnológicos – mundo e Brasil – constatou-se um relativo atraso do país em relação ao exterior, o que exigirá ações básicas de apoio e incentivo a P,D&I para a concretização das trajetórias preconizadas no mapa tecnológico da oleoquímica no Brasil.

Já no período 2016 – 2025 é requerido ainda um esforço no desenvolvimento agronômico de matérias-primas alternativas, como por exemplo o pinhão manso e a macaúba. No período 2026-2030, prevê-se a produção de biocombustíveis a partir de algas. Deve-se ressaltar a consolidação de mecanismos e infraestrutura nacional de certificação e regulamentação técnica vinculados às novas tecnologias limpas.

A visão de futuro construída para o Brasil no que se refere à geração de novos conhecimentos e inovações no tema “oleoquímica” estará sujeita, portanto, aos condicionantes, como mostrado no Quadro 8.2. Em outras palavras, vários são os fatores que estão relacionados com o futuro que se deseja construir para que o Brasil possa assumir de forma sustentável uma posição de destaque em oleoquímica e, particularmente, na produção de biodiesel.



## 5. Sucroquímica<sup>1</sup>

Discorrer sobre o tema “sucroquímica” no contexto brasileiro nos remete diretamente à cana-de-açúcar. A sua cultura é perene, com um ciclo de produção de cinco a sete anos. Dela se extrai a sacarose, substância básica para a produção de açúcar e álcool, que se encontra no sumo da planta madura. A cana colhida contém, além da porção líquida (caldo de cana, onde se encontra a sacarose), fibras de natureza lignocelulósica (bagaço e palha). De uma forma geral, pode-se dizer que a cana-de-açúcar é constituída de 1/3 de caldo, 1/3 de bagaço e 1/3 de palha<sup>2</sup>.

No Brasil, historicamente, a cana-de-açúcar tem grande importância frente às culturas agrícolas do país. A safra 2008/2009 movimentou cerca de R\$ 51 bilhões, correspondendo a 1,76% do PIB, conforme dados apresentados na Tabela abaixo.

**Tabela 5.1:** Dados do setor sucroenergético: safra 2008/09

Movimenta	R\$ 51 bilhões (Produção)
Representa	1,76% do PIB
Gera	4,5 milhões de empregos diretos e indiretos
Envolve	72.000 agricultores
Moe	560 milhões de toneladas de cana
Produz	32 milhões de toneladas de açúcar
Produz	27 bilhões de litros de álcool
Exporta	20 milhões de toneladas de açúcar/US\$ 9 Bilhões
Exporta	5 bilhões de litros de álcool/ US\$ 2,2 bilhões
Recolhe	R\$ 13 bilhões em impostos e taxas
Investe	R\$ 6 bilhões / ano
Compõem-se de	373 usinas e destilarias (em operação + projetos)
<b>7,7 milhões de hectares – 3,5% de área agricultável</b>	

Fonte: <http://www.jornalcana.com.br>. Acesso em: dez 2009.

<sup>1</sup> Este capítulo foi elaborado por Adelaide Antunes, Andressa Gusmão, Daniel Hoefle, Flávia Maria Lins Mendes, Rodrigo Cartaxo, Larissa Barreto Paiva, Mariana Azpiazu, Paola Galera e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.

<sup>2</sup> Antunes e Pereira Jr., 2005.

Embora a produção de açúcar necessite de vultosos investimentos em plantas industriais para atingir o volume de produção compatível com a escala de mercado, o preço do produto refinado é relativamente baixo em função da ampla oferta existente e do pouco valor agregado, ao contrário dos seus derivados químicos. Sendo uma matéria-prima de fonte renovável e de baixo custo, a sacarose vem despertando um crescente interesse como reagente na síntese de derivados de açúcar, denominada sucroquímica<sup>3</sup>. Cabe ressaltar que grande parte desses produtos derivados do açúcar são importados, com alto valor agregado, o que contribui significativamente com o déficit da balança comercial química do país; e simultaneamente constitui em oportunidades de investimento e produção destes produtos em território nacional.

Neste Capítulo, descrevem-se os resultados das análises realizadas para o tema “sucroquímica”, apresentando-se inicialmente o panorama mundial e brasileiro, contemplando os indicadores de ciência e inovação, através da análise das publicações de artigos e dos depósitos de patentes neste tema. Em seguida, descrevem-se os tópicos associados ao tema que foram selecionados para fins de orientação estratégica para a futura Rede Brasileira de Química Verde, seu grau de maturidade no mundo e os setores que serão mais impactados pelo seu desenvolvimento no Brasil. Na sequência, apresentam-se os mapas tecnológicos da sucroquímica em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo *portfolio* tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010 -2030.

## 5.1. Panorama mundial

A fim de avaliar a produção científica no tema sucroquímica, foram realizadas buscas em artigos utilizando base de dados internacionais de publicações de artigos por meio de palavras-chaves e operadores de busca pertinentes. A pesquisa foi realizada na base de dados Web of Science. Esta é uma base de dados de referência internacional para estudos científicos e engloba todas as áreas do conhecimento.

A estratégia utilizada teve como objetivo localizar artigos com os termos do estudo no título e/ou resumo sendo o período de 1999 a 2009. Em princípio, para direcionar melhor o estudo, optou-se por termos abrangentes relacionados à sucroquímica. Dessa forma três termos foram escolhidos. A Tabela a seguir apresenta o número de artigos encontrados para cada estratégia de busca realizada na base.

---

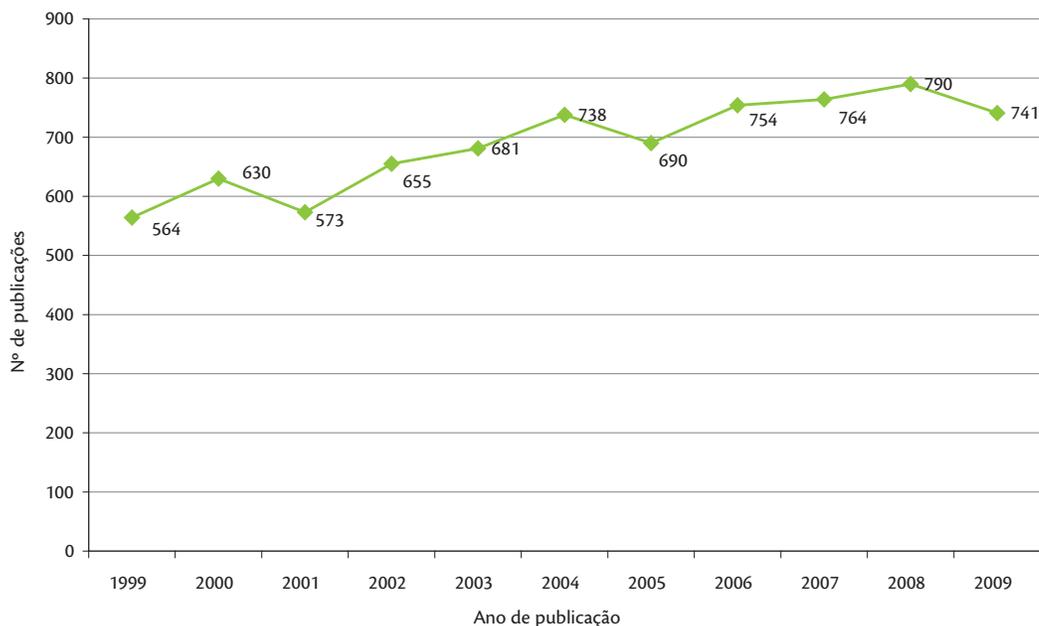
3 Boscolo, 2003.

**Tabela 5.2:** Termos utilizados na estratégia de busca de artigos

Termos da estratégia de busca	Número de artigos
Derivados do açúcar	5.428
Química da sacarose	2.191
Açúcar ou sacarose e fontes renováveis	56

Utilizando-se o *software* Vantage Point®, analisaram-se os artigos e excluíram-se aqueles que se repetiam. Desta forma, constatou-se a presença de 7580 publicações distintas. Assim, levantou-se de forma quantitativa a série temporal das publicações, os países com maior número de artigos, as instituições que mais depositaram patentes e as áreas tecnológicas mais relevantes tanto para o mundo quanto para o Brasil.

Analisando-se a série temporal das publicações de artigos relativos ao tema, notam-se pequenas oscilações de publicações de artigos ao longo dos anos, como pode ser observado pela Figura abaixo.

**Figura 5.1:** Evolução do Número de artigos sobre sucroquímica: 1999 – 2009

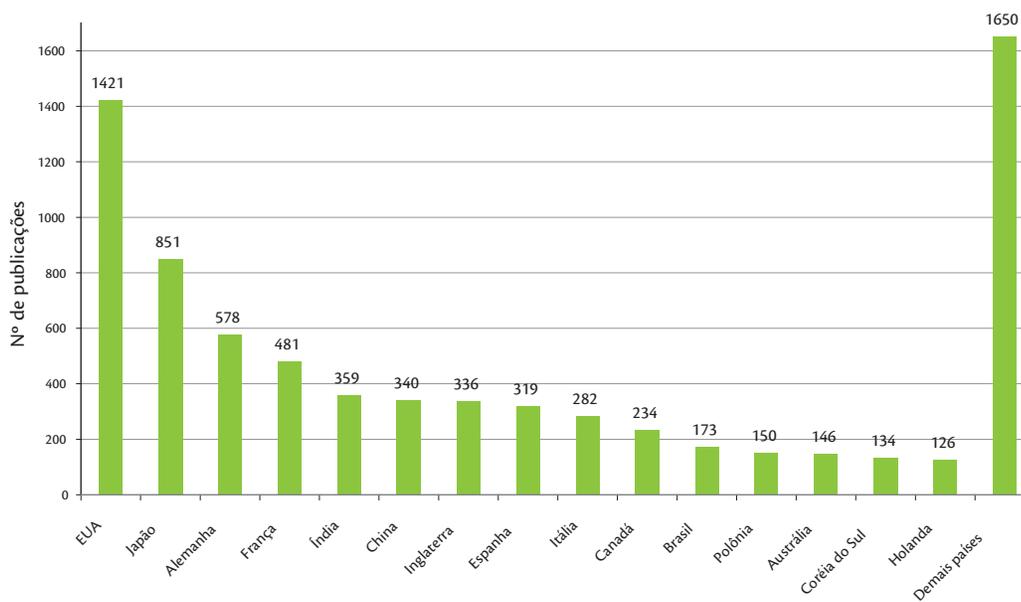
Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Nota: (\*) No ano de 2009, existe o efeito de borda, dessa forma nem todos os artigos publicados foram indexados na base.

A Figura 5.2 apresenta o número de artigos por país da instituição a qual pertence o principal pesquisador. Foram selecionados, para construção do gráfico, apenas os países com mais de 100 artigos.

Nota-se elevado número de artigos publicados por pesquisadores dos Estados Unidos, em um total de 1.424 artigos. Destaque também para a presença do Brasil, com 173 publicações que serão detalhadas posteriormente.

A análise geral sobre o tipo de instituição que mais publicou artigos revelou que a grande maioria das publicações, 5.313, foi feita por pesquisadores dentro de universidades, sendo 1.231 distintas. Em seguida estão 372 institutos/centros de pesquisas que juntos são responsáveis por 865 publicações.



**Figura 5.2:** Artigos publicados sobre sucroquímica por país: 1999 – 2009

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

A Tabela 5.3 mostra as principais instituições com maior publicação de artigos e seus respectivos países. Destaque para a presença da Universidade de São Paulo (USP), com 44 artigos publicados.



**Tabela 5.3:** Artigos publicados sobre sucroquímica, classificados por área do conhecimento: 1999- 2009

Instituição	Número de artigos	País da instituição
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	68	Espanha
Polish Academy of Science	68	Polónia
Universidad de Sevilla	55	Espanha
Chinese Academy of Science	46	China
Indian Institute of Technology	46	Índia
USDA ARS	45	EUA
Hokkaido University	44	Japão
Universidade de São Paulo	44	Brasil
Indian Institute of Chemical Technology	41	Índia
Max Planck Institut	39	Alemanha
University of Oxford	39	Inglaterra
Université Paris	38	França
French National Institute for Agricultural Research (INRA)	36	França
Kyoto University	36	Japão
Tokyo Institute of Technology	34	Japão
Kyushu University	33	Japão
Osaka University	33	Japão

A análise das instituições correlacionadas aos países de origem revela instituições com bastante concentração de artigos, por exemplo, na Espanha, duas instituições são responsáveis pela publicação de 123 artigos; no Japão, 5 instituições publicaram juntas 180 artigos; na Índia, duas instituições publicaram 87 artigos e nos EUA, duas instituições juntas publicaram 77 artigos.

Cabe observar que embora o maior número de artigos publicados tenha sido de instituições dos EUA, como observado no gráfico anterior, este país não apresenta soberania quando se analisa as instituições separadamente. Isso pode ser justificado pelo elevado número de instituições que publicaram artigos referentes aos derivados do açúcar nos EUA. Foram identificadas 397 instituições distintas.

A Tabela 5.4 relaciona as maiores áreas do conhecimento envolvidas. Vale mencionar que um mesmo artigo pode apresentar mais de uma área. As áreas elencadas apresentam nitidamente o grande número de artigos relacionados à pesquisa básica. Entre os setores de economia, as áreas apontam: alimentos, fármacos/medicamentos, polímeros e agroindústrias.

**Tabela 5.4:** Áreas do conhecimento com maior número de artigos utilizando como termo de busca os derivados de açúcar

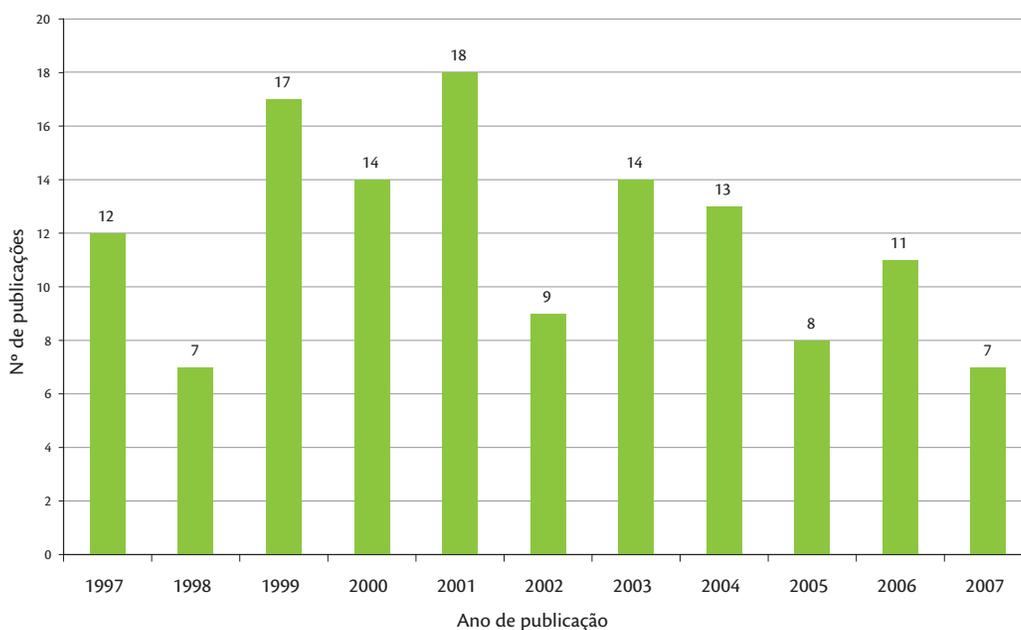
Áreas	Número de Artigos
Bioquímica e biologia molecular	1.486
Química orgânica	1.468
Química aplicada	694
Química multidisciplinar	693
Ciência e tecnologia de alimentos	521
Biotecnologia e microbiologia aplicada	499
Agronomia	454
Química medicinal	389
Físico-química	385
Agricultura multidisciplinar	316
Química analítica	299
Ciência e tecnologia de alimentos	267
Microbiologia	255
Farmacologia	250
Métodos de pesquisa bioquímicos	196
Química inorgânica	185
Biofísica	173
Polímeros	173
Agronomia	171
Engenharia química	151
Nutrição	146



Para análise da propriedade intelectual, foram realizadas buscas na base internacional de patentes Derwent Innovation Index utilizando duas estratégias diferentes. A primeira com termos relacionados à sucroquímica e a segunda estratégia com termos da Classificação Internacional de Patentes (CIP).

Para uma visão mais abrangente, foram realizadas buscas com os termos relacionados à sucroquímica no título e no resumo, cobrindo os últimos 10 anos (1999-2009). Obteve-se como resultado 587 patentes. A mesma busca foi realizada utilizando-se como parâmetro de busca o título, ou seja, uma busca mais focada e, portanto, o resultado passou a ser de 137 patentes depositadas nesse mesmo período.

Foram construídos e analisados gráficos e tabelas para patentes mais focadas em sucroquímica. A Figura 5.3 mostra a tendência histórica das 137 patentes encontradas. Observa-se que há oscilações no período de 10 anos com relação ao número de depósitos, com variações de 7 a 18 depósitos de patentes no referido período.



**Figura 5.3:** Evolução do Número de depósitos de patentes relativos aos termos relacionados à sucroquímica somente no título: 1997-2007

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovation Index. Acesso em dez 2009

Com relação à origem das patentes, verifica-se na Tabela 5.5, a seguir, as 137 patentes com relação aos países onde fizeram o primeiro depósito. Destaca-se o Japão, sendo o principal país de prioridade com 67 patentes.

**Tabela 5.5:** Número de patentes depositadas por país de prioridade

País de Prioridade	Número de patentes
Japão	67
Estados Unidos	26
Grã-Bretanha	14
Alemanha	10
França	8

A Tabela próxima apresenta os principais depositantes das 137 patentes encontradas na pesquisa com foco maior em sucroquímica.

**Tabela 5.6:** Número de patentes depositadas por país de prioridade

Depositantes	Número de patentes
Mitsui Chem Inc (Mita)	8
Unilever Nv (Unil)	7
Hindustan Lever Ltd (Hind-Non-Standard)	6
Japan Sci & Technology Agency (Nisc-Non-Standard)	6

Nota-se que as maiores depositantes são Mitsui Chem e Unilever com respectivamente 8 e 7 patentes depositadas em 10 anos.

As 8 patentes da empresa Mitsui Chem tem como principais áreas: preparação de compostos contendo radicais sacarídeos, usados, por exemplo, na indústria de medicamentos e para melhoramento genético de plantas (transgênicos).



Tanto a Unilever, quanto a Hindustan Lever LTD têm suas patentes com foco em produção de derivados de açúcar com aplicação em tratamento, amolecimento e lavagem de tecidos e em tratamento de cabelo danificado (conferindo maciez). Essas duas empresas são parceiras em suas patentes.

As patentes da Japan SCI & Technology Agency estão voltadas para a produção de derivados do açúcar para fins de utilização dos mesmos como agentes coagulantes.

Para a segunda estratégia, usou-se a Classificação Internacional de Patentes (CIP). A CIP usada foi a subclasse "C<sub>07</sub>H - Açúcares; seus derivados". A seguir será feita análise dos resultados encontrados para as buscas realizadas com essa estratégia.

A Tabela 5.7 mostra as classificações Internacionais de Patentes que foram utilizadas para a busca na base Derwent Innovations Index com seus respectivos números de patentes encontrados no período de 1999-2009.

Após a análise das classificações anteriormente apresentadas, nota-se que há uma classificação de processo (C<sub>07</sub>H-001/00) e onze de compostos (as demais).

Observa-se também que as CIPs mais relevantes em número de patentes são: C<sub>07</sub>H-001/00; C<sub>07</sub>H-019/00; C<sub>07</sub>H-015/00; C<sub>07</sub>H-017/00; C<sub>07</sub>H-021/00; uma de processo e quatro composições relevantes de compostos.

Para o detalhamento, utilizou-se o resultado da Classificação C<sub>07</sub>H-001/00 (2.342 patentes), pois essa classificação abrange os processos de preparação de derivados de açúcar nos últimos 10 anos (1999-2009).

**Tabela 5.7:** Número de patentes depositadas por CIP relacionada à sucroquímica

CIP	Definição	Número de patentes
C <sub>07</sub> H-001/00	Processos de preparação de derivados do açúcar	2.342
C <sub>07</sub> H-003/00	Compostos contendo apenas átomos de hidrogênio e radicais sacarídeos tendo apenas átomos de carbono, de hidrogênio e de oxigênio	895
C <sub>07</sub> H-005/00	Compostos contendo radicais sacarídeos nos quais as hetero-ligações ao oxigênio foram substituídas pelo mesmo número de hetero-ligações ao halogênio, ao nitrogênio, ao enxofre, ao selênio ou ao telúrio	563
C <sub>07</sub> H-007/00	Compostos contendo radicais não sacarídeos ligados a radicais sacarídeos por uma ligação carbono-carbono	293
C <sub>07</sub> H-009/00	Compostos contendo um heteroanel partilhando pelo menos dois heteroátomos com um radical sacarídeo	70
C <sub>07</sub> H-011/00	Compostos contendo radicais sacarídeos esterificados por ácidos inorgânicos; Seus sais metálicos	199
C <sub>07</sub> H-013/00	Compostos contendo radicais sacarídeos esterificados quer pelo ácido de carbono ou seus derivados, quer por ácidos orgânicos, por ex., ácidos fosfônicos	421
C <sub>07</sub> H-015/00	Compostos contendo radicais de hidrocarbonetos ou de hidrocarboneto substituído diretamente ligados a heteroátomos dos radicais sacarídeos	1.736
C <sub>07</sub> H-017/00	Compostos contendo radicais heterocíclicos diretamente ligados a heteroátomos de radicais sacarídeos	1.710
C <sub>07</sub> H-019/00	Compostos contendo um heteroanel partilhando um heteroátomo do anel com um radical sacarídeo; Nucleosídeos; Mononucleotídeos; Seus derivados anidro	2.216
C <sub>07</sub> H-021/00	Compostos contendo duas ou mais medidas mononucleotídicas tendo grupos fosfato ou polifosfato separados, ligados por radicais sacarídeos de grupos nucleosídeos, por ex., ácidos nucléicos	21.447
C <sub>07</sub> H-023/00	Compostos contendo boro, silício ou um metal, por ex., quelatos, vitamina B 12	240



A Tabela 5.8 apresenta os principais países de prioridade, ou seja países de primeiro depósito, com relação as 2.342 patentes de processo.

**Tabela 5.8:** Número de patentes depositadas por país de prioridade

País de prioridade	Número de patentes
Estados Unidos	704
China	699
Japão	295
Alemanha	183
França	65

Nota-se que Estados Unidos e China aparecem com grande destaque, sendo os países com maior número de depósitos. Os dois países juntos representam 60% do total de depósitos de patentes nos 10 anos (1999-2009).

A Tabela 5.9 mostra os principais depositantes das 2.342 patentes que estão relacionadas a processos de preparação de derivados de açúcar.

**Tabela 5.9:** Número de patentes por depositante

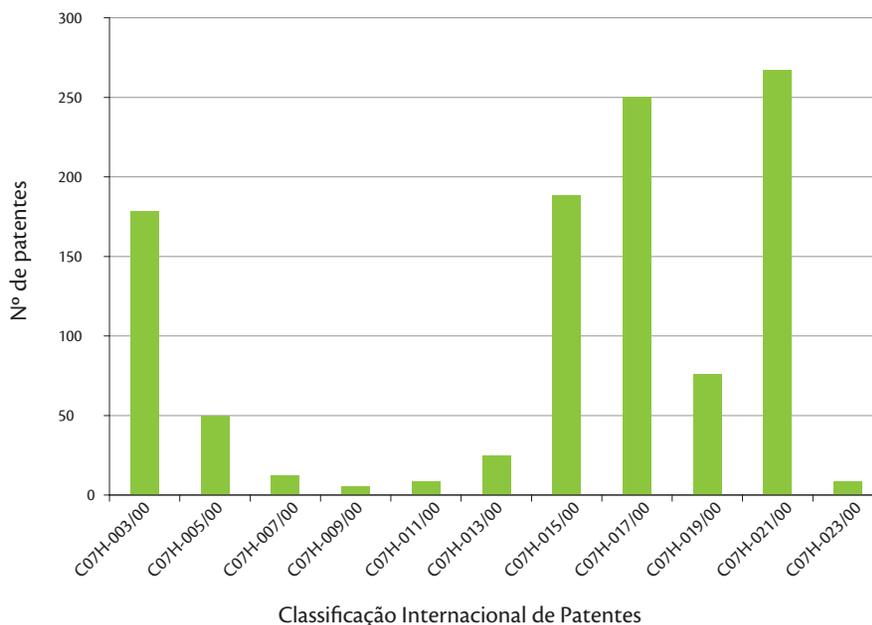
Depositantes	Número de patentes
Pharmed Medicare Pvt Ltd	23
Roquette Freres Sa	19
Basf Ag	18
Univ Zhejiang	18
Abbott Lab	17
Qiagen Gmbh	14
Cargill Inc	13
Tate&Lyle Technology Ltd	12
Isis Pharm Inc	11

A Pharmed Medicare é uma empresa farmacêutica que produz diversos medicamentos. Ela possui o maior número de patentes relacionadas à preparação de derivados do açúcar, sendo que suas 23 patentes têm com principal foco a preparação de compostos contendo radicais sacarídeos, processos de formação de adoçantes alimentícios (trichlorogalactosucose – TGS), processos de separação e purificação e melhorias de eficiência na obtenção de produtos sucroquímicos. Percebe-se que suas patentes apresentam melhorias dos processos produtivos através da redução no consumo de solventes aumentando a eficiência de produção em escala industrial no processo de extração de compostos.

A Roquette Freres nas suas 19 patentes tem como principais áreas de atuação: o setor farmacêutico, de cosméticos e alimentício. A empresa apresenta relevância na produção de aldoses. A Basf nas suas 18 patentes tem como principais áreas: preparação de compostos de celulose ou derivados para o setor têxtil, celulose e papel e alimentício.

Outra análise é a integração das patentes de processo (Co<sub>7</sub>H-001/00 - processos de preparação de derivados do açúcar) com as patentes de compostos, (CIP de compostos). Essa integração tem como objetivo definir os compostos os quais são objetos de patenteamento em processos, entre as seguintes CIP: Co<sub>7</sub>H-003/00, Co<sub>7</sub>H-005/00, Co<sub>7</sub>H-007/00, Co<sub>7</sub>H-009/00, Co<sub>7</sub>H-011/00, Co<sub>7</sub>H-013/00, Co<sub>7</sub>H-015/00, Co<sub>7</sub>H-017/00, Co<sub>7</sub>H-019/00, Co<sub>7</sub>H-021/00 e Co<sub>7</sub>H-023/00.

O gráfico da Figura 5.4 apresenta a distribuição das patentes encontrados neste cruzamento, de acordo com as classificações indicadas no eixo horizontal do gráfico.



**Figura 5.4:** Cruzamento das patentes de processo (C0<sub>7</sub>H-001/00) com as demais classificações de compostos

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Esta correlação entre processo e composto gerou quatro classificações de maior impacto em termos de patentes: C<sub>0</sub><sub>7</sub>H-00300/00; C<sub>0</sub><sub>7</sub>H-015/00, C<sub>0</sub><sub>7</sub>H-017/00 e C<sub>0</sub><sub>7</sub>H-021/00.

O cruzamento de maior relevância relacionado a processos foi com a classificação C<sub>0</sub><sub>7</sub>H-021/00 (compostos contendo duas ou mais medidas mononucleotídicas, tendo grupos fosfato ou polifosfato separados, ligados por radicais sacarídeos de grupos nucleosídeos, por ex., ácidos nucleicos). Foram encontradas 272 patentes.

A Tabela 5.10 mostra os principais depositantes destas patentes e o número de patentes por depositante. A empresa QIAGEN tem como principal área nas suas 11 patentes: processos para o isolamento, concentração ou purificação de ácidos nucleicos. A FEBIT nas suas 7 patentes tem como principais áreas: a síntese de polímeros de alta qualidade, tipo ácidos nucleicos e peptídeos. A empresa ROCHE nas suas sete patentes tem como principal área “processos para o isolamento, preparação ou purificação de ácidos nucleicos”.

**Tabela 5.10: Número de patentes por depositante**

Número de patentes	Principais Depositantes
11	Qiagen GmbH
7	Febit Ferrarius Biotechnology GmbH
7	Roche Diagnostics GmbH

A Tabela a seguir apresenta os principais países de prioridade e os respectivos números de patentes depositadas.

**Tabela 5.11: Número de patentes depositadas por país de prioridade**

País de Prioridade	Número de Patentes
Estados Unidos	100
Alemanha	57
China	46
Japão	24
Grã-Bretanha	12

Pode-se observar que os Estados Unidos é o principal país de prioridade com 100 patentes, tendo praticamente duas vezes mais patentes depositadas que o segundo colocado, a Alemanha com 57. Com relação as 272 patentes analisadas anteriormente, cabe ressaltar que o Brasil não apareceu em nenhuma patente como país de prioridade.

Na Tabela 5.12, são apresentadas as áreas com maior abrangência em termos de patentes.

**Tabela 5.12:** Principais áreas de conhecimento e aplicação em termos de patentes depositadas

Área	Número de Patentes
Química	276
Farmacologia e farmácia	262
Biotecnologia e microbiologia aplicada	237
Ciência dos polímeros	78
Engenharia	75
Instrumentos e instrumentação	72
Agricultura	28
Ciência e tecnologia de alimentos	20
Clínica geral e medicina interna	7
Ciência da computação	6

Nota-se que grandes áreas como fármacos e medicamentos, agricultura e alimentos são fortes tendências entre as patentes dessas classificações mais relevantes.

O segundo grupo de relevância foi o C<sub>07H-017/00</sub> (compostos contendo radicais heterocíclicos diretamente ligados a heteroátomos de radicais sacarídeos), com 266 patentes depositadas integradas a processo.

A próxima Tabela apresenta os principais depositantes destas patentes e o número de patentes por depositante.

**Tabela 5.13:** Número de patentes por depositante

Principais Depositantes	Número de patentes	País
Abbott Lab	8	Estados Unidos
Teva Pharm Ind Ltd	6	Estados Unidos
Pla Second Military Medical Univ	6	China

A empresa Abbott nas suas 8 patentes tem como principais áreas: (i) preparação de anti-infecciosos, como por exemplo agentes antibacterianos; e (ii) produção de carboidratos, açúcares e derivados dos mesmos.

A Teva Pharm nas suas 6 patentes tem como principais áreas, também a preparação de anti-infecciosos, como por exemplo agentes antibacterianos, e a produção de carboidratos, açúcares e derivados dos mesmos.

Já a PLA Second Military Medical University da China nas suas 6 patentes tem como principal área os processos de preparação de derivados do açúcar.

A Tabela 5.14 mostra os principais países de prioridade e os respectivos Número de patentes por país.

**Tabela 5.14:** Número de patentes por país de prioridade

País de Prioridade	Número de Patentes
China	191
Estados Unidos	36
Japão	11
Coréia do Sul	6
França	5

Nota-se que a China aparece como o principal país de prioridade com 72% do total de patentes encontradas. Outro fator que pode ser levado em conta é que China e os Estados Unidos juntos possuem 85% do total de depósitos de patentes nessa área. Novamente, o Brasil não aparece como país de prioridade nestas 266 patentes analisadas.

As principais áreas de depósito para essas patentes estão descritas a seguir. Estas informações foram retiradas da base Derwent, na qual cada patente pode estar presente em mais de uma área (Tabela 5.15).

O terceiro grupo de relevância foi o C<sub>07H-015/00</sub> (compostos contendo radicais de hidrocarbonetos ou de hidrocarboneto substituído diretamente ligados a heteroátomos dos radicais sacarídeos), com 195 patentes depositadas.

**Tabela 5.15:** Número de patentes depositadas por área

Área	Número de Patentes
Química	265
Farmacologia e farmácia	230
Ciência dos polímeros	46
Engenharia	30
Instrumentos e instrumentação	27
Biotecnologia e microbiologia aplicada	20
Agricultura	16
Ciência e tecnologia de alimentos	10

A Tabela a seguir mostra os principais depositantes destas patentes e o número de patentes por depositante.

**Tabela 5.16:** Número de patentes por depositante

Número de Patentes	Depositantes
4	Roquette Freres As
4	Univ Sichuan

A Roquette Freres nas suas 4 patentes tem como principais áreas: (i) produção de compostos utilizados como adoçantes alimentícios; e (ii) formação de cristais de maltitol utilizado como substituto do açúcar na indústria farmacêutica e alimentícia, como por exemplo na produção de chocolate e chicletes.

As 4 patentes depositadas pela Universidade de Sichuan relacionam-se à geração de novos compostos utilizados na indústria farmacêutica. Cada um possui uma função diferente: calmante e sonífero, função de sedativo e anticonvulsivante e também como atuante no sistema nervoso central.

A próxima Tabela mostra o número de patentes dos principais países de prioridade. Nota-se que a China aparece como o principal país de prioridade com 53% do total de patentes encontradas.

**Tabela 5.17:** Número de patentes por país de prioridade

Número de patentes	País de Prioridade
103	China
26	Japão
22	Estados Unidos

Outro fator que pode ser levado em conta é que a China, o Japão e os Estados Unidos juntos possuem 77% do total de depósitos de patentes nessa área. O Brasil aparece como país de prioridade em 3 patentes das 195 encontradas. As patentes encontradas referentes ao Brasil estão descritas no Quadro abaixo.

**Quadro 5.1:** Patentes brasileiras provenientes do cruzamento das classificações de processo C07H-001/00 e de compostos C07H-015/00

Título	Depositantes no Brasil	Número da Patente
Organic solvents free production of stevia rebaudiana (Bert) bertonii foliage based natural sweeteners consists of ultra and nano filtration of foliage extract with ion exchange.	Stevia Natus Produtos Naturais Ltda	BR200701736-A
Preparation of a charcoal-ganglioside GM1 complex which is stable at different pH values and which is used for treatment of cholera or as an antidote to iron poisoning.	TRB Pharm Ind. Química & Farm Ltd	AU200061423-A ; WO200109151-A1 ; WO200109151-A ; BR9903302-A ; EP1203002-B1
Set of soluble derivatives of escinas consists of chemical modifications based on e.g. reaction with acid halides.	Universidade de São Paulo USP	BR200605546-A

A primeira patente exibida no Quadro 5.1 refere-se ao processo de produção de solventes orgânicos livres a partir da folhagem da *Stevia rebaudiana*, utilizando ultra e nanofiltração para posterior utilização em alimentos e fabricação de fertilizantes.

As duas outras patentes estão relacionadas à área farmacêutica. Uma exhibe o processo de preparação de um complexo de carvão e gangliosídeo GM1 para tratamento de cólera ou como antídoto para envenenamento com ferro. A outra fala de derivados solúveis da escina para aplicações farmacêuticas e em cosméticos.



As principais áreas de depósito para estas patentes estão apresentadas a seguir na Tabela 5.18. Essas informações foram levantadas da base Derwent, na qual cada patente pode estar presente em mais de uma área.

**Tabela 5.18:** Número de patentes depositadas por área

Área	Número de patentes
Química	194
Farmacologia e farmácia	134
Ciência dos polímeros	47
Ciência e tecnologia de alimentos	39
Engenharia	27
Biotecnologia e microbiologia aplicada	20
Instrumentos e instrumentação	17
Agricultura	11

O quarto grupo de relevância foi o Co7H-003/00 (compostos contendo apenas átomos de hidrogênio e radicais sacarídeos tendo apenas átomos de carbono, de hidrogênio e de oxigênio), com 188 patentes depositadas.

A Tabela abaixo mostra os principais depositantes destas patentes e o número de patentes por depositante.

**Tabela 5.19:** Número de patentes por depositante

Número de patentes	Depositantes
4	Cargill Inc
4	Danisco Sweeteners Ou
4	Xiwang Group Co Ltd

As 4 patentes depositadas da Cargill dizem respeito aos seguintes temas e aplicações: (i) hidrogenação de cetoses para produção de manitol e sorbitol; (ii) aditivos de sabor e odor para produtos diversos, tais como dentifrícios, como pasta de dentes, bebidas como chá e café, e comidas como massa e molho de pizza; (iii) produtos de baixa caloria utilizados na fabricação de alimentos, bebidas

e suplementos de dieta, e no tratamento de doenças como a diabetes tipo 2 e anemia; (iv) invenção de composto utilizado na produção de quitosana, que possui função de cicatrização, e é utilizada na fabricação de produtos como gazes e ataduras.

Entre as 4 patentes depositadas pela Danisco Sweeteners, os temas abordados envolvem: 1) métodos de separação de sacarídeos; 2) preparação de cristais de L-ribose com alta pureza utilizados na produção de drogas antivirais; 3) obtenção de galactose, um açúcar monossacarídeo, utilizado na indústria farmacêutica e de aditivos alimentares; 4) obtenção de monossacarídeos a partir de ramnoses, arabinoses e xiloses.

O Grupo Xiwang tem como principal negócio o processamento de milho. Produz principalmente amido de milho, amido de açúcar através da cristalização de açúcar da uva, óleo de milho, fibras de milho, além de outros produtos como ferro e aço, vinho, água etc. Suas 4 patentes depositadas no campo da sucroquímica dizem respeito ao desenvolvimento de aparelhos relacionados à obtenção de açúcar, por exemplo: criação de aparelho de filtração utilizado na separação de descolorantes durante a produção de glicose; aparelho de reciclagem de açúcar em pó no processo de secagem de glicose anidra; aparelho de entrega de açúcar utilizado no processo de secagem da dextrose anidra.

As principais áreas de depósito para estas patentes estão apresentadas na Tabela a seguir. Estas informações foram obtidas da base Derwent, na qual cada patente pode estar presente em mais de uma área.

**Tabela 5.20:** Número de patentes internacionais por área de depósitos

Área	Número de Patentes
Química	188
Ciência e tecnologia de alimentos	94
Farmacologia e farmácia	84
Ciência de polímeros	70
Biotecnologia e microbiologia aplicada	38
Engenharia	26
Instrumentos e instrumentação	17
Agricultura	11



Em termos de origem das patentes, nota-se que a China aparece como o principal país de prioridade com 41% do total de patentes encontradas. Outro fator que pode ser levado em conta é que a China, o Japão e os Estados Unidos juntos possuem 78% do total de depósitos de patentes nessa área (Tabela 5.21).

**Tabela 5.21:** Número de patentes internacionais por país de prioridade

Número de Patentes	País de Prioridade
77	China
36	Japão
33	Estados Unidos
14	Alemanha

O Brasil aparece como país de prioridade em 3 das 188 patentes analisadas, as quais são descritas no Quadro 5.2.

As patentes brasileiras estão relacionadas aos setores de energia, farmacêutico, alimentício e agricultura.

A primeira patente é para um equipamento de pré-hidrólise de biomassa, para obtenção de produtos como a celulignina. Esta é utilizada como combustível de caldeiras, turbinas a gás e geração de energia. O pré-hidrolisado é utilizado para a produção de furfural, etanol e xilitol.

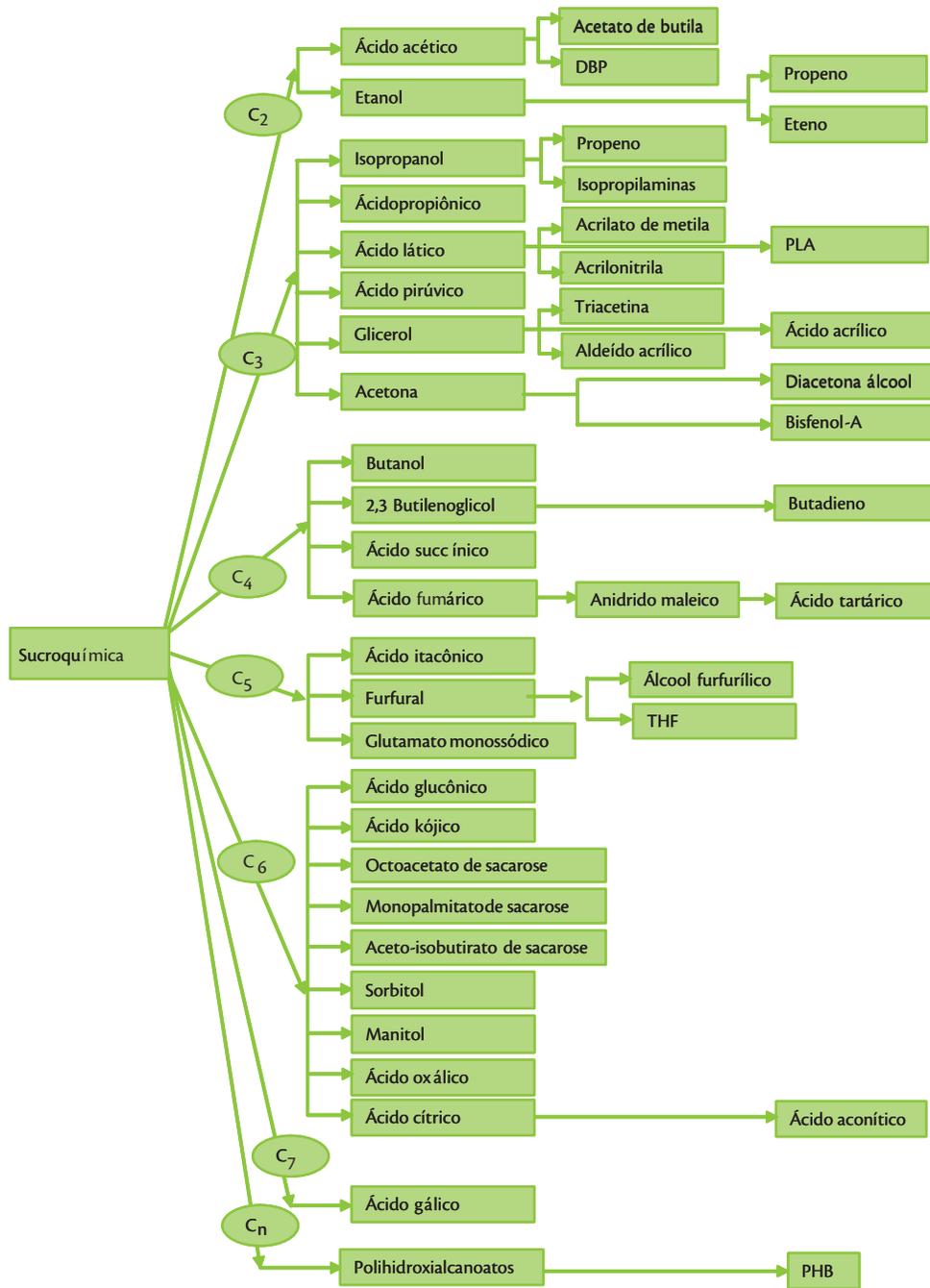
A segunda patente exhibe um método de preparação de inulina de palma para uso em medicamentos ou na indústria de alimentos e diferentes segmentos da agricultura.

A terceira patente mostra a preparação de xilose cristalina a partir do bagaço da cana. A xilose é utilizada na fabricação de adoçantes, aditivos e conservantes em alimentos, bebidas e produtos farmacêuticos. Também é utilizada como matéria-prima para diversos medicamentos.

**Quadro 5.2:** Patentes brasileiras provenientes do cruzamento das classificações de processo C0<sub>7</sub>H-001/00 e de compostos C0<sub>7</sub>H-003/00

Título	Depositantes do Brasil	Número da Patente
Apparatus for pre-hydrolysis of biomass such as wood, straw to obtain commercial products such as cellulignin and sugar solution, comprises corrosion-resistant coatings on reaction vessel with vacuum in-between.	Garcia Pinatti D Rm Materiais Refrat Rios Ltda Rm Materiais Refratarios Ltda Soares A G Guedes Soares A	AU200055160-A ; ZA200110394-A ; EP1194226-A ; WO200078446-A2 ; US6878212-B1
Method for preparing palm inulin for use in drug formulation or in food industry and different segments of agriculture, involves carrying out acid hydrolysis of cell, stem or leaves of palm plant related to species of family Arecaceae.	Battistin A Fermino M H	BR200606063-A
Preparation of crystalline xylose useful as sweetener, by washing ground sugar cane bagasse with water, heating, neutralizing, treating with ferric chloride and anionic polyelectrolyte and concentrating.	Getec Guanabara Quimica Ind Sa Soares S M Ferreira J A Teixeira C O	AU2004245136-A1 ; CN100381452-C ; US2006281913-A1 ; WO2004108739-A2 ; BR200301678-A

Visando selecionar outros termos que representassem as tendências do tema “sucroquímica”, utilizou-se como base os produtos derivados da sacarose, pentoses e hexoses. Para cada uma dessas matérias primas, apresentam-se as árvores de derivados. A Figura 5,5 mostra a árvore de produtos derivados de açúcares, que compreende derivados alcoolquímicos e os demais produtos derivados da sacarose. Os derivados alcoolquímicos foram abordados no Capítulo 6 deste documento.



**Figura 5.5:** Árvore de produtos derivados de açúcares

Fonte: Adaptado SIQUIM, 2004.

Apresentam-se na Tabela próxima os resultados de buscas de patentes e artigos científicos, para as quais utilizaram-se os termos indexadores de cada derivado, tanto no título, quanto no resumo.

**Tabela 5.22:** Resultados das buscas em ordem decrescente de patentes

Produtos sucroquímicos	Patentes	Patentes CIP C0,H (Açúcar e derivados)	Artigos	Artigos de produção renovável
Eteno	125.251	957	70.577	6
Etanol	79.627	2.835	69.063	754
Propeno	71.631	333	4.870	7
Ácido acético	46.544	1.427	27.033	60
Ácido acrílico	36.284	190	8.779	4
Butadieno	33.946	25	7.928	2
Acetona	32.412	952	18.383	24
Ácido cítrico	29.114	278	8.241	110
Glicerol	27.866	816	18.400	180
Acilonitrila	23.508	52	5.451	1
Acetato de butila	21.302	350	2.082	-
Ácido láctico	18.983	235	21.161	409
Bisfenol-A	16.776	10	7.426	-
Isopropanol	14.930	543	3.198	1
Anidrido maleico	14.425	46	5.101	3
Butanol	13.797	397	7.926	61
Ácido succínico	10.630	142	2.449	64
Ácido propiônico	9.173	163	4.665	12
Ácido tartárico	7.891	84	2.087	1
Butileno glicol	7.209	45	308	-
Ácido fumárico	6.702	65	958	4
Acrilato de metila	4.889	52	2.016	1
PLA	4.488	36	5.460	34
Ácido itacônico	3.928	15	534	6



Produtos sucroquímicos	Patentes	Patentes CIP C <sub>07</sub> H (Açúcar e derivados)	Artigos	Artigos de produção renovável
Ácido glucônico	2.327	78	659	34
Aldeído acrílico	2.215	15	105	-
Ácido pirúvico	1.357	45	940	3
Glutamato monossódico	1.353	9	828	-
Ácido gálico	1.320	32	2.545	10
Triacetina	1.110	7	190	-
DBP	1.018	8	4.541	-
Diacetona álcool	942	3	97	-
Isopropilaminas	685	14	306	1
PHA	522	8	82	2
Ácido kójico	503	14	378	5
Ácido aconítico	365	7	200	-
Sorbitol	12.311	252	4.094	9
Manitol	8.066	222	6.063	13
Ácido oxálico	7.366	79	4.058	8
Aceto-isobutirato de sacarose	167	4	21	-
Monopalmitato de sacarose	126	1	7	-
Octoacetato de sacarose	3	-	-	-
Tetrahidrofurano	33.418	1.099	8.196	-
Furfural	1.015	14	1.124	2
Álcool furfurílico	641	2	374	2

Posteriormente, para cada produto, buscou-se a relação dos mesmos com o termo sucroquímica, visto que na indústria química a rota predominante na produção da maior parte desses produtos é a petroquímica. Para isso, foi utilizado em patentes a CIP C<sub>07</sub>H – açúcar e seus derivados; e em artigos, utilizou-se a combinação com o termo fontes renováveis, uma vez que não há a facilidade de uma classificação internacional para artigos.

Ainda em relação às patentes, os principais produtos são: eteno, etanol, propeno, ácido acético, ácido acrílico, butadieno, acetona e ácido cítrico.

Assim como em patentes, os produtos com maior número de artigos publicados são o eteno, seguido do etanol. O etanol merece destaque por apresentar quantidades muito maiores de publicações. Já os outros produtos se alternam nas posições seguintes, sendo que alguns possuem mais publicações de artigos e outros mais depósitos de patentes.

Em geral, as informações da Tabela 5.22 também indicam que alguns produtos possuem um grande número de depósitos de patentes, mas as publicações de artigos já não são tão elevadas. A título de ilustração, citam-se: o ácido fumárico, o ácido itacônico e o ácido glucônico. O inverso também ocorre com alguns produtos possuindo muito mais publicações de artigos do que depósitos de patentes. Nesse caso encontra-se o propeno, por exemplo.

No contexto das tetroses, o tetrahydrofurano é o produto com maior número tanto de publicações de artigos quanto em depósitos de patente, o que mostra sua importância nesta cadeia.

Nas pentoses, é importante observar que o álcool furfúrico quase não apresenta publicações ou patentes depositadas nos últimos 10 anos, mostrando sua pequena relevância nesta cadeia.

Com relação às hexoses, o sorbitol é o produto com maior número de patentes, enquanto o manitol possui mais publicações de artigos relacionados. Assim, esses dois produtos apresentam os maiores índices de produção científica quando comparados aos outros produtos.

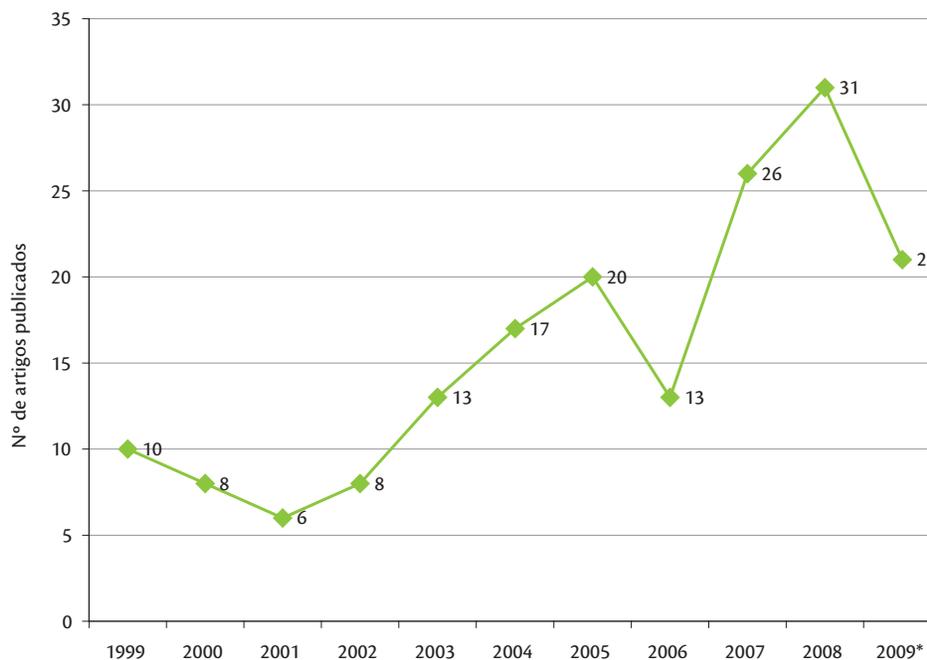
## 5.2. Panorama nacional

A fim de mapear o cenário brasileiro científico e tecnológico no tema “sucroquímica”, foram realizadas buscas de artigos e patentes, respectivamente, em bases de dados internacionais e nacionais. Foram realizadas buscas em artigos publicados na base de dados Web of Science no período de 1999 a 2009. A estratégia utilizada foi a mesma apresentada anteriormente, focalizando apenas artigos nos quais o autor principal pertence a uma instituição brasileira. O resultado dessas buscas é apresentado na Tabela 5.23.

**Tabela 5.23:** Resultados da busca de artigos de autores brasileiros

Termos da Estratégia	Número de Artigos
Derivados do açúcar	93
Química da sacarose	78
Açúcar ou sacarose e fontes renováveis	7

Realizando a análise de todos os artigos e excluindo aqueles repetidos, observou-se a presença de 173 artigos relacionados à sucroquímica, nos quais o pesquisador principal pertence a uma instituição brasileira. A Figura abaixo apresenta a série histórica do Número de artigos publicados por pesquisadores de instituições brasileiras.

**Figura 5.6:** Série histórica do número de artigos publicados por pesquisadores de instituições brasileiras

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Índex. Acesso em dez 2009

Nota\*: no ano de 2009, o total de artigos não corresponde ao real devido ao atraso na indexação da base (efeito de borda).

A Tabela 5.24 apresenta as instituições brasileiras com maior número de artigos, utilizando como termo de busca “derivados do açúcar”. Dessas, a instituição de maior destaque é a Universidade de

São Paulo com 49 artigos publicados. Da mesma forma, o estado que mais se faz presente em publicações é São Paulo, sendo responsável por 50% dos artigos analisados. Além das instituições de ensino, nota-se a presença da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

**Tabela 5.24:** Instituições brasileiras com maior número de artigos em “derivados de açúcar”

Instituição	Estado da Federação	Número de artigos
Universidade de São Paulo	SP	49
Universidade Estadual Campinas	SP	19
Universidade Federal do Rio de Janeiro	RJ	10
Universidade Federal do Ceará	CE	9
Faculdade de Engenharia Química de Lorena	SP	6
Universidade Estadual Paulista	SP	6
Universidade Federal do Paraná	PR	6
Embrapa	Nacional	5
Universidade Federal de Viçosa	MG	5
Universidade Federal de Lavras	SP	3
Universidade Federal de Minas Gerais	MG	3
Universidade Federal Rural de Pernambuco	PE	3
Universidade do Estado Rio de Janeiro	RJ	2
Universidade Estadual do Norte Fluminense	RJ	2
Universidade Federal Fluminense	RJ	2
Universidade Federal Pernambuco	PE	2
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	RN	2
Universidade Federal do Rio Grande Sul	RS	2
Universidade Federal de Santa Catarina	PR	2
Universidade Federal de São Carlos	SP	2



A Tabela 5.25 indica as áreas de maior destaque no Brasil. Comparando-se com os resultados sobre a produção científica apresentados no panorama mundial, observa-se que a área de maior relevância no mundo (química orgânica), não aparece como destaque no Brasil. Entretanto, da mesma forma que na análise em nível mundial, a pesquisa básica é a área de maior significância. Entre os setores da economia apenas o de alimentos e a agroindústria se destacam no país.

**Tabela 5.25:** Áreas de maior destaque no Brasil em termos de produção científica em sucroquímica

Áreas	Número de Artigos
Ciência e tecnologia de alimentos	23
Química, multidisciplinaridade	21
Agricultura, multidisciplinaridade	18
Química aplicada	18
Bioquímica e biologia molecular	17
Biotecnologia e aplicação microbiológica	16
Ciências agrárias	13
Química analítica	11
Nutrição	10

Para a análise da propriedade intelectual em nível nacional, foram realizadas buscas na base de patentes do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) no período entre 1999 e 2009, utilizando-se: termos de buscas; classes da Classificação Internacional de Patentes (CIP) e por fim, termos referentes a produtos elencados para sucroquímica relacionados à CIP C07H- (açúcares; seus derivados; nucleosídeos; nucleotídeos; ácidos nucleicos).

As buscas na base de dados INPI realizadas utilizando-se termos como derivados de açúcar e sacarose retornaram 46 patentes brasileiras, com termos no título e/ou resumo, e 9 patentes focadas, com os termos no título.

A análise destas patentes indicou derivados do açúcar com utilização em diversos setores, a saber:

- têxtil: como estabilizantes, composições utilizadas para amaciamento de tecidos e proteção de fibras,
- agroindústrias: agroquímicos e produção de álcool;

- alimentício: adoçantes, sucos adocicados e produtos da fermentação;
- saúde: composição de fármacos e medicamentos relacionados a diabetes, a tratamento de pele e atividade antitumoral;
- higiene pessoal e cosméticos: Composição para tratamento de cabelo.

No entanto não foram localizadas patentes relacionadas especificamente à produção de intermediários químicos a partir de açúcar (matéria prima renovável), mas que originalmente têm origem petroquímica.

Com relação à busca de acordo com Classificação Internacional de Patentes (CIP), realizou-se a busca de patentes na subclasse  $C_{07}H$  (açúcares; seus derivados) na base de dados do INPI, contemplando o período de prioridade entre 1999-2009. Adicionalmente, visando complementar as informações obtidas nesta etapa da pesquisa, foram ainda localizadas na Base Derwent as patentes classificadas nesta subclasse ( $C_{07}H$ ), cujo país de prioridade foi o Brasil. Foi obtido como resultado 138 patentes depositadas no Brasil constantes da base de dados do INPI e 11 patentes com depósito no Brasil, constantes da base de dados internacional Derwent. Os resultados são apresentados na Tabela a seguir:

**Tabela 5.26:** Análise do número de patentes constantes na base de dados do INPI: subclasse  $C_{07}H$  da CIP

IPC	Definição	Número de patentes	Análise
$C_{07}H-001/00$	Processos de preparação de derivados do açúcar.	35	Produção de vacinas, anticorpos e medicamentos, composição de cosméticos e outros intermediários orgânicos; preparação de composto de lignina; substrato contendo o material celulósico; cristalização; aparelho para cristalização; preparação de agente adoçante artificial; preparação de derivado do açúcar a partir de produto natural; preparação de glicose por sacarificação do amido
$C_{07}H-003/00$	Compostos contendo apenas átomos de hidrogênio e radicais sacarídeos, tendo apenas átomos de carbono, de hidrogênio e de oxigênio.	7	Complexos ferro-sacarídicos; fracionamento de biomassa; tratamento de infecções parasitárias; tratamento de fibras têxteis; processo de preparação de derivado de açúcar a partir de produtos naturais; oligossacarídeos com radicais sacarídeos ligados entre si por ligações glicosídicas.
$C_{07}H-005/00$	Compostos contendo radicais sacarídeos nos quais as hetero-ligações ao oxigênio foram substituídas pelo mesmo número de hetero-ligações ao halogênio, ao nitrogênio, ao enxofre, ao selênio ou ao telúrio	3	Estabilidade de derivados de açúcar; composto para tratamento de infecções; produção e otimização de adoçante.



IPC	Definição	Número de patentes	Análise
C0 <sub>2</sub> H-007/00	Compostos contendo radicais não sacarídeos ligados a radicais sacarídeos por uma ligação carbono-carbono.	1	Sistema de expressão para produção de proteína recombinante.
C0 <sub>2</sub> H-009/00	Compostos contendo um heteroanel partilhando pelo menos dois heteroátomos com um radical sacarídeo.	0	-
C0 <sub>2</sub> H-011/00	Compostos contendo radicais sacarídeos esterificados por ácidos inorgânicos; seus sais metálicos.	4	Composição farmacêutica e veterinária; medicamentos.
C0 <sub>2</sub> H-013/00	Compostos contendo radicais sacarídeos esterificados quer pelo ácido de carbono ou seus derivados, quer por ácidos orgânicos, por ex., ácidos fosfônicos.	2	Síntese de sacarose regio-seletiva; composição para cosméticos.
C0 <sub>2</sub> H-015/00	Compostos contendo radicais de hidrocarbonetos ou de hidrocarboneto substituído diretamente ligados a heteroátomos dos radicais sacarídeos.	11	Preparação de adoçante natural; medicamentos; produção de intermediários orgânicos; preparação para higiene pessoal de origem vegetal.
C0 <sub>2</sub> H-017/00	Compostos contendo radicais heterocíclicos diretamente ligados a heteroátomos de radicais sacarídeos.	21	Kits diagnósticos e de monitoramento; composições farmacêuticas e medicinais; inseticidas; e intermediários orgânicos.
C0 <sub>2</sub> H-019/00	Compostos contendo um heteroanel partilhando um heteroátomo do anel com um radical sacarídeo; nucleosídeos; mononucleotídeos; seus derivados anidro.	38	Compostos farmacêuticos e medicamentos; métodos para diagnósticos; produtos veterinários; produção de intermediários químicos; separação; purificação; e composto contendo radicais de hidrocarboneto ligados a um átomo de oxigênio de um radical sacarídeo.
C0 <sub>2</sub> H-021/00	Compostos contendo duas ou mais medidas mononucleotídicas tendo grupos fosfato ou polifosfato separados, ligados por radicais sacarídeos de grupos nucleosídeos, por ex., ácidos nucléicos.	45	Kits de análises e diagnósticos; medicamentos; vacinas; produção de intermediários orgânicos; purificação de nucleotídeos; e códigos genéticos.
C0 <sub>2</sub> H-023/00	Compostos contendo boro, silício ou um metal, por ex., quelatos, vitamina B 12.	1	Diagnóstico e tratamento de crescimento celular anormal.

### 5.3. Tópicos associados ao tema

Para fins da seleção dos tópicos mais relevantes na área da sucroquímica, consideraram-se produtos derivados diretamente das cadeias de trioses, tetroses, pentoses e hexoses que mais apresentaram publicações e depósitos de patentes no período de 1999 a 2009. A Tabela 5.27 apresenta os produtos derivados diretos de açúcares ordenados primeiramente por cadeia e por número crescente de patentes com foco em açúcares e derivados.

**Tabela 5.27:** Número de patentes e artigos dos produtos derivados diretamente do açúcar

Produtos sucroquímicos	Número de patentes	Número de patentes em açúcar e derivados	Número de artigos	Número de artigos sobre produção renovável	Cadeia carbônica
Etanol	79.627	2.835	69.063	754	C <sub>2</sub>
Ácido acético	46.544	1.427	27.033	60	
Acetona	32.412	952	18.383	24	C <sub>3</sub>
Glicerol	27.866	816	18.400	180	
Isopropanol	14.930	543	3.198	1	
Ácido láctico	18.983	235	21.161	409	
Ácido propiônico	9.173	163	4.665	12	
Ácido pirúvico	1.357	45	940	3	C <sub>4</sub>
Butanol	13.797	397	7.926	61	
Ácido succínico	10.630	142	2.449	64	
Ácido fumárico	6.702	65	958	4	
Butilenoglicol	7.209	45	308	-	C <sub>5</sub>
Ácido itacônico	3.928	15	534	6	
Furfural	1.015	14	1.124	2	
Glutamato monossódico	1.353	9	828	-	



Produtos sucroquímicos	Número de patentes	Número de patentes em açúcar e derivados	Número de artigos	Número de artigos sobre produção renovável	Cadeia carbônica
Ácido cítrico	29.114	278	8.241	110	C <sub>6</sub>
Sorbitol	12.311	252	4.094	9	
Manitol	8.066	222	6.063	13	
Ácido oxálico	7.366	79	4.058	8	
Ácido glucônico	2.327	78	659	34	
Ácido gálico	1.320	32	2.545	10	
Ácido kójico	503	14	378	5	
Aceto-isobutirato de sacarose	167	4	21	-	
Octoacetato de sacarose	3	-	-	-	
Monopalmitato de sacarose	126	1	7	-	
PLA	4.488	36	5.460	34	C <sub>n</sub>
PHB	440	7	68	2	

A partir da análise das informações apresentadas na Tabela 5.2, foram selecionados aqueles produtos que abrangessem todas as cadeias com maior número de patentes e artigos. Cabe observar, porém, que o etanol, o ácido acético e o isopropanol não foram considerados como tópicos deste tema, apesar do alto número de patentes e artigos, pelo seu forte vínculo com o tema “alcoolquímica”, abordado no Capítulo 3.

Entre os produtos de três átomos de carbono, o produto escolhido foi o ácido láctico. A acetona foi desconsiderada por ser subproduto da rota petroquímica como também a vigilância existente a sua utilização. O glicerol também não foi considerado porque a rota principal no mundo e no Brasil é a rota oleoquímica proveniente do biodiesel.

Já em relação aos derivados de quatro átomos de carbono, apesar do elevado número de patentes e artigos, a rota do butanol já foi comercializada pela Elekeiroz no Brasil por meio da condensação aldólica do acetaldeído do etanol. Por essa razão, este produto não foi foco do presente estudo, uma vez que a rota mais praticada é a petroquímica, seguida pela alcoolquímica. Cabe observar também que o butanol já foi produzido no país pela Usina Victor Sense pela rota acetobutílica. Assim, o produto escolhido como tópico foi o ácido succínico.

Entre as pentoses, o tópico selecionado foi o ácido itacônico. Em relação às hexoses, o ácido cítrico e o sorbitol foram os produtos com maior número de patentes e artigos, tendo sido selecionados como tópicos de interesse para o estudo prospectivo.

Incluiu-se ainda o polihidroxibutirato (PHB), polímero da classe dos polihidroxialconatos (PHA). Apesar do baixo número de patentes e artigos, uma consulta aos especialistas da área indicou esse produto como promissor para o país, pela possibilidade de competição com polímeros petroquímicos, mesmo no longo prazo.

O Quadro 5.3 apresenta de forma sintética os tópicos selecionados para a construção dos mapas tecnológicos no mundo e no Brasil. Inclui os descritivos dos tópicos, o grau de maturidade de cada tópico no mundo<sup>4</sup> e os setores mais impactados pelo seu desenvolvimento no país. As referências alfanuméricas na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos respectivos mapas tecnológicos.

---

<sup>4</sup> De acordo com Roussel, P. Technological maturity proves a valid and important concept. *Research Management*. 27(1), January-February 1984; Roussel, P. A., Saad, K. N., & Erickson, T. J. *Third generation R&D: managing the link to corporate strategy*. Cambridge: Harvard Business School Press. 1991.



**Quadro 5.3:** Tópicos associados ao tema “sucroquímica”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T4a	Obtenção de ácido láctico $\begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ \text{Me}-\text{CH}-\text{CO}_2\text{H} \end{array}$	Obtido a partir do amido, açúcar da uva (glicose) ou açúcar da cana (sacarose), utilizando o <i>Bacillus Delbrücki</i> . Usado como monômero do poliácido láctico.	Pós-maduro	Alimentício; cosméticos; farmacêutico.
T4b	Obtenção de polihidroxibutirato (PHB)	Polímeros biodegradáveis.	Crescimento	Plásticos
T4c	Obtenção de ácido succínico $\text{HO}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H}$	Formado durante a fermentação alcoólica, através da fase oxidativa do ciclo de Krebs.	Crescimento	Farmacêutico; fabricação de corantes; plásticos
T4d	Obtenção de ácido itacônico $\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\   \\ \text{HOOC}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Intermediário para látex acrílico para revestimento de papel; não tecidos; adesivos e tintas; comonômero para látex acrílico, PVA e nitrílico; produção de fibras acrílicas; copolimerização de nylon; plastificante; uso em embalagens para alimentos.	Maduro	Síntese de polímeros; têxtil e confecções; fabricação de tintas e vernizes; perfumaria e higiene; setor de embalagens para alimentos.
T4e	Obtenção de sorbitol $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{HC}-\text{OH} \\   \\ \text{HO}-\text{CH} \\   \\ \text{HC}-\text{OH} \\   \\ \text{HC}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	Poliálcool encontrado naturalmente em diversas frutas como a maçã e a ameixa. Pode ser obtido a partir da hidrogenação da glicose. Por possuir grupos hidroxilas, este composto pode interagir intra e intermolecular (ligações de hidrogênio) nas cadeias poliméricas.	Pós-maduro	Farmacêutico; alimentício; e setor de higiene e cosméticos.
T4f	Obtenção de ácido cítrico $\begin{array}{c} \text{CO}_2\text{H} \\   \\ \text{HO}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	Obtido por fermentação da sacarose pelo <i>Aspergillus niger</i> . O processo de obtenção compreende: preparação do substrato de melão; fermentação aeróbica da sacarose pelo <i>Aspergillus</i> ; separação do ácido cítrico do substrato por precipitação para formar citrato de cálcio; adição de ácido sulfúrico para decompor o citrato de cálcio.	Pós-maduro	Alimentício e bebidas; defensivos agrícolas; tensoativos; têxtil.

## 5.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030

A Figura 5.7 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “sucroquímica” no mundo, visando comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, na perspectiva de se definir a orientação estratégica para o desenvolvimento da sucroquímica em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.

Estágios	Desenvolvimento do tema “sucroquímica” no mundo		
	2010 -2015	2016 -2025	2026 -2030
Comercialização	T4a T4e T4f T4d	T4a T4d T4e T4f	T4a T4d T4e T4f T4b T4c
Produção/ processo	T4d	T4c T4b	
Inovação/ implantação	T4c T4b		
Scale -up			
Fase demonstra ção			
Fase piloto			
Pesquisa em bancada			

**Figura 5.7:** Mapa tecnológico do tema “sucroquímica” no mundo: 2010 – 2030

Notação: T4a – Obtenção de ácido lático; T4b – Obtenção de polihidroxibutirato (PHB); T4c – Obtenção de ácido succínico; T4d – Obtenção de ácido itacônico; T4e – Obtenção de sorbitol; T4f – Obtenção de ácido cítrico.

Com relação ao mapa tecnológico representado na Figura 5.7, observa-se que a rota sucroquímica para obtenção de ácido lático encontra-se consolidada em nível mundial, bem como sua comercia-



lização em diversos setores de aplicação (T4a). Nesse mesmo estágio, situam-se no mapa os tópicos “obtenção de sorbitol” (T4e) e “obtenção de ácido cítrico” (T4f).

No período 2010-2015, espera-se que os tópicos “obtenção de polihidroxitirato” (T4b) e “obtenção de ácido succínico” (T4c) alcancem o estágio de inovação com a implantação dos resultados alcançados nos estágios anteriores de P&D e scale-up. Nesse período, prevê-se também que o tópico “obtenção de ácido itacônico” (T4d) esteja em fase de produção em larga escala com a comercialização ampliada ainda no curto prazo.

No médio prazo (2016 – 2025) a produção de polihidroxitirato (T4b) e ácido succínico (T4c) a partir de matérias primas sacaríneas já será uma realidade e todos os demais tópicos analisados estarão em fase de comercialização em larga escala.

Com relação ao longo prazo, observa-se que todos os tópicos estarão no estágio superior do mapa tecnológico, conforme mostra a Figura 5.7.

Para identificação dos aspectos do mercado internacional em relação às trajetórias tecnológicas preconizadas no mapa tecnológico do tema “sucroquímica”, selecionaram-se notícias recentes de diversas bases de dados internacionais<sup>5</sup>, como apresentado a seguir.

Nos EUA, a Eastman Chemical conseguiu aprovação no FDA para uso de acetato de isobutirato de sacarose em bebidas. Recente reestruturação da empresa, dividiu-a em dois grupos: um com foco no negócio de polímeros e o outro em produtos químicos. A Washington State University inaugurou uma biorrefinaria de US\$ 24 milhões para pesquisar a produção de combustíveis e produtos químicos a partir de biomassa, amido, celulose e glicose. A Virent Energy System desenvolveu um processo de reforma em fase aquosa para produção de gases combustíveis de biomassa. A *joint venture* Cargill Dow introduziu no mercado, em 2002, o PLA (poli ácido láctico), uma fibra feita a partir da polimerização de ácido láctico obtido da biomassa. A primeira planta em escala comercial de produção de plástico biodegradável teve um investimento de \$300 milhões capaz de produzir 140.000 milhões de toneladas por ano de polímeros poliláticos de açúcar de milho. Esta planta está sendo construída em Blair, Nebraska, e o objetivo principal é a implementação de uma nova rota alternativa e competitiva para a produção de PLA.

Após a *joint venture* entre a DuPont e a Tate & Lyle Citric Acid em 1999, teve início a construção de uma planta piloto de produção de Bio-PDO com escala de 200 mil lbs/ano, utilizando-se a tecnolo-

<sup>5</sup> Factiva Market Intelligence; Chemical & Engineering News da American Society.

gia da DuPont e com localização em uma subsidiária da Tate & Lyle nos EUA. O objetivo é a produção em escala comercial do produto. O bio-PDO só se tornou possível devido a um microorganismo geneticamente modificado criado pela DuPont. Enquanto isso, a DuPont está produzindo PDO por síntese química para adquirir mercado

Na China, a Hengtai Chemical Co. colocou em funcionamento uma linha de produção de 300 ton/ano de éster de sucrose, um surfactante não-iónico “verde” utilizado na indústria alimentícia, como aditivo alimentar, na fabricação de medicamentos, plastificantes e explosivos.

Na Índia, todos os produtores de açúcar devem obter uma licença para armazenar e/ou vender açúcar. Existe um limite máximo de estoque para os negociadores para que não ocorra uma falta artificial da *commodity* ou a elevação de preços. Houve aumentos de preço consecutivos para o açúcar de média e baixa qualidade em 2008. A Industrial Biotechnology Corporation anuncia a formação da subsidiária Renewable Chemicals Corporation que possui como principal foco a pesquisa e desenvolvimento para produção de produtos químicos utilizando etanol a partir de cana de açúcar. Essa iniciativa visa à produção mais limpa e relaciona-se diretamente à preocupação com o meio ambiente. O mercado consumidor deste novo produto compreende o setor de embalagens, energia, agricultura, pesticidas e a indústria de plásticos.

A gigante petroquímica Reliance Industries e a Hindustan Petroleum Corporation da Índia fizeram lances para o controle de três moinhos de açúcar pertencentes ao governo, na cidade de Bihar. Dessa forma, ao assumirem o controle, as empresas irão fazer novos investimentos em equipamentos para a produção de etanol nessas fábricas até o final 2010.

A empresa indiana Rana Sugar pretende entrar na produção de derivados de açúcar. O departamento de P&D da empresa identificou um novo açúcar que poderá ser utilizado na produção de produtos químicos. Além disso, a empresa planeja a instalação de uma destilaria que produzirá 60 mil litros/dia de etanol combustível.

O Japão anunciou o início do seu programa de bioetanol de cana-de-açúcar em fase experimental e a legislação japonesa já permite 3% do uso na gasolina e estuda aumentar para 10%. A empresa japonesa Toyota investiu US\$ 20 milhões em plástico feito a partir da cana-de-açúcar com capacidade de 1.000 toneladas por ano.

Na União Européia, a Inglaterra votou a favor de pacote que obriga todo petróleo ou diesel vendido contenha combustíveis renováveis, tais como biodiesel ou etanol. Segundo o governo britânico,



a introdução obrigatória de 5% de bicomcombustível na mistura irá promover uma economia imediata nas emissões de carbono: 700.000 até 800.000 toneladas de carbono por ano.

A Inglaterra financia um projeto que busca vencer a barreira de investimentos no setor açucareiro de geração de energia por resíduos da cana de açúcar. O objetivo é a geração de eletricidade por co-geração do bagaço da cana. O financiamento também busca esse potencial de energia renovável na Índia. Outra alternativa para aumentar a geração de energia são as células de baterias alimentadas por açúcar. Essas células usam açúcar para produzir eletricidade através de quebra enzimática, o inconveniente é a baixa potência.

A fim de reduzir em até 35% das emissões de gases do efeito estufa, a Comissão Europeia estabelece que pelo menos 10% do combustível utilizado nos transportes na União Europeia seja de bicomcombustíveis até 2020. Esta medida alavancará o setor de produção de etanol, além da abertura de importação deste bicomcombustível do Brasil, maior produtor do mesmo.

Cuba investe em produção de glicose, frutose, sorbitol e anidrido carbônico em uma *joint venture* com a Venezuela. Esta parceria promoverá congressos de 2 em 2 anos a fim de debater assuntos relacionados à agricultura da cana de açúcar, energia, álcool, alimentação animal e meio ambiente. O país anunciou que produzirá fibras, tintas, vernizes, plásticos, furfural, etanol, sorbitol e glicose a partir de cana-de-açúcar, além da produção de energia a partir do bagaço de cana de açúcar. Em 2008, a produção de etanol em Cuba atingiu 100 milhões de litros/ano.

Dessa forma, empresas de diversos setores estão ingressando na área de sucroquímica. Do setor químico, citam-se: Eastman Chemical, Hengtai Chemical e Hindustan Petroleum Corporation; do setor de energia, a Virent Energy System e a Reliance Industries; além da empresa Industrial Biotechnology Corporation de biotecnologia e a empresa automobilística Toyota. Além disso, empresas químicas têm formado *joint ventures* para investimentos em sucroquímica, como a Cargill – Dow e a DuPont - Tate & Lyle Citric Acid.

## 5.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A Figura 5.8 apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “sucroquímica” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais.

As informações e dados constantes no panorama nacional, apresentado em seção anterior e as principais tendências referentes ao Brasil na área sucroquímica, sustentam o exercício prospectivo das trajetórias, no país, dos diversos tópicos associados ao tema. Desse modo, com relação à Figura 5.8, observa-se que, no período 2010-2015, as trajetórias dos tópicos “obtenção de ácido cítrico” (T4f); “obtenção de ácido succínico” (T4c) e “obtenção de ácido itacônico” (T4d) encontram-se no estágio de pesquisa em bancada.

Conforme o exercício de prospecção e pelas iniciativas empresariais no país, pode-se afirmar que o tópico “obtenção de polihidroxibutirato” (T4b) passará do estágio de inovação para a produção em larga escala no período 2016-2025, como pode ser visualizado na Figura abaixo.

Estágios	Desenvolvimento do tema “sucroquímica” no Brasil		
	2010- 2015	2016- 2025	2026- 2030
Comercialização	T4e T4f T4a	T4e T4f T4a	T4e T4f T4a T4b
Produção/ processo		T4b	
Inovação/ implantação		T4b	
Scale - up			
Fase demonstração			T4f T4c T4d
Fase piloto		T4f T4c T4d	
Pesquisa em bancada	T4f T4c T4d		

**Figura 5.8:** Mapa tecnológico do tema “sucroquímica” no Brasil: 2010 – 2030

Notação: T4a – Obtenção de ácido láctico; T4b – Obtenção de polihidroxibutirato (PHB); T4c – Obtenção de ácido succínico; T4d – Obtenção de ácido itacônico; T4e – Obtenção de sorbitol; T4f – Obtenção de ácido cítrico.



A busca por produtos verdes como matéria prima tem se tornado prioridade para muitas empresas no Brasil. Apresentam-se, a seguir, algumas notícias de maior relevância sobre as iniciativas empresariais em sucroquímica no país.

Uma planta para produção de plásticos provindos da cana de açúcar será construída no Brasil, com capacidade de 350 toneladas até 2011. O etanol vai ser utilizado para produzir etileno que por sua vez é a matéria prima na produção de polietileno.

O grupo Ypioca está investindo R\$ 80 milhões em uma unidade sucroquímica em Jaguaruna, localizada no estado de Santa Catarina.

Já a Solvay está investindo US\$ 135 milhões em uma fábrica para a produção de PVC de cana-de-açúcar em Santo André.

Ainda em relação a novas plantas uma empresa de açúcar e etanol estabelecerá uma fábrica em Minas Gerais para produção de energia renovável proveniente do bagaço da cana residual na produção de etanol. O investimento esperado está por volta de R\$ 4 bilhões até 2015, adicionando 2 GW de capacidade energética. Esse projeto também visa ganho através da venda de créditos de carbono (3 Mt/ano) o que levará a uma renda de R\$ 100 milhões.

A Figura 5.9 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema “sucroquímica”, no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 5.8).



**Figura 5.9:** *Portfolio tecnológico estratégico do tema “sucroquímica” no Brasil:2010 – 2030*

Notação: T4a – Obtenção de ácido láctico; T4b – Obtenção de polihidroxibutirato (PHB); T4c – Obtenção de ácido succínico; T4d – Obtenção de ácido itacônico; T4e – Obtenção de sorbitol; T4f – Obtenção de ácido cítrico.

Ao se analisar o portfolio tecnológico da Figura acima, confirma-se o posicionamento estratégico indicado nos mapas tecnológicos (Figuras 7.7 e 7.8), particularmente no que tange aos tópicos em posição desejável, a saber: “obtenção de polihidroxibutirato (PHB)” (T4b) e “obtenção de ácido itacônico” (T4d). Os tópicos “obtenção de ácido láctico” (T4a) e “obtenção de sorbitol” (T4e) situam-se na posição ideal, ou seja, indicação de alta sustentabilidade requerendo baixo grau de esforço, quando comparado com os demais tópicos. Cabe ressaltar, porém, que o tópico com maior potencial e que se enquadra nas chamadas “apostas” estratégicas para o país é o ácido cítrico.

Além das orientações estratégicas para o tema resultantes da análise prospectiva dos tópicos tecnológicos aqui abordados, considera-se que, de uma forma geral, a sucroquímica vem sendo apontada como área do conhecimento bastante promissora, devido principalmente a sua interligação com diversos setores, tais como: saúde, agricultura, veterinária, energia, meio ambiente, entre outros.



## 5.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

Nesta Seção, abordam-se os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “sucroquímica” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilizem o desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos (Capítulo 13).

O Quadro 5.4 apresenta tais condicionantes no curto, médio e longo prazo, destacando-se para cada período um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância.

O Brasil encontra-se entre os países-alvo para desenvolvimento das tecnologias abordadas neste Capítulo, devido à grande biodiversidade existente em território nacional e às iniciativas governamentais. Entre essas iniciativas, destaca-se a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia (PDB)<sup>6</sup> que tem por objetivos o estabelecimento de ambiente adequado para o desenvolvimento de produtos e processos biotecnológicos inovadores, o estímulo à maior eficiência da estrutura produtiva nacional, o aumento da capacidade de inovação das empresas brasileiras, a absorção de tecnologias, a geração de negócios e a expansão das exportações. Para alcançar os objetivos estabelecidos, priorizaram-se quatro áreas da biotecnologia de grande importância: saúde humana; agropecuária; industrial e ambiental. Busca-se estimular a geração de produtos estratégicos para o país, obtidos a partir de matérias primas renováveis, visando novos patamares de qualidade ambiental e competitividade, mediante articulação entre os elos das cadeias produtivas, conservação e aproveitamento sustentável da biodiversidade, inclusão social e desenvolvimento de tecnologias limpas.

Em âmbito empresarial, a busca por produtos verdes tem se tornado prioridade para muitas empresas, adicionando-se a isso o fato de que o preço do petróleo, segundo as previsões recentes, deve ficar em torno de US\$ 70, o que motiva e viabiliza diversos projetos na área de sucroquímica. No Brasil grandes empresas como Braskem e multinacionais como a Dow Química, DuPont e Amyris estão focando seus investimentos nesse mercado.

<sup>6</sup> Brasil. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto Número 6.041, de 8 de fevereiro de 2007. Institui a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia, cria o Comitê Nacional de Biotecnologia e dá outras providências.

**Quadro 5.4:** Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “sucroquímica” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “sucroquímica” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
Aquecimento global e seus impactos.	Aquecimento global e seus impactos.	Bioética (legislação, risk assessment institucionalizado, valores e crenças em relação ao uso das tecnologias limpas);
Difusão científica sobre sistemas e processos biológicos;	Convergência Tecnológica Biotecnologia – Química Fina – Tecnologias de Produto	Certificação e regulamentação técnica e metrologia vinculadas às novas tecnologias limpas;
Impactos da Química Verde e da Biotecnologia (estudo-da-arte mundial);	Certificação e regulamentação técnica e metrologia vinculadas às novas tecnologias limpas;	Consumidores mais conscientes do ecologicamente correto;
Parcerias público-privadas;	Consumidores mais conscientes do ecologicamente correto;	Convergência tecnológica Biotecnologia - Química Fina - Tecnologias de Produto;
Percepção da sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.	Convergência tecnológica Biotecnologia - Química fina - Tecnologias de produto;	Certificação e regulamentação técnica e metrologia vinculadas às novas tecnologias limpas.
Impactos da química verde e da biotecnologia (estado-da-arte mundial)	Difusão científica sobre sistemas e processos biológicos;	Impactos da química verde e da biotecnologia (estudo-da-arte mundial);
Estabelecimento de mecanismos de cooperação internacional nas áreas de P&D e industrial.	Formação de arranjos cooperativos de pesquisa, com redes, clusters e sistemas locais de inovação;	Maior equilíbrio das desigualdades regionais;
	Impactos da química verde e da biotecnologia (estudo-da-arte mundial);	Políticas creditícias e tributárias para consolidar a base industrial brasileira.
	Legislação ambiental mais restritiva;	
	Parcerias público-privadas;	
	Percepção da sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.	

Diante desse quadro, há uma grande expectativa sobre o desenvolvimento dessas tecnologias e inovações resultantes, uma vez que os processos são vistos com alto potencial inovador, podendo, por exemplo, minimizar questões relacionadas à parte energética (combustíveis alternativos) e também à parte não energética (insumos para a produção de produtos químicos, originalmente derivados da nafta).

Com a finalidade de fomentar o desenvolvimento e a consolidação da sucroquímica no país, torna-se fundamental o monitoramento tecnológico e científico do tema, uma vez que as rotas utilizadas para os processos são biotecnológicas e possuem diversos parâmetros que podem ser variados, tendo em vista a otimização da produção, ou mesmo a obtenção de novos processos.



## 6. Conversão de CO<sub>2</sub><sup>7</sup>

Existem muitas evidências de que as emissões antrópicas com base no CO<sub>2</sub> contribuem de forma preponderante para as mudanças climáticas. Este fenômeno é caracterizado pela denominação técnica de gases causadores do efeito estufa (GEE). Portanto, é de fundamental importância o desenvolvimento de tecnologias limpas que contribuam para a redução dessas emissões, especialmente as emissões de CO<sub>2</sub>.

Foi em 1992, durante a segunda Conferência das Nações Unidas realizada no Rio de Janeiro, que foi acordado sobre a redução das emissões dos gases do efeito estufa que causam o aquecimento global através do estabelecimento da Convenção sobre as Mudanças Climáticas<sup>8</sup>. Essa Convenção entrou em vigor em 1994 e, no ano seguinte, foi realizada a 1ª Conferência das Partes (COP1) em Berlim, na Alemanha. Assim, durante a COP1 ficou decidida a criação de um protocolo com metas para a redução das emissões, o qual somente se viabilizou neste mesmo ano, em Kyoto, Japão. Trata-se de um compromisso estabelecido pelos países que assinaram a Convenção da ONU sobre as Mudanças do Clima para reduzirem entre 2008 e 2012, as emissões poluentes em pelo menos 5% em relação aos níveis verificados em 1990.

O Brasil somente ratificou este protocolo em 2002, e o mesmo entrou em vigor em 2005. Entretanto, foi somente em Bali na Indonésia, neste mesmo ano, que foi traçado o caminho para as negociações entre as Nações, na COP13. Por sua vez, a COP15 realizada em Copenhague em dezembro de 2009 não atingiu os objetivos almejados por toda a população mundial. Esperava-se que os governos nacionais chegassem a um acordo formal que definiria as políticas de combate às mudanças climáticas após 2012. Entretanto, os países não conseguiram chegar a um acordo comum e o planeta continua esperando resultados e ações práticas dos governos nacionais no sentido de mitigar os impactos negativos do aquecimento global.

O Movimento para o Desenvolvimento Limpo—MDL<sup>9</sup> permite que os países industrializados invistam em projetos de redução de gases causadores do efeito estufa nas nações em desenvolvimento, em lu-

<sup>7</sup> Este capítulo foi elaborado por José Osvaldo Beserra Carioca, Sávio Macambira, Raimundo Guilherme C. Corrêa, Paulo Alcântara e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.

<sup>8</sup> Brasil. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudanças do clima v. I: Negociações internacionais, vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. Cadernos NAE. n. 3. Brasília, 2005.

<sup>9</sup> Brasil. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudanças do clima v. II: Mercado internacional de créditos de carbono. Cadernos NAE. n. 4. Brasília, 2005.

gar de reduzirem suas próprias emissões. Esse programa tem sido alvo de muitas críticas, uma vez que poucos investimentos têm sido feitos na África, em comparação aos investimentos realizados na Ásia.

Apesar dos resultados não satisfatórios da COP15, reconhece-se que já houve mudanças importantes na vontade política dos governos e no avanço do conhecimento técnico relacionado a mudanças climáticas. O Painel Inter-Governamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC)-2005<sup>10</sup> tem cumprido um importante papel no esclarecimento técnico-científico e na divulgação da problemática relacionada com os fenômenos causadores dos impactos ambientais decorrentes das emissões dos gases do efeito estufa. É certo também que o tema das mudanças climáticas vem despertando grande interesse público, apesar do retardo observado na definição das metas pelos governantes. Independentemente da crise econômica, o interesse nas mudanças climáticas permanece vivo.

Vale aqui destacar que nos países desenvolvidos as emissões mais importantes são de natureza industrial, isto é, estão diretamente relacionadas com o consumo de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade, enquanto que nos países em desenvolvimento, as queimadas, os lixões e o saneamento são responsáveis pela maior parcela dos impactos ambientais.

O tema dos impactos ambientais é na atualidade objeto de estudos e pesquisas pelas Nações Unidas e por muitas instituições independentes como universidades e centros de pesquisas de grandes companhias multinacionais, agências e órgãos governamentais, como a US Environmental Protection Agency, o US Department of Energy (DOE) e a Energy Information Administration (EIA) subordinada ao DOE, bem como organizações intergovernamentais, como a International Energy Agency (IEA)<sup>11</sup>.

A título de ilustração, o relatório World Energy Outlook 2009, publicado pela International Energy Agency (IEA), prevê que até 2030 as emissões globais de dióxido de carbono poderão atingir 40,2 bilhões de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalentes, quase o dobro de 1990, e as temperaturas subirão 6 graus Celsius, trazendo consequências desastrosas para o planeta. No sentido de reverter essa tendência, de acordo com a IEA, os governos deverão aumentar o apoio ao desenvolvimento de tecnologias de energia limpa e a iniciativas de eficiência energética.

Relatórios emitidos nos últimos pela Energy Information Administration (EIA)<sup>12,13</sup> estimam que as

---

**10** Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report on carbon dioxide capture and storage. IPCC., New York: Cambridge University Press, 2005.

**11** International Energy Agency. OECD. Energy and CO<sub>2</sub> implications of the 450 Scenario. In: World Energy Outlook. 2009.

**12** US Department of Energy. Energy Information Administration. EIA. Emissions of greenhouse gases report. Report DOE/EIA-0573. 2007. Disponível em: < <http://www.eia.doe.gov>>. Acesso em dez 2009.

**13** US Department of Energy. Energy Information Administration. EIA. Energy outlook 2008. Report DOE/EIA-0484. 2008. Disponí-



emissões de CO<sub>2</sub> no mundo aumentarão em uma taxa anual de 1,4% no período de 2006 a 2030. Prevê que o aumento das emissões será atribuído, em sua maior parcela, aos países em desenvolvimento, em particular China e Índia.

Nesse contexto, entre as alternativas estratégicas para aumentar significativamente a utilização de CO<sub>2</sub>, destaca-se o desenvolvimento de novos processos de obtenção de produtos químicos de grande demanda no mercado, nos quais o CO<sub>2</sub> venha a ser empregado como matéria-prima ou como insumo. Acredita-se que a implementação de novas rotas tecnológicas baseadas no CO<sub>2</sub> possa contribuir significativamente para a redução da emissão de gás carbônico na atmosfera. Desde a última década, foram ampliados os esforços de P&D direcionados para o maior uso do CO<sub>2</sub> como matéria-prima<sup>14,15,16</sup>. Atualmente cerca de 100 Mt de CO<sub>2</sub> são usados anualmente para sintetizar produtos como uréia, ácido salicílico e carbonatos<sup>17</sup>. Um levantamento realizado nas bases internacionais Web of Science e Derwent Innovations Index sobre a produção científica e as patentes sobre este tema confirmam o avanço do conhecimento nos diversos tópicos associados ao tema no período 1998-2009 (ver Seção 10.2).

Neste Capítulo, descrevem-se os resultados das análises realizadas para o tema “conversão de CO<sub>2</sub>” no contexto do desenvolvimento da Química Verde no Brasil. Apresenta-se inicialmente uma descrição sumária e atual dos principais usos gerais do CO<sub>2</sub> nos diferentes setores, de acordo com as indicações do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)<sup>18</sup>. Em seguida, descrevem-se os panoramas mundial e nacional da produção científica e propriedade intelectual no tema, abordando-se o período 1998-2009. Nas seções seguintes, identificam-se os tópicos tecnológicos de interesse para o estudo prospectivo do tema e os setores que serão mais impactados pelo seu desenvolvimento. Na sequência, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo *portfolio* tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010 - 2030. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas tecnológicos e do *portfolio*, com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o Brasil. Em seguida, identificam-se os condicionantes para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas tecnológicos e *portfolio* estratégico.

---

vel em: <<http://www.eia.doe.gov>>. Acesso em dez 2009.

<sup>14</sup> Song, C. S. *Catalysis Today* v.115, p. 2 – 32, 2006.

<sup>15</sup> Song, C.S., 2002.

<sup>16</sup> Flid, V.R, 2004.

<sup>17</sup> Beckman, E. J. *Journal of Supercritical Fluids*, v. 28, p. 121-191, 2004.

<sup>18</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2005.

## 6.1. Principais usos gerais do CO<sub>2</sub>

Apresenta-se nesta Seção uma descrição sumária e atual dos principais usos gerais do CO<sub>2</sub> nos diferentes setores, de acordo com as indicações do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

O CO<sub>2</sub> é utilizado em grandes quantidades na recuperação residual de petróleo em poços não exauridos.

Na indústria química, além da sua aplicação como fluido supercrítico, o CO<sub>2</sub> tem uso potencial como matéria-prima ou insumo em vários processos químicos catalíticos homogêneos ou heterogêneos, de redução fotocatalítica, processos bioquímicos e de conversões eletrocatalíticas. Muitos desses processos estão em estágio de P,D&I e poucos têm alcançado produção em larga escala<sup>19</sup>. O CO<sub>2</sub> é usado como intermediário de sínteses químicas, bem como no controle da temperatura de reatores. Ele também é empregado para neutralizar efluentes alcalinos. Grandes quantidades de CO<sub>2</sub> são empregadas na manufatura de carbonatos e menores quantidades são empregadas na produção de monômeros orgânicos e policarbonatos; o metanol é manufaturado usando CO<sub>2</sub> como insumo químico e o CO<sub>2</sub> na manufatura de poliuretanas<sup>20</sup>.

Na indústria farmacêutica, o CO<sub>2</sub> é usado para estabelecer atmosfera inerte na síntese de fármacos. Também, ele é usado como fluido supercrítico para extração de princípios ativos, na acidificação de efluentes aquosos e no transporte de produtos em baixas temperaturas (-78 °C).

Já na indústria de alimentos e bebidas, vem sendo empregado de três formas: (i) para carbonatação de bebidas, em embalagens de alimentos; (ii) em processo de resfriamento e congelamento; (iii) como gelo seco para controle de temperatura durante o período da distribuição dos alimentos.

O CO<sub>2</sub> tem emprego sistemático na área de saúde humana durante os procedimentos de insuflação intra-abdominal para expandir o espaço em torno de órgãos ou tecidos para boa visualização.

Na indústria metalúrgica, o CO<sub>2</sub> é empregado sistematicamente para proteção ambiental, como por exemplo, na retirada de fumaça vermelha durante a alimentação de fornalhas ou na retirada de nitrogênio durante a eliminação do arco elétrico em fornalhas. Também ele pode ser empregado na metalurgia de não-ferrosos para supressão de fumaça nos processos de separação de Cu/Ni e Zn/Pb. Pequenas quantidades de CO<sub>2</sub> são usadas na reciclagem de água na drenagem de minas ácidas.

---

<sup>19</sup> Indala, S. 2004.

<sup>20</sup> Omae, I; Catalysis Today, v. 115, p. 33-52, 2006.



O uso do CO<sub>2</sub> no setor de papel e celulose torna o controle do Ph mais adequado durante o reciclo de polpas nos processos mecânicos e alcalina depois do branqueamento. O CO<sub>2</sub> pode ser utilizado para melhorar o desempenho do processo de produção de papel.

No setor de eletrônica, o gás carbônico é utilizado nas estações de tratamento de esgotos como um meio refrigerante, durante os testes com dispositivos eletrônicos. Pode também ser usado para aumentar a condutividade da água super-pura na forma de névoa, visando à limpeza de pastilhas ou resíduos. Pode ainda ser utilizado como fluido supercrítico para a remoção de manchas evitando assim o uso de solventes orgânicos.

No tratamento de efluentes, a injeção de CO<sub>2</sub> ajuda no controle do Ph das estações. Também ele pode ser usado no controle do Ph no tratamento de águas de piscinas. Na área de segurança, o CO<sub>2</sub> gasoso é usado em extintores de incêndio para o controle e a extinção da reação de combustão.

Durante muito tempo o CO<sub>2</sub> foi visto como um gás, produto da combustão orgânica, excedente de processos de fermentação e outros processos nos quais era considerado como o gás residual final de algum processo químico, ou ainda como um produto para uso em refrigeração<sup>21</sup>. Até 1960, acreditava-se que o ácido carbônico, produto da reação em equilíbrio entre o CO<sub>2</sub> e a água, seria instável a temperatura ambiente, e não podia ser isolado em seu estado livre, tendo porem sido isolado e caracterizado em seu estado puro<sup>22,23</sup>.



É conhecido o fato de que o ácido carbônico está presente na concentração de aproximadamente 0,4% nas soluções de CO<sub>2</sub> em água. Atualmente esse gás, aparentemente controverso, passou a ser considerado como uma matéria prima de vários processos industriais na química moderna que buscam utilizar fontes renováveis, visando à sustentabilidade para as gerações futuras<sup>24, 25, 26, 27</sup>.

<sup>21</sup> Pearson, A. International Journal of Refrigeration, v. 28, p.1140 -1148. 2005.

<sup>22</sup> Olah, G.A. et al. Journal of American Chemical Society. v.115, p. 2236 – 2238.1993.

<sup>23</sup> Mayer, E. et al. Journal of American Chemical Society, v. 115, p. 8427-8431. 1993.

<sup>24</sup> Omae, I. Catalysis Today, v.115, p. 33-52, 2006.

<sup>25</sup> Skakura, T. et al. Chemical Review, v.107, p. 2365 -2387. 2007.

<sup>26</sup> Aresta, M. Química Nova, v.22, p.269-272. 1999.

<sup>27</sup> Song, C. S. Catalysis Today v.115, p. 2–32. 2006.

Sendo um gás abundante, o  $\text{CO}_2$  pode ser considerado como uma matéria-prima de futuro para uso em processos químicos de sínteses orgânicas<sup>28</sup>. O  $\text{CO}_2$  reage com outros reagentes como hidrogênio, alcoóis, na presença de catalisadores metálicos, visando à preparação de: alcoóis, ácidos carboxílicos, ácidos  $\beta$ -oxinaftóicos (usados como matéria prima para a indústria de corantes); ácido salicílico e seus derivados (que têm aplicação na indústria farmacêutica e de conservantes alimentícios); carbonatos orgânicos (com aplicações como solventes), amidas, policarbonatos, poliuretanos e outros derivados<sup>29</sup>. A Figura abaixo apresenta graficamente os principais processos químicos envolvendo o  $\text{CO}_2$

**Intermediários químicos:**

-C(O)O-: ácidos, ésteres e lactonas

-O-C(O)O-: carbonatos

-NC(O)OR-: ésteres carbâmicos

-NCO: isocianatos

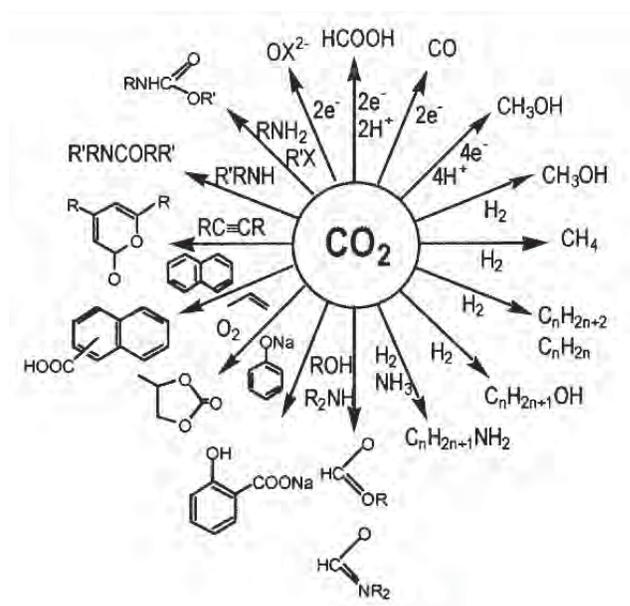
-N-C(O)-N: uréias

**Uso como solvente**

**Geração de energia**

CO

$\text{CH}_3\text{OH}$



**Figura 6.1:** Utilização de  $\text{CO}_2$  em sínteses químicas

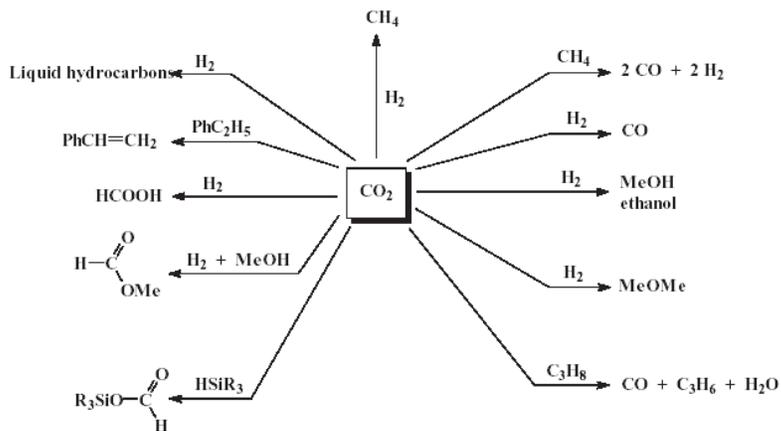
Fonte: Aresta, 1998<sup>30</sup>.

Além dos processos acima relacionados, ainda é possível mencionar os processos que envolvem a redução do  $\text{CO}_2$  e que abrem as possibilidades de uso deste gás como ponto de partida para solventes e outros produtos de larga aplicação na indústria, conforme indicado na Figura 6.2.

<sup>28</sup> Flid, V.R., 2004.

<sup>29</sup> Omae, I. Aspects of carbon dioxide utilization. *Catalysis Today*, v.2006, p.115, 33-52. 2006.

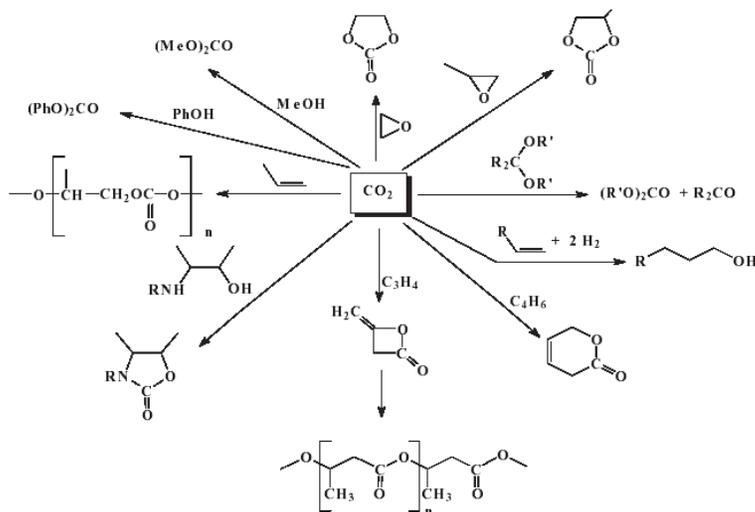
<sup>30</sup> Aresta, M. Advances in chemical conversions for mitigating carbon dioxide. *Studies in Surface Science and Catalysis*, v. 114, p.65-76, 1998.



**Figura 6.2:** Processos que envolvem a redução do CO<sub>2</sub>

Fonte: Flid, 2004.

Existem ainda processos que envolvem reações de condensações do CO<sub>2</sub> com diferentes substratos gerando toda uma linha de produtos de grande importância industrial, como os carbonatos, os quais estão indicados na Figura a seguir.



**Figura 6.3:** Condensações com o CO<sub>2</sub>

Fonte: Flid, 2004.

Em síntese, existem muitas áreas industriais nas quais o CO<sub>2</sub> pode ser usado como matéria-prima ou insumo, conforme indicado de forma resumida nesta Figura.



**Figura 6.4:** Campos de aplicação industrial para o CO<sub>2</sub>

Fonte: Flid, 2004.

Para uma utilização em larga escala do CO<sub>2</sub> é possível relacionar alguns processos industriais, nos quais o consumo do gás carbônico tem uma importância significativa, como por exemplo, na produção de soda, uréia e ácido salicílico, conforme indicado na Tabela abaixo.

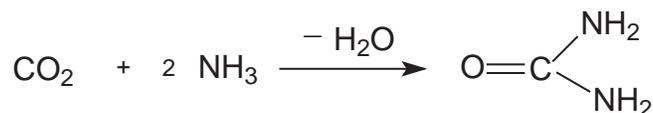
**Tabela 6.1:** Aplicação industrial para CO<sub>2</sub> em processos industriais

Processos industriais	Produção
Produção de soda	80 mi t/ano
Produção de uréia	110 mi t/ano
Produção de ácido salicílico	6 mi t/ano

Fonte: Flid, 2004.

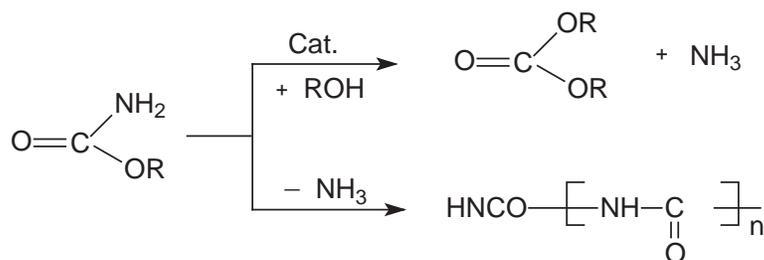
Um bom exemplo que pode servir de referência e que ilustra a utilização de CO<sub>2</sub> na indústria é o processo para preparação da uréia, no qual cerca de 110 milhões t/ano são fabricadas a partir desse gás. Uréia é consumida, principalmente como fertilizante químico, em resinas tipo-uréia, em resinas do tipo melamina-uréia e como aditivo na ração animal<sup>31</sup>. A uréia pode ser obtida através da reação entre o CO<sub>2</sub> e amônia, conforme a reação a seguir.

<sup>31</sup> Aresta, M. et al. Energy Conversion Management, v.38, p. 373-378. 1997.

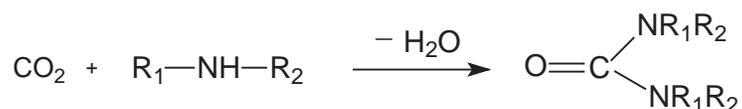


A reação da uréia com alcoóis leva à formação de carbamatos, usando sais de metais como acetato de zinco e acetato de chumbo como catalisador. Esta reação foi descoberta por Paquin<sup>32</sup> em 1946.

O prolongamento da reação ou a adição de trifenilfosfina como um catalisador coadjuvante resultam na formação do carbonato. O ácido isocianúrico é o exemplo ilustrativo de maior expressão como subproduto desta reação<sup>33</sup>.



Uréias di-substituídas podem ser preparadas a partir da reação entre  $\text{CO}_2$  e aminas secundárias. Neste processo também ocorre à eliminação de água, como indicado na reação a seguir.



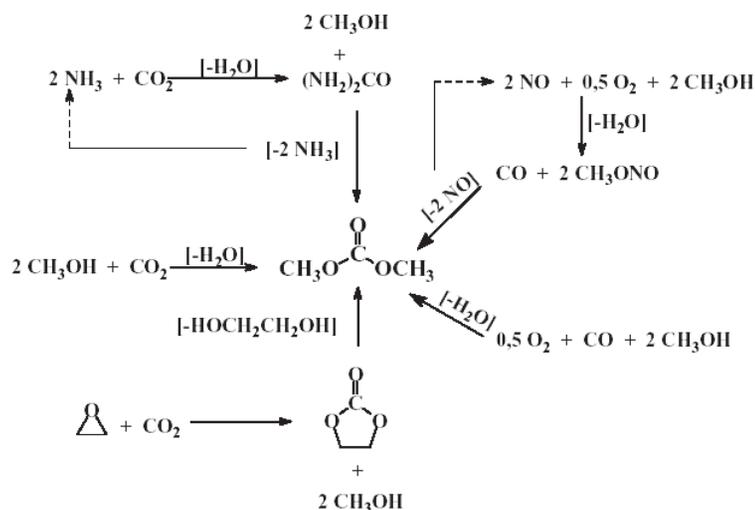
Tecnicamente, os carbonatos podem ser considerados como ésteres do ácido carbônico. Os carbonatos podem ser classificados em dois grandes grupos, dependendo de sua estrutura química, sendo estes classificados principalmente como carbonatos inorgânicos, que seriam os sais metálicos do ácido carbônico (p.ex. carbonato de sódio –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; carbonato de potássio –  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ; bicarbonato de sódio –  $\text{NaHCO}_3$ ; bicarbonato de amônio –  $(\text{NH}_4)_2\text{HCO}_3$ ; carbonato de amônio –  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ; etc.), os quais têm maior aplicação nos processos inorgânicos e os carbonatos orgânicos,

<sup>32</sup> Paquin, A.M. Zeitschrift fur Naturforschung, v. 1, p. 518. 1946.

<sup>33</sup> Sahle-Demessie, E. et al. Ind. Eng. Chem. Res. v.39, p. 4858-4864. 2000.

que dependendo de suas estrutura molecular, podem ser saturados; como por exemplo: (carbonato de dimetila (DMC); carbonato de etileno; carbonato de propileno) ou insaturados (carbonato de dialila, carbonato de alil-metila, etc.) e ainda vários tipos de carbonatos aromáticos (carbonato de difenila, carbonato de metil-fenila, carbonato de metil-benzila, etc.) que possuem maiores aplicações nos processos orgânicos<sup>34</sup>.

Entre os vários tipos de carbonatos orgânicos, o mais simples representante da classe é o carbonato de dimetila (DMC), cujas aplicações, processos de sínteses e patentes de fabricação têm crescido significativamente nos anos recentes<sup>35</sup>. A Figura mostra a síntese de dimetilcarbonato (DMC).



**Figura 6.5:** Síntese de dimetilcarbonato (DMC)

Fonte: Flid, 2004.

A produção do DMC em escala industrial pela oxicarbonilação catalítica do metanol tomou uma grande importância devido ao seu uso como reagente seguro, limpo e não tóxico. Análogo ao fosgênio ou sulfato de dimetila no preparo de muitos compostos orgânicos que envolvem etapas de metilação substituiu os reagentes tóxicos e perigosos até então usados em tais processos, como o sulfato de dimetila ou o iodeto de metila<sup>36, 37</sup>.

<sup>34</sup> Tundo, P. et al. Acc. Chem. Res., v.35, p.706-716. 2002.

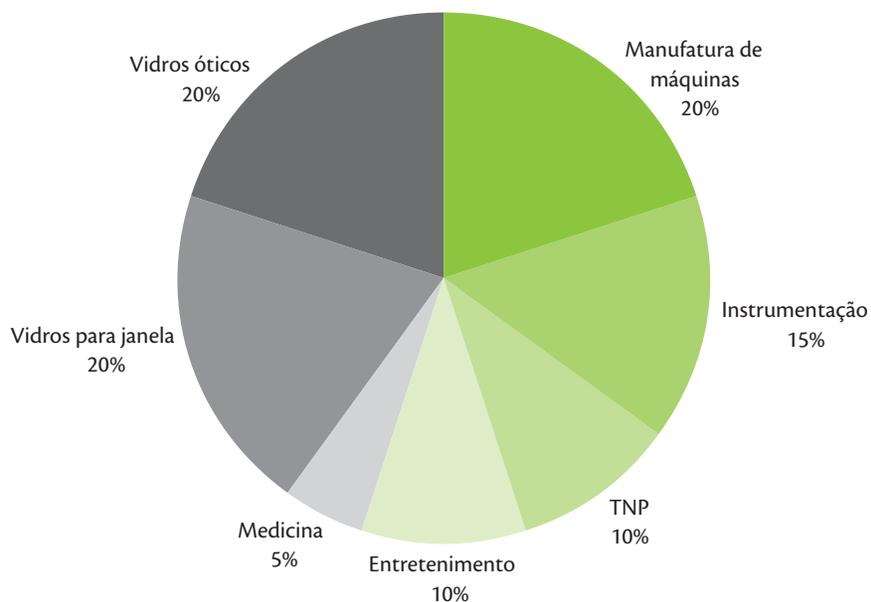
<sup>35</sup> Tundo, P. Pure Appl. Chem., v.73, p. 1117-1124. 2001.

<sup>36</sup> Tundo, P. et al. Chem. Rec., v.2, p. 13-23. 2002.

<sup>37</sup> Tundo, P. et al. Chemosphere, v.43, p. 115-121, 2001.



Uma área que vem despertando muito interesse na indústria é a produção de policarbonatos, cuja demanda e produção vêm aumentando nos últimos anos de maneira significativa, conforme mostrado na Figura 6.6. Destacam-se as aplicações nas áreas de medicina, vidros óticos, máquinas e instrumentação.

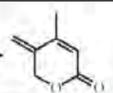
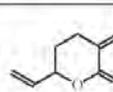


**Figura 6.6:** Produção de policarbonatos

Fonte: Flid, 2004.

Existem ainda outros processos que utilizam o  $\text{CO}_2$  em reações com dienos, do tipo alenos, butadienos, levando à formação de lactonas, que podem ter aplicações muito importantes, conforme indicado no Quadro 6.1.

**Quadro 6.1:** Reações do CO<sub>2</sub> com dienos

$2 \text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow$ 	80 °C, Ni(COD) <sub>2</sub> -2DPPE  <i>M. Aresta, Gaz. Chem. Ital. 1993, 123, 271</i>
$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2 + \text{CO}_2 \xrightarrow{\text{H}_2}$ 	180 °C, RhCl(Pi-Pr <sub>2</sub> )(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )  <i>M. Aresta et al. Inorg. Chim. Acta. 2002, 334, 294</i>
$2 \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow$ 	90 °C, Pd(acac) <sub>2</sub> - 3Pi-Pr <sub>2</sub>  <i>H. Höberg, J. Organomet. Chem. 1984, 266, 203</i>

Fonte: Flid, 2004.

Como uma recomendação para aplicações em processos mais promissores, é possível resumir essas aplicações nos processos que envolvem a produção do gás de síntese, reações do CO<sub>2</sub> com alcanos, síntese do formiato de metila, formamidas e o acoplamento oxidativo com o metano, todas de grande interesse industrial, conforme indicado no Quadro a seguir.

**Quadro 6.2:** Processos mais promissores de conversão de CO<sub>2</sub>

<b>Produção de gás de Síntese</b> $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightleftharpoons 2\text{CO} + 2\text{H}_2$	800°C Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>
<b>Reação de CO<sub>2</sub> com alcanos</b> $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Ph}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ph}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	600°C Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> , Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>
<b>Síntese de formiato de metila</b> $\text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{HCOOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	125°C, 17 atm HRu <sub>3</sub> (CO) <sub>11</sub> , scCO <sub>2</sub>
<b>Síntese de formamidas</b> $\text{CO}_2 + \text{NHR}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{HCONR}_2 + \text{H}_2\text{O}$	100-150°C, 80-120 atm RhCl(PPh <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
<b>Acoplamento oxidativo de CO<sub>2</sub> e metano</b> $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	MgO, PbO

Fonte: Flid, 2004.



Com uma visão do futuro do mercado no contexto da Química Verde é possível resumir alguns processos com maiores perspectivas para o emprego do CO<sub>2</sub>, nos quais a capacidade esperada mostra números bastante animadores para futuros investimentos nessa área. Esses dados estão indicados na Tabela abaixo.

**Tabela 6.2:** Processos de conversão de CO<sub>2</sub> mais promissores

Processos industriais	Capacidade projetada mil t/ano
Produção de estireno e propileno, acompanhada pela conversão de CO <sub>2</sub> -CO	300-500
Síntese de formiato de metila	50-100
Síntese de carbonato de dimetila	300-500
Síntese alternativa de carbonato de difenila	100-200
Produção de gás de síntese	300-500
Produção de alquilenos, carbonatos e policarbonatos	30-50
Síntese de ésteres e lactonas	20-40
Desenvolvimento de tecnologias baseadas no CO <sub>2</sub> supercrítico	Até 500

Fonte: Flid, 2004.

Mais recentemente, surgiu uma alternativa promissora às tecnologias mencionadas até então. Trata-se da biofixação do dióxido de carbono em microalgas. Como mostra a Tabela 6.3, as microalgas possuem vantagens na eficiência fotossintética em relação às plantas C<sub>4</sub>, devido às rápidas taxas de proliferação, a tolerância aos ambientes extremos, e ao potencial para culturas intensivas. Essas vantagens potencializam o uso de dióxido de carbono<sup>38</sup>. A elevada proporção de óleos vegetais presentes nas microalgas, por sua vez, mostra-se vantajosa na produção de biodiesel, além do seu resíduo poder ser usado como ração para rebanhos animais, alimentos, produtos químicos, substâncias corantes e nutracêuticos<sup>39</sup>.

<sup>38</sup> Kurano, N. et al. Energy Conversion and Management, v.36, p.689-692, 1995.

<sup>39</sup> Michiki, H. Energy Conversion and Management, v.36, p.701-705, 1995.

**Tabela 6.3:** Processo fotossintético de plantas C3 e C4

Tipo de plantas	Produtividade		Eficiência fotossintética (%)
	g/m <sup>2</sup> /dia	t/ha/ano	
<b>Plantas do tipo C-4</b>			
Cana de açúcar	31	112	2,8
Sorgo	10	36	0,9
<b>Plantas do tipo C-3</b>			
Alfafa	08	29	0,7
Eucalipto sp.	15	54	1,3
Beterraba	09	33	0,8
Algas	24	130	2,2

Fonte: Carioca et al., 2007.

Assim, o cultivo de microalgas se mostra como uma opção atrativa às plantas terrestres, pelo fato de apresentarem elevada produtividade. Naturalmente, as plantas terrestres sequestram quantidades de dióxido de carbono da atmosfera (aproximadamente 0,036%), enquanto que as microalgas podem utilizar os gases de escape da chaminé, cuja porcentagem de CO<sub>2</sub> é de cerca de (10% a 20%)<sup>40</sup>. Consequentemente, seria recomendável fazer uso desta vantagem. A elevada produtividade das microalgas proporciona uma maior rentabilidade ao cultivo, o que necessita o conhecimento das espécies mais promissoras.

As microalgas são as principais fontes responsáveis pela absorção biológica do CO<sub>2</sub> atmosférico nos oceanos que cobrem 3/4 partes da superfície do globo terrestre, uma vez que estão presentes em grande número de corpos de água<sup>41</sup>. Uma parte do CO<sub>2</sub> absorvido pelas microalgas é transferida para o fundo oceânico num processo conhecido como “bomba biológica”<sup>42</sup>.

Recentemente, alguns pesquisadores propuseram incrementar a atividade da “bomba biológica” adicionando-se ferro (Fe) em determinadas regiões oceânicas ricas em nutrientes (especialmente em N e P), mas com baixa biomassa fitoplanctônica<sup>43</sup>. Essa hipótese ganhou força especialmente

<sup>40</sup> Stepan, D.J. et al., 2002.

<sup>41</sup> Falkowski, P.G.; Raven, J.A. Aquatic photosynthesis, London: Blackwell Science, 1997.

<sup>42</sup> Lalli, C.; Parsons, T. Atlântica, v.29, p.35-46, 2007.

<sup>43</sup> Borges, L., 2005.



após o trabalho de Martin e Fitzwater<sup>44</sup> em 1988, na Alemanha. Esse trabalho demonstrou existir uma estreita relação entre as maiores taxas de produção e sedimentação de fitoplancton em diferentes eras geológica e o maior aporte de Ferro no ambiente aquático, devido à atividade vulcânica. Vários experimentos foram realizados para testar esta hipótese. Estudos recentes mostraram que, de fato, a “fertilização” de extensas áreas oceânicas com Fe resultou num incremento significativo na produção primária fitoplanctônica, mas não na transferência da biomassa nova formada para o fundo oceânico<sup>45, 46</sup>.

Na verdade, o destino da matéria orgânica produzida permanece desconhecido e não se sabe que efeitos, positivos ou negativos, esse aumento da abundância de produtores primários pode ter no ecossistema aquático oceânico e no funcionamento das cadeias alimentares destes ambientes.

O processo da bomba biológica, juntamente com a difusão direta do  $\text{CO}_2$  para a água, impede o acúmulo de gases do “efeito estufa”, ou seja, do aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Além de seu rápido crescimento, as microalgas podem ser cultivadas em águas salobra e/ou salgada, liberando o uso de água doce para o consumo humano e agricultura. Além deste fato, as microalgas apresentam tolerância a fatores ambientais extremos, podendo ser cultivadas intensivamente em pequenos espaços e em regiões impróprias para atividades agrícolas representando, assim, uma alternativa efetiva para a diminuição do “efeito estufa”.

Microalgas são fixadoras eficientes de carbono atmosférico através da fotossíntese. Estima-se que cada tonelada de biomassa de alga produzida consuma 1,83 t de  $\text{CO}_2$ . Isso representa dez a vinte vezes mais do que o absorvido pelas culturas de oleaginosas<sup>47</sup>. Considerando-se todos os fatores que influenciam a eficiência da fotossíntese, torna-se crucial conhecer como cada um deles age sobre a taxa de conversão energética das espécies de interesse.

Entre os fatores que influenciam a eficiência da fotossíntese, vale mencionar: o ponto máximo de saturação de luz para a produção do maior rendimento fotossintética, a relação com o teor de clorofila, as melhores condições de cultivo, a taxa de conversão, o comportamento metabólico sob diferentes condições de luminosidade e densidade populacional. Algumas avaliações exigem acompanhamento constante como é o caso de possível saturação de níveis do oxigênio dissolvido que pode causar danos ao mecanismo fotossintético. Para este parâmetro, é relevante a variação de

---

<sup>44</sup> Martin, J.; Fitzwater, S. *Nature*, v.331, p.341-343, 1988.

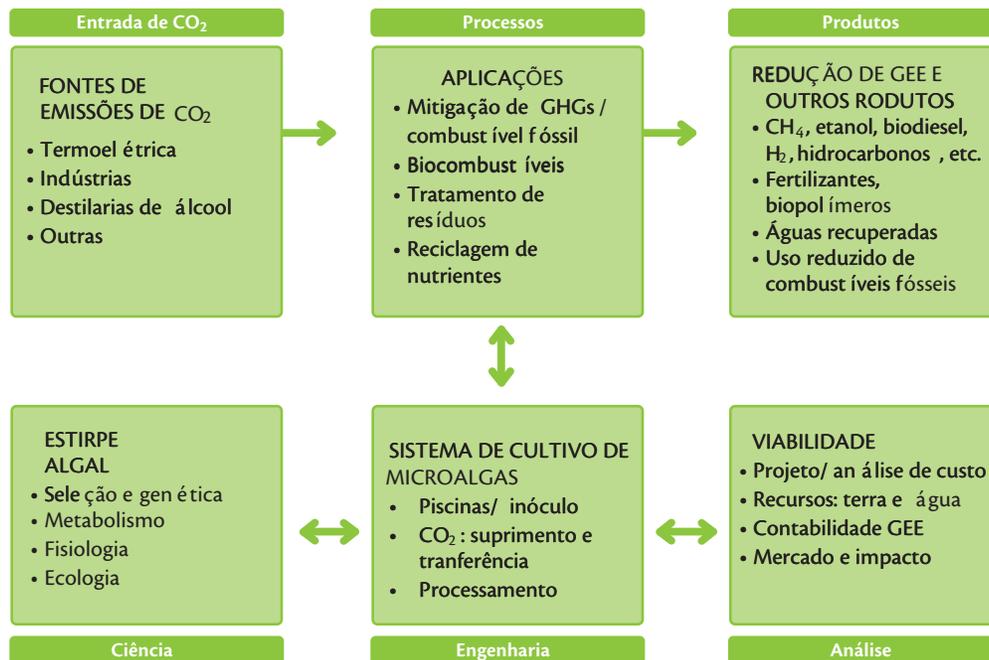
<sup>45</sup> Boyd, P.W. et al. *Nature*, v. 407, p.695-702, 2000.

<sup>46</sup> Boyd, P.W. *Science*, v.304, p.396-397, 2004.

<sup>47</sup> Azevedo, M.A.; Davignon, A. L. A., 2008.

temperatura entre o dia e a noite: ela não pode apresentar grandes amplitudes, sob pena de causar as denominadas, “*chilling injuries*”, que podem levar à morte as microalgas. Este problema pode ser contornado pela implantação das fazendas de cultivo no semi-árido, que por suas características geográficas apresenta pequena variação entre as temperaturas diurnas e noturnas<sup>48</sup>.

A Figura abaixo apresenta o esquema do processo de biofixação de CO<sub>2</sub> por microalgas, com indicação dos fatores que influenciam o ciclo de vida e as vias metabólicas das estirpes algais de interesse.



**Figura 6.7:** Esquema do processo de biofixação de CO<sub>2</sub> por microalgas

Fonte: Adaptação de Benemann, 2003.

Buscou-se nesta Seção fornecer uma visão geral e atualizada dos principais usos gerais do CO<sub>2</sub> nos diferentes setores da economia, caracterizando os potenciais produtos e processos de conversão do CO<sub>2</sub> de interesse para o presente estudo. A partir desta visão, traçam-se os panoramas mundial e nacional da produção científica e propriedade intelectual no tema, visando à seleção dos tópicos tecnológicos com potencial estratégico para o Brasil. Aspectos tecnológicos e de mercado são abordados na discussão das trajetórias tecnológicas dos tópicos selecionados, mais especificamente nas Seções 6.5 e 6.6 deste Capítulo.

<sup>48</sup> Margalef, R. 1995.



## 6.2. Panorama mundial

O panorama mundial da produção científica e propriedade intelectual sobre o tema “conversão química de CO<sub>2</sub>” foi elaborado a partir de levantamento direto em duas bases de dados internacionais de referência: (i) Web of Science, para o levantamento da produção científica<sup>49</sup>; e (ii) Derwent Innovations Index, para o levantamento de patentes<sup>50</sup>. Esses levantamentos abrangeram diversos termos de busca e cobriram o período 1998 – 2009, como apresentado a seguir. A Tabela a seguir apresenta os termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes e os resultados agregados por termo<sup>51</sup>.

**Tabela 6.4:** Termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes

Ref.	Termos da estratégia de busca	Número de publicações (Web of Science)	Número de patentes (Derwent Innovations Index)
#1	TS=(CO <sub>2</sub> conversion process*) OR TS=(carbon dioxide conversion process*) OR TS=(carbonic gas conversion process*)	1.742	2.419
#2	TS=(CO <sub>2</sub> chemical reduction) OR TS=(carbon dioxide chemical reduction) OR TS=(carbonic gas chemical reduction)	1.568	611
#3	TS=(dimethylcarbonate synthesis) OR TS=(DMC synthesis) OR TS=(dimethylcarbonate production) OR TS=(DMC production)	396	200
#4	TS=(organic carbonates) OR TS=(organic polycarbonates)	2.045	2175
#5	TS=(microalgal photosynthesis) OR TS=(CO <sub>2</sub> fixation by microalg*) OR TS=(carbon dioxide fixation by microalg*) OR TS=(carbonic fixation by microalg*)	258	9
#6	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5	5.859*	5.303*

**Nota:** (\*) Resultado da estratégia de busca abrangendo todos os termos com o operador booleano OR, e eliminando os documentos em duplicata. Campo TS= tópico (mais abrangente, do que o campo TI=título).

Com o objetivo de conferir maior abrangência ao estudo bibliométrico, selecionaram-se termos gerais relacionados ao tema, como por exemplo, “CO<sub>2</sub> conversion process\*”, e alguns termos específicos referentes a tópicos abordados neste Capítulo, como por exemplo “CO<sub>2</sub> chemical reduc-

<sup>49</sup> ISI Web of Science. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

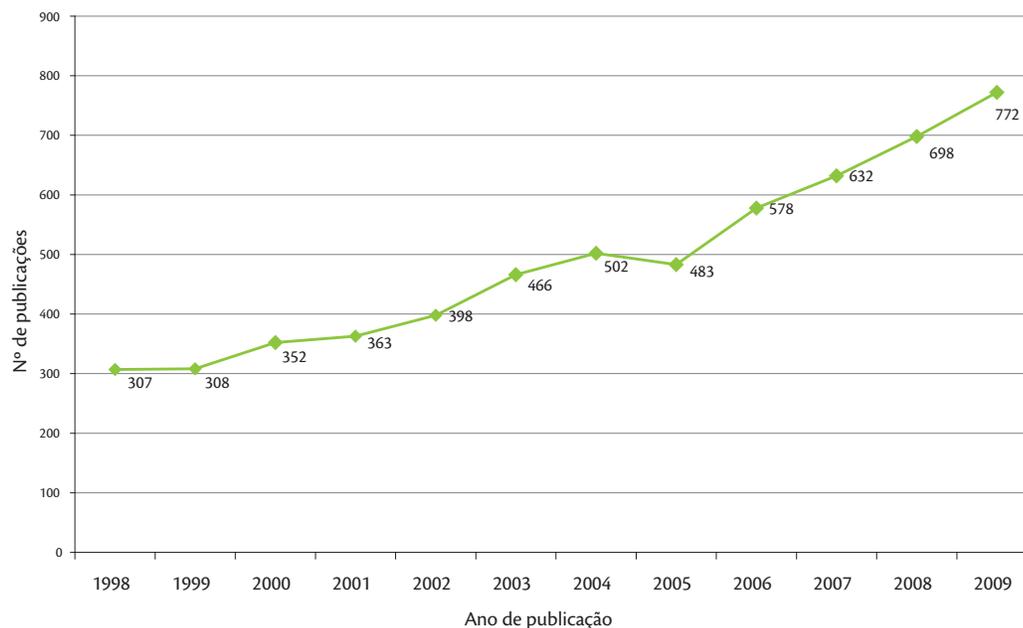
<sup>50</sup> Derwent Innovations Index. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

<sup>51</sup> Almeida, M.F.L. Produção científica e propriedade intelectual em conversão de CO<sub>2</sub>:1998-2009. Texto para discussão. Mimeo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. GGEE. Dez 2009.

tion” ou “CO<sub>2</sub> fixation by microalg\*”. As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “topic” (TS) e “year published” (PY).

Considerando-se o período 1998-2009 e adotando-se a estratégia apresentada na Tabela 6.4, foram identificadas 5.859 publicações científicas e 5.303 patentes.

A Figura 6.8 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre o tema “conversão de CO<sub>2</sub>” no referido período. Observa-se uma curva ascendente da produção científica deste tema desde 1998, destacando-se os quatro últimos anos da série, período no qual o número de publicações científicas indexadas na base de dados consultada atingiu a média anual de 670 publicações.



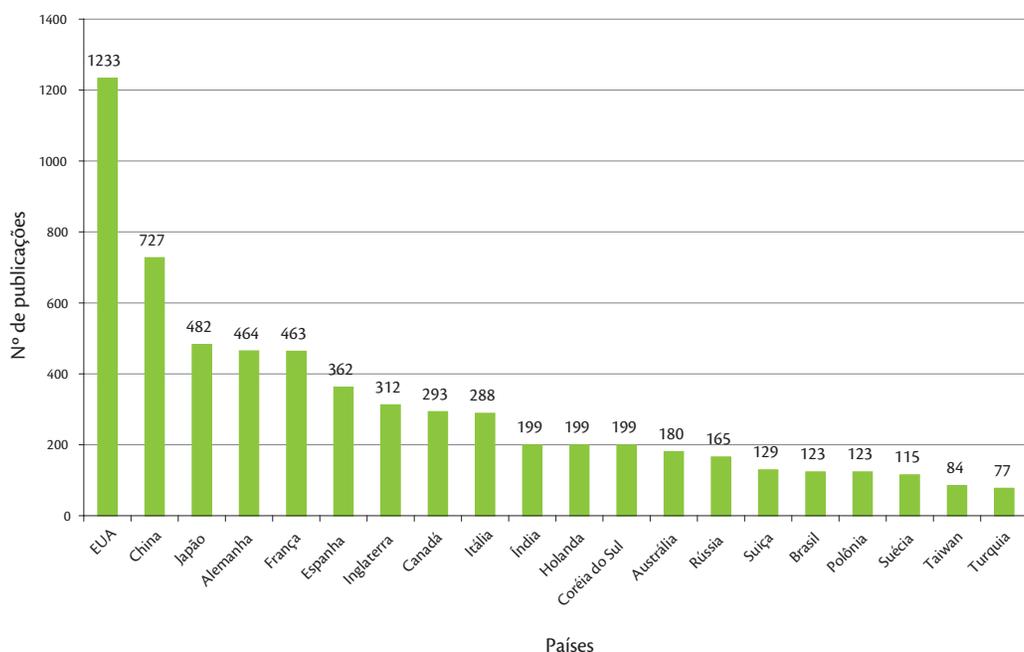
**Figura 6.8:** Evolução do Número de publicações científicas sobre conversão de CO<sub>2</sub>

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.



A Figura 6.9 mostra os resultados da análise das 5.859 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores.

Observa-se que os EUA lideram o *ranking*, com 1.233 publicações, seguidos da China, com 727 publicações no período. Essa busca indicou um total de 112 países. O Brasil ocupa a 15ª posição do *ranking* mundial de produção científica no tema “conversão de CO<sub>2</sub>”, empatado com a Polônia, com 123 publicações indexadas na referida base.



**Figura 6.9:** Publicações científicas sobre o tema “conversão de CO<sub>2</sub>”, classificadas por país: 1998 – 2009 (critério “top 20”)

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela apresenta o conjunto das 5.859 publicações científicas classificadas por área de especialização.

**Tabela 6.5:** Publicações científicas sobre conversão de CO<sub>2</sub>, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Engenharia química	1.150	19,79
Físico-química	1.032	17,61
Ciências ambientais	748	12,76
Energia e combustíveis	685	11,69
Geociências, multidisciplinar	537	9,16
Química, multidisciplinar	432	7,37
Geoquímica e geofísica	363	6,19
Engenharia ambiental	280	4,78
Ciência dos materiais, multidisciplinar	271	4,62
Química aplicada	276	4,56

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

As informações da Tabela 6.5 permitem concluir que não há uma grande concentração de publicações em torno de uma ou mais áreas de especialização. Na faixa de 20% a 10%, situam-se as áreas engenharia química, físico-química, ciências ambientais e energia/combustíveis. Em um segundo patamar, encontra-se as áreas geociências, química e geoquímica/geofísica, com percentuais na faixa de 9,16 a 6,19%. As demais áreas mostradas neste *ranking* situam-se em patamares inferiores na faixa de 4,78 a 4,56% de publicações classificadas nas respectivas áreas. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 144 áreas. Cabe destacar que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

A Tabela, a seguir, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.



**Tabela 6.6:** Publicações científicas sobre conversão de CO<sub>2</sub>, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 25”)

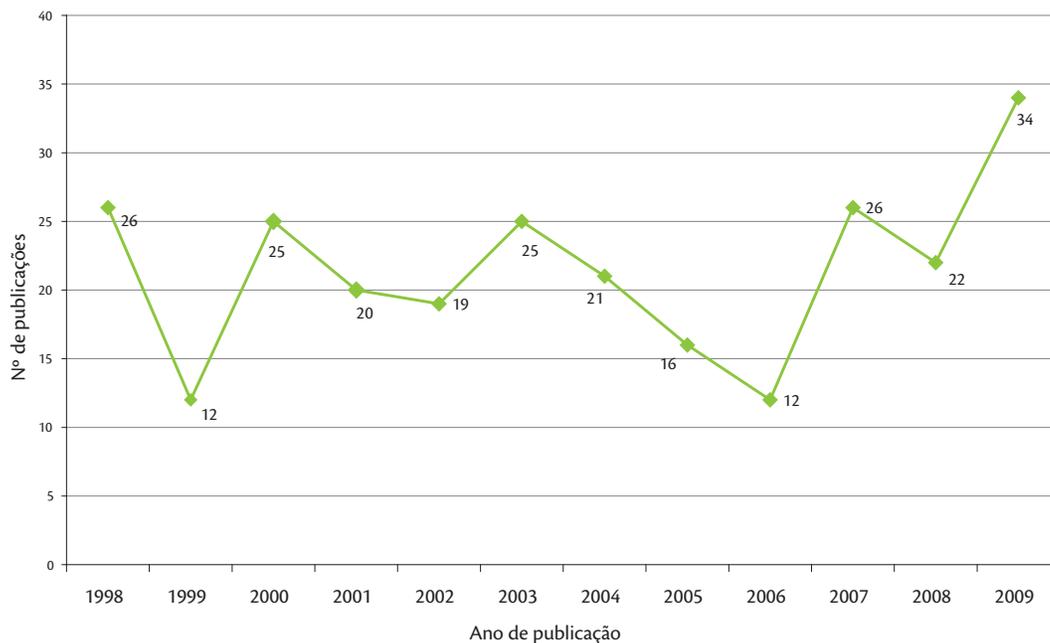
Instituição	País	Número de publicações
Chinese Academy of Science	China	232
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	Espanha	105
Russian Academy of Science	Rússia	100
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	França	62
University of California, Berkeley	EUA	53
University of Tokyo	Japão	44
Tianjin University	China	40
National Chemical Laboratory	Índia	39
Université Paris VI	França	39
Delft University of Technology	Holanda	37
Ohio State University	EUA	37
Penn State University 37	EUA	37
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Japão	36
Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)	Itália	34
Univ Bari	Itália	34
NASA	EUA	32
Tokyo Institute of Technology	Japão	32
Tohoku University	Japão	31
Korea Institute of Science & Technology	Coréia do Sul	30
Hokkaido University	Japão	29
University of Alberta	Canadá	28
Universität Göttingen	Alemanha	28
University of Michigan	EUA	28
US Geology Survey	EUA	28
Universidad Nacional Autonoma do Mexico	México	27

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Em um total de 3,520 instituições, a Chinese Academy of Science lidera o *ranking* mundial, com 232 publicações no período considerado, seguida do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), da Espanha, e da Russian Academy of Science, com 105 e 100 publicações, respectivamente. Na faixa de 62 a 40 publicações no período, destacam-se o Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) da França, a University of California, Berkeley, dos EUA, a University of Tokyo, do Japão, e a Tianjin University, da China. Embora o Brasil, juntamente com a Polónia, ocupe a 16ª posição no *ranking* mundial de publicações científicas sobre a temática de conversão de CO<sub>2</sub>, não aparecem instituições brasileiras e polonesas no *ranking* das 25 principais instituições às quais os autores estão vinculados.

Tendo em vista o caráter estratégico das tecnologias que se encontram em estágio embrionário ou de crescimento no cenário mundial, apresenta-se a seguir os resultados da análise bibliométrica focalizando apenas o tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”. Foram identificadas no período 1998-2009, 258 publicações científicas e apenas 9 patentes. A estratégia de busca utilizou termos específicos do tópico como: “*microalgal photosynthesis*”, “*CO<sub>2</sub> fixation by microalg\**”, “*carbon dioxide fixation by microalg\**” e “*carbonic fixation by microalg\**”. As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “*topic*” (TS) e “*year published*” (PY).

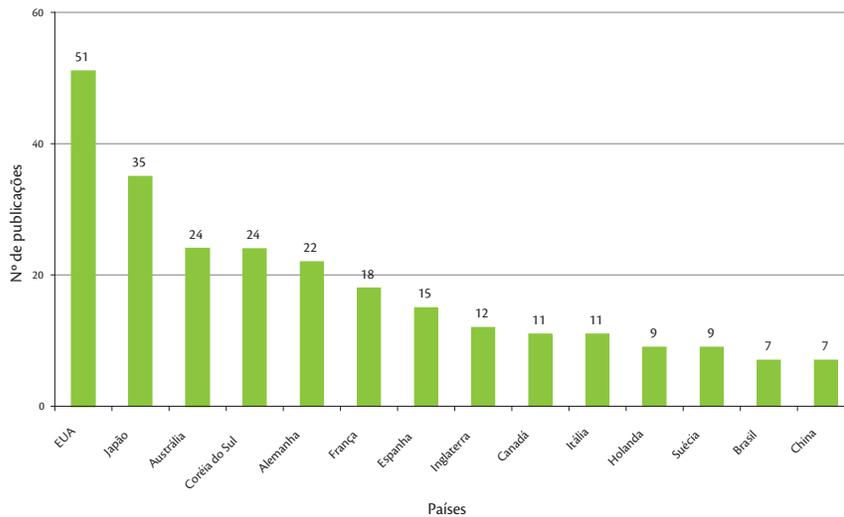
A Figura 6.10 mostra a evolução do Número de publicações científicas sobre o tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas” no referido período. Observa-se pelo formato da curva que a produção científica sobre este tópico se encontra em estágio embrionário, com uma produção anual média de apenas 21 publicações no período 1998-2010. Destaca-se um período de leve queda entre os anos 2003 e 2006, com perspectiva de crescimento para os próximos anos.



**Figura 6.10:** Evolução do Número de publicações científicas sobre “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Figura 6.11 mostra os resultados da análise das 258 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores. Observa-se que os EUA lideram o *ranking*, com 51 publicações, seguidos do Japão, com 35 publicações no período. Em um segundo patamar, encontra-se a Austrália, Coréia do Sul e a Alemanha com o número de publicações variando de 24 a 15. Em um terceiro patamar, situam-se a Inglaterra, o Canadá, a Itália, a Holanda, a Suécia, o Brasil e a China. O Brasil ocupa a 13ª posição do *ranking* mundial de produção científica sobre o tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”, com 7 publicações indexadas na referida base, em um total de 43 países.



**Figura 6.11:** Publicações científicas sobre “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”, classificadas por país: 1998 – 2009 (critério “top 14”)

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela 6.7 apresenta o conjunto das 258 publicações científicas sobre “absorção/fixação de CO<sub>2</sub>, por microalgas”, classificadas por área de especialização.

As informações da Tabela 6.7 permitem concluir que não há uma grande concentração de publicações em torno de uma ou mais áreas de especialização. Na faixa de 32,56% a 16,28%, situam-se as áreas de biotecnologia/microbiologia aplicada, biologia marinha e aquática e botânica. Em um segundo patamar, identifica-se as áreas de oceanografia, ecologia, energia/combustíveis, ciências ambientais, microbiologia, engenharia química e engenharia agrícola, com percentuais na faixa de 11,24 a 4,65% de publicações classificadas nas respectivas áreas. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 45 áreas. Cabe destacar que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área.



**Tabela 6.7:** Publicações científicas sobre “absorção/fixação de CO<sub>2</sub>, por microalgas”, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Biotecnologia e microbiologia aplicada 84	84	32,56
Biologia marinha e aquática 72	72	27,90
Botânica 42	42	16,28
Oceanografia 29	29	11,24
Ecologia 28	28	10,85
Energia e combustíveis 21	21	8,14
Ciências ambientais 20	20	7,75
Microbiologia 19	19	7,36
Engenharia química 15	15	5,81
Engenharia agrícola 12	12	4,65

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Tabela 6.8, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

Em um total de 297 instituições, a Monash University, da Austrália, lidera o *ranking* mundial com 10 publicações no período considerado, seguida da University of Gothenburg, da Suécia; do Marine Biotechnology Institute, do Japão; do Korea Institute of Energy Research (KIER), da Coreia do Sul; e da Universidad de Almeria, da Espanha, cujo número de publicações variou de 8 a 6 no período 1998-2009. Observa-se que uma universidade brasileira está classificada entre as 25 instituições que mais publicaram sobre o tópico: a Fundação Universidade do Rio Grande, localizada no estado do Rio Grande do Sul, com 3 publicações (Ver Tabela 6.16).

Na sequência, voltando-se ao tema geral “conversão de CO<sub>2</sub>”, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes referentes ao tema no período 1998 – 2009. Como mencionado, esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index e abrangeu os mesmos termos de busca do levantamento anterior. Foram identificadas 5.303 patentes no referido período.

**Tabela 6.8:** Publicações científicas sobre “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Instituição	País	Número de publicações
Monash University	Austrália	10
University of Gothenburg	Suécia	8
Marine Biotechnology Institute	Japão	7
Korea Institute of Energy Research (KIER)	Coreia do Sul	6
Universidad de Almeria	Espanha	6
Central Research Institute of Electric Power Industry	Japão	5
University of Essex	Inglaterra	5
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	França	4
Kamaishi Labs, Marine Biotechnology Institute	Japão	4
Universidade de Aveiro	Portugal	4
University of California, Berkeley	EUA	4
University of Crete	Grécia	4
University of Dundee	Escócia	4
York University	Inglaterra	4
Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research	Alemanha	3
Australian National University	Austrália	3
Chonbuk National University	Coreia do Sul	3
Consiglio Nazionale delle Ricerche (Institute of Marine Sciences)	Itália	3
Fundação Universidade Federal do Rio Grande	Brasil	3
Centre de Recherche en Ecologie Marine et Aquaculture (IFREMER)	França	3
La Sierra University	EUA	3
Louisiana State University	EUA	38
Mitsubishi Heavy Ind Ltd (Advanced Technoly Research Centre)	Japão	3
Oak Ridge National Laboratory (ORNL)	EUA	3
Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE)	Japão	3

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Os resultados do levantamento de patentes permitiram identificar: (i) as principais áreas de especialização associadas ao conjunto de patentes (critério “top 10”), conforme indexação das áreas pelas



próprias bases de dados consultadas; (ii) o número de depositantes e os destaques, enfatizando-se a presença de empresas (critério “top 25”); e (iii) uma análise por código da International Patent Classification (ICP), que revela as subclasses ICP de maior representatividade para posterior monitoramento da evolução da propriedade intelectual no tema nos próximos anos.

A Tabela 6.9 apresenta o conjunto das patentes levantadas, segundo a classificação por área de especialização do próprio sistema de indexação da referida base. A pesquisa indicou um total de 24 áreas de conhecimento.

Ao se analisar as informações sobre patentes mostradas na Tabela 6.9, observa-se que um percentual bastante significativo refere-se diretamente à química (98,25%). Em um segundo patamar, situa-se quatro áreas: engenharia (55,34 %); ciência dos polímeros (43,39 %), energia/combustíveis (32,79%) e instrumentos/instrumentação (24,93%). Neste *ranking* (“top 10”), as demais áreas possuem percentuais inferiores que variam de 15,56 a 6,01% de patentes classificadas. Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

**Tabela 6.9:** Patentes no tema conversão de CO<sub>2</sub>, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Química	5210	98,25
Engenharia	2935	55,34
Ciência dos polímeros	2301	43,39
Energia & combustíveis	1739	32,79
Instrumentos/instrumentação	1322	24,93
Farmacologia e farmácia	825	15,56
Ciência da imagem e tecnologia fotográfica	470	8,86
Biotecnologia e microbiologia aplicada	360	6,79
Agricultura	347	6,54
Ciência dos materiais	319	6,01

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes (Tabela 6.10). Observa-se que a empresa líder é a Basf AG com 144 patentes, seguida da Shell Int Res e Shell Oil Co, com 90 e 89 patentes, respectivamente. Os demais depositantes que se destacam no *ranking* são as empresas

General Electric Co, Exxon Mobil, L'Oreal, Bayer, Dupont De Nemours & Co, Dow, Degussa e Samsung SDI Co. A busca indicou ainda um total de 7377 depositantes.

**Tabela 6.10:** Patentes no tema conversão de CO<sub>2</sub>, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Depositante	Número de patentes
Basf AG	144
Shell Int Res UM BV	90
Shell Oil Co	89
General Electric Co	69
Exxon Mobil Chem Patents Inc	63
L'Oreal SA	59
Basf SE	58
Bayer AG	55
Du Pont De Nemours & Co	54
Wellington, S.L.	52
Vinegar, H.J.	51
Berchenko. I.E.	42
Dow Global Technologies Inc	42
Degussa AG	41
Bayer Material Science AG	38
Samsung SDI Co Ltd	38
Stegemeir, G.L.	38
Henkel KGAA	36
Zhang, E.	36
Ryan, R.C.	34
Fowler, T.D.	33
Rouffignac, E.P.D.	33
Merck Patent GMBH	32
Procter & Gamble Co	32
Institut Français du Pétrole	31

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009



Vale destacar, entretanto, que uma busca delimitada pelo campo “Assignee Codes” permite revelar um pouco mais sobre a concentração de poucas empresas no *ranking* mundial de patentes neste tema. A Tabela a seguir apresenta os resultados desta busca.

**Tabela 6.11:** Patentes no tema “conversão de CO<sub>2</sub>”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Código do depositante	Empresa, inventor ou instituição	Número de patentes
BADI-C	Basf	180
SHEL-C	Shell	135
ESSO-C	Esso	96
FARB-C	Bayer	96
GENE-C	Genencor	74
BRPE-C	British Petroleum	62
DUPO-C	Du Pont	62
OREA-C	L’Oreal.	59
ZHAN-I	Inventor	57
WELL-I	Inventor	53

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

A título de ilustração, sob o código SHEL-C estão classificados os depositantes Shell International Research Maatschappij BV e sua matriz Shell Oil Co, que na Tabela 6.10 se encontravam em diferentes posições no *ranking* (2ª e 3ª). Ainda na Tabela 6.10, o código SHEL-C aparece em 2º lugar, perfazendo 135 patentes, em um total de 5.303 patentes. Quem lidera o *ranking* dos depositantes segundo os códigos de depositantes é o BADI-C que corresponde às empresas do grupo Basf e seus acrônimos, totalizando 180 patentes. Vale destacar que na tabela anterior a Basf apareceu com 144 patentes.

Na sequência, a Tabela mostra os resultados da análise das 5.303 patentes segundo as subclasses da International Patent Classification (ICP).

**Tabela 6.12:** Patentes no tema “conversão de CO<sub>2</sub>”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
C0 <sub>7</sub> B-061/00	317
C0 <sub>1</sub> B-003/00	259
C0 <sub>7</sub> C-027/00	170
B0 <sub>1</sub> J-037/00	153
H0 <sub>1</sub> M-010/40	151
B0 <sub>1</sub> J-021/00	142
C0 <sub>7</sub> C-001/00	135
C0 <sub>7</sub> C-029/00	132
C0 <sub>7</sub> C-000/00	131
C0 <sub>7</sub> C-069/00	129

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Constata-se que as subclasses ICP de maior representatividade são: C0<sub>7</sub>B-061 – “métodos gerais de química orgânica – outros métodos” e C0<sub>1</sub>B-003 – “hidrogênio; misturas gasosas contendo hidrogênio; separação do hidrogênio das misturas gasosas que o contém”. Referentes às classes C0<sub>7</sub>C – “compostos acíclicos ou compostos carbocíclicos ” (diversos códigos) e B0<sub>1</sub>J - “processos químicos ou físicos, por ex., catálise, química coloidal; aparelhos pertinentes aos mesmos”, identificaram-se mais de uma subclasse, como mostra a Tabela 6.12

A exemplo do que foi mostrado no panorama da produção científica sobre o tema objeto deste Capítulo, apresenta-se a seguir os resultados do levantamento de patentes focalizando especificamente o tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”. A Tabela 6.13 apresenta o conjunto das 9 patentes levantadas neste tópico, segundo a classificação por área de especialização do próprio sistema de indexação da referida base. A pesquisa indicou um total de 23 áreas de conhecimento.



Ao se analisar as informações sobre patentes mostradas na Tabela 6.13, observa-se que todos os documentos referem-se diretamente à área de química (100%). Em um segundo patamar, situa-se duas áreas de especialização: biotecnologia e microbiologia aplicada (88,88%) e engenharia (44,44%). Neste *ranking* (“top 10”), as demais áreas possuem percentuais inferiores, variando de 33,33 a 11,11% de patentes classificadas segundo as respectivas áreas. Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

**Tabela 6.13:** Patentes no tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Química	9	100,00
Biotecnologia e microbiologia aplicada	8	88,89
Engenharia	4	44,44
Farmacologia e farmácia	3	33,33
Energia e combustíveis	2	22,22
Agricultura	1	11,11
Ciência e tecnologia de alimentos	1	11,11
Ciência dos polímeros	1	11,11
Recursos hídricos	1	11,11
Química	1	11,11

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes, países e ano de depósito. Observa-se que no ano de 2009 foram depositadas 4 patentes, que representam quase a metade do total de patentes referentes à “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”, no período 1998-2009. A busca indicou ainda um total de 15 depositantes (Tabela 6.14).

**Tabela 6.14:** Patentes no tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”, classificadas por depositante: 1998- 2009

Título	Depositantes	Ano	Países de depósito
New Scenedesmus microalgae strain used in preparing microalgae preparations for removing carbon dioxide, has abundant biomass, high carbon dioxide fixation rate, and excellent resistance to carbon dioxide, sulfur oxides and nitrogen oxides.	Ecophyco Technology Ltd, INHA Industry Partnership Institute, Posco.	2009	Coréia do Sul e depósito internacional (PCT)
New hydrogen producing microorganism, useful for increasing microbial hydrogen gas production and for producing high amounts of microalgal biomass and oil.	Sustainable Green Technologies Inc.; Schmid, E; Gibson, J.	2009	EUA e depósito internacional (PCT)
Carbon dioxide fixation and manufacture of freshwater for factories involves filling container with natural water, microalgae culture and carbon dioxide-containing gas, fixing carbon dioxide, evaporating and collecting condensed vapor.	Shimizu Constr Co Ltd	2009	Japão
Set of series connected tubular photobioreactors for removal and fixation of e.g. carbon dioxide includes a micro algae and cyanobacteria treatment installation reducing greenhouse effect.	Vieira Costa, J. A.	2007	Brasil
Biological work-up of hydrocarbon- and carbon dioxide-containing gases comprises microbial fixing of the carbon dioxide and anaerobic degradation to biogas, which can be used in operation of a block heating and generating plant.	Rent A Scientist Gmbh, Schmack Biogas AG	2004	Alemanha e depósito internacional (PCT)
Biological CO <sub>2</sub> fixation by Chlorella sp. ha-1 using semi continuous cultivation method in photobioreactor.	Korea Adv Inst Sci & Technology; Lafarge Halla Cement Corp.	2003	Coréia do Sul
Novel algal cell which grows in substantial absence of light comprising chimeric DNA encoding protein that transports catabolizable carbon source into the cell, useful for producing desired algal products in fermentor.	Martek Biosciences Corp	2002	Austrália e depósito internacional (PCT)
Carbon dioxide fixation by Chlorella, includes two unicellular microalgae, Chlorella sorokiniana isolated from hog wastewater had high growth rate at high concentration of carbon dioxide.	Yang, S.	2001	Taiwan
Microalgae chlorella strain used as livestock feed - has strong resistance to carbon dioxide and sulfur dioxide.	Korea Res Inst Chem Technology	2000	Coréia do Sul e Japão

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Na seqüência, a Tabela 6.15 mostra os resultados da análise das 9 patentes segundo as subclasses da International Patent Classification (ICP).



Para monitoramento posterior das patentes neste tópico, utilizando-se a ICP como referência, identifica-se oito subclasses ICP, a saber: B01D-053 – “absorção, adsorção; cromatografia, outros métodos de separação” (2 códigos distintos); C12N-001 – “microorganismos; esporos;células não diferenciadas”, C12N-015 – “engenharia genética ou de mutações”; C07K- 014- “peptídeos tendo mais de 20 aminoácidos” (dois códigos distintos); A23K-001 – “forragem”; B01J-019 – “processos químicos ou físicos, por ex., catálise, química coloidal...”; C02F-001 – “métodos de preparação de compostos dos metais berílio, magnésio, alumínio, cálcio, estrôncio, bário, rádio, tório, ou dos metais de terras raras, em geral” e C02F-003 – “ compostos de berílio”.

**Tabela 6.15:** Patentes referentes ao tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009

Classe ICP	Número de patentes
C12N-001/12	4
B01D-053/84	3
B01D-053/62	2
C12N-015/74	2
A23K-001/00	1
B01J-019/00	1
C02F-001/14	1
C02F-003/32	1
C07K-014/415	1
C07K-014/435	1

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Buscou-se nesta Seção mostrar indicadores bibliométricos de publicações científicas e patentes associados ao tema “conversão de CO<sub>2</sub>” objeto deste Capítulo. Particularmente, pela sua importância estratégica para o país, apresentaram-se indicadores focalizando especificamente o tópico “absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas”. Vale destacar, entretanto, que qualquer resultado de uma análise bibliométrica tem caráter apenas indicativo, recomendando-se seu cruzamento posterior com outras informações e análises referentes aos tópicos tecnológicos associados ao tema geral (Seção 6.4).

### 6.3. Panorama nacional

No Brasil, de uma maneira geral, as tecnologias de conversão de  $\text{CO}_2$  ainda levarão algum tempo para alcançar uma escala comercial. Nas próximas décadas, grande esforço científico e tecnológico se faz necessário para levar as pesquisas da escala de bancada para uma escala piloto onde as empresas possam ser envolvidas.

É feita exceção às tecnologias de redução de  $\text{CO}_2$ , dos processos de condensação, especialmente a produção de uréia que já atingiu maturidade. Certamente, a redução dos impactos ambientais constitui a grande força motriz de estímulo ao desenvolvimento dos processos de conversão de  $\text{CO}_2$ , um resíduo de processo valioso para uso como matéria prima abundante para a produção de derivados químicos de importância industrial.

Certamente, o uso do  $\text{CO}_2$  para acelerar o processo fotossintético de crescimento das microalgas constitui a grande aposta futura, tendo em vista a produção concomitante de biocombustíveis alternativos como o biodiesel, o hidrogênio, o biogás, ou mesmo o etanol. Neste caso particular, as unidades de geração de energia elétrica, ou seja, as termoeletricas constituem o grande alvo desta utilização porque elas são consideradas na atualidade como as maiores fontes de emissão de  $\text{CO}_2$  nos países desenvolvidos.

Com relação à produção científica nacional no período 1998-2009, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 16ª posição do *ranking* mundial de produção científica no tema “conversão de  $\text{CO}_2$ ”, juntamente com a Polônia, com 123 publicações indexadas na referida base (Ver Figura 6.9). Nesta Seção, busca-se analisar esse subconjunto de publicações em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 6.16.



**Tabela 6.16:** Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “conversão de CO<sub>2</sub>”, classificados segundo a instituição de origem de seus autores: 1998 – 2009

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	24
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	13
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	12
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	9
Universidade de Brasília	Brasília	7
Universidade Federal da Bahia	Bahia	7
Universidade Federal de São Carlos	São Paulo	7
Universidade Federal do Ceará	Ceará	5
Universidade Estadual Paulista	São Paulo	4
Universidade Federal da Paraíba	Paraíba	3
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	3
Universidade Federal do Paraná	Paraná	3
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	3
Universidade Federal Fluminense	Rio de Janeiro	3
CNEN	Rio de Janeiro	2
Faculdade de Ciências	n.d.	2
Fundação Universidade Federal do Rio Grande	Rio Grande do Sul	2
Instituto Nacional de Tecnologia	Rio de Janeiro	2
Universidade Federal do Pará	Pará	2

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Lideram o *ranking* das instituições brasileiras a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal do Rio de Janeiro Paraná e a Universidade Estadual de Campinas, perfazendo 49 publicações em um total de 123 publicações indexadas no período 1998-2009. Foram identificadas 178 instituições às quais os autores brasileiros estão vinculados.

Embora não envolvendo diretamente o tópico da conversão química, vale mencionar o esforço sistemático da Petrobras em desenvolver e apoiar os trabalhos da Rede Temática de Mudanças Climáticas, em

associação com várias universidades e centro de pesquisas nacionais<sup>52</sup>. O objetivo dessa Rede é entender o fenômeno das emissões de gases de efeito estufa e desenvolver rotas de sequestro de carbono, dentro do contexto de mitigação de mudanças climáticas, para disponibilizar as tecnologias para a Petrobras.

## 6.4. Tópicos associados ao tema

O Quadro 6.3 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema da “conversão de CO<sub>2</sub>” que foram selecionados para a construção dos mapas tecnológicos no mundo e no Brasil. Inclui os descritivos dos tópicos, o grau de maturidade de cada tópico no mundo<sup>53</sup> e os setores mais impactados pelo seu desenvolvimento no país. As referências alfanuméricas na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos respectivos mapas tecnológicos.

**Quadro 6.3:** Tópicos associados ao tema “conversão de CO<sub>2</sub>”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T7a	Redução química de CO <sub>2</sub>	Uso do CO <sub>2</sub> como agente de oxidação.	Maduro	Siderurgia; petróleo, gás natural e petroquímica.
T7b	Reações de condensação com CO <sub>2</sub>	Incorporação do CO <sub>2</sub> em rotas sintéticas de Química Fina.	Crescimento	Petróleo, gás natural e petroquímica; setores da química fina.
T7c	Produção de uréia	Incorporação do CO <sub>2</sub> para produção de fertilizantes.	Pós-maduro	Agroindústrias.
T7d	Produção de bicarbonato	CO <sub>2</sub> como insumo para produção de carbonatos inorgânicos.	Pós-maduro	Construção civil.
T7e	Produção de carbonatos e policarbonatos orgânicos	Incorporação do CO <sub>2</sub> na indústria de plásticos, aditivos, fármacos e outras.	Crescimento	Plásticos; farmacêutico; aeronáutico; automotivo
T7f	Gás de síntese	Rota fundamental para a química de base.	Crescimento	Petróleo, gás natural e petroquímica
T7g	Absorção/fixação de CO <sub>2</sub> por microalgas	Uso do CO <sub>2</sub> como insumo para o processo fotossintético	Embrionário	Termoelétricas; meio ambiente; biocombustíveis.

<sup>52</sup> Petrobras. Redes temáticas e núcleos regionais. Disponível em: <[http://www2.petrobras.com.br/minisite/comunidade\\_ciencia\\_tecnologia/portugues/redestematicas\\_objetivos.asp](http://www2.petrobras.com.br/minisite/comunidade_ciencia_tecnologia/portugues/redestematicas_objetivos.asp)>. Acesso em dez 2009.

<sup>53</sup> De acordo com Rousset, P. Technological maturity proves a valid and important concept. *Research Management*. V. 27, n.1, January-February 1984; Rousset, P. A., Saad, K. N., & Erickson, T. J. *Third generation R&D: managing the link to corporate strategy*. Cambridge: Harvard Business School Press. 1991.



O tópico redução química de  $\text{CO}_2$  (T7a) está relacionado com a produção de insumos básicos para a indústria química, tais como: gás de síntese, metanol, éter di-metílico, estireno e derivados do ácido fórmico, conforme indicado no Quadro 6.3.

Como apresentado na Seção 6.1, o  $\text{CO}_2$  pode também ser utilizado em reações de condensações com diferentes substratos (T7b), gerando toda uma linha de produtos da química fina de grande importância industrial, que se encontra hoje em fase de crescimento. Nesta trajetória, situam-se, por exemplo, os carbonatos orgânicos, álcoois, lactonas, amidas e lactamas.

O mercado de uréia é estimado como sendo de 110 milhões t/ano. Ele se encontra numa fase de grande expansão em nível mundial, razão pela qual este tópico foi incluído (T7c). A uréia é consumida principalmente como fertilizante químico, na preparação de resinas tipo-uréia, resinas do tipo melamina-uréia e como aditivo para ração animal<sup>54</sup>, além de carbamatos e uréias di-substituídas, que podem ser preparadas a partir da reação entre  $\text{CO}_2$  e aminas secundárias.

Os carbonatos (T7e) constituem uma classe de insumos inorgânicos e orgânicos de grande aplicação industrial. Modernamente, o carbonato de dimetila tem sido usado como um insumo intermediário para síntese ecologicamente corretas, substituindo reagentes tóxicos e poluidores. Os policarbonatos, por sua vez, encontram grande aplicação industrial no campo dos polímeros e matérias plásticas.

O gás de síntese (T7f), que pode ser obtido a partir do  $\text{CO}_2$ , constitui uma rota básica para a produção de derivados petroquímicos de uso consagrado na indústria química.

O  $\text{CO}_2$  proveniente dos processos de combustão em termoeletricas, das indústrias de fermentação e da siderurgia pode ser utilizado como insumo no processo fotossintético para a produção de microalgas (T7g). Esses materiais podem por sua vez ser utilizados como importante fonte de produção de óleos vegetais, proteínas e carboidratos, todos de grande utilização industrial, contribuindo para a redução da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera.

## 6.5. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030

A Figura 6.12 representa o mapa tecnológico relacionado ao desenvolvimento do tema “conversão de  $\text{CO}_2$ ” no mundo. Ele será básico para comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as traje-

<sup>54</sup> Aresta, M. et al.  $\text{CO}_2$  Utilization in the chemistry industry. *Energy Conversion Management*, v.38, p. 373-378. 1997.

tórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde no que tange à geração de conhecimento e inovações neste tema.

As informações e dados constantes no panorama mundial apresentado na Seção 6.2 sustentam o exercício prospectivo das trajetórias tecnológicas dos cinco tópicos tecnológicos indicados na Figura 6.12, considerando-se os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030.

Desse modo, com relação às trajetórias indicadas na Figura 6.12, observa-se que a tecnologia de redução química de CO<sub>2</sub> (T7a) encontra-se em uma fase de franca expansão no mercado mundial, o que é salutar para a redução das emissões antrópicas. Diferentemente da redução química, o uso de CO<sub>2</sub> em reações de condensação apresenta uma evolução mais lenta por se tratar de um processo em fase de demonstração no mundo (T7b).

Estágios	Desenvolvimento do tema "conversão de CO <sub>2</sub> " no mundo		
	2010- 2015	2016- 2025	2026- 2030
Comercialização	T7c T7d	T7c T7d	T7c T7d
Produção/ processo	T7f	T7e T7a T7f	T7e T7f T7a T7e T7b
Inovação/ implantação	T7f	T7e T7a	T7b
Scale-up	T7a T7e	T7b	
Fase demonstração	T7a T7e	T7b	
Fase piloto	T7a T7e	T7b	
Pesquisa em bancada	T7a T7e		
	T7b		

**Figura 6.12:** Mapa tecnológico do tema "conversão de CO<sub>2</sub>" no mundo: 2010 – 2030

Notação: T7a – Redução química de CO<sub>2</sub>; T7b – Reações de condensação com CO<sub>2</sub>; T7c – Produção de uréia; T7d – Produção de bicarbonato; T7e – Produção de carbonatos e policarbonatos orgânicos; T7f – Produção de gás de síntese; T7g – Absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas.



Com relação à produção de uréia, trata-se de uma tecnologia madura, certamente motivada pelo grande mercado (T7c). O mesmo pode ser dito em relação à produção de bicarbonatos, carbonatos e policarbonatos. Atualmente o dimetilcarbonato (DMC) é produzido industrialmente pela carbonilação oxidativa do metanol pela Enichem Synthesis SpA (Itália), pela Dow Chemical dos EUA e pela Ube Industries Ltd. do Japão. A Enichem Synthesis tem capacidade para produzir cerca de 8.800 t/ano de DMC.

Com relação ao processo de uso de CO<sub>2</sub> para a produção de microalgas (T7g), trata-se de uma tecnologia ainda em fase de experimentação piloto em nível mundial, mas que apresenta um grande potencial de utilização na área de bicompostíveis. A título de ilustração, para mitigar as emissões do CO<sub>2</sub> das termoelétricas várias culturas de microalgas têm sido pesquisadas Hirata e colaboradores<sup>55</sup> testaram *Nannochloropsis salina*, estirpe NANNP-2, *Phaeodactylum tricornutum*, estirpe PHAEO-2 e *Tetraselmis* SP, estirpe T-S3, com 10% de CO<sub>2</sub> e gás N<sub>2</sub> a 25°C, em sistemas fechado e aberto de gás de chaminé de termoelétricas. Na mesma época, duas estirpes de alga verde, *Chlorella* sp e *Chlorella littorale*, foram isoladas por Murakami e Ikenouchi em 1997, que registraram uma taxa de fixação de CO<sub>2</sub> estimada em 1g CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para *Chlorella* sp.<sup>56</sup> Hirata e colaboradores<sup>57</sup> relataram que a microalga verde de água doce apresentou crescimento satisfatório, até 40% superior na temperatura de 30 °C.

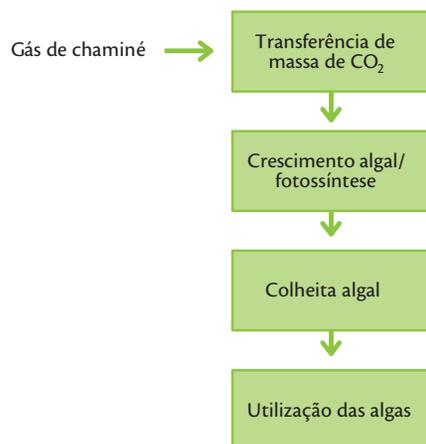
Estudos realizados por Stepan et al <sup>58</sup> para o US Department of Energy (DOE), em 2002, avaliaram preliminarmente a viabilidade econômica dos vários estágios do processo de absorção de CO<sub>2</sub> através de um sistema de microalgas como ilustrado na Figura a seguir

<sup>55</sup> Hirata, S.; Taya, M.; Tone, S. Characterization of *Chlorella* cell cultures in batch and continuous operations under a photoautotrophic condition. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, v.29, p. 953-959, 1996.

<sup>56</sup> Murakami, N.; Ikenouchi, M. Carbon dioxide fixation and utilization by micrialgae photosynthesis. In: *Proceedings of 5th Annual Meeting of the Japan Institute of Energy*, p. 281-284. 1997.

<sup>57</sup> Hirata, S.; Taya, M.; Tone, S. *Ibid.* 1996.

<sup>58</sup> Stepan, DJ.; Shockey, R.E.; Moe, T.A.; Dorn, R. Subtask 2.3 – Carbon dioxide sequestering using microalgal systems. U.S. Department of Energy. DOE.National Energy Technology Laboratory. Fev 2002.



**Figura 6.13:** Processo de absorção de CO<sub>2</sub> através de um sistema de microalgas

Fonte: Stepan et al, 2002.

Esses estudos foram baseados em resíduos gasosos de combustão de uma central termoelétrica a carvão com geração de 550 MW, assumindo uma captura de 25% de CO<sub>2</sub> ou o equivalente a 932 toneladas por dia de carbono, com operação do sistema de produção de microalgas durante 12 h/dia, 365 dias/ano. Os resultados indicaram que um sistema baseado em algas é viável, no entanto alguns critérios devem ser considerados, incluindo-se a transferência em massa de CO<sub>2</sub>, taxas de crescimento de algas, para o desenvolvimento de estratégias visando produzir um fluxo de receitas provenientes das algas obtidas. Observaram também que algumas estirpes de algas (*Monoraphidium* MONOR02 e *Nannochloropsis* NANNO02) obtiveram crescimento satisfatório com a seguinte composição de gás de chaminé: 87% N<sub>2</sub>, 12,1% CO<sub>2</sub>, 5,5% O<sub>2</sub>, 423 ppm SO<sub>2</sub>, e 124 ppm NOx.

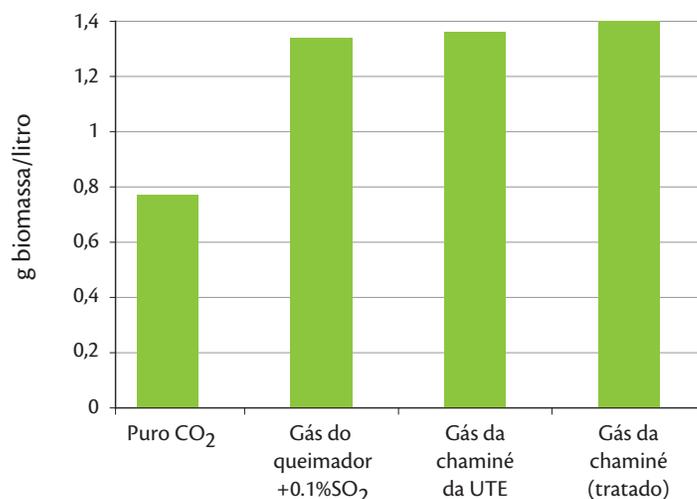
O resultado econômico mais promissor fica por conta do projeto Petroalgae<sup>59</sup>, que apresenta um custo de produção de biodiesel a partir de microalgas cultivadas com o gás de termoelétricas da ordem de US\$ 1,93 /galão. A análise centesimal das algas produzidas no âmbito desse projeto mostrou que as mesmas constituíam-se por volta de 41% de proteína, 26% de lipídios e 33% de carboidratos. Uma avaliação econômica preliminar indicou que cerca de US\$ 97 por tonelada de algas cultivadas seriam necessárias para recuperar o capital de operação e manutenção de custos. A análise indicou que o potencial para produzir 2.427 toneladas por dia de algas com 12% de umidade. Desta quantidade total, 876 toneladas por dia de proteína poderiam ser recuperadas e utilizadas como ração animal, da mesma forma, estima-se que aproximadamente 555 toneladas por dia de lipídios pode-

<sup>59</sup> PetroAlgae. Technical Report–Business Overview. February, 2007. Disponível em:<http://www.petroalgae.com>>. Acesso em dez 2009.



riam ser recuperadas para o uso na produção de combustíveis líquidos e produtos químicos. O restante, 705 toneladas por dia de carboidratos, poderiam ser recuperados para a produção de álcoois ou ácidos orgânicos.

Estudos realizados por Ben-Amotz e Jinjiikhashvily<sup>60</sup> na termoelétrica de Tel-Aviv indicaram que o uso do gás da chaminé após lavagem se mostra adequado para o crescimento de microalgas em água do mar, conforme indicado na Figura 6.14, uma vez que contribuem para um aumento significativo do rendimento do cultivo.



**Figura 6.14:** Rendimento de cultivo de microalgas em diferentes composições de gases contendo CO<sub>2</sub>

Fonte: Ben-Amotz; Jinjiikhashvily, 2008.

O levantamento da produção científica e patentes referentes ao tópico “absorção de CO<sub>2</sub> por microalgas”, em nível mundial, identificou 258 publicações científicas e 9 patentes no período 1998-2009. Constatou-se que no ano de 2009 foram depositadas 4 patentes, representando quase a metade do total de patentes no referido período (Tabela 6.14). Conforme apresentado na Tabela 6.4, os países de depósito foram: Coréia do Sul (3 patentes); Japão (2 patentes); e Brasil, Alemanha, Austrália, EUA e Taiwan, com depósito de 1 patente, respectivamente.

<sup>60</sup> Ben-Amotz, A.; Jinjiikhashvily, G. Production of marine unicellular algae on power plant wastes: from the black coal to green bio-fuel. In: Brazilian Network on Green Chemistry: Awareness, Responsibility and Action. Edições UFC, pp. 325-346, 2008, Fortaleza-CE.

## 6.6. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A Figura 6.15 apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “conversão de CO<sub>2</sub>” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais. A seguir, comentam-se os destaques e pontos críticos do mapa.

Comparando-se os mapas tecnológicos das Figuras 6.12 e 6.15, pode-se constatar que a redução do CO<sub>2</sub> (T7a) e os processos de condensação com CO<sub>2</sub> (T7b) vêm acompanhando a trajetória internacional, talvez impulsionado pela redução dos impactos ambientais e iniciativas de mitigação das mudanças climáticas no país.

No que tange à “produção de uréia” (T7c), trata-se de uma tecnologia dominada e em uso com um grande mercado para diversas utilizações. O mesmo pode ser dito para a “produção de bicarbonato, carbonatos e policarbonatos orgânicos”, porém com um mercado menos abrangente (T7d e T7f).

Com relação ao processo de uso de CO<sub>2</sub> para a produção de microalgas, trata-se de uma tecnologia ainda em fase de experimentação piloto, em situação embrionária tanto no Brasil quanto no mundo. Algas como *Nannochloropsis oculata* e *Thalassiosira weissflogii*, testadas em laboratório na Fundação Universidade Federal Rio Grande (FURG), apresentaram altas taxas de fixação de carbono, com valores no mínimo duas vezes mais altos quando comparados aos resultados de outras espécies testadas, uma absorção aproximada de 17 a 32 ton C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.<sup>61</sup>

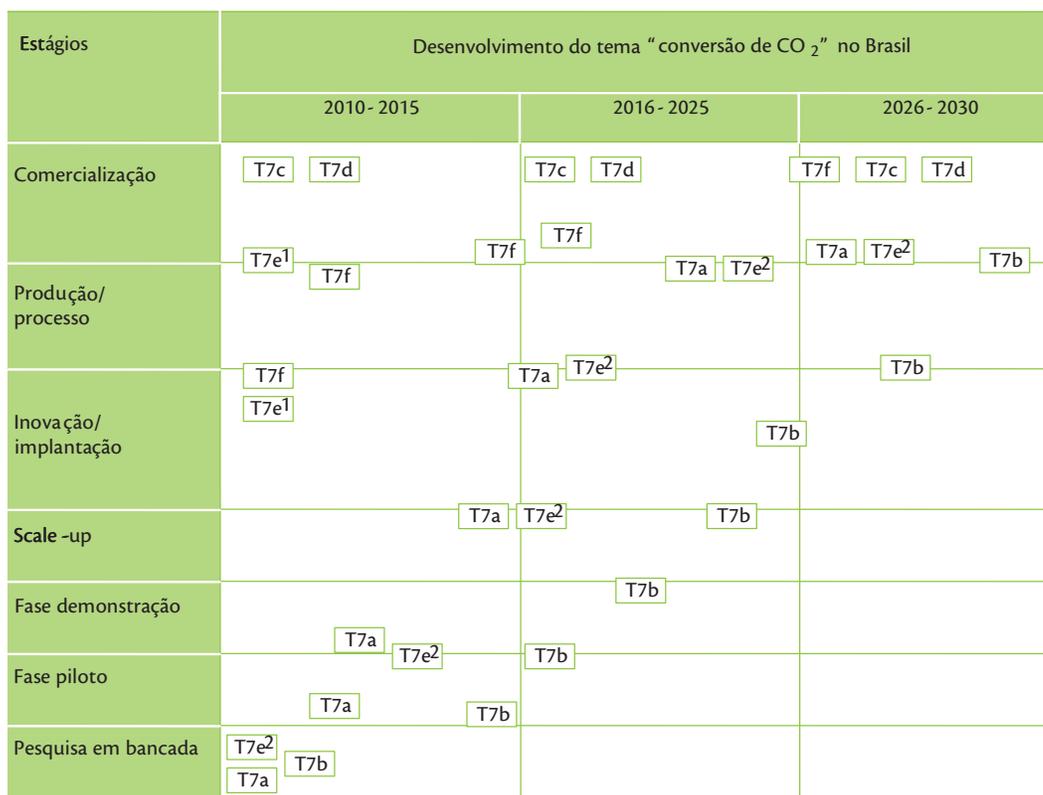
Uma análise preliminar da literatura indicou que ainda persistem muitas dificuldades para se viabilizar o uso energético de microalgas, tais como altos custos de investimento e produção, dificuldades de sobrevivência das espécies selecionadas, desempenho em campo que estão abaixo dos resultados de laboratório, e dependência das condições locais tais como temperatura, salinidade, contaminantes, entre outros<sup>62</sup>. Todavia, a aplicação destes microrganismos para a produção de substâncias de alto valor agregado tem se mostrado viável em várias situações o que encoraja continuar a busca de aplicações na área de energia (T7g). O Ceará, com suas condições excepcionais de insolação, temperatura e extensa costa, parece ser um local apropriado para se fazer uso desta cultura. Os custos para a implementação de um sistema de microalgas associado a uma usina termoeletrica “UTE a gás

<sup>61</sup> Vieira Costa J A, Greque de Morais, M. Set of series connected tubular photobioreactors for removal and fixation of e.g. carbon dioxide includes a micro algae and cyanobacteria treatment installation reducing greenhouse effect. Patente BR200701842-A. 2007.

<sup>62</sup> Leal, M.R.L.V. Avaliação preliminar do uso de microalgas para reduzir emissões de CO<sub>2</sub> de UTE a gás natural. mimeo. Fortaleza. 2007.



natural”, são bastante elevados o que dificulta o uso desta tecnologia em larga escala, antes de uma considerável melhoria da tecnologia.



**Figura 6.15:** Mapa tecnológico do tema “conversão de CO<sub>2</sub>” no Brasil: 2010 – 2030

Notação: T7a – Redução química de CO<sub>2</sub>; T7b – Reações de condensação com CO<sub>2</sub>; T7c – Produção de uréia; T7d – Produção de bicarbonato; T7e<sup>1</sup> – Produção de carbonatos e policarbonatos orgânicos; T7e<sup>2</sup> – Produção de novos carbonatos e policarbonatos orgânicos; T7f – Produção de gás de síntese; T7g – absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas.

Os resultados dos estudos de Bem-Amotz e Jinjikhshiviliy reportados na seção anterior estão sendo estendidos para aplicação na termoeletrica da ENDESA<sup>63</sup> usando os efluentes líquidos da termoeletrica para o crescimento de espécies de microalgas ricas em ácidos graxos insaturados, visando aplicações destes ácidos graxos em óleos isolantes para transformadores<sup>64</sup>. Essa aplicação é considerada

<sup>63</sup> Projeto UFC/Endesa: cultivo de microalgas no efluente da Termoeletrica de Pecém/CE.

<sup>64</sup> Patents Cooperation Treaty, World Industrial Property Organization-WIPO. “Processo de Produção de Fluido Dielétrico obtido a partir de Óleos Vegetais”.

mais vantajosa do que a produção de biodiesel, de acordo com os estudos que vêm sendo realizados na Universidade Federal do Ceará<sup>65</sup>.

A produtividade é um fator primordial para o sucesso econômico do empreendimento assim como o teor de óleo das microalgas. Ainda que a redução de emissões de CO<sub>2</sub> de UTEs corresponda a aproximadamente 22% das emissões totais, pode-se estimar que este valor melhore sensivelmente com a otimização energética do processo, por meio do uso da biomassa residual para produção de biogás e mais geração de energia<sup>66</sup>.

A Figura 6.16 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema “conversão de CO<sub>2</sub>”, no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 6.15).



**Figura 6.16:** *Portfolio* tecnológico estratégico do tema “conversão de CO<sub>2</sub>” no Brasil: 2010 – 2030

Notação: T7a – Redução química de CO<sub>2</sub>; T7b – Reações de condensação com CO<sub>2</sub>; T7c – Produção de uréia; T7d – Produção de bicarbonato; T7e – Produção de carbonatos e policarbonatos orgânicos; T7f – Produção de gás de síntese; T7g – absorção/fixação de CO<sub>2</sub> por microalgas.

<sup>65</sup> Carioca J.O.B.; Hiluy Filho, J.J.; Leal, M.R.L.V.; Macambira, F.S. The hard choice for alternative biofuels to diesel in Brazil. *Biotechnology Advances*, v. 27, n.6, p.1043-1050, 2009.

<sup>66</sup> Leal, M. R.V. *Ibid.* 2007.



Ao se analisar o *portfolio* tecnológico apresentado na Figura 6.16, confirma-se o posicionamento estratégico indicado nos mapas tecnológicos (Figuras 6.12 e 6.15), particularmente no que tange aos tópicos em posição desejável, a saber: “processos de redução química de  $\text{CO}_2$ ” (T7a); “reações de condensação com  $\text{CO}_2$ ” (T7b); “produção de gás de síntese” (T7e) e “produção de carbonatos e policarbonatos orgânicos” (T7f).

No que tange ao posicionamento da tecnologia de “produção da uréia” (T7c) e “produção de bicarbonato” (T7d), estes se encontram numa posição ideal, uma vez que são processos consolidados e com grande mercado. Cabe ressaltar, porém, que o tópico com maior potencial e que representa uma oportunidade estratégica para o país é “absorção/fixação de  $\text{CO}_2$  por microalgas” (T1g), pelos motivos e benefícios abordados neste Capítulo.

## 6.7. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

Apontam-se nesta seção os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “conversão de  $\text{CO}_2$ ” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilizem o desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos. O Quadro 6.4 apresenta tais condicionantes a curto, médio e longo prazo.

Destacam-se para cada período um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância, em função do potencial da geração de novos conhecimentos e inovações no país e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos.

**Quadro 6.4:** Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “conversão de CO<sub>2</sub>” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “sucroquímica” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
Avanço na pesquisa básica para diminuição de barreiras técnicas;	Legislação ambiental mais restritiva;	Percepção pela sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.
Incentivar o trabalho das redes de pesquisas e sistemas locais de inovação;	Exigência de escala de produção;	
Proporcionar infra-estrutura básica para pesquisas;	Recursos humanos em nível técnico e graduado;	
Incentivar a formação de recursos humanos em nível técnico e de pós-graduação.	Impactos da química verde e da biotecnologia (estado da arte mundial).	

No período 2010 – 2015 ainda é observado certo atraso em relação ao exterior, uma vez que o estágio de desenvolvimento nacional se encontra em nível de bancada, exigindo ações básicas de apoio e incentivo científico e o desenvolvimento tecnológico.

Já no período 2016 – 2025 é requerido esforço nacional em nível de planta piloto e a formação de parcerias com empresas para se iniciar o processo de inovação. Tudo isto deve ser precedido pelo conhecimento do estado-da-arte dessas tecnologias no exterior, bem como, o desenvolvimento de marcos legais, notadamente na área ambiental. A visão de futuro construída para o Brasil, no que se refere à geração de novos conhecimentos e inovações no tema “conversão de CO<sub>2</sub>” estará sujeita, portanto, a tais condicionantes.



## 7. Fitoquímica<sup>1</sup>

O Brasil detém um dos maiores estoques da biodiversidade do planeta. Os recursos naturais existentes em suas regiões tornam-se gradativamente conhecidos, à medida que as pesquisas científicas se intensificam e os resultados apresentam-se disponíveis para a sociedade.

Embora, o Brasil detenha um dos maiores bancos de germoplasma *in-situ*, constata-se por parte daqueles que habitam os diferentes biomas uma elevada demanda de conhecimentos sobre o aproveitamento sustentável da biodiversidade. Nesses biomas, a falta de domesticação dos recursos naturais (plantas medicinais, aromáticas e detentoras de metabólitos secundários com propriedades biodefensivas) tem levado à subutilização e extinção de inúmeras espécies vegetais, impondo limitações socioeconômicas e ambientais. Além disso, a produção agrícola de alimentos saudáveis tem-se confrontado com sérios problemas de contaminações por toxinas e pela dependência do uso de agrotóxicos<sup>2,3</sup>.

Entre os principais fatores que contribuem para esses problemas está a falta de investimentos em P,D&I voltados para a fitoquímica. Hoje predominam pesquisas relacionadas à fase de caracterização química e botânica. Com base nessa constatação, faz-se necessário a realização de estudos ligando instituições de pesquisas, setor produtivo e o mercado consumidor<sup>4</sup>.

As pesquisas fitoquímicas devem ser realizadas em conjunto com as indústrias consumidoras de substâncias bioativas, que avaliarão as matérias-primas e produtos com potencial de mercado. Com base nas informações geradas, desenvolvem-se novas formas de obtenção ecologicamente correta dos metabólitos secundários de interesse, que serão repassadas ao setor produtivo. Essa interatividade promoverá a valorização da biodiversidade e a conservação de espécies em fase de extinção, fomentadas pelo desenvolvimento de novos sistemas de produção.

- <sup>1</sup> Este capítulo foi elaborado por Flávio Araújo Pimentel, Maria Fatima Ludovico de Almeida e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.
- <sup>2</sup> Guimarães, J.A. et al. Recomendações para o manejo das principais pragas do meloeiro na Região do Semi-Árido nordestino. Embrapa Agroindústria Tropical, 9p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 24), 2005.
- <sup>3</sup> Gonçalves, M. E. C.; Bleicher, E. Uso de extratos aquosos de nim e azadiractina via sistema radicular para o controle de mosca-branca em meloeiro. Revista Ciência Agronômica, v.37, n.2, p.182-187. 2006.
- <sup>4</sup> Pinto, A.C. et al. Produtos naturais: Atualidade, desafios e perspectivas. Química Nova, v.25, p.45-61, 2002.

A fitoquímica possui uma estreita relação com diversas áreas do conhecimento, visando à produção de alimentos funcionais, plantas medicinais, fitoterápicos, pesticidas, fragrâncias, aromas, entre outros produtos de alto valor agregado.

Os estudos realizados sobre este tema contemplam principalmente as seguintes linhas de pesquisas:

- estudo sistemático da composição química de espécies vegetais;
- extração, isolamento e caracterização de substâncias naturais, com propriedades medicinais, funcionais, aromáticas, condimentares, biodefensivas, entre outras;
- elucidação estrutural de novas moléculas, com uso intenso de técnicas espectrométricas;
- síntese e transformações químicas de moléculas com ação biológica;
- desenvolvimento de novos produtos bioativos (fitoterápicos, biopesticidas de origem vegetal, aromas e fragrâncias);
- desenvolvimento de sistema de produção de matérias-primas vegetais com diferentes potenciais biológicos (espécies medicinais, aromáticas, com propriedades biodefensivas, etc).

Neste Capítulo, descrevem-se os resultados das análises realizadas para o tema “fitoquímica”, apresentando-se inicialmente o panorama mundial em termos da produção científica e propriedade intelectual em fitoquímica e em três segmentos selecionados: fitoterápicos, biopesticidas de origem vegetal e aromas e fragrâncias. Complementa-se o panorama com informações sobre aspectos de mercado desses três segmentos.

Na sequência, relatam-se os resultados do levantamento da produção científica de autores brasileiros indexada na base Web of Science, referente ao período 1998- 2009, bem como os grupos brasileiros de pesquisa que hoje atuam em P,D&I nesta área, conforme o Diretório Nacional dos Grupos de Pesquisa mantido pelo CNPq. Apresentam-se ainda informações sobre aspectos de mercado desses três segmentos, visando complementar o panorama nacional. Nas seções finais, estabelecem-se orientações e recomendações para a construção da visão de futuro do tema “fitoquímica”, a exemplo dos demais temas contemplados neste estudo prospectivo. Pela complexidade e abrangência do tema, recomenda-se que a atividade prospectiva para o tema fitoquímica focalize os segmentos de fitoterápicos; de biopesticidas de origem vegetal e de aromas e fragrâncias, construindo-se mapas e *portfolios* para cada segmento.

Os fitoterápicos são medicamentos elaborados a partir de plantas medicinais ou derivados destas e têm emprego com fins terapêuticos, alicerçados no conhecimento popular ou no conhecimento cien-



tífico<sup>5</sup>. As plantas medicinais são utilizadas na medicina popular e na produção de medicamentos sob as seguintes formas: (i) como fornecedora de substâncias ativas isoladas; (ii) como extratos purificados ou selecionados centrados em específicos grupos de substâncias; (iii) como extratos totais padronizados em relação a uma substância, um grupo de substâncias ou uma especificação determinada; d) como droga, íntegra, triturada ou moída, destinada à preparação extemporânea de infusos ou chás<sup>6</sup>.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), 80% da população mundial utiliza plantas medicinais como medicação básica e a taxa de crescimento é de 7% ao ano. Outro dado importante é que 25% das drogas prescritas são derivadas de plantas<sup>7,8</sup>.

Enfoques diversos compõem um quadro atual das tendências da utilização de fitoterápicos no mundo. Na Europa, por meio de um movimento liderado pela Alemanha, esta nova categoria de medicamento foi incorporada pelo sistema nacional de saúde daquele país. Os medicamentos são respaldados pelas evidências de qualidade, eficácia e segurança. Apesar da documentação da eficácia dos produtos através de investigações farmacológicas apropriadas, identificadas em monografias próprias, existem ainda inúmeros produtos cuja eficácia ainda não foi testada da mesma forma, sendo seu uso classificado como fitoterapia tradicional<sup>9</sup>.

Nos Estados Unidos, o reconhecimento do Congresso sobre a eficácia, liberou o uso sem registro na US Food and Drug Administration (FDA). As bases para esse tipo de mercado só vieram a ser estabelecidas como resultado de enorme pressão da própria sociedade civil, que os considerava fundamentais para a saúde, por meio de um Ato do Congresso americano, o Dietary Supplement Health and Education Act of 1994, comumente denominado DSHEA<sup>10</sup>. Desde 1994, portanto, os fabricantes de produtos naturais e suplementos contendo vitaminas e minerais se desobrigam dos testes rigorosos impostos aos fármacos e medicamentos. O governo americano entendeu que a prevenção e a promoção da saúde são beneficiadas pela nutrição e o uso de plantas medicinais e de suplementos nutricionais com respaldo científico. O Congresso concluiu que existe de fato uma correlação

5 Schenkel, L.C. et al. Produtos de origem e o desenvolvimento de medicamentos. UFRGS, p.301-330. 2001.

6 Freitas, A. Estrutura de mercado do segmento de fitoterápicos no contexto atual da indústria farmacêutica brasileira. Ministério da Saúde, p.1-15. 2007.

7 Associação Brasileira de Empresas do Setor Fitoterápico. Abifisa. Suplemento Alimentar e de Promoção da Saúde. 2007. Disponível em <<http://www.abifisa.org.br>>. Acesso em dez 2009. 10 mai. 2007.

8 Kasim, Z.A.A. Herbal biotechnology development: the way forward & market access opportunities. 2007. Disponível em <<http://www.eumbio.org/papers/Business%20Partnering%20Seminar/ZainalAzman.pdf>> Acesso em 12 dez. 2009.

9 Villas Bôas, G. K.; Gadelha, C. A. G. Oportunidades na indústria de medicamentos e a lógica do desenvolvimento local baseado nos biomas brasileiros: bases para a discussão de uma política nacional. Cad. Saúde Pública, v. 23, n. 6, p. 2007.

10 US Food and Drug Administration. Dietary Supplements Health and Education Act of 1994. DSHEA. Disponível em:<<http://www.fda.gov/food/dietarysupplements/default.htm>>. Acesso em dez 2009.

entre o consumo desses produtos e a prevenção de diversas doenças crônicas como câncer, osteoporose, doenças do coração, deixando claro que o uso de fitoterápicos nos Estados Unidos constitui uma experiência que impacta a saúde pública, apesar do fato de que a própria medicina acadêmica tenha se recusado a perceber seus benefícios até recentemente<sup>11</sup>.

Diante da grande importância dos fitoterápicos, vários países da Europa estão intensificando esforços para unificar a legislação referente aos medicamentos fitoterápicos, amplamente comercializados nestes países (em especial na Alemanha e França). Por outro lado, nos Estados Unidos, as preparações à base de plantas são classificadas como suplementos nutricionais, não sendo necessário submeter dados de segurança e eficácia ao US Food and Drug Administration (FDA) para comercialização de seus produtos<sup>12</sup>.

O segundo segmento da fitoquímica abordado neste Capítulo refere-se aos biopesticidas de origem vegetal, também chamados de pesticidas naturais.

Pesticidas são substâncias químicas, naturais (biopesticidas) ou sintéticas, utilizadas com finalidade de prevenir a ação, controlar ou eliminar pragas que podem ser constituídas por insetos, fungos, ervas daninhas, ácaros, bactérias, nematóides, roedores entre outras formas de vida animal ou vegetal, indesejáveis ou prejudiciais à agricultura e à pecuária. Esta definição para o termo genérico pesticida, proposta pelo US Food and Environmental Protection Act (FEDA), abrange um largo espectro de substâncias biologicamente ativas e vem sendo usada em diferentes áreas de pesquisa, inclusive a ambiental. O principal uso dos pesticidas está associado às atividades agrícolas. Entretanto, estes produtos também são empregados em residências e jardins públicos, no controle de plantas daninhas em áreas industriais, rodovias e ferrovias, no tratamento da madeira e no combate a vetores transmissores de doenças, em outros<sup>13</sup>.

Nos Estados Unidos, as preocupações sobre o impacto potencial de pesticidas sobre o meio ambiente tornou-se mais premente com a introdução da Lei de Qualidade Alimentar, criada em 1996<sup>14</sup>. Com os procedimentos de registros mais rigorosos, o número de pesticidas sintéticos disponíveis para agricultura têm reduzido.

Visando atender os requisitos estabelecidos para registros de novos pesticidas, incluindo os

---

<sup>11</sup> Villas Bôas, G. K.; Gadelha, C. A. G. *Ibid.* 2007.

<sup>12</sup> Turolla, M. S. R. Nascimento, E. S. Informações toxicológicas de alguns fitoterápicos utilizados no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 2, n.2, p. 2006.

<sup>13</sup> Ribeiro, M. L. et al. Pesticidas: usos e riscos para o meio ambiente. *Holos Environment*, v.8, n.1, p.53-71. 2008.

<sup>14</sup> House Resolution-1627 Food Quality Protection Act.



obtidos à base de produtos naturais, novas moléculas e produtos estão sendo descobertos e desenvolvidos para substituir os compostos proibidos. Além desse aspecto regulatório, pesquisas também estão sendo necessárias para combater a evolução das resistências aos pesticidas atualmente comercializados<sup>15</sup>.

Na Europa, o Parlamento aprovou em janeiro de 2009 um regulamento que proíbe a utilização de certas substâncias químicas altamente tóxicas na produção de pesticidas e obriga que outras substâncias de risco sejam substituídas por alternativas mais seguras. O Parlamento Europeu adotou, em paralelo, uma Diretiva que proíbe as pulverizações aéreas (com possibilidade de derrogações) e prevê medidas específicas de proteção ao ambiente aquático, além de definir zonas onde o uso de pesticidas será reduzido ao mínimo ou mesmo proibido. A Diretiva que estabelece um quadro de ação em nível comunitário para uma utilização sustentável dos pesticidas contém, entre outras, disposições sobre a adoção de planos de ação nacionais que fixem objetivos, medidas e calendários destinados a reduzir os riscos e os efeitos da utilização dos pesticidas na saúde humana e no ambiente e incentivem o desenvolvimento e a introdução de abordagens ou técnicas alternativas a fim de reduzir a dependência da utilização dos pesticidas de origem sintética<sup>16</sup>

São inúmeros os benefícios associados ao uso de biopesticidas, a saber:

- ajudam as plantas a desenvolver o seu total potencial;
- evitam perdas das colheitas, no campo, através do controlo direto das doenças, pragas e ervas infestantes, de uma forma eficiente e pouco onerosa. Tais perdas podem atingir valores superiores a 50%;
- evitam perdas durante o armazenamento;
- melhoram a qualidade dos gêneros agrícolas;
- permitem manter a regularidade das produções e fazer previsões rigorosas sobre as colheitas;
- ajudam ao abastecimento dos mercados em contínuo, com produtos de qualidade, a preços acessíveis;
- contribuem para a manutenção dos preços dos produtos agrícolas dentro de níveis aceitáveis;
- asseguram uma produção economicamente rentável, que é, em simultâneo, ambiental e socialmente responsável.

<sup>15</sup> Dayan, F.E. et al. Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, v.17, p.4022-4034. 2009.

<sup>16</sup> Nadkarni, I. Parlamento europeu aprova nova legislação sobre pesticidas. Saúde pública. Disponível em <[http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress\\_page/066-45937-012-01-03-911-20090112IPR45936-12-01-2009-2009-false/default\\_pt.htm](http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress_page/066-45937-012-01-03-911-20090112IPR45936-12-01-2009-2009-false/default_pt.htm)>. Acesso em dez 2009.

Além dos benefícios mencionados, os biopesticidas, particularmente os das chamadas novas gerações, continuarão a ter um papel fundamental na agricultura sustentável, uma vez que: (i) as culturas e a produção agrícola são ameaçadas por inúmeros organismos nocivos; (ii) o crescimento da população mundial e seus rendimentos conduzem a um aumento da procura de alimentos, quer em termos quantitativos, quer qualitativos; (iii) não é possível alimentar as populações futuras com as culturas e as produções unitárias de hoje; (iv) a urbanização em nível mundial cresce rápida e desordenadamente, ocupando muitas vezes solos de comprovada aptidão agrícola; (v) a área agrícola diminui drasticamente e o número de pessoas que trabalham na agricultura é cada vez menor; e (vi) os aumentos de produtividade terão que ser alcançados nas áreas cultivadas hoje existentes, mas de uma forma ambientalmente sustentada e socialmente aceitável. Para tal os agricultores necessitarão dispor de processos, métodos e meios mais eficazes e inovadores, entre eles o uso de biopesticidas de origem vegetal, que gradativamente vem ganhando espaço em um mercado altamente competitivo e regulado.

O terceiro segmento abordado neste Capítulo é o de aromas e fragrâncias. Aromas são preparações concentradas utilizadas para conferir sabor e as fragrâncias são composições aromáticas elaboradas por mistura de ingredientes com propriedades de conferir ou intensificar o odor, ou influenciar o odor de uma mistura.

Nos alimentos, os aromas desempenham as seguintes funções tecnológicas: (i) como ingredientes de bebidas, sorvetes, balas sobremesas lácteas, entre outras. (ii) na identificação de diversos produtos alimentícios diferenciando de seus similares apenas pelo aroma específico, por exemplo: refrescos de limão, balas de hortelã, entre outros; (iii) compensando perdas, ou seja, quando a sua adição é necessária para compensar a perda natural de substâncias aromatizantes que ocorre durante as operações de processamento de produtos alimentícios, tais como pasteurização, concentração e cocção.

Além das funções acima descritas, o emprego de aromas permite a transformação de alimentos de grande valor nutritivo, porém insípidos, em produtos de sabor agradável e de boa aceitação. A título de ilustração, citam-se: 1) na indústria alimentícia, em produtos como bebidas achocolatadas, água aromatizada, aguardente composta, balas, batidas, biscoitos, bolos, chocolates, iogurtes, licores, ração animal, refrigerantes e sopas industrializadas; 2) na indústria de nutrição animal, como mascarantes (de sabores amargos) para medicamentos, rações diversas, sais minerais, substitutos do sabor de açúcar e substitutos de leite para bezerros; 3) na indústria farmacêutica, em medicamentos de via oral. Nesse caso, utilizam-se mascarantes de sabores amargos, como abacaxi, anis, banana, baunilha, cereja, laranja, maçã, menta, morango e tangerina, por exemplo.



Já as fragrâncias têm aplicações nas indústrias de perfumes, cosméticos, domissanitários, entre outros. Como importantes matérias-primas industriais, utilizadas na manufatura de produtos dos setores da perfumaria, cosmética, farmacêutica, higiene e limpeza, alimentícia e de bebidas, destacam-se os óleos essenciais e as essências naturais.

## 7.1. Panorama mundial

Apresentam-se os resultados do levantamento da produção científica e propriedade intelectual realizado diretamente em bases de dados internacionais de referência, abordando-se inicialmente o tema como um todo, para em seguida focalizar as análises nos três segmentos da fitoquímica abordados neste estudo.

### 7.1.1. Produção científica

O panorama mundial da produção científica e propriedade intelectual sobre o tema “fitoquímica” foi elaborado a partir de levantamento direto em duas bases de dados internacionais de referência: (i) Web of Science, para o levantamento da produção científica<sup>17</sup>; e (ii) Derwent Innovations Index, para o levantamento de patentes<sup>18</sup>. Esses levantamentos abrangeram diversos termos de busca e cobriram o período 1989-2009, como apresentado na Tabela 7.1<sup>19</sup>.

---

<sup>17</sup> ISI Web of Science. Disponível em: <<http://go5.isiknowledge.com>>. Acesso em: dez 2009.

<sup>18</sup> Derwent Innovations Index. Disponível em: <<http://go5.isiknowledge.com>>. Acesso em: dez 2009.

<sup>19</sup> Almeida, M.F.L. Produção científica e propriedade intelectual em fitoquímica :1998-2009. Texto para discussão. Mimeo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. GGEE. Dez 2009.

**Tabela 7.1:** Termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes no tema “fitoquímica”

Ref.	Termos da estratégia de busca	Número de publicações (Web of Science)	Número de patentes (Derwent Innovations Index)
#1	TS=phytochemistry OR TS=phyto-chemistry OR TS=phytochemical* OR TS=phyto-chemical*	5.342	276
#2	TS=phytotherapeutic* OR TS=phyto-therapeutic OR TS=herbal medicine OR TS=herbal drug*	6.409	3.506
#3	TS=natural pesticide* OR TS=biopesticide* OR TS=phytopesticide* OR TS= phyto-pesticide*	2.797	1.104
#4	TS=essential oil* OR TS=natural flavour* OR TS=natural aroma*	19.181	13.973
#5	#1 OR #2 OR #3 OR #4	32.960*	18.503*

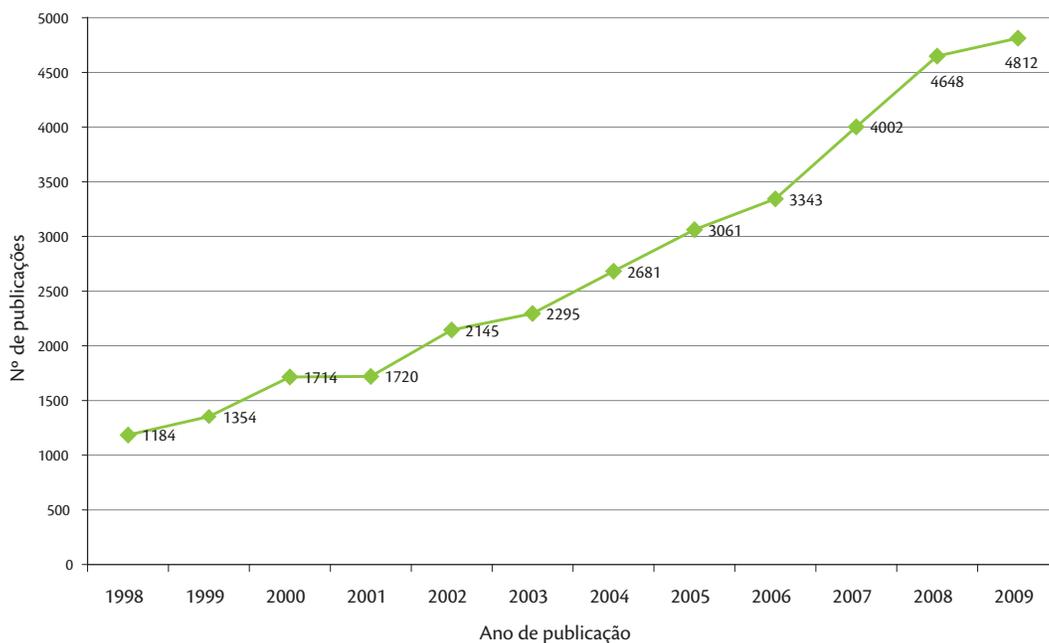
**Nota:** (\*) Resultado da estratégia de busca abrangendo todos os termos com o operador booleano OR, e eliminando os documentos em duplicata. Campo TS= tópico (mais abrangente, do que o campo TI=título).

Com o objetivo de conferir maior abrangência ao estudo bibliométrico, selecionaram-se termos gerais relacionados ao tema, como por exemplo, “*phytochemistry*” e “*phytochemical\**”, e alguns termos específicos relacionados aos três segmentos selecionados: fitoterápicos, biopesticidas de origem vegetal e aromas e fragrâncias. As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “*topic*” (TS) e “*published year*” (PY).

Considerando-se o período 1998-2009 e utilizando-se a estratégia apresentada na Tabela 7.1, foram identificadas 32.960 publicações científicas e 18.503 patentes.

Apresentam-se inicialmente o panorama geral do tema, contemplando a análise bibliométrica de 32.960 publicações referentes ao período 1998-2009. Na sequência, relatam-se os resultados associados a fitoterápicos, a biopesticidas de origem vegetal e ao segmento de aromas e fragrâncias, respectivamente.

A Figura 7.1 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre o tema “fitoquímica” no período 1998-2009.



**Figura 7.1:** Evolução do Número de publicações científicas sobre “fitoquímica”: 1998 – 2009

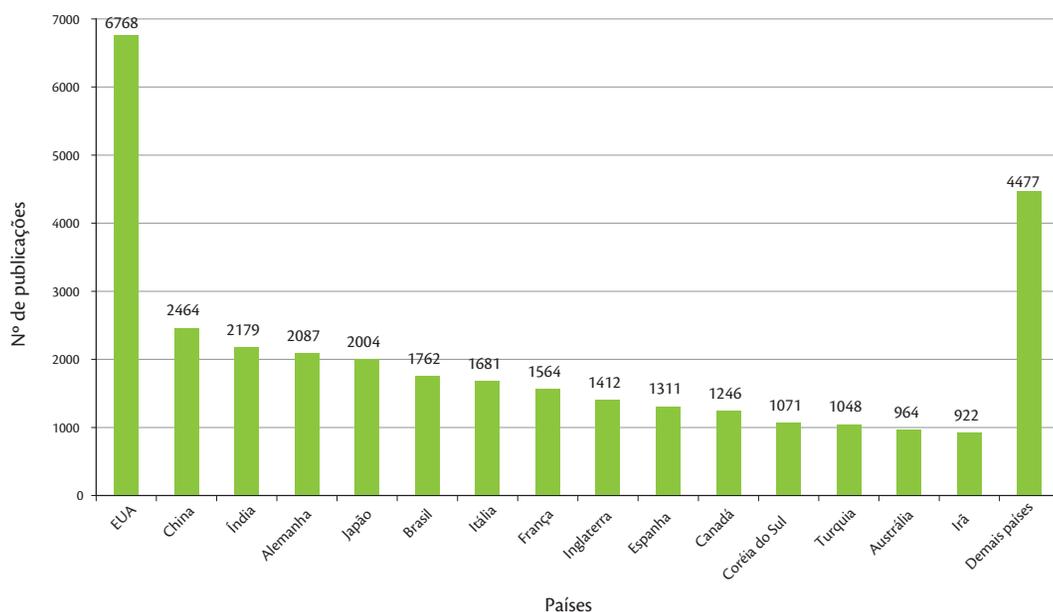
Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Figura 7.1 mostra uma curva ascendente da produção científica deste tema desde 1998, destacando-se os três últimos anos da série, período no qual o número de publicações indexadas na base de dados consultada atingiu a média anual de 4.487 publicações científicas.

A Figura 7.2 apresenta os resultados da análise das 32.960 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores.

Observa-se que os EUA lideram o *ranking* mundial, com 6.768 publicações, seguidos da China e da Índia, com 2.464 e 2.179 publicações, respectivamente. Nesse *ranking*, o Brasil tem posição de destaque, ocupando a 6ª posição na produção científica no tema “fitoquímica”, com 1.762 publicações indexadas na referida base.

Outros destaques são a Alemanha e o Japão, na 4ª e 5ª posição, com 2087 e 2004 publicações. Vale ressaltar ainda a presença de países como a Coreia do Sul, Turquia, Austrália e Irã, com 1.071, 1.048, 964 e 922 publicações, respectivamente.



**Figura 7.2:** Publicações científicas sobre “fitoquímica”, classificadas por país: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela 7.2 apresenta o conjunto das 32.960 publicações científicas classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação da referida base.

Observa-se que não há uma grande concentração de publicações em uma determinada área de especialização, como foi constatado em outros temas abordados neste estudo. A área com maior percentual de publicações associadas é ciência e tecnologia de alimentos (18,83%), seguida das áreas farmacologia/ farmácia (15,62%) e química aplicada (13,13%). Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 233 áreas de conhecimento.

As demais áreas de especialização situam-se em dois patamares distintos: o primeiro, na faixa de 10,51 a 4,78% de publicações classificadas nas áreas de botânica, química medicinal, bioquímica e



biologia molecular, ciências ambientais, química analítica, química multidisciplinar e biologia e microbiologia aplicada.

**Tabela 7.2:** Publicações científicas sobre ‘fitoquímica’, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Ciência e tecnologia de alimentos	6.207	18,83
Farmacologia e farmácia	5.150	15,62
Química aplicada	4.329	13,13
Botânica	3.466	10,51
Química medicinal	3.363	10,20
Bioquímica e biologia molecular	2.458	7,46
Ciências ambientais	2.081	6,31
Química analítica	1.776	5,38
Química multidisciplinar	1.628	4,93
Biotecnologia e microbiologia aplicada	1.576	4,78

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Tabela 7.3, a seguir, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

**Tabela 7.3:** Publicações científicas sobre “fitoquímica”, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 20”)

Instituição	País	Número de publicações
Chinese Academy of Science	China	370
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	Espanha	285
Universidade de São Paulo	Brasil	266
US Department of Agriculture. Agricultural Research Service (USDA. ARS)	EUA	256
Anadolu University	Turquia	254
University of Illinois	EUA	211
Seoul National University	Coréia do Sul	207
Central Institute of Medicinal and Aromatic Plants	Índia	204
University of Athens	Grécia	201
Universidade Federal do Ceará	Brasil	172
The University of California, Davis (UCD)	EUA	158
Chinese University of Hong Kong	Hong Kong	156
Harvard University	EUA	155
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Itália	150
Islam Azad University	Irã	149
Cornell University	EUA	146
Institut National de la Recherche Agronomique	França	146
Universidade Estadual de Campinas	Brasil	144
University of Belgrade	Sérvia	142
University of Wisconsin	EUA	138

**Fonte:** Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

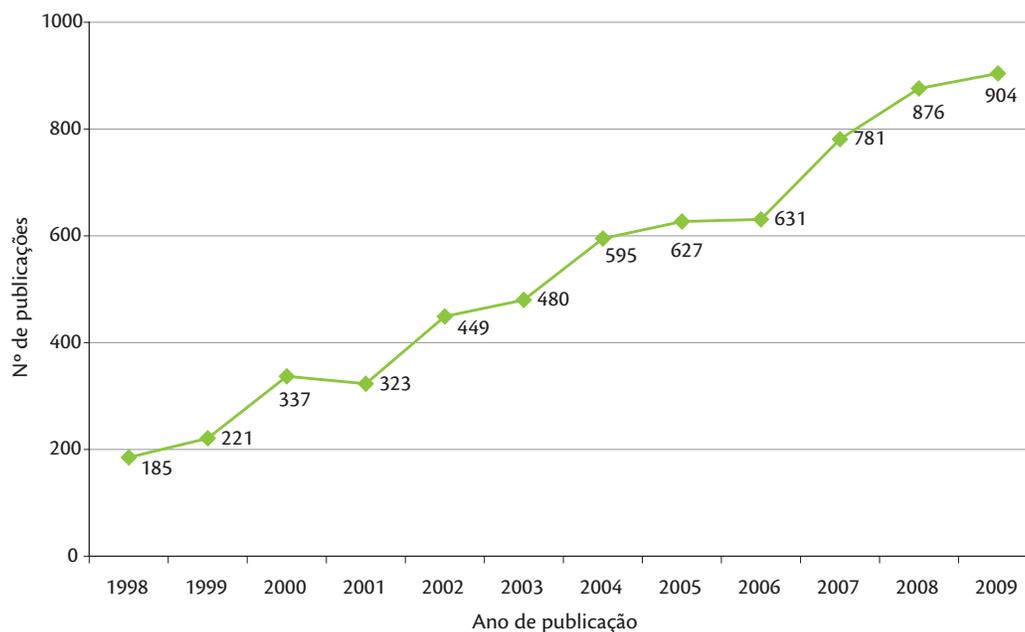
Em um total de 14.453 instituições identificadas neste levantamento, a Chinese Academy of Science lidera o *ranking* mundial, com 370 publicações no período considerado, seguida da Universidade de São Paulo, do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), da Espanha, e do Agricultural



Research Service, órgão subordinado ao US Department of Agriculture (USDA) dos EUA, com 285, 266 e 256 publicações, respectivamente. Destacam-se também a presença de mais duas instituições brasileiras entre as 25 primeiras colocadas no *ranking* mundial: a Universidade Federal do Ceará, com 172 publicações, e a Universidade Estadual de Campinas, com 144 publicações no período.

Buscando-se complementar a visão geral da produção científica em fitoquímica apresentada até esse ponto, detalham-se informações sobre os três segmentos selecionados para a análise bibliométrica: (i) fitoterápicos; (ii) biopesticidas de origem vegetal; e (iii) aromas e fragrâncias.

A Figura 7.3 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre “fitoterápicos” no período de 1998-2009, compreendendo um total de 6.409 publicações neste período.

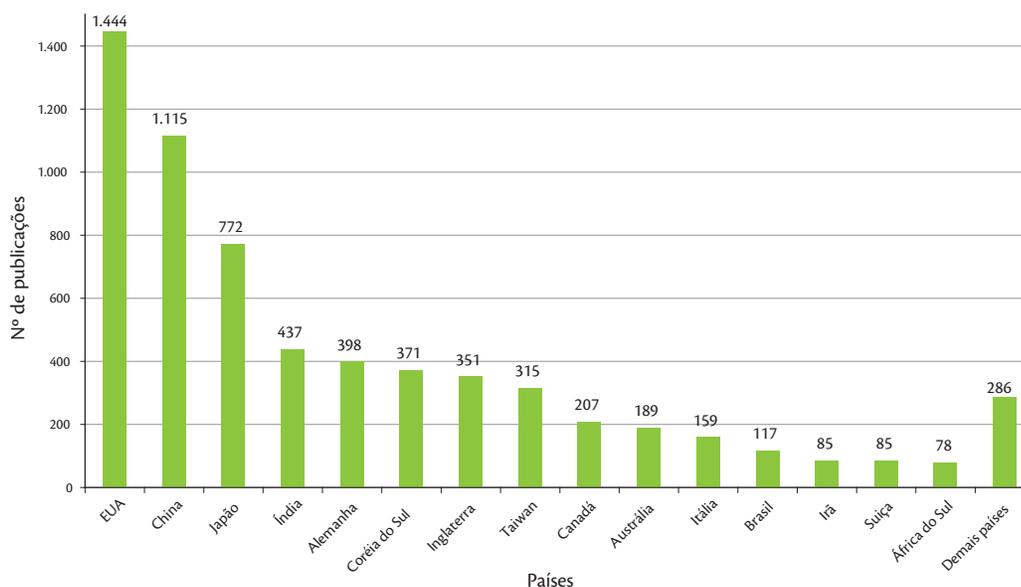


**Figura 7.3:** Evolução do Número de publicações científicas sobre “fitoterápicos”: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

De acordo com o gráfico da Figura 7.3, observa-se uma curva ascendente da produção científica deste tema desde 2001, destacando-se os três últimos anos da série, período no qual o número de publicações indexadas na base de dados consultada atingiu a média anual de 853 publicações cien-

tíficas. A Figura 7.4 mostra os resultados da análise das 6.409 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores.



**Figura 7.4:** Publicações científicas sobre “fitoterápicos”, classificadas por país:1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Observa-se que os EUA lideram o *ranking* mundial da produção científica sobre fitoterápicos, com 1.444 publicações, seguidos da China e do Japão, com 1.115 e 772 publicações, respectivamente, em um total de 126 países. O Brasil ocupa a 12ª posição neste *ranking*, com 117 publicações indexadas na referida base.

Na sequência, a Tabela 7.4 apresenta o conjunto das 6.409 publicações científicas classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação da referida base.

Observa-se que não há uma grande concentração de publicações em uma determinada área de especialização, como foi constatado em outros temas abordados neste estudo. A área com maior percentual de publicações associadas é farmacologia e farmácia (36,63%), seguida das áreas química medicinal, medicina integrativa e complementar e botânica (16,32%, 12,65% e 12,19%, respectivamente).



As demais áreas situam-se em um patamar de indicadores inferiores que variam de 7,27 a 3,56% de publicações classificadas nas respectivas áreas. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 170 áreas de conhecimento. Ressalta-se, porém, que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

**Tabela 7.4:** Publicações científicas sobre “fitoterápicos”, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Farmacologia e farmácia	2.348	36,63
Química medicinal	1.046	16,32
Medicina integrativa e complementar	811	12,65
Botânica	781	12,19
Medicina geral e interna	466	7,27
Química analítica	420	6,55
Toxicologia	301	4,69
Ciência e tecnologia de alimentos	261	4,07
Oncologia	239	3,73
Bioquímica e biologia molecular	228	3,56

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Tabela 7.5, a seguir, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

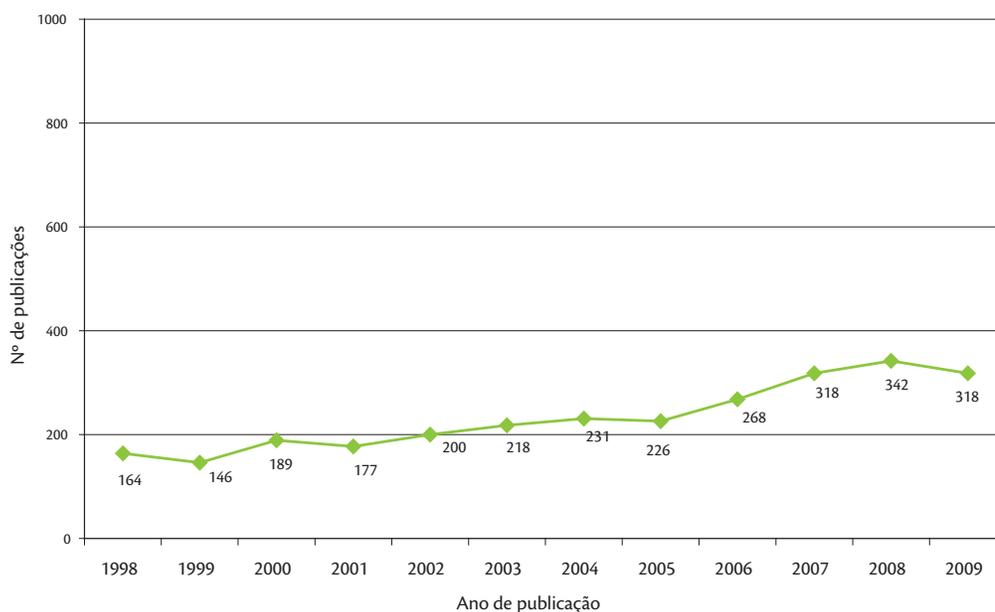
**Tabela 7.5:** Publicações científicas sobre “fitoterápicos”, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (“top 15”)

Instituição	País	Número de publicações
Chinese University of Honk Kong	Hong Kong	110
Chinese Academy of Science	China	97
National Yang Ming University	China	93
University of Exeter	Inglaterra	90
Kyung Hee University	Coréia do Sul	83
Harvard University	EUA	73
Tsumura & Co	Japão	64
Seoul National University	Coréia do Sul	63
National University of Singapore	Cingapura	62
Sichuan University	China	59
Peking University	China	57
Toyama Med & Pharmaceutical University	Japão	55
China Pharmaceutical University	China	54
University of Hong Kong	Hong Kong	54
Zhejiang University	China	54

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Em um total de 4.651 instituições identificadas neste levantamento, a Chinese University of Honk Kong lidera o *ranking* mundial, com 110 publicações no período considerado, seguida da Chinese Academy of Science e da National Yang Ming University, com 97 e 93 publicações, respectivamente. Embora os EUA liderem o *ranking* da produção científica mundial neste segmento, as instituições líderes são de países asiáticos, como revelam os dados da Tabela 7.5.

Na sequência, focaliza-se a análise da produção científica no segundo grupo - biopesticidas de origem vegetal. A Figura 7.5 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre “biopesticidas de origem vegetal” no período 1998-2009, compreendendo um total de 2.797 publicações neste período.



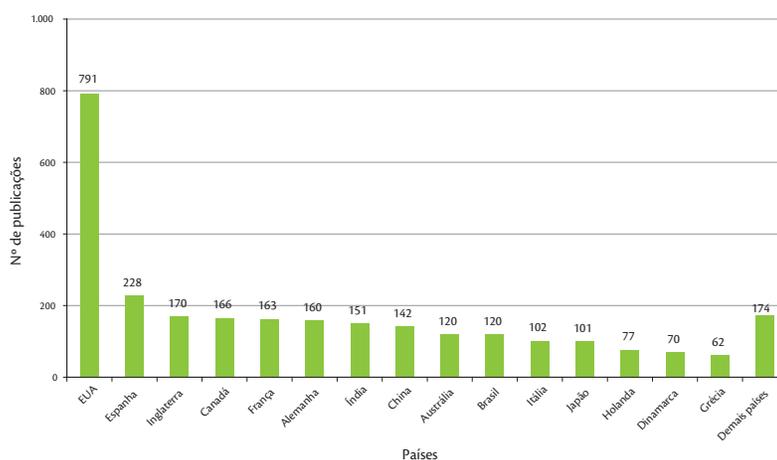
**Figura 7.5:** Evolução do Número de publicações científicas sobre “biopesticidas de origem vegetal”

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

De acordo com o gráfico da Figura 7.5, observa-se um crescimento estável com uma média anual no período em torno de 233 publicações. Nos três últimos anos, a média anual foi um pouco superior, chegando 326 publicações científicas.

A Figura 7.6 mostra os resultados da análise das 2.797 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores.

Observa-se na Figura 7.6 que os EUA lideram o *ranking* mundial da produção científica sobre biopesticidas de origem vegetal, com 791 publicações, seguidos da Espanha e da Inglaterra, com 228 e 170 publicações, respectivamente, em um total de 109 países. O Brasil ocupa a 10ª posição neste *ranking*, com 120 publicações indexadas no período.



**Figura 7.6:** Publicações científicas sobre “biopesticidas de origem vegetal”, classificadas por país: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela apresenta o conjunto das 2.797 publicações científicas classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação da referida base.

**Tabela 7.6:** Publicações científicas sobre “biopesticidas de origem vegetal”, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Ciências ambientais	688	24,60
Entomologia	442	15,80
Química analítica	320	11,44
Toxicologia	264	9,44
Biotecnologia e microbiologia aplicada	262	9,37
Engenharia ambiental	178	6,36
Ciências ambientais	164	5,86
Agronomia	156	5,58
Agricultura, multidisciplinar	142	5,08
Métodos de pesquisa bioquímicos	131	4,68

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.



Observa-se também neste segmento que não há uma grande concentração de publicações em uma determinada área de especialização. A área com maior percentual de publicações associadas é ciências ambientais (24,60%), seguida das áreas de entomologia (15,80%) e de química analítica (11,44%).

As demais áreas situam-se em dois patamares distintos: o primeiro, na faixa de 9,44 a 9,37% de publicações classificadas nas respectivas áreas, e o segundo, na faixa de 6,36 a 4,68%. Conforme informação da base consultada, foram identificadas 133 áreas de conhecimento no total. Ressalta-se, ainda, que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

A Tabela a seguir, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

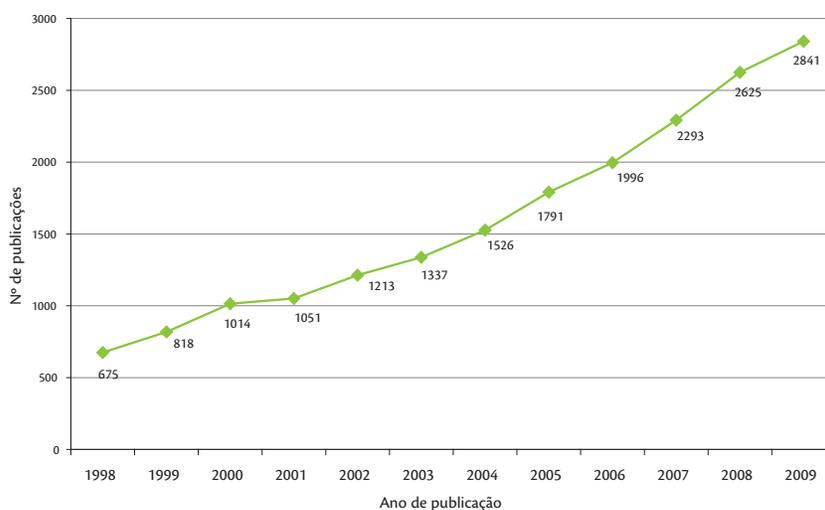
**Tabela 7.7:** Publicações científicas sobre “biopesticidas de origem vegetal”, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (“top 20”)

Instituição	País	Número de publicações
Agricultural Research Service (ARS)/ US Department of Agriculture (USDA)	EUA	110
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	Espanha	64
US Environmental Protection Agency (US EPA)	EUA	62
University Ioannina	Grécia	38
Institut National de la Recherche Agronomique	França	36
Universidade de São Paulo	Brasil	34
Chinese Academy of Science	China	33
The University of California, Davis (UCD)	EUA	33
University of Quebec	Grécia	33
Universidad de Almeria	Espanha	30
Environm Canada	Canadá	25
University of Georgia	EUA	24
US Geol Survey	EUA	23
University of Florida	EUA	22
Wageningen University and Research Centre	Holanda	22
Agriculture and Agricultural Food Canada	Canadá	21
University California Berkeley	EUA	21
University California Riverside	EUA	21
Texas A&M University	EUA	20

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Em um total de 2.330 instituições identificadas neste levantamento, o Agricultural Research Service, órgão subordinado ao US Department of Agriculture (USDA) dos EUA, lidera o *ranking* com 110 publicações, seguido do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) da Espanha e da US Environmental Protection Agency (US EPA), com 64 e 62 publicações respectivamente. Destaca-se também a presença de uma instituição brasileira entre as 20 primeiras colocadas no *ranking* mundial da produção científica no segmento de biopesticidas de origem vegetal: a Universidade de São Paulo, com 34 publicações no período.

Finalmente, apresentam-se os resultados do levantamento focalizando-se a produção científica do terceiro segmento – aromas e fragrâncias. A Figura 7.7 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre “aromas e fragrâncias” no período 1998-2009, compreendendo um total de 19.181 publicações neste período.



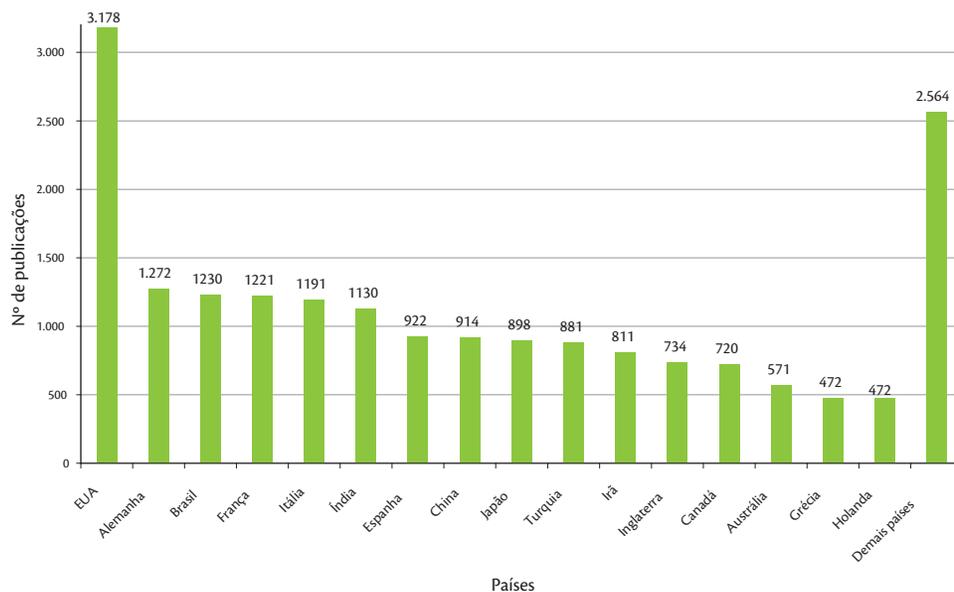
**Figura 7.7:** Evolução do Número de publicações científicas sobre “aromas e fragrâncias”

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

De acordo com o gráfico da Figura 7.7, observa-se uma curva ascendente da produção científica deste tema desde 1998, destacando-se os três últimos anos da série, período no qual o número de publicações indexadas na base de dados consultada atingiu a média anual de 2.586 publicações científicas.



A Figura 7.8 mostra os resultados da análise das 19.181 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores.



**Figura 7.8:** Publicações científicas sobre “aromas e fragrâncias”, classificadas por país: 1998 – 2009

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Conforme o gráfico da Figura 7.8, os EUA lideram o *ranking* mundial de publicações científicas sobre “aromas e fragrâncias”, com 3.178 publicações, seguidos da Alemanha e Brasil, com 1.272 e 1.230 publicações, respectivamente, em um total de 155 países. Destacam-se ainda a França, a Itália e a Índia na faixa de 1100 -1220 publicações.

Na sequência, a Tabela apresenta os resultados da análise bibliométrica do conjunto de 19.181 publicações científicas por área de especialização, conforme sistema de indexação da referida base.

**Tabela 7.8:** Publicações científicas sobre “aromas e fragrâncias”, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Ciência e tecnologia de alimentos	5.938	26,26
Química aplicada	3.655	19,05
Farmacologia e farmácia	1.651	8,61
Botânica	1.626	8,48
Bioquímica e biologia molecular	1.421	7,41
Química medicinal	1.379	7,19
Ciências ambientais	1.362	7,10
Biotecnologia e microbiologia aplicada	1.016	5,30
Química multidisciplinar	1.010	5,27
Química analítica	939	4,89

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A busca revelou que neste segmento, a exemplo dos anteriores, não há uma grande concentração de publicações em uma determinada área de especialização. A área com maior percentual de publicações associadas é ciência e tecnologia de alimentos (26,26%), seguida das áreas: química aplicada (19,05%), farmacologia e farmácia (8,61%) e botânica (8,48%).

As demais áreas situam-se em dois patamares distintos: o primeiro, na faixa de 7,41 a 7,10% de publicações classificadas nas respectivas áreas e o segundo, na faixa de 5,30 a 4,89%. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 220 áreas de conhecimento. Ressalta-se, ainda, que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

A Tabela, a seguir, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas no segmento “aromas e fragrâncias” em relação a instituições de origem de seus autores.



**Tabela 7.9:** Publicações científicas sobre “aromas e fragrâncias”, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009

Instituição	País	Número de publicações
Anadolu University	Turquia	250
Central Institute of Medicinal and Aromatic Plants	Índia	194
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	Espanha	190
University of Athens	Grécia	178
Chinese Academy of Science	China	159
Islam Azad University	Irã	139
Universidade de São Paulo	Brasil	136
Universidade Federal do Ceará	Brasil	128
University of Belgrade	Sérvia	124
Agricultural Research Service (ARS)/ US Department of Agriculture (USDA)	EUA	117
Université de Corse	França	116
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Itália	113
University of New South Wales	Austrália	109
Research Institute of Forests and Rangelands	Irã	101
Russian Academy of Science	Rússia	98
Università di Messina	Itália	96
Institut National de la Recherche Agronomique	França	95
Università di Pisa	Itália	93
University of Vienna	Áustria	93
Universidade Estadual de Campinas	Brasil	91

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Em um total de 9.239 instituições identificadas neste levantamento, a University of Anadolu, da Turquia, lidera o *ranking* mundial, com 250 publicações no período considerado, seguida do Central Institute of Medicinal and Aromatic Plants, da Índia, e do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), da Espanha, com 194 e 190 publicações, respectivamente. Destacam-se também a presença de três instituições brasileiras entre as 20 primeiras colocadas no *ranking* mundial: Universidade de São Paulo, com 136 publicações, Universidade Federal do Ceará, com 128 publicações, e a Universidade Estadual de Campinas, com 91 publicações no período.

### 7.1.2. Propriedade intelectual

Na sequência, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes referentes ao tema “fitoquímica” no período 1998 – 2009. Como mencionado, esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index e abrangeu os mesmos termos de busca do levantamento anterior (Tabela 7.1). Foram identificadas 18.503 patentes no referido período.

Os resultados do levantamento de patentes permitiram identificar: (i) as principais áreas de especialização associadas ao conjunto de patentes (critério “top 10”), conforme indexação das áreas pelas próprias bases de dados consultadas; (ii) o número de depositantes e os destaques, enfatizando-se a presença de empresas (critério “top 25”); e (iii) uma análise por código da International Patent Classification (ICP), que revela as subclasses ICP de maior representatividade para posterior monitoramento da evolução da propriedade intelectual no tema nos próximos anos. A Tabela 7.10 apresenta o conjunto das 18.503 patentes classificadas por área de especialização. A pesquisa indicou um total de 24 áreas de conhecimento.

**Tabela 7.10:** Patentes no tema “fitoquímica”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Química	17.644	95,35
Farmacologia e farmácia	7.409	40,04
Ciência dos polímeros	7.060	38,15
Instrumentos e instrumentação	4.439	23,99
Engenharia	4.028	21,77
Ciência e tecnologia de alimentos	3.597	19,44
Agricultura	2.671	14,43
Biotecnologia e microbiologia aplicada	1.882	10,17
Ciência dos materiais	1.409	7,61
Medicina geral e interna	1.323	7,15

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Pelas informações apresentadas na Tabela 7.10, constata-se que a grande maioria das patentes está associada diretamente à área de química (95,35%). Em um segundo patamar, situam-se as áreas de farmacologia/farmácia e ciência dos polímeros (40,04 e 38,15%, respectivamente). Neste *ranking* (“top 10”), as demais áreas possuem indicadores inferiores, na faixa de 23,99 a 7,15 % de patentes clas-



sificadas segundo o sistema da base Derwent Innovations Index nas respectivas áreas. Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Na sequência, a Tabela 7.11 mostra os resultados da análise das 18.503 patentes segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP).

**Tabela 7.11:** Patentes no tema “fitoquímica”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
A61K-035/78	1.743
A61K-036/185	1.231
A61K-036/88	884
A61K-008/30	671
A01N-065/00	656
C08K-003/00	653
C08K-005/00	597
B60C-001/00	577
A61P-017/00	568
A61K-008/96	553

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Observa-se que as subclasses ICP de maior representatividade são: A61K – “preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas”; A01N – “conservação de corpos de seres humanos ou animais ou plantas ou partes dos mesmos, biocidas, repelentes ou atrativos de pestes...”; C08K – “uso de substâncias inorgânicas ou orgânicas não-macromoleculares como ingredientes de composições”; A61P – “atividade terapêutica específica de compostos químicos ou preparações medicinais” e B60C – “pneus para veículos”.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes, conforme apresentado na Tabela a seguir.

**Tabela 7.12:** Patentes no tema “fitoquímica”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Depositante	Número de patentes
L’Oreal S.A.	361
Bridgestone Corp.	247
Procter & Gamble Co.	155
Yokohama Rubber Co Ltd	145
Colgate Palmolive	137
Henkel KGAA	109
Goodyear Tire & Rubber Co.	96
Council of Scientific and Industrial Research of India	93
BASF AG	91
Vinegar H. J.	88

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

A empresa que lidera o *ranking* dos depositantes das patentes em fitoquímica no período 1998 – 2009 é a L’Oreal S.A. com 361 patentes, seguida da Bridgestone Corp., com 247 patentes. Os demais depositantes que se destacam no *ranking* são: Procter & Gamble Co. (155 patentes), a Yokohama Rubber Co Ltd. (145 patentes), a Colgate Palmolive (137 patentes) e a Henkel KGAA (109 patentes). A busca indicou um total de 18.084 depositantes.

Na sequência, apresentam-se informações sobre patentes em nível mundial referentes aos três segmentos abordados neste Capítulo: (i) fitoterápicos; (ii) biopesticidas de origem vegetal; (iii) aromas e fragrâncias. A Tabela 7.13 apresenta o conjunto das 3.506 patentes referentes ao primeiro grupo - “fitoterápicos”, classificadas por área de especialização. A pesquisa indicou um total de 21 áreas de conhecimento.



**Tabela 7.13:** Patentes do grupo “fitoterápicos”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Química	3301	94,15
Farmacologia e farmácia	2948	84,08
Ciência e tecnologia de alimentos	702	20,02
Instrumentos e instrumentação	557	15,88
Ciência dos polímeros	306	8,73
Medicina geral e interna	298	8,49
Agricultura	281	8,01
Engenharia	249	7,10
Biotecnologia e microbiologia aplicada	195	5,56
Ciência dos materiais	61	1,74

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Pelas informações apresentadas na Tabela 7.13, constata-se que a grande maioria das patentes está associada diretamente a duas áreas de especialização: química (94,15%) e farmacologia e farmácia (85,08%). Em um segundo patamar, situam-se as áreas de ciência e tecnologia de alimentos e instrumentos/instrumentação (20,02 e 15,88%, respectivamente). Neste *ranking* (“top 10”), as demais áreas possuem indicadores inferiores, na faixa de 8,73 a 1,74 % de patentes classificadas nas respectivas áreas. Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Na sequência, a Tabela apresenta os resultados da análise das 3.506 patentes sobre fitoterápicos segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP).

**Tabela 7.14:** Patentes do grupo “fitoterápicos”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
A61K-035/78	1.007
A61K-036/185	745
A61K-036/88	713
A61K-035/56	326
A61P-001/00	246
A61K-035/64	216
A61P-017/00	190
A61P-031/00	183
A61P-029/00	169
A61K-009/20	160

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

As subclasses ICP de maior representatividade são: A61K – “preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas” e A61P – “atividade terapêutica específica de compostos químicos ou preparações medicinais”.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes, conforme apresentado na Tabela 7.15.

Lideram o *ranking* mundial de patentes em fitoterápicos inventores de países asiáticos, seguidos do Council Science and Industrial Research of India e do Beijing Yixintang Medicine Research Institute, da China, com 22 e 21 patentes, respectivamente. A busca indicou um total de 1.827 depositantes. Os resultados segundo o critério “top 25” confirmam a tendência observada na análise bibliométrica da produção científica neste segmento de que as instituições líderes são de países asiáticos (ver Tabela 7.5).



**Tabela 7.15:** Patentes do grupo “fitoterápicos”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Depositante	Número de patentes
Li, Y.	53
Ye, M.	38
Wang, Y.	26
Council Science and Industrial Research of India	22
Beijing Yixintang Medicine Research Institute	21
Zhang, L.	21
Jiang, J.	20
Liu, Y.	19
Yin, K.	17
Jiang, L.	16

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

A Tabela 7.16 apresenta o conjunto das 1.104 patentes referentes ao segundo grupo - biopesticidas de origem vegetal, classificadas por área de especialização. A pesquisa indicou um total de 24 áreas de conhecimento.

**Tabela 7.16:** Patentes do grupo “biopesticidas de origem vegetal”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Química	971	95,75
Agricultura	795	78,40
Ciência dos polímeros	342	33,73
Instrumentos e instrumentação	306	30,18
Farmacologia e farmácia	280	27,61
Biotecnologia e microbiologia aplicada	258	25,44
Engenharia	179	17,65
Ciência e tecnologia de alimentos	113	11,14
Ciência dos materiais	72	7,10
Recursos hídricos	58	5,72

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Pelas informações apresentadas na Tabela 7.16, constata-se que a grande maioria das patentes está associada diretamente a duas áreas de especialização: química (95,75%) e agricultura (78,40%). Em um segundo patamar, situam-se as áreas de ciência dos polímeros, instrumentos/instrumentação, farmacologia e farmácia e biotecnologia e microbiologia aplicada, com percentuais na faixa de 33,73 a 25,44% de patentes associadas a essas áreas. Neste *ranking* (“*top 10*”), as demais áreas possuem indicadores inferiores, na faixa de 17,65 a 5,72%. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento. A Tabela 7.17 mostra os resultados da análise das 1.104 patentes segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP).

**Tabela 7.17:** Patentes do grupo “biopesticidas de origem vegetal”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
A01N-065/00	127
A01N-063/00	94
A01N-025/00	91
A01P-007/04	58
A01P-003/00	46
A01N-000/00	44
A01N-053/00	42
A01P-007/00	41
C12N-001/20	40
A01N-025/04	39

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Constata-se que as subclasses ICP de maior representatividade são: A01N – “biocidas, por exemplo como desinfetantes, como pesticidas ou como herbicidas”, A01P – “atividade de compostos químicos ou preparações biocidas, repelentes ou atrativos de pestes ou reguladores do crescimento de plantas” e C12N - “microorganismos ou enzimas, suas composições (biocidas, repelentes ou atrativos de pestes)...”. O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes, conforme apresentado na Tabela 7.18.



**Tabela 7.18:** Patentes do grupo “biopesticidas de origem vegetal”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Depositante	Número de patentes
Syngenta Part. AG	14
Novartis AG	8
Basf SE	7
Bayer Cropscience AG	7
Dow Corning Corporation	7
Genoptera LLC	7
Monsanto Technology	7
University of California	7
US Secretary of Agriculture	7
Bayer Cropscience GMBH	6

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

No período 1998 – 2009, entre 1.525 depositantes, as empresas que lideram o *ranking* dos depositantes das patentes em biopesticidas de origem vegetal são: Syngenta Participations AG e Novartis AG, com 14 e 8 patentes, respectivamente. Os demais depositantes que se destacam no *ranking* são as empresas Basf, Bayer, Dow, Genoptera e Monsanto; e a US Secretary of Agriculture e a University of Califórnia.

A Tabela 7.19 apresenta o conjunto das 13.973 patentes referentes ao terceiro grupo - aromas e fragrâncias, classificadas por área de especialização. A pesquisa indicou um total de 24 áreas de conhecimento.

**Tabela 7.19:** Patentes do grupo “aromas e fragrâncias”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Química	13.361	95,62
Ciência dos polímeros	6.447	46,14
Farmacologia e farmácia	4.144	29,65
Engenharia	3.616	25,87
Instrumentos e instrumentação	3.599	25,76
Ciência e tecnologia de alimentos	2.706	19,36
Agricultura	1.671	11,95
Biotecnologia e microbiologia aplicada	1.408	10,07
Ciência dos materiais	1.293	9,25
Ciência da imagem e tecnologia fotográfica	1.249	8,94

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Pelas informações apresentadas na Tabela 7.19, constata-se que a grande maioria das patentes está associada diretamente à área de química (95,62%) e ciência dos polímeros (46,14%). Em um segundo patamar, situam-se as áreas de farmacologia/farmácia, engenharia e instrumentos/instrumentação (29,65, 25,87 e 25,76%, respectivamente). Neste *ranking* (“top 10”), as demais áreas possuem indicadores inferiores, na faixa de 19,36 a 8,94 % de patentes classificadas nas respectivas áreas. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.



Na sequência, a Tabela 7.20 mostra os resultados da análise das 13,973 patentes segundo as subclasses e códigos da International Patent Classification (ICP).

As subclasses ICP de maior representatividade são: A61K - “preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas”; C08K – “uso de substâncias inorgânicas ou orgânicas não-macromoleculares como ingredientes de composições”; B60C – “pneus para veículos, caracterizados pelo material”, C08L – “composições de compostos macromoleculares” e A01N – “conservação de corpos de seres humanos ou animais ou plantas ou partes dos mesmos; biocidas, por ex.,desinfetantes, pesticidas , herbicidas, repelentes ou atrativos de pestes.....”.

**Tabela 7.20:** Patentes do grupo “aromas e fragrâncias”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
A61K-035/78	699
C08K-003/00	646
A61K-008/30	636
C08K-005/00	593
B60C-001/00	577
C08L-009/00	485
A01N-065/00	476
A61K-007/00	469
A61K-036/185	464
A61K-008/96	449

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes, conforme apresentado na Tabela 7.21.

**Tabela 7.21:** Patentes do grupo “aromas e fragrâncias”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 15”)

Depositante	Número de patentes
L’Oreal S.A.	360
Bridgestone Corp.	247
Procter & Gamble Co.	149
Yokohama Rubber Co Ltd	145
Colgate Palmolive	137
Henkel KGAA	106
Goodyear Tire & Rubber Co.	96
Vinegar H. J.	88
BASF AG	86
Sumitomo Rubber Ind. Ltd	85
Wellington, S.L.	83
Shell Oil Co	75
Berchenko, I.E.	69
General Electric Co	68
Council of Scientific and Industrial Research of India	66

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

A empresa que lidera o *ranking* dos depositantes das patentes no segmento aromas e fragrâncias no período 1998 – 2009 é a L’Oreal S.A. com 360 patentes, seguida da Bridgestone Corp. com 247 patentes. Os demais depositantes que se destacam no *ranking* são: Procter & Gamble Co. (149 patentes), a Yokohama Rubber Co Ltd. (145 patentes), a Colgate Palmolive (137 patentes) e a Henkel KGAA (106 patentes). A busca indicou um total de 14.561 depositantes.

Buscou-se mostrar indicadores bibliométricos de patentes e publicações científicas em nível mundial, associados ao tema “fitoquímica” – objeto deste Capítulo. Vale destacar, entretanto, que qualquer resultado de uma análise bibliométrica tem caráter apenas indicativo, recomendando-se seu cruzamento posterior com outras informações e análises referentes aos tópicos associados ao tema (Seção 7.3). Recomenda-se ainda que os tópicos gerais aqui abordados, bem como específicos, de-



verão ser objeto de monitoramento tecnológico em bases de dados internacionais de referência, como as que foram acessadas neste estudo.

### 7.1.3. Aspectos de mercado

A próxima Tabela apresenta uma visão do mercado mundial de produtos fitoquímicos, a partir de consulta a fontes secundárias.

**Tabela 7.22:** Mercado mundial de produtos fitoquímicos

Segmentos	Mercado de fitoquímicos	
	Valor estimado 2010 (US\$ bilhões)	Taxa de crescimento anual (%)
Fitoterápicos	36,8	6,3
Nutracêuticos	4,7	8,3
Alimentos funcionais	26,6	11,0
Suplementos dietéticos	16,4	2,8
Cosmecêuticos	25,0	9,0
Aromas e fragrâncias	17,3	4,0
Ervas e plantas	5,9	10,0
Biopesticidas	0,8	9,9

**Fontes:** Kasim, 2007; Lehr, 2010.

Os fitoterápicos sempre apresentaram uma parcela significativa no mercado de medicamentos. Esse segmento movimentava globalmente US\$ 36,8 bilhões por ano<sup>20</sup>. O consumo de medicamentos fitoterápicos tem aumentado consideravelmente nas últimas duas décadas, tanto nos países desenvolvidos, como naqueles em desenvolvimento. A taxa de crescimento anual estimada é de 6,3%, conforme indicado na Tabela 7.22. Somente na Europa, o mercado de medicamentos fitoterápicos vem atingindo cerca de 7 bilhões de dólares ao ano, sendo a Alemanha responsável por 50% de valor<sup>21</sup>. Nos Estados Unidos, este mercado representa US\$ 5 bilhões de faturamento ao ano. Na África, embora não existam dados oficiais atualizados, 80% da população faz uso de fitoterápicos, os quais

<sup>20</sup> Kasim, Z. A. A. Herbal biotechnology development: the way forward and market access opportunities. 2007. Disponível em <<http://www.eumbio.org>>. Acesso em: dez 2009

<sup>21</sup> Comciência. Entre o conhecimento popular e o científico. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/framebusca.htm>>. Acesso em: dez 2009.

representam alternativa frente ao alto custo dos fármacos sintéticos<sup>22</sup>. Considerando as perspectivas globais de crescimento segundo taxa média anual em torno de 7%, o mercado de fitoterápico poderá atingir valores em torno de 5 trilhões de dólares no ano de 2050<sup>23</sup>.

Com relação ao mercado de biopesticidas, observa-se uma tendência de crescimento desde 2005 e prevê-se que no final de 2014 este mercado deverá atingir mais de um bilhão de dólares, segundo uma taxa média anual estimada de 9,9%. Por outro lado, o mercado de pesticidas sintéticos vem apresentando uma tendência de queda, na taxa de 1,5% ao ano. Os biopesticidas hoje representam cerca de 2,5% do mercado global de pesticidas e devem atingir 4,2% em 2010<sup>24</sup>.

O continente com maior perspectiva de crescimento em relação aos biopesticidas é o europeu. Esse mercado deverá alcançar US\$ 270 milhões em 2010, com uma taxa média anual estimada de 15,0%. Esse crescimento está sendo seguido de perto pela Ásia, cuja previsão é de US\$ 120 milhões de faturamento na venda de biopesticidas (taxa média anual estimada de 12%). Para a América Latina, prevê-se um crescimento mais lento, quando comparada às demais regiões. O mercado latino-americano de biopesticidas deverá atingir US\$ 88 milhões em 2010, com uma taxa média anual estimada de 5,0%<sup>25</sup>.

Um relatório recente da Frost & Sullivan, empresa internacional de consultoria e inteligência de mercado, relata que a crescente demanda por produtos agrícolas livres de agrotóxicos e mais orgânicos, tem elevado o uso de biopesticidas na América do Norte e Europa Ocidental. O faturamento pela venda de biopesticidas nesses dois mercados alcançou US\$ 594,2 milhões em 2008 e a demanda deverá duplicar até 2015, com previsão de faturamento da ordem de US\$ 1,02 bilhão<sup>26</sup>. O principal fator de crescimento para o mercado de biopesticidas é a elevada demanda por culturas livres de produtos químicos por usuários finais e supermercados. Os governos dos países desenvolvidos estão apoiando a redução do nível de produtos químicos utilizados na agricultura, com regulamentação para limitar os níveis máximos de resíduos (LMR). Este é um fator de crescimento significativo para biopesticidas<sup>27</sup>.

Em relação ao terceiro segmento – aromas e fragrâncias, de acordo com a base de dados americana Comtrade (United Nations Commodity Trade Statistics Database), os maiores consumidores de

22 Turolla, M. S. R.; Nascimento, E. S. Informações toxicológicas de alguns fitoterápicos utilizados no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v.42, n.2, p.289-306. 2006.

23 Kasim, Z. A. A. Ibid. 2007. Disponível em <<http://www.eumbio.org>>. Acesso em: dez 2009.

24 Lehr, P. The new biopesticide market. Business Communications Company. Report ID CHM029B. February 2010.

25 Agro News. Biopesticides market to reach \$1 billion in 2010. 2009. Disponível em: <<http://news.agropages.com/News/NewsDetail---1944.htm>>. Acesso em dez 2009.

26 Frost & Sullivan's Chemicals and Materials Research & Consulting. North American & Western European biopesticides market. 2010. Summary. Disponível em: <<http://www.frost.com>> Acesso em: dez 2009.

27 Frost & Sullivan's Chemicals and Materials Research & Consulting. Ibid. 2010.



óleos essenciais no mundo são os EUA (40%), a União Européia (30%), sendo a França o país líder em importações e o Japão (7%), ao lado do Reino Unido, Alemanha, Suíça, Irlanda, China, Cingapura e Espanha. O mercado mundial de óleos essenciais gira em torno de US\$ 15 milhões/ano, apresentando crescimento aproximado de 11% por ano<sup>28</sup>.

As importações de óleos essenciais pelos EUA, no período de 2004-2007, totalizaram cerca de US\$ 9.432 milhões, de acordo com os dados da Foreign Agriculture Service, órgão do US Department of Agriculture (USDA)<sup>29</sup>. Os principais exportadores de óleos essenciais para os EUA, no mesmo período, foram Índia, França, Argentina, Brasil, México, Canadá e Irlanda. O Brasil ocupa a quarta posição neste *ranking*, contribuindo principalmente com óleos essenciais cítricos, com destaque para o óleo essencial de laranja.

## 7.2. Panorama nacional

Apresentam-se os resultados do levantamento da produção científica e propriedade intelectual em nível nacional também realizado diretamente nas bases de dados Web of Science e Derwent Innovations Index, abordando-se inicialmente o tema fitoquímica como um todo, para em seguida focalizar a análise bibliométrica nos três segmentos da fitoquímica abordados neste estudo. Complementa-se o panorama nacional com os resultados de um levantamento dos grupos de pesquisa em fitoquímica no Brasil, por consulta direta ao Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil mantido pelo CNPq<sup>30</sup>, e informações sobre o potencial de mercado de fitoquímicos no país.

### 7.2.1. Produção científica

Com relação à produção científica nacional no tema fitoquímica em geral, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 6ª posição do *ranking* mundial de produção científica, com 1.762 publicações científicas, em um total de 32.960 publicações referentes a este tema indexadas na referida base (Ver Figura 7.2).

28 United Nations Commodity Trade Statistics Database. Statistics. 2009. Disponível em: <[http://data.un.org/Data.aspx?d=ComTrade&f=\\_11Code%3a34](http://data.un.org/Data.aspx?d=ComTrade&f=_11Code%3a34)>. Acesso em: dez 2009.

29 US Department of Agriculture. USDA. Foreign Agricultural Service. Imports. Essential oils. 2009. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/ustrade/USTIMFAS.asp>>. Acesso em: dez 2009.

30 CNPq. Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil. 2009. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br>>. Acesso em: dez 2009.

Buscou-se analisar esse conjunto de publicações em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 7.23, a seguir.

**Tabela 7.23:** Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “fitoquímica”, classificadas segundo a instituição de origem de seus autores: 1998 – 2009

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	266
Universidade Federal do Ceará	Ceará	172
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	161
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	144
Universidade Estadual Paulista (UNESP)	São Paulo	122
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	87
Universidade Federal da Paraíba	Paraíba	69
Universidade Federal do Pará	Pará	60
Universidade Estadual do Ceará	Ceará	58
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	58
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	58
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	56
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	53
Universidade Federal do Paraná	Paraná	52
Museu Paraense Emilio Goeldi	Pará	51
Universidade Estadual de Maringá	Paraná	49
Embrapa	Rio de Janeiro	48
Universidade Federal de São Carlos	São Paulo	46
Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul	44
Universidade Federal de Goiás	Goiás	33
Universidade Federal de Lavras	Minas Gerais	33
Universidade Estadual do Norte Fluminense	Rio de Janeiro	26
Universidade Federal da Bahia	Bahia	26
Universidade Vale do Itajaí	Santa Catarina	25



Instituição	Estado	Número de publicações
Fiocruz	Rio de Janeiro	23
Universidade de Brasília	DF	22
Universidade Federal de Pelotas	Rio Grande do Sul	22
Universidade Federal Rural de Pernambuco	Pernambuco	21
Universidade Federal de São Paulo	São Paulo	19
Universidade Federal de Uberlândia	Minas Gerais	19
Universidade Federal Fluminense	Rio de Janeiro	17
Instituto de Botânica de São Paulo	São Paulo	16
Universidade de Caxias do Sul	Rio Grande do Sul	16
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia	Amazônia	14
Universidade Federal do Piauí	Piauí	14
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	Mato Grosso do Sul	13
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Rio Grande do Norte	13
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	13

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Com relação à produção científica nacional no segmento de fitoterápicos, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 12ª posição do *ranking* mundial de produção científica, com 117 publicações científicas, em um total de 6.409 publicações referentes a este tema indexadas na referida base (Ver Figura 7.4). Buscou-se analisar esse conjunto de publicações em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 7.24.

**Tabela 7.24:** Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “fitoterápicos”, classificadas segundo a instituição de origem de seus autores

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	22
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	14
Universidade Estadual de Maringá	Paraná	9
Universidade Federal do Ceará	Ceará	8
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	8
Universidade de Brasília	DF	7
Universidade Estadual Paulista	São Paulo	6
Universidade Federal Fluminense	Rio de Janeiro	6
Universidade do Vale do Itajaí	Santa Catarina	5
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	5
Universidade Federal da Paraíba	Paraíba	5
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	5
Instituto Nacional do Câncer	Rio de Janeiro	4
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	4
Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul	4
Universidade Federal de Uberlândia	Minas Gerais	4
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Rio Grande do Norte	4
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	4
Fiocruz	Rio de Janeiro	3
Universidade Estadual do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	3
Universidade Federal de Goiás	Goiás	3
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	3
Universidade Federal do Paraná	Paraná	3
Centro Universitário Newton Paiva	Belo Horizonte	2
Instituto Adolfo Lutz	São Paulo	2
Universidade de Ribeirão Preto	São Paulo	2
Universidade Estadual de Londrina	Paraná	2
Universidade Federal de São Carlos	São Paulo	2
Universidade Federal de Sergipe	Sergipe	2
Universidade Federal Rural de Pernambuco	Pernambuco	2

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009



Lideram o *ranking* das instituições brasileiras a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal de Santa Catarina, a Universidade Estadual de Maringá e a Universidade Federal do Ceará, perfazendo 61 publicações em um total 117 publicações científicas de autores brasileiros no período 1998-2009. Foram identificadas 109 instituições às quais os autores brasileiros estão vinculados.

Com relação à produção científica nacional no segmento de biopesticidas de origem vegetal, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 10ª posição do *ranking* mundial de produção científica, com 120 publicações científicas, em um total de 2.927 publicações referentes a este tema indexadas na referida base (Ver Figura 7.6).

Esse conjunto de publicações foi analisado em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela, a seguir.

**Tabela 7.25:** Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “biopesticidas de origem vegetal”, classificados segundo a instituição de origem de seus autores: 1998 – 2009

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	40
Embrapa	Diversos	24
Universidade Estadual Paulista	São Paulo	16
Universidade de Brasília	DF	7
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	6
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	6
Universidade Federal de São Carlos	São Paulo	6
Universidade Federal do Paraná	Paraná	5
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	4
Universidade Federal de Lavras	Minas Gerais	4
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	2
Universidade Federal do Ceará	Ceará	2
Universidade Federal de Pelotas	Rio Grande do Sul	2
Universidade Federal de Juiz de Fora	Minas Gerais	2
Universidade Estadual de Londrina	Paraná	2
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	2
Universidade Católica de Brasília	DF	2
Instituto Biologia	n.d.	2

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

A análise das instituições no Brasil vinculadas aos autores brasileiros que publicaram sobre biopesticidas de origem vegetal no período 1998-2009 revelou que a Universidade de São Paulo e a Embrapa lideram o *ranking* com 64 publicações em um total de 120 publicações científicas de autores brasileiros no referido período. Foram identificadas 132 instituições às quais os autores brasileiros estão vinculados.

Com relação à produção científica nacional no segmento de aromas e fragrâncias, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 3ª posição do *ranking* mundial de produção científica, com 123 publicações científicas, em um total de 19.181 publicações referentes a este tema e indexadas na referida base (Ver Figura 7.8).

Buscou-se analisar esse conjunto de publicações em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 7.26, a seguir.

A análise das instituições no Brasil vinculadas aos autores brasileiros que publicaram sobre “aromas e fragrâncias” no período 1998-2009 indicou que a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal do Ceará, a Universidade Estadual de Campinas e Universidade Federal do Rio de Janeiro lideram o *ranking*, perfazendo 488 publicações em um total de 1.230 publicações científicas de autores brasileiros no referido período. Foram identificadas 660 instituições às quais os autores brasileiros estão vinculados.

**Tabela 7.26:** Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “aromas e fragrâncias”, classificados segundo a instituição de origem de seus autores

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	163
Universidade Federal do Ceará	Ceará	128
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	107
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	90
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	77
Universidade Estadual do Ceará	Ceará	70
Universidade Estadual Paulista	São Paulo	61
Embrapa	Diversos	58
Universidade Federal do Pará	Pará	55
Universidade Federal da Paraíba	Paraíba	53



Instituição	Estado	Número de publicações
Museu Paraense Emilio Goeldi	Pará	51
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	49
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	45
Universidade Federal do Paraná	Paraná	39
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	38
Universidade Federal de Sergipe	Sergipe	34
Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul	33
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	33
Universidade Federal de Lavras	Minas Gerais	30
Universidade Estadual de Maringá	Paraná	30
Universidade Federal de Goiás	Goiás	27
Universidade de Caxias do Sul	Rio Grande do Sul	26
Fiocruz	Rio de Janeiro	15
Universidade Federal Rural de Pernambuco	Pernambuco	13
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	Mato Grosso do Sul	12
Universidade Federal de Uberlândia	Minas Gerais	12
Universidade Estadual do Norte Fluminense	Rio de Janeiro	12

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

## 7.2.2. Propriedade intelectual

Recomenda-se levantamento e análise bibliométrica das patentes brasileiras no tema fitoquímica, por meio de consulta às bases de dados Derwent Innovations Index (internacional), Spacenet (Europa) e INPI (Brasil).

## 7.2.3. Grupos de pesquisa

Apresenta-se a situação atual dos grupos de pesquisa de fitoquímica no Brasil, baseada em consulta ao Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil<sup>31</sup>. O levantamento focalizou os três segmentos abor-

<sup>31</sup> Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. CNPq. Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil. 2009. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br>>. Acesso em dez 2009.

dados neste estudo: (i) fitoterápicos; (ii) biopesticidas de origem vegetal; e (iii) aromas e fragrâncias. A Tabela 7.27 fornece uma visão geral dos grupos de pesquisa de fitoquímica no Brasil: são ao todo 176 grupos pertencentes a 119 instituições, com o envolvimento de 1.544 pesquisadores.

**Tabela 7.27:** Quadro-síntese dos grupos de pesquisa em fitoquímica no Brasil

Grupo da fitoquímica	Número de grupos de pesquisas	Número de instituições	Número de pesquisadores
Fitoterápicos	87	53	842
Biopesticidas de origem vegetal	30	25	281
Aromas e fragrâncias	59	41	421
<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>119</b>	<b>1.544</b>

Fonte: Pesquisa direta no Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil. Acesso em dez 2009.

A seguir, apresentam-se em detalhe os resultados do levantamento dos grupos de pesquisa, por grandes grupos da fitoquímica.

Para fitoterápicos, foram utilizados os termos “fitoterápicos”, “fitoquímica”, “química de produtos naturais” e “espectroscopia e farmacologia” (Tabela 7.28).

**Tabela 7.28:** Grupos de pesquisas com ênfase em fitoterápicos: 2009

Grupo de pesquisa	Instituição	Número de pesquisadores
Produção vegetal e manejo de populações de insetos na agropecuária sustentável.	AGRAER	14
Produtos naturais aplicados ao controle microbiológico.	CEFET/AM	05
Recursos genéticos e biotecnologia de plantas medicinais.	EMBRAPA	09
Plantas medicinais na Amazônia: recursos genéticos e agronomia.	EMBRAPA	05
Biodiversidade da Caatinga.	EMBRAPA	08
Homeopatia e saúde vegetal.	EPAGRI	05
Plantas bioativas.	EPAGRI	12
Plantas-matrizes para fitoterápicos: prospecção, caracterização e aplicação.	FIOCRUZ	09
Farmacologia neuro-cardiovascular.	FIOCRUZ	04
Grupo de estudo em produtos naturais de interesse farmacêutico.	FURB	10



Grupo de pesquisa	Instituição	Número de pesquisadores
Desenvolvimento tecnológico.	IEPA	13
Prospecção e aplicação de micromoléculas naturais da Amazônia.	INPA	09
Pesquisas integradas em leishmaniose e doença de chagas na Região Amazônica.	INPA	21
Farmack.	MACKENZIE	12
Controle de qualidade microbiológico e físico-químico de alimentos e fitoterápicos.	PUC Campinas	03
Neuroendócrino e metabolismo.	UEL	02
Micologia humana e ambiental no processo saúde doença.	UEM	09
Controle e desenvolvimento tecnológico de fitoterápicos.	UEM	12
Produtos naturais.	UEM	17
Saúde pública e veterinária.	UEMA	05
Plantas medicinais.	UEPB	07
Biotechnologia de plantas e fitoterapia, microrganismos endofíticos e produtos apícolas.	UFAL	07
Oncologia molecular - diagnóstico e fitoterapia.	UFAL	04
Grupo de pesquisa do laboratório de produtos naturais da UFC.	UFC	07
Polimorfismo em sólidos farmacêuticos: caracterização físico-química e aplicações.	UFC	06
UNIFAC - Pesquisa pré-clínica e clínica de fármacos e medicamentos.	UFC	34
Grupo de pesquisa em medicamentos, saúde e sociedade.	UFES	03
Olericultura e plantas medicinais.	UFGD	09
Pesquisa e desenvolvimento de fitoterápicos e fitocosméticos.	UFJF	06
Farmacologia, imunologia e toxicologia de produtos naturais.	UFMA	18
GEPLAMT - Grupo de estudos e pesquisas de plantas aromáticas, medicinais e tóxicas.	UFMG	14
Atividade terapêutica de própolis e plantas medicinais em lesões infecciosas, neoplásicas e microbianas de mucosa da cavidade bucal. Desenvolvimento de medicamentos à base de produtos naturais.	UFMG	19
Grupo interdisciplinar de pesquisa em medicina veterinária e zootecnia.	UFMT	17
Documentação e investigação de fitoterápicos e desenvolvimento de fitomedicamentos – GPLAM.	UFPA	11

Grupo de pesquisa	Instituição	Número de pesquisadores
Farmacologia de produtos naturais e sintéticos bioativos.	UFPB	24
Desenvolvimento e ensaios de medicamentos.	UFPB	09
Plantas medicinais e tóxicas.	UFPB	21
Grupo de estudo multidisciplinar em plantas medicinais.	UFPE	07
Avaliação de drogas psicobioativas e sua toxicologia.	UFPE	08
Desenvolvimento de fármacos.	UFPI	05
Farmacologia dos produtos naturais.	UFPI	14
Estudo da cicatrização de tecidos moles e duros.	UFPR	09
Polissacarídeos de fungos liquenizados.	UFPR	10
Plantas medicinais e aromáticas.	UFPR	04
Tecnologia de produtos farmacêuticos.	UFRGS	06
Desenvolvimento de insumos farmacêuticos de origem vegetal e sintética.	UFRGS	05
Grupo de pesquisa de plantas medicinais e cactáceas brasileiras.	UFRJ	08
Laboratório de farmacognosia e produtos naturais Rodolfo Albino.	UFRJ	01
Resistência múltipla a drogas - modelo levedura.	UFRJ	09
Instituto do Milênio: inovação e desenvolvimento de fármacos e medicamentos.	UFRJ	71
Desenvolvimento de medicamentos.	UFRN	15
Produtos naturais.	UFS	12
Grupo de extração supercrítica.	UFSC	05
Análise e desenvolvimento de fármacos de origem natural.	UFSC	15
Doenças infecciosas e parasitárias.	UFSC	07
Farmacologia de substâncias bioativas de origem natural.	UFSC	10
Estudos orientados pela química medicinal e supramolecular.	UFSC	07
Farmacologia de substâncias bioativas de origem natural.	UFSC	10
Grupo de RMN do DQ-UFSCar.	UFSCAR	02
Desenvolvimento de testes e ensaios para avaliação de insumos e produtos farmacêuticos.	UFSCM	11
Fitocerrado.	UFU	15



Grupo de pesquisa	Instituição	Número de pesquisadores
Desenvolvimento e avaliação de produtos farmacêuticos e cosméticos.	UNAERP	08
Centro de pesquisas em distrofia muscular.	UNAERP	05
Desenvolvimento e controle da qualidade de fármacos e medicamentos.	UNB	15
Investigação da diversidade genética e evolução de populações naturais	UNB	10
Biotecnologia vegetal, controle de qualidade e validação de processos tecnológicos aplicados à fitoterápicos.	UNESA	04
Estudo interdisciplinar de plantas medicinais.	UNIARARAS	15
Grupo de pesquisa em fármacos e fitofármacos.	UNICAMP	06
Laboratório de pesquisa de compostos bioativos.	UNICENTRO	11
Produtos naturais, síntese, determinação estrutural e avaliação de compostos bioativos.	UNIFAL/MG	09
Plasticidade neural e fitoterápicos.	UNIFESP	01
Fármacos e medicamentos, com ênfase em fitoterápicos.	UNILAVRAS	07
Produtos fitoterápicos e cosméticos da Amazônia.	UNINILTON	06
Fitoterápicos.	UNINOVE	06
Biologia molecular, celular e tecidual.	UNINOVE	05
Laboratório de estudos físico-químicos e produtos naturais (LEFQPN).	UNIPAMPA	05
Núcleo interdisciplinar de biologia e biomedicina – NIBIOMED.	UNIPAR	06
Núcleo de pesquisa em educação, saúde e plantas medicinais.	UNISUL	09
Tecnologia farmacêutica, farmacotécnica e garantia da qualidade.	UNIVALI	09
GIPPE - Grupo de informática para pesquisa epidemiológica.	UPF	07
Grupo multidisciplinar de pesquisa em ciências farmacêuticas.	URI	11
Estresse oxidativo mecanismos de doenças e antioxidantes de origem natural.	USP	06
Grupo secagem e aglomeração de produtos farmacêuticos.	USP	05
Farmacognosia da FCF-USP.	USP	05
Pesquisa em processos tecnológicos farmacêuticos.	USP	01
Grupo de análise fitoquímica.	USP	02
Citogenética e mutagênese.	USP	02
<b>Total: 87 grupos de pesquisa</b>	<b>53</b>	<b>842</b>

Na sequência, apresentam-se os resultados do levantamento dos grupos de pesquisa com ênfase em biopesticidas de origem vegetal. Para esse grupo, foram utilizados os termos “pesticidas naturais”, “biodefensivos”, “bioinseticidas”, “fungicidas naturais”, “inseticidas naturais”, “herbicidas naturais”, “antropologia e ecologia dos insetos” e “extratos vegetais no controle de pragas”. A Tabela 7.29 apresenta os grupos de pesquisa com ênfase em biopesticidas de origem vegetal.

**Tabela 7.29:** Grupos de pesquisas com ênfase em biopesticidas de origem vegetal: 2009

Grupo	Instituição	Número de pesquisadores
Genética de bactérias diazotróficas.	EMBRAPA	17
Ecologia química aplicada.	EMBRAPA	40
Manejo ecológico de pragas e doenças de plantas.	EPAMIG	12
Tecnologias para a produção de hortaliças.	EPAMIG	12
Grupo de pesquisas em toxicologia e saúde ambiental	FIOCRUZ	07
Ação de bactérias entomopatógenas em culicídeos e resistência.	FIOCRUZ	08
Farmacologia de fitoterápicos e outros bioativos naturais.	FMT	10
Acarologia agrícola.	IB	05
Bioprospecção e etnociência na Região Amazônica.	INPA	18
Entomologia.	UEL	04
Química ambiental e fotocatalise heterogênea	UENF	04
Entomologia agrícola.	UFAL	05
Sustentabilidade na Amazônia	UFAM	12
Artropodologia médica e veterinária.	UFG	06
Plantas daninhas.	UFGD	05
Produtos naturais para aplicação na agropecuária.	UFPA	10
Identificação da entomofauna e manejo ecológico de pragas em espécies vegetais nativas do cerrado, de plantas medicinais e de hortaliças não convencionais.	UFMG	05
Flora de MS: Alternativas para o uso sustentável	UFMS	10
Estudo químico, avaliação biológica e biossíntese de produtos naturais.	UFMS	05
Entomologia econômica	UFPEL	09
Laboratório de controle integrado de insetos.	UFPR	03



Grupo	Instituição	Número de pesquisadores
Proteínas tóxicas: estrutura versus função. Ureasas como modelo	UFRGS	16
Engenharia de bioprocessos.	UFRN	05
Microbiologia do solo	UFRPE	12
Modelagem de compostos bioativos	UFRRJ	03
Grupo de síntese de moléculas biologicamente ativas.	UFRRJ	09
Núcleo de ecossistemas costeiros	UFS	13
Química de produtos naturais.	UFU	05
Interações artrópodes-pesticidas	UFV	01
Biodiversidade como ferramenta de gestão dos biomas Mato-Grossenses.	UNEMAT	10
Total: 30 grupos de pesquisa	25	281

Na sequência, apresentam-se os resultados do levantamento dos grupos de pesquisa com ênfase em aromas e fragrâncias. Para esse grupo, foram utilizados os termos “aromas”, “cosméticos”, “extratos vegetais aromáticos” e “óleos essenciais”. A Tabela 7.30 apresenta os grupos de pesquisa com ênfase em aromas e fragrâncias.

**Tabela 7.30:** Grupos de pesquisas com ênfase em aromas e fragrâncias: 2009

Grupo	Instituição	Número de pesquisadores
Grupo de pesquisa e desenvolvimento de produtos tecnológicos.	Cefet/PE	05
Núcleo de produtos naturais - estudo de plantas do Cerrado.	Cefet/RV	05
Aromas de alimentos.	Embrapa	18
Processos com membranas / alimentos.	Embrapa	08
Métodos alternativos ao uso de animais no controle de qualidade de produtos sob a ação da vigilância sanitária.	Fiocruz	10
Grupo de biotransformação e catálise enzimática (Biotrans).	FURB	04
PPFA-Desenvolvimento de processos e produtos farmacêuticos e de alimentos.	FURB	06
Medicamentos, cosméticos e domissanitários: avaliação da eficácia e segurança e impacto em saúde.	IAL	08
Desenvolvimento tecnológico.	IEPA	13

Grupo	Instituição	Número de pesquisadores
Embalagens plásticas.	ITAL	14
Conhecimentos botânicos e a otimização tecnológica de plantas medicinais e aromáticas.	MPEG	12
Desenvolvimento de processos industriais na área de alcoolquímica e óleos essenciais.	PUC-PR	04
Óleos essenciais e extratos vegetais.	UCS	07
Controle de qualidade de medicamentos e cosméticos.	UEL	05
Desenvolvimento de produtos farmacêuticos e cosméticos com ação antioxidante.	UEL	08
Química de produtos domissanitários.	UEL	03
Grupo de pesquisas em química de biomoléculas da Amazônia.	UFAM	15
Grupo de pesquisa do laboratório de produtos naturais da UFC.	UFC	07
Obtenção de aromas por via microbiológica.	UFF	01
Assistência farmacêutica e atenção básica à saúde.	UFG	04
Pesquisa e desenvolvimento de fitoterápicos e fitocosméticos.	UFJF	06
Processamento de alimentos.	UFPA	15
Núcleo de imunologia básica e aplicada (NIBA)/Departamento de Patologia.	UFMA	19
Grupo de química de óleos essenciais e alimentos.	UFMA	07
Estudo de toxicidade in vitro e in vivo de produtos naturais e sintéticos.	UFMG	07
Laboratório de controle de qualidade de medicamentos e cosméticos.	UFMS	03
Engenharia de produtos naturais-GEPRON.	UFPA	04
Tecnologia mineral.	UFPA	03
Grupo de estudos e monitorações ambientais (GEMA).	UFPE	07
Engenharia de bioprocessos e biotecnologia.	UFPR	06
Laboratório de desenvolvimento galênico.	UFRJ	08
Proteases de microrganismos.	UFRJ	10
Processos biotecnológicos.	UFSC	06
Fitocerrado.	UFU	15
Desenvolvimento e avaliação de produtos farmacêuticos e cosméticos.	Unaerp	08
Pesquisas interativas em toxicologia.	Unaerp	06



Grupo	Instituição	Número de pesquisadores
Biotecnologia vegetal, controle de qualidade e validação de processos tecnológicos aplicados à fitoterápicos.	Unesa	04
Desenvolvimento e controle de produtos farmacêuticos e cosméticos	Unesp	08
Desenvolvimento de preparações cosméticas.	Unesp	07
Grupo de pesquisa Fritz Feigl.	Unesp	05
Estudo interdisciplinar de plantas medicinais.	Uniararas	15
Química de produtos naturais.	Uniban	12
Ecologia química.	Unicamp	07
Grupo de toxicologia de alimentos e fármacos (GTAF).	Unicamp	05
Uso da secagem em spray e microcápsulas para o desenvolvimento de alimentos funcionais.	Unicamp	02
Desenvolvimento e controle de qualidade de fármacos, medicamentos e cosméticos.	Unicep	05
Cosmetologia e cosmética dermatológica.	Unimep	05
Produtos fitoterápicos e cosméticos da Amazônia.	Uninilton	06
Pesquisa, desenvolvimento, análise e controle de qualidade de princípios ativos, medicamentos e cosméticos.	Unisa	04
Tecnologia farmacêutica, farmacotécnica e garantia da qualidade.	Univali	09
Grupo de pesquisa em ciências farmacêuticas (GPCFAR).	URI	03
Grupo multidisciplinar de pesquisa em ciências farmacêuticas.	URI	11
Ciência e tecnologia de alimentos aplicadas a frutos tropicais.	USP	06
Pesquisa, desenvolvimento e avaliação de produtos cosméticos.	USP	04
Determinação e quantificação das vitaminas C e E associadas em produtos cosméticos.	USP	01
Santoro, M.I.R.M..	USP	04
Qualidade de produtos, processos e sistemas.	USP	03
Controle físico e químico de qualidade de medicamentos e cosméticos.	USP	04
Desenvolvimento e validação de novas técnicas analíticas aplicadas à análise de substâncias ativas e estudos de estabilidade em formulações farmacêuticas e cosméticas.	USP	04
Total: 59 grupos de pesquisa	41	421

#### 7.2.4. Aspectos de mercado

De acordo com dados da Abifisa, pesquisas demonstraram que mais 90% da população brasileira já fez uso de alguma planta medicinal<sup>32</sup>. A riqueza da diversidade dos biomas brasileiros contribuiu para que a utilização de plantas medicinais seja considerada uma área estratégica para o país que detém cerca de 23% das espécies existentes em todo o planeta<sup>33</sup>.

O governo brasileiro percebendo a importância do setor de plantas medicinais vem desenvolvendo políticas públicas de saúde para essa cadeia produtiva. No intuito de estabelecer as diretrizes para atuação do governo nas áreas de plantas medicinal e fitoterápico, foi elaborada a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF), que foi aprovada em junho de 2006<sup>34</sup>. Essa política estabelece diretrizes e linhas prioritárias para o desenvolvimento de ações públicas em torno de objetivos comuns voltados à garantia do acesso seguro e uso racional de plantas medicinais e fitoterápicos no Brasil, ao desenvolvimento de tecnologias e inovações, assim como ao fortalecimento das cadeias e dos arranjos produtivos, ao uso sustentável da biodiversidade brasileira e ao desenvolvimento do Complexo Produtivo da Saúde.

A PNPMF contempla questões como o desenvolvimento da agricultura familiar, fortalecimento da base produtiva e de inovação local e para competitividade da indústria nacional e ampliação das opções terapêuticas ofertadas aos usuários do Sistema Único de Saúde, com garantia de acesso a plantas medicinais, fitoterápicos e serviços relacionados à fitoterapia, com segurança, eficácia e qualidade. Além da PNPMF, foi estabelecida para o setor de plantas medicinais e fitoterápicos a primeira Portaria Ministerial MS/GM n. 971/2006, que aprova a Política Nacional de Práticas Interativas e Complementares (PNPIC) no Sistema Único de Saúde<sup>35</sup>.

No Brasil, a legislação para medicamentos fitoterápicos vem sofrendo modificações nos últimos anos. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) do Ministério da Saúde, vem elaborando normas para a regulamentação desses medicamentos, desde a Portaria Número 6 de 1995. Esta Portaria estabeleceu prazos para que as indústrias farmacêuticas apresentassem dados de eficácia e segurança dos medicamentos fitoterápicos, passando pela Resolução de Diretoria Colegiada (RDC)

<sup>32</sup> Associação Brasileira de Empresas do Setor Fitoterápico. Abifisa. Suplemento alimentar e de promoção da saúde, 2007. Disponível em <<http://www.abifisa.org.br>>. Acesso em 10 mai. 2007.

<sup>33</sup> Batalha, M.O. et.al. Plantas medicinais no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e entraves ao desenvolvimento. 2007. Disponível em: <[http://www.sisflor.org.br/fel15\\_4.asp](http://www.sisflor.org.br/fel15_4.asp)>. Acesso em set. 2007.

<sup>34</sup> Brasil. Presidência da República. Decreto Número 5.813, aprova a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos e dá outras providências. Poder Executivo, Brasília, DF, 23 jun.2006.

<sup>35</sup> Brasil. Ministério da Saúde. Portaria no. 971, de 03 de maio de 2006. Aprova a Política Nacional de Práticas Interativas e Complementares (PNPIC) no Sistema Único de Saúde. Poder Executivo, Brasília, DF, 04 mai.2006.



Número 17 de 2000 e a RDC Número 18 de 16 de março de 2004, atualmente em vigor, que dispõe sobre registro de medicamentos fitoterápicos<sup>36</sup>.

A RDC 48/2004 determina os aspectos essenciais ao registro, como identificação botânica das espécies vegetais utilizadas, padrão de qualidade e identidade e provas de eficiência e segurança que validem as indicações terapêuticas propostas. Esta Resolução permite o registro como fitoterápico apenas do derivado de droga vegetal: extrato, tintura, óleo, cera, exsudado, suco, etc. De acordo com sua abrangência, não é objeto de registro ou cadastro a planta medicinal, ou suas partes, após processo de coleta, estabilização e secagem, podendo ser íntegra, triturada ou pulverizada.

Embora existam iniciativas do governo brasileiro em alavancar o agronegócio das plantas medicinais e fitoterápicos por meio da PNPME, há um enorme potencial ainda a ser explorado. Segundo estimativas da Convenção da Diversidade Biológica (CDB), o país hospeda entre 15 e 20% de toda biodiversidade mundial, sendo considerado o maior do planeta em números de espécies endêmicas. Dados estatísticos indicam ainda que existam 55 mil espécies de plantas com sua maioria completamente desconhecidas<sup>37</sup>.

Do total de espécies com registros na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), menos de 30% são nativas da América do Sul. Tal fato pode ser visto como um indicativo que há necessidade de investimentos em pesquisa voltada para a avaliação da eficácia e segurança de espécies brasileiras, bem como no desenvolvimento dos fitoterápicos que as contenham<sup>38</sup>.

No Brasil, mesmo perante a importância do mercado de fitoterápicos, não existem dados oficiais de quanto as empresas desse tipo de medicamento movimentam. Estima-se algo em torno de um bilhão de reais/ano<sup>39</sup>. Devido à existência de problemas relacionados à qualidade e à regularidade de oferta, a maioria das empresas farmacêuticas (70% transacionais instaladas no Brasil), preferem importar suas matérias-primas. Embora haja demanda de plantas medicinais e potencialidade de atendimento, existe certo despreparo por parte dos agricultores/coletores para atender as exigências do

**36** Turolla, M. S. R.; Nascimento, E. S. Informações toxicológicas de alguns fitoterápicos utilizados no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v.42, n.2, p.289-306. 2006.

**37** Bareiro, E. J.; Bolzani, V. S. Biodiversidade: fonte potencial para a descoberta de fármacos. *Química Nova*, v.32, n.3, p.679-688. 2009.

**38** Carvalho, A. C. B. et al. Situação do registro de medicamentos fitoterápicos no Brasil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v.18, n.2, p.314-319. 2008.

**39** Associação Brasileira de Empresas do Setor Fitoterápico, Suplemento Alimentar e de Promoção da Saúde. 2009. Atividades desenvolvidas. Disponível em <<http://www.abifsa.org.br>>. Acesso em dez 2009.

mercado e da cadeia produtiva em geral. Isso incluiu também as espécies vegetais já recomendadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS)<sup>40,41</sup>.

O segmento de fitoterápicos brasileiro encontra-se em pleno crescimento<sup>42</sup>. Em 2003, o faturamento alcançou R\$ 384.116.000,00; enquanto que em 2006 este valor foi ultrapassado para R\$ 543.261.000,00. O desempenho deste mercado, com o respaldo da legislação sanitária, vinha sinalizando para uma nova estratégia com o uso de extratos parciais, caracterizados por um maior valor agregado e pela constância de qualidade, por meio da padronização, e com indicações clinicamente comprovadas. O que significa dizer que um crescimento das monodrogas no contexto do mercado de fitomedicamentos era esperado. Na Tabela 7.31 apresenta-se a participação de espécies vegetais no total de vendas de produtos classificados como monodrogas no período 2003 a 2006.

**Tabela 7.31:** Participação de espécies vegetais no total de vendas de produtos classificados como monodrogas

Espécies vegetais	2003	2004	2005	2006
Ginkgo biloba	36,9%	32,2%	31,2%	29,3%
Plantago ovata	19,0%	19,3	17,7%	17,0%
Hedera helix	0,7%	4,4%	5,7%	7,7%
Valeriana officinalis	5,3%	6,5%	6,8%	6,2%
Melilotus officinalis	0,8%	3,4%	4,5%	5,2%
Mentha crispa	3,0%	4,6%	4,6%	4,1%
Trifolium pratense	6,2%	4,8%	4,3%	3,5%
Cynara scolymus	3,5%	4,2%	3,5%	3,4%
Hypericum perforatum	4,7%	3,4%	2,8%	2,7%
Verbena officinalis (Codia verbenacea DC.)	0,0%	0,0%	1,0%	2,3%
Dez espécies (> Fat 06)	R\$ 123.085.727,06			81,4%
Demais espécies vegetais	R\$ 30.712.341,71			18,6%
Total do mercado de monodrogas	R\$ 153.798.068,77			100%

Fonte: Freitas, 2007.

<sup>40</sup> Corrêa; Alves. Plantas medicinais como alternativa de negócios: caracterização e importância. 2008. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/418.pdf>>. Acesso em jan. 2010.

<sup>41</sup> Lourenzani et al. Barreiras e oportunidades na comercialização de plantas medicinais provenientes da agricultura familiar. Revista Informações Econômicas, v.34, n.3, p.15-25. 2004.

<sup>42</sup> Freitas, A. Estrutura de mercado do segmento de fitoterápicos no contexto atual da indústria farmacêutica brasileira. Ministério da Saúde, p.1-15. 2007.



Um levantamento realizado em 2008 nas páginas da Anvisa e da Visalegis indicam um total de 512 medicamentos fitoterápicos registrados, sendo 80 fitoterápicos associados e 432 simples, ou seja, obtidos de derivados de apenas uma espécie vegetal. Entre os medicamentos fitoterápicos registrados, as principais formas farmacêuticas cadastradas foram as cápsulas com 41,10%, seguido de comprimidos (20,62%), solução oral (12,82%), xarope (4,50%), drágeas (4%), elixir (2,25%), tintura (2,10%) e outras (6,40%). Percebe-se com isso a predominância pelas formas farmacêuticas sólidas no registro de fitoterápicos. Neste mesmo ano, 162 espécies vegetais apresentavam derivados registrados.

As espécies vegetais com maior número de registros encontram-se dispostas na Tabela 732. Com relação à distribuição geográfica 28,40% são espécies asiáticas; 27,16% européias; 25,92% da América do Sul, incluindo as espécies brasileiras; 19,75% da América do Norte e/ou Central e 8% africanas. As somas dos dados estão maiores que 100% em virtude de algumas espécies ocorrerem em mais de uma região.

Encontram-se na Tabela 733 as espécies com origem brasileira ou sul-americana com maior número de registros e com as respectivas indicações terapêuticas. Nas Tabelas 734 estão relacionadas todas as espécies vegetais registradas como fitoterápicos simples, distribuídas de acordo com sua classificação terapêutica. Além das espécies vegetais com derivados registrados como fitoterápicos simples, há ainda 83 espécies vegetais cujos derivados possuem registro exclusivamente como fitoterápico associado, são elas: *Aconitum napellus*, *Adonis vernalis*, *Aloe ferox*, *Alpinia officinarum*, *Anacardium occidentale*, *Anemopaegma mirandum*, *Angelica archangelica*, *Apodanthera smilacifolia*, *Artemisia absinthium*, *Baccharis genistelloides*, *Baccharis trimera*, *Berberis laurina*, *Caesalpinia ferrea*, *Carduus marianus*, *Carina brasiliensis*, *Carum carvi*, *Caryophyllus aromaticus*, *Casearia sylvestris*, *Cassia fistula*, *Centaurium erythraea*, *Cereus grandiflorus*, *Cereus peruvianus*, *Chamomilla recutita*, *Chondrodendron platyphyllum*, *Cinchona calisaya*, *Cinnamomum cassia*, *Cinnamomum zeylanicum*, *Citrus aurantium*, *Citrus limetta*, *Cola nitida*, *Commyphora myrrha*, *Convolvulus scammonia*, *Coriandrum sativum*, *Davilla rugosa*, *Dorstenia multiformis*, *Echinacea pallida*, *Echinodorus macrophyllum*, *Erythrina mulungu*, *Eucalyptus citriodora*, *Foeniculum vulgare*, *Gentiana lutea*, *Gossypium herbaceum*, *Humulus lupulus*, *Hydrastis canadensis*, *Hyosciamus niger*, *Illicium verum*, *Jacaranda caroba*, *Jateorhiza palmata*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus Sabina*, *Lantana camara*, *Lavandula officinalis*, *Leptolobio elegans*, *Luffa operculata*, *Marsdenia cundurango*, *Myrospermum erythroxyllum*, *Myroxylon balsamum*, *Nasturtium officinale*, *Operculina macrocarpa*, *Passiflora alata*, *Peltodon radicans*, *Periandra mediterranea*, *Physalis angulata*, *Picrasma crenata*, *Pimpinella anisum*, *Pinus palustris*, *Piptadenia colubrina*, *Plantago major*, *Plumeria lancifolia*, *Polygala senega*, *Polygonum hidropiper*, *Ptychopetalum olacoides*, *Remijia ferruginea*, *Rheum officinale*, *Rheum palmatum*, *Roripa nasturtium*, *Ruta graveolens*, *Solanum paniculatum*, *Tamarindus indica*, *Trianosperma tayuya*, *Trichilia catigua*, *Uncaria gambir* e *Viburnum prunifolium*.

Com relação às empresas cadastradas (total 119), constata-se uma grande concentração na região Sudeste do país (62%), seguida da região Sul (22%) de número de registros concedidos pelas mesmas. Observa-se também que as participações das regiões Norte (2%), Nordeste (6%) e Centro-Oeste (8%) são ainda muito pequenas. A partir desses dados, é possível notar que a indústria de fitoterápicos segue um padrão de desenvolvimento e distribuição bem próximo da indústria de medicamentos sintéticos, concentrando-se nas regiões Sudeste e Sul do país<sup>43</sup>.

**Tabela 7.32:** Espécies vegetais com maior número de derivados registrados como fitoterápicos simples

Espécie vegetal	Número de registros
Ginkgo biloba (Ginkgo)	33
Aesculus hippocastanum (Castanha da Índia)	29
Cynara scolymus (Alcachofra)	21
Hypericum perforatum (Hipérico)	20
Glycine max (Soja)	20
Valeriana officinalis (Valeriana)	20
Panax ginseng (Ginseng)	17
Cassia angustifolia, Cassia senna e Senna alexandrina (Sene)	14
Cimicifuga racemosa (Cimicífuga)	14
Mikania glomerata (Guaco)	14
Maytenus ilicifolia (Espinheira Santa)	13
Peumus boldus (Boldo)	13

Fonte: Carvalho et al., 2008.

<sup>43</sup> Carvalho, A. C. B. et al. Situação do registro de medicamentos fitoterápicos no Brasil. Revista Brasileira de Farmacognosia, v.18, n.2, p.314-319. 2008.



**Tabela 7.33:** Espécies vegetais nativas mais registradas como fitoterápicos simples e respectiva indicação terapêutica

Planta	Número de registros	Indicação terapêutica
Mikania glomerata (Guaco)	14	Expectorante, broncodilatador
Maytenus ilicifolia (Espinheira Santa)	13	Dispepsias, coadjuvante no tratamento de úlceras gástricas
Paullínia cupana (Guaraná)	12	Astenia, estimulante do Sistema Nervoso Central

Fonte: Carvalho *et al.*, 2008.

**Tabela 7.34:** Classificação de acordo com a principal categoria terapêutica comprovada no registro

Categoria terapêutica	Nomenclatura botânica
Analgésicos contra enxaqueca	<i>Tanacetum parthenium</i>
Analgésicos	<i>Salix alba</i>
Andrógênio	<i>Tribulus terrestris</i>
Ansiolíticos simples	<i>Valeriana officinalis</i> , <i>Piper methysticum</i> , <i>Passiflora incarnata</i> , <i>Melissa officinalis</i> , <i>Matricaria recutita</i>
Antiagregante plaquetário	<i>Ginkgo biloba</i>
Antialérgicos	<i>Glycyrrhiza glabra</i> , <i>Petasites hybridus</i>
Antiarrítmico	<i>Crataegus oxyacantha</i>
Antidepressivos	<i>Hypericum perforatum</i>
Antieméticos e antinauseantes	<i>Zingiber officinale</i>
Antiespasmódico	<i>Atropa belladonna</i> , <i>Fumaria officinalis</i> , <i>Matricaria recutita</i> , <i>Melissa officinalis</i> , <i>Mentha piperita</i> , <i>Papaver somniferum</i> , <i>Peumus boldus</i>
Anti-hemorroidários (tópico)	<i>Hamamelis virginiana</i>
Antilipêmicos	<i>Allium sativum</i> , <i>Oryza sativa</i>
Antiinflamatórios (oral)	<i>Borago officinalis</i> , <i>Boswellia serrata</i> , <i>Cassia occidentalis</i> , <i>Harpagophytum procumbens</i> , <i>Oenothera biennis</i> , <i>Uncaria tomentosa</i>
Antiinflamatórios (tópico)	<i>Calendula officinalis</i> , <i>Capsicum annum</i> , <i>Cordia verbenacea</i> , <i>Matricaria recutita</i> , <i>Uncaria tomentosa</i>
Antiparasitários	<i>Mentha crisper</i>
Anti-sépticos urinários simples	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>
Antiulcerosos	<i>Maytenus ilicifolia</i>
Antivariicosos de ação sistêmica, inclusive anti-hemorroidário	<i>Aesculus hippocastanum</i> , <i>Hamamelis virginiana</i> , <i>Melilotus officinalis</i> , <i>Ruscus aculeatus</i>

Categoria terapêutica	Nomenclatura botânica
Antivertiginoso	Ginkgo biloba
Cicatrizante (tópico)	Aloe vera, Calendula officinalis, Stryphnodendron barbatiman
Climatério (coadjuvante no alívio dos sintomas)	Cimicifuga racemosa, Glycine Max, Trifolium pratense
Colagogos e coleréticos	Peumus boldus, Cynara scolymus, Rosmarinus officinalis
Demulcentes e outros medicamentos de uso oral p/ tratamento de orofaringe	Malva sylvestris
Diuréticos	Equisetum arvense, Orthosiphon stamineus
Expectorantes	Ananas comosus, Eucalyptus globulus, Hedera helix, Mentha piperita, Mikania glomerata, Sambucus nigra
Imunomodulador	Echinacea purpurea
Colagogo, colerético e hepatoprotetor	Silybum marianum
Iodoterapia	Fucus vesiculosus
Laxante irritantes ou estimulantes	Senna alexandrina, Rhamnus purshiana, Operculina alata
Laxantes incrementadores do bolo intestinal	Plantago ovata, Plantago psyllium
Medicamentos com ação no aparelho visual	Cineraria maritima
Melanzante	Brosimum gaudichaudii
Moduladores do apetite e produtos para dietas especiais	Garcinia cambogia
Outros produtos com ação na pele e mucosas	Arnica montana
Outros produtos com ação no trato urinário	Pygeum africanum, Serenoa repens
Outros produtos com ação sobre o aparelho cardiovascular	Centella asiatica, Vaccinium myrtillus, Vitis vinifera
Outros produtos para o aparelho respiratório	Pelargonium sidoides, sambucus nigra
Outros produtos para uso em ginecologia e obstetrícia	Vitex agnus-castus
Produtos ginecológicos anti-infecciosos tópicos simples	Schinus terebenthifolius, Triticum vulgare
Psicoanalético	Paullinia cupana, Rhodiola rosea, Panax ginseng
Vasodilatadores	Ginkgo biloba

Fonte: Carvalho *et al.*, 2008.



Com relação ao segundo segmento - biopesticidas de origem vegetal - Desde 1985, a Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde publica as monografias dos pesticidas que apresentam registro para uso no Brasil, informando os respectivos valores de Limites Máximos de Resíduos (LMR) nos alimentos, oriundos das culturas em que estão sendo registradas. No início os dados técnicos exigidos para o registro do produto eram limitados e os LMR eram fornecidos pelos fabricantes.

Em 1989, a Lei Número 7.802 e seus decretos regulamentares criaram novos parâmetros de registro de pesticidas no Brasil e incluíram o estabelecimento de LMR baseados em estudos supervisionados em campo e utilizando as boas práticas agrícolas praticadas no país<sup>44</sup>. Esta lei determina que o certificado de registro de pesticidas e afins deve ser concedido por órgãos federais específicos das áreas de uso produto, desde que atendidas às diretrizes e exigências estabelecidas pelos seguintes órgãos: Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA); Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e Instituto Brasileiro de Meio e dos Recursos Renováveis (Ibama). O MAPA registra produtos agrícolas de áreas cultivadas, florestas plantadas e pastagens; a Anvisa registra produtos destinados ao uso em ambientes urbanos, industriais, domiciliares, públicos ou coletivos, ao tratamento de água e ao uso em campanhas de saúde pública e o Ibama, produtos destinados em ambientes hídricos, proteção de florestas nativas e outros ecossistemas<sup>45</sup>.

Posteriormente, com o objetivo de agilizar e permitir maior transparência ao processo de análise técnica e registro de pesticidas na Anvisa, Ibama e MAPA, foi instituído o Sistema Integrado de Informações sobre Agrotóxicos (SAI), por meio do Art. 94 do decreto Número 4.074, de 4 de janeiro de 2002, no qual estão registrados as monografias de 476 ingredientes ativos. Entre os pesticidas com registro para uso com maior número de princípios ativos, encontram-se herbicidas (142), inseticidas (141), fungicidas (114) e os acaricidas (63)<sup>46</sup>.

A utilização de biopesticidas com atividades inseticidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas e repelentes tem merecido destaque entre os métodos alternativos ao controle químico convencional, devido aos aspectos de segurança e pela necessidade de conservação do equilíbrio do agroecossistema<sup>47</sup>. O crescente interesse por biopesticidas se deve também ao elevado número de aplicações de defensivos químicos sintéticos na agricultura. Como consequência dessas aplicações, principalmente nos frutos que geralmente são consumidos *in natura*, citam-se os altos índices de resíduos

<sup>44</sup> Brasil. Lei n.7802, de 11 de julho de 1989. Disponível em: <<http://www3.dataprev.gov.br/SISLEX/paginas/42/1989/7802.htm>>. Acesso em dez 2009.

<sup>45</sup> Ribeiro, M. L. et al. Pesticidas: usos e riscos para o meio ambiente. *Holos Environment*, v.8, n.1, p.53-71. 2008.

<sup>46</sup> Ribeiro, M. L. et al. *Ibid.* 2008.

<sup>47</sup> Vilela, E. F. Produtos naturais no manejo de pragas. In: *Workshop sobre produtos naturais no controle de pragas, doenças e plantas daninhas*. Embrapa/CNPDA, 1990. p.15-18.

de pesticidas sintéticos que colocam em risco a saúde do consumidor, contaminam o meio ambiente e, por fim, dificultam ou até mesmo impedem a exportação de frutos, em razão das restrições impostas pelo mercado externo. Por outro lado, as aplicações excessivas de defensivos têm levado a erradicação de inimigos naturais, que auxiliam na manutenção do equilíbrio das populações de pragas secundárias e favorece o desenvolvimento da resistência das pragas aos inseticidas utilizados, colocando em risco a sustentabilidade da cultura em longo prazo<sup>48, 49</sup>.

Para estimular a produção e a aplicação de biopesticidas de origem vegetal, o Ministério da Agricultura, um dos três órgãos responsáveis pelo registro de defensivos agrícolas no país - os outros são o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) - lançou uma campanha para acelerar os trâmites da etapa burocrática da validação dos biodefensivos. O tempo para o registro de um defensivo biológico tenderá a ser metade do de um químico e a lei estabelece que produtos de baixa toxicidade e periculosidade terão que ser priorizados<sup>50</sup>.

Em termos estatísticos, o Brasil, em 2003, foi classificado como oitavo país entre os maiores consumidores de pesticidas e o quarto mercado de pesticidas do mundo<sup>51,52</sup>. Segundo a Anvisa, em 2006, o Brasil passou a ser classificado como segundo maior consumidor do mundo.

Apesar da escassez de informações sobre o mercado de biopesticidas no Brasil, dados publicados revelam que em um universo de 1,4 mil agrotóxicos registrados, apenas 16 são biológicos. No momento, em contrapartida, estão em andamento ao menos 50 processos para registros de novos produtos biológicos. O contingente atual dos biológicos representa apenas 1,14% do total de defensivos registrados no país. Se todos os 50 forem aprovados, essa fatia passará a 4,55%. Há de se reconhecer que a parcela ainda é marginal, mas, com os novos registros, o número de defensivos biológicos no mercado será mais que quadruplicado em um curto espaço de tempo<sup>53</sup>.

48 Guimaraes, J. A. et al. Recomendações para o manejo das principais pragas do meloeiro na Região do Semi-árido nordestino. Embrapa Agroindústria Tropical, 9p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 24). 2005.

49 Gonçalves, M.E.C.; Bleicher, E. Uso de extratos aquosos de nim e azadiractina via sistema radicular para o controle de mosca-branca em meloeiro. Revista Ciência Agronômica, v.37, n.2, p.182-187. 2006.

50 Cruz, P. Indústrias investem em defensivos biológicos. 2009. ABIN. Disponível em: <<http://www.abin.gov.br/modules/articles/article.php?id=4913>>. Acesso em dez 2009.

51 Caldas, E. D.; Souza. Avaliação de risco crônico na ingestão de resíduos de pesticidas na dieta brasileira. Revista Saúde Pública, v.34, n. 5, p. 529-537.2000.

52 Rodrigues, N. R. Agrotóxicos: Análises de resíduos e monitoramento. 2006. Disponível em: <[http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos\\_07/a\\_09\\_7.pdf](http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_07/a_09_7.pdf)>. Acesso em dez 2009.

53 Cruz, P. Indústrias investem em defensivos biológicos. 2009. ABIN. Disponível em: <<http://www.abin.gov.br/modules/articles/article.php?id=4913>>. Acesso em dez 2009.



Finalmente, com relação ao terceiro segmento – aromas e fragrâncias – o mercado brasileiro de flavors, essência usada pelos fabricantes de bebidas e alimentos para dar sabor aos produtos, está desenvolvendo novas soluções para atender a uma demanda maior de consumidores. O setor está com foco na produção flavors de alta qualidade e mais nutricional<sup>54</sup>.

O mercado de aromas e fragrâncias no Brasil é impulsionado pelos setores de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos que apresentou um crescimento médio composto deflacionado de 10,6% nos últimos 13 anos, tendo passado de um faturamento “ExFactory”, líquido de imposto sobre vendas, de R\$ 4,9 bilhões em 1996 para R\$ 21,7 bilhões em 2008.

A queda das vendas em dólares no período entre 1999 e 2002 deveu-se a desvalorização do real, que sofreu valorização de 1994 a 1996, devido à utilização como âncora no controle inflacionário após a implantação do Plano Real em meados de 1994. A partir de 2003 o real passou a ser novamente valorizado vigorosamente até 2007. O forte crescimento em dólar nos anos recentes foi motivado por esta valorização do real, em conjunto com o crescimento deflacionado no mercado interno superior a dois dígitos. Vários fatores têm contribuído para este excelente crescimento do setor, entre os quais destacam-se: (i) participação crescente da mulher brasileira no mercado de trabalho; (ii) utilização de tecnologia de ponta e o conseqüente aumento da produtividade, favorecendo os preços praticados pelo setor, que têm aumentos menores do que os índices de preços da economia em geral; (iii) lançamentos constantes de novos produtos, buscando atender cada vez mais às necessidades do mercado; e (iv) aumento da expectativa de vida, o que traz a necessidade de conservar uma aparência e imagem de juventude<sup>55</sup>.

Dados de mercado levantados até 2008 mostram que os setores de perfumaria, cosmética, higiene e limpeza vêm apresentando elevado potencial de crescimento, com exportações nos últimos anos aumentando em mais de 20% (US\$ 647.000 milhões). Para o mesmo período, constata-se que as importações de insumos (óleos essenciais, óleos-resina, resinóides, entre outros) para os referidos segmentos elevaram-se em mais de 24 % (US\$ 465.000 milhões)<sup>56,57</sup>.

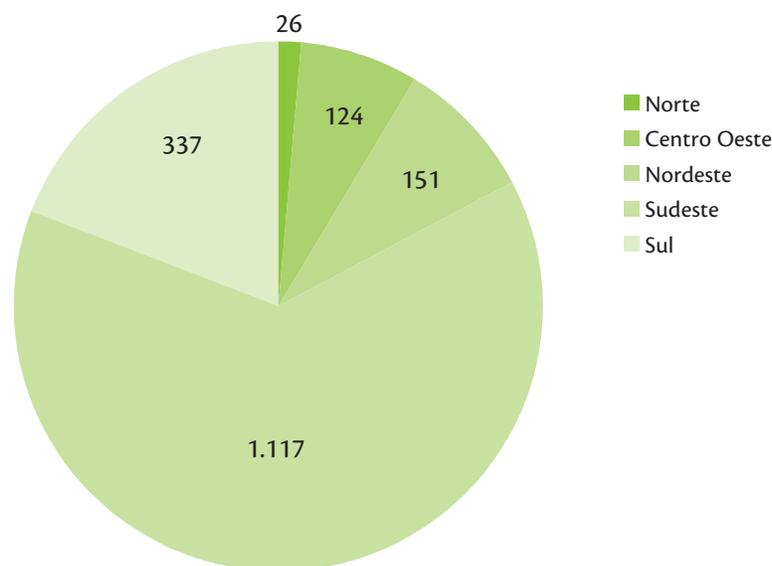
54 Pimenta, R. Mercado brasileiro de flavors em crescimento. 2007. Disponível em: <[http://www.pimenta.com/lermais\\_materias\\_php?cd\\_materias=3090](http://www.pimenta.com/lermais_materias_php?cd_materias=3090)>. Acesso em dez 2009.

55 ABIHPEC. Panorama do setor higiene pessoal, perfumaria e cosméticos. 2009. Disponível em: <[http://www.abihpec.org.br/conteudo/Panorama2009\\_Portugues.pdf](http://www.abihpec.org.br/conteudo/Panorama2009_Portugues.pdf)>. Acesso em dez. 2009.

56 Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. ABIHPEC. Panorama do setor higiene pessoal, perfumaria e cosméticos. 2008. Disponível em <[http://www.abihpec.org.br/noticias\\_texto.php?](http://www.abihpec.org.br/noticias_texto.php?)>. Acesso em dez 2009.

57 Guerrero, A. E. Cosméticos. 2008. Disponível em: <[http://www.finep.gov.br/PortalDPP/relatorio\\_setorial/impressao\\_relatorio.asp?lst\\_setor=28](http://www.finep.gov.br/PortalDPP/relatorio_setorial/impressao_relatorio.asp?lst_setor=28)>. Acesso em dez 2009.

Existem no Brasil 1.755 empresas atuando no mercado de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, sendo que 14 empresas de grande porte, com faturamento líquido de impostos acima dos R\$ 100 milhões, representando 73,4% do faturamento total. As empresas estão distribuídas por região/estado, conforme é mostrado na Figura 7.9<sup>58</sup>.



**Figura 7.9:** Distribuição regional das empresas fabricantes de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos

A Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Essenciais, Produtos Químicos Aromáticos, Fragrâncias, Aromas e Afins (Abifra) tem como objetivos promover ações para o fortalecimento da indústria nacional, divulgando padrões internacionais de qualidade e segurança dos produtos junto ao seu mercado, consumidores e governo. A Abifra é filiada a duas organizações internacionais: a International Fragrance Association (Ifra) e a International Organization of the Flavour Industry (IOFI), representando o setor de fragrâncias e de aromas, respectivamente. Ambas financiam e implementam programas científicos que visam estabelecer as boas práticas de fabricação nesse segmento e garantir o uso seguro de seus produtos. São associadas 47 empresas que fornecem insumos aromáticos para as cadeias produtoras de cosméticos, saneantes, alimentos e bebidas (Tabela 7.35)<sup>59</sup>.

<sup>58</sup> Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. ABIHPEC. Ibid. 2008.

<sup>59</sup> Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Essenciais, Produtos Químicos Aromáticos, Fragrâncias, Aromas e Afins. (Abifra). Empresas associadas. Disponível em: <<http://www.abifra.org.br/associadosLC.htm>>. Acesso em dez 2009.



**Tabela 7.35:** Empresas de aromas, fragrâncias, óleos essenciais e de produtos químicos aromáticos associadas da Abifra

Empresa	Cidade/Estado	Homepage	Área
Apliquímica Aplicações Quím. Especiais Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.apliquimica.com.br">www.apliquimica.com.br</a>	[A]
Aromaty Essências e Fragrâncias Ltda.	Cajamar/SP	<a href="http://www.aromaty.com.br">www.aromaty.com.br</a>	[F]
Aromax Ind. Com. Ltda.	Pindamonhangaba/SP	<a href="http://www.aromax.com.br">www.aromax.com.br</a>	[A]
Belmay Fragrâncias Ind. Com. Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.belmay.com.br">www.belmay.com.br</a>	[F]
Capuani do Brasil Ltda.	Cruz Alta Tietê/SP	<a href="http://www.capuani.com.br">www.capuani.com.br</a>	[F][OE][PQA]
Cargill Agrícola S.A.	Cosmópolis/SP	<a href="http://www.cargill.com.br">www.cargill.com.br</a>	[OE][PQA]
Carlos Cramer Prods Aromáticos do Brasil Ltda.	Araras/SP	<a href="http://www.cramerbrasil.com.br">www.cramerbrasil.com.br</a>	[A][F]
Citral Óleos Essenciais Ltda.	Barueri/SP	<a href="http://www.citral-oe.com.br">www.citral-oe.com.br</a>	[OE][PQA]
Citromax Essências Ltda.	Guarulhos/SP	<a href="http://www.citromax.com.br">www.citromax.com.br</a>	[A][OE][PQA]
Dohler América Latina Ltda.	Limeira/SP	<a href="http://br.doehier.com/br/home">br.doehier.com/br/home</a>	[A]
Drom International Fragrâncias Ind. e Com. Ltda	Charqueada/SP	<a href="http://www.drom.com">www.drom.com</a>	[F]
Duas Rodas Industrial Ltda.	Jaraguá do Sul/SC	<a href="http://www.duasrodas.com.br">www.duasrodas.com.br</a>	[A][OE]
FAV 105 Frangrances Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.fav105.com.br">www.fav105.com.br</a>	[F]
Firmenich & Cia. Ltda.	Cotia/SP	<a href="http://www.firmenich.com">www.firmenich.com</a>	[A][F][PQA]
Fortibras Comercial Industrial Ltda.	Jaguariúna/SP	<a href="http://www.fortinbras.com.br">www.fortinbras.com.br</a>	[F]
Fransflor Aromatizantes Ltda.	Diadema/SP	<a href="http://www.transflor.com.br">www.transflor.com.br</a>	[F][OE]
Frutarom do Brasil Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.frutarom.com">www.frutarom.com</a>	[OE][PQA]
Geroma do Brasil Ind. Com. Ltda.	Ponta Grossa/PR	<a href="http://www.geroma.com.br">www.geroma.com.br</a>	[PQA]
Givaudan do Brasil Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.givaudan.com">www.givaudan.com</a>	[A][F][OE]
Givaudan do Brasil Indústria e Comércio de Aromas e Fragrâncias Ltda.	Vinhedo/SP	<a href="http://www.givaudan.com">www.givaudan.com</a>	[A][F][OE]
Glamir Import. Prod. Químicos Ltda-EPP.	São Paulo/SP	<a href="http://www.glamir.com.br">www.glamir.com.br</a>	[F][PQA]
IFF Essências e Fragrâncias Ltda.	Barueri/SP	<a href="http://www.iff.com">www.iff.com</a>	[A][F][OE][PQA]
Isan Essências e Aromas Ltda.	Jandira/SP	<a href="http://www.isan.com.br">www.isan.com.br</a>	[F]
Kerry Ingredientes e Aromas.	Barueri/SP	<a href="http://www.kerry.com.br">www.kerry.com.br</a>	[A]

Empresa	Cidade/Estado	Homepage	Área
Lapiendrius Flavors.	Itaquaquecetuba/SP	<a href="http://www.lapiendrius.com.br">www.lapiendrius.com.br</a>	[A]
L'Essence Fragrances.	Itaquaquecetuba/SP	<a href="http://www.lesence.com.br">www.lesence.com.br</a>	[F]
Liberty Fragrâncias Ltda.	Carapicuíba/SP	<a href="http://www.libertyfragrancias.com.br">www.libertyfragrancias.com.br</a>	[F]
Majufran Indústria e Comércio	Parapuã/SP	<a href="http://www.majufran.com.br">www.majufran.com.br</a>	[A]
Mane do Brasil Ind. e Com. Ltda.	Rio de Janeiro/RJ	<a href="http://www.mane.com.br">www.mane.com.br</a>	[A][F]
Memphis S/A Industrial	Porto Alegre/RS	<a href="http://www.memphisbr.com">www.memphisbr.com</a>	[F]
Milenia Agrociências S.A.	São Paulo/SP	E-mail: <a href="mailto:fatima.a@agricur.com.br">fatima.a@agricur.com.br</a>	[PQA]
Natura Inovação e Tecnologia de Prods. Ltda.	Cajamar/SP	<a href="http://www.natura.net">www.natura.net</a>	[F]
Norscent Fragrâncias e Aromas Ltda.	Recife/PE	<a href="http://www.norscent.com.br">www.norscent.com.br</a>	[A][F]
Ottens Flavors do Brasil Ltda.	Cotia/SP	<a href="http://www.ottens.com.br">www.ottens.com.br</a>	[A]
Petite Marie Química Fina Ind. e Com. de Prod. Quims. Ltda.	Itaquaquecetuba/SP	<a href="http://www.petitmarie.com.br">www.petitmarie.com.br</a>	[F][PQA]
Phytoessence Fragrâncias Ltda.	Barueri/SP	<a href="http://www.phytoessencefragrancias.com.br">www.phytoessencefragrancias.com.br</a>	[F]
Primola Fragrâncias Ind. e Comércio Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.primolasul.com.br">www.primolasul.com.br</a>	[F]
Proaroma Indústria e Comércio Ltda.	Diadema/SP	<a href="http://www.proaroma.com.br">www.proaroma.com.br</a>	[A]
Race Cosméticos Ltda.	Rio de Janeiro/RJ	<a href="http://www.raceessencias.com.br">www.raceessencias.com.br</a>	[F]
Rai Ingredientes Aromas e Fragrâncias Ltda.	Bernardo do Campo/SP	<a href="http://www.ralingredients.com.br">www.ralingredients.com.br</a>	[A][F][PQA]
Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.rhodia.com.br">www.rhodia.com.br</a>	[PQA]
Robertet do Brasil Ind. Com. Ltda.	Barueri/SP	<a href="http://www.robertet.com">www.robertet.com</a>	[A][F]
Sabores, Aromas e Fragrâncias Ltda.	Duque de Caxias/RJ	<a href="http://www.saboresearomas.com.br">www.saboresearomas.com.br</a>	[A]
Saporati do Brasil Ltda.	Pinhais/PR	<a href="http://www.saporiti.com.br">www.saporiti.com.br</a>	[A][OE]
Symrise Aromas e Fragrâncias Ltda.	São Paulo/SP	<a href="http://www.symrise.com">www.symrise.com</a>	[A][F][PQA]
Takasago Fragrâncias e Aromas e Ltda.	Cajamar/SP	<a href="http://www.takasago.com">www.takasago.com</a>	[A][F][PQA]
Ventós do Brasil Ltda.	Cotia/SP	<a href="http://www.ventos.com">www.ventos.com</a>	[PQA][OE]

Legenda: A = Aromas; F = Fragrâncias; OE = Óleos Essenciais; PQA = Produtos Químicos Aromáticos.



Com a intensificação competitiva dos setores de perfumaria, cosmética, farmacêutica, higiene e limpeza, alimentícia e de bebidas, as empresas brasileiras de aromas e fragrâncias têm elevado nos últimos anos a importação de óleos essenciais, principalmente de países como a França, Estados Unidos, Paraguai, Argentina, China e Vietnã, em razão da qualidade, variabilidade e disponibilidade ao nível comercial de novas essências naturais.

Apesar das pesquisas mostrarem a elevada biodiversidade brasileira de plantas aromáticas, com milhares de espécies já identificadas como produtoras de essências, pouquíssimos trabalhos fitoquímicos envolvendo avaliação do potencial olfativo e toxicológico com a participação das indústrias de aromas e fragrâncias instaladas no país têm sido realizados. Este fato vem dificultando as chances de redução de importação, bem como a descoberta de novas essências tão demandadas pelas referidas empresas. Em consequência, têm-se proporcionado a subutilização da flora brasileira, que além de não trazer nenhuma contribuição efetiva de geração de renda para população, poderá proporcionar a extinção de várias espécies vegetais, devido à falta de conhecimento do potencial aromático<sup>60, 61, 62</sup>.

O país destaca-se no ranking da produção mundial de óleos essenciais, mas sofre de problemas crônicos como falta de manutenção do padrão de qualidade dos óleos, representatividade nacional e baixos investimentos governamentais no setor, que levam ao quadro estacionário observado. Recentemente, foi fundada a Associação Brasileira de Produtores de Óleos Essenciais com os objetivos de estreitar o relacionamento entre produtores e centros de pesquisa nacionais para agregar qualidade aos óleos por meio de pesquisa e estudos de padronização; fornecer dados atualizados de mercado e representar a área frente aos órgãos e programas governamentais<sup>63</sup>.

Pela complexidade do tema e magnitude das possibilidades de desenvolvimento de produtos fitoquímicos frente à megabiodiversidade brasileira, optou-se por apresentar neste estudo somente um quadro atual da produção científica, propriedade intelectual e aspectos de mercado referentes aos segmentos: fitoterápicos, biopesticidas de origem vegetal e aromas e fragrâncias. A definição dos respectivos tópicos tecnológicos e análises prospectivas dos referidos segmentos deverão ser objeto de estudo posterior, envolvendo especialistas representantes do governo, da academia e de empresas.

**60** Garcia, R. Internacionalização comercial e produtiva na indústria de cosméticos: desafios competitivos para empresas brasileiras. *Revista Produção*, v. 15, n. 2, p.158-171. 2005.

**61** Mattoso, E. Estudo de fragrâncias amadeiradas da Amazônia. Universidade Estadual de Campinas, Dissertação (Mestrado). 148 p. 2005.

**62** Kato, V. Uso de óleos essenciais inovadores da biodiversidade brasileira para a perfumaria fina e o desenvolvimento sustentável. 2004. *Natura*. Disponível em < <http://www.iac.sp.gov.br/sboe2005/SergioGallucci.pdf> >. Acesso em dez 2009.

**63** Bizzo, H. R.; Hovell, A. M. C.; Rezende, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

### 7.3. Tópicos associados ao tema

O conjunto de tópicos tecnológicos deverá ser definido em função das informações constantes nos panoramas mundial e nacional apresentados nas seções anteriores. Constituirão desdobramentos dos três grupos principais da fitoquímica, a saber: fitoterápicos, aromas e fragrâncias e biopesticidas de origem vegetal. Para a seleção dos tópicos tecnológicos recomenda-se a ênfase naqueles tópicos que possam ser alvos de políticas públicas e objetos de projetos de P,D&I no âmbito da futura Rede Brasileira de Química Verde.

### 7.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010- 2030

A construção do mapa tecnológico em nível mundial deverá seguir a proposta metodológica e formatação gráfica apresentadas na Seção 3.2 do Capítulo 3. A representação gráfica do mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “fitoquímica” no mundo visa comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.

### 7.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A construção do mapa tecnológico em nível nacional deverá seguir a proposta metodológica e representação gráfica apresentadas na Seção 3.2 do Capítulo 3. A representação gráfica do mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “fitoquímica” no Brasil tem por objetivo analisar as vantagens competitivas potenciais para o país, em comparação com o cenário tecnológico mundial, principalmente no curto e médio prazo. Deverão ser comentados os destaques e pontos críticos do mapa.

A partir dessa análise, o próximo passo é construir o *portfolio* tecnológico estratégico do tema “fitoquímica”, no qual os tópicos associados deverão ser classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil. A representação genérica e as orientações metodológicas para a construção do portfólio encontram-se também na Seção 3.3 do Capítulo 3.



## 7.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

A análise dos principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “fitoquímica” no Brasil deverá ser conduzida na perspectiva de correlacionar condicionantes econômicos, regulatórios, políticos, tecnológicos, ambientais, sociais e éticos aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilizarão o desenvolvimento dos três segmentos da fitoquímica nos períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030 (Capítulo 13). A visão de futuro a ser construída para o Brasil, no que se refere à geração de novos conhecimentos e inovações no tema “fitoquímica” nesses horizontes temporais estará sujeita, portanto, a tais condicionantes.





## 8. Bioprodutos, biocombustíveis e bioprocessos<sup>64</sup>

Este Capítulo tem por objetivo discutir a dinâmica de desenvolvimento da indústria baseada em biomassa, caracterizando o seu estágio atual e suas perspectivas de evolução no contexto do desenvolvimento da Química Verde. A compreensão da trajetória evolutiva como um processo de inovação pode servir de base à formulação de políticas públicas com vistas ao posicionamento do país em um ambiente de amplas oportunidades. Mais particularmente, ao planejamento de estratégias para a futura Rede Brasileira de Química Verde, como abordado neste estudo prospectivo.

### 8.1. Biocombustíveis, bioprodutos e bioprocessos no contexto do desenvolvimento da Química Verde

Biocombustíveis, bioprodutos e bioprocessos são vistos de forma integrada dentro de um processo de competição entre múltiplas alternativas tecnológicas colocadas em jogo por empresas e investidores com recursos, estratégias e objetivos diferentes, apoiados muitas vezes por políticas governamentais dirigidas para o setor. Trata-se da construção de uma nova indústria – a indústria de biocombustíveis e bioprodutos – cuja conformação, bastante diferente da indústria hoje existente, está sendo gerada no processo de inovação que se pretende abordar no presente estudo.

Diversos fatores podem ser vistos como determinantes do interesse crescente pela utilização de matérias-primas renováveis. Esses fatores sugerem que o processo tem perspectiva de vir a ter peso importante na indústria no decorrer do século XXI. Podem ser citados como fatores de maior peso: (i) o potencial da biologia industrial ou *white biotechnology*, (ii) as restrições ambientais ao uso de matérias-primas fósseis, (iii) a orientação das estratégias empresariais; (iv) a perspectiva da inovação tecnológica como saída de crises.

A biologia está se tornando um poderoso vetor de dinamismo da economia mundial, como base da inovação no século XXI. A evolução dos conhecimentos em biologia contribui para maior utilização das biomassas, seja na preparação e produção de matérias-primas ou nas tecnologias de conversão. Novos conhecimentos baseados em engenharia genética, novos processos fermentativos e enzimáticos estarão crescentemente disponíveis.

<sup>64</sup> Este capítulo foi elaborado por José Vitor Bomtempo e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.

A questão ambiental é sem dúvida outro fator de peso no aumento do interesse pelas matérias-primas renováveis. Apesar das dificuldades políticas que têm cercado as decisões dos grandes foros internacionais, pode ser tomada como consensual a idéia de que as restrições ambientais ao uso de tecnologias que contribuam para o aquecimento global serão crescentes nos próximos anos.

Como desdobramento das maiores restrições ambientais, as metas de utilização de biocombustíveis devem ser mantidas e implementadas. Entretanto, o dinamismo inovador da indústria, em resposta aos debates e críticas que têm atingido os chamados biocombustíveis de primeira geração, sugere que os biocombustíveis do futuro podem vir a ser novos produtos, produzidos a partir de novas matérias-primas e novos processos de conversão. Uma consequência de grande importância da confirmação do mercado dos biocombustíveis, principalmente do etanol, é a viabilização de biorrefinarias integradas como conceito de exploração de biomassa no lugar da produção única de combustíveis.

Tem se consolidado a idéia de que as biorrefinarias, produzindo biocombustíveis e outros produtos (produtos químicos e bioeletricidade em destaque), contribuiriam para viabilizar economicamente a exploração da biomassa e melhorar os resultados ambientais (balanço energético e redução de emissão de gases do efeito estufa)<sup>65</sup>. A ineficiência (ambiental e econômica) da produção de etanol a partir de milho nos EUA tem impulsionado fortemente o conceito de biorrefinaria, com grandes dotações de recursos pelo US Department of Energy (US DOE) e National Resource Ecology Laboratory (NREL) para construção de unidades piloto e de demonstração.

As orientações estratégicas definidas por algumas empresas importantes reforçam o processo de construção de uma indústria baseada em biomassa. Du Pont estabeleceu em 1998 princípios de sustentabilidade para a sua trajetória de crescimento no século XXI que se baseiam fortemente na biotecnologia e na utilização de matérias-primas renováveis. Mais recentemente, a BASF também passou a identificar em seus documentos estratégicos a biotecnologia e as matérias-primas renováveis como uma das bases do crescimento futuro da empresa. Devem ser destacadas ainda iniciativas da Dow, DSM e Novozymes.

No panorama nacional, a Petrobras, a Braskem-Quattor e a Oxiteno têm projetos e iniciativas em matérias-primas renováveis. Não se pode deixar de mencionar ainda as empresas de petróleo que têm investido na base tecnológica em biocombustíveis, o que guarda relação direta com a construção da indústria de aproveitamento de biomassa do futuro. Aqui, os dois exemplos mais impor-

---

65 Liska, A. J.; Yang H. S.; Bremer V. R.; Klopfenstein T. J.; Walters D. T.; Erickson K. G.; Cassman K. G.; (2009), Improvements in Life Cycle Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emissions of Corn-Ethanol, *Journal of Industrial Ecology*, vol 13, n 1, 58 – 74; UNEP, United Nations Environmental Program. Towards sustainable production and use of resources: assessing biofuels. 2009. Disponível em: <[http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing\\_Biofuels\\_Full\\_Report.pdf](http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing_Biofuels_Full_Report.pdf)>. Acesso em: dez 2009.



tantes são Shell e BP. A Shell investiu num conjunto de projetos de diferentes plataformas tecnológicas em associação com *start ups* que a empresa identificou como parceiros a privilegiar. Já a BP inicialmente se propôs a investir US\$ 500 milhões em 10 anos para pesquisas fundamentais criando o Energy Biosciences Institute - EBI. Mais recentemente, a BP diversificou o seu *portfólio*, lançando empreendimentos e associações para se tornar um produtor importante de etanol de primeira geração (cana e trigo) e ao mesmo tempo investir na produção de biocombustíveis inovadores (etanol a partir de materiais celulósicos e biobutanol).

Ao lado das empresas estabelecidas, novas empresas têm surgido atraídas pelas oportunidades da bioenergia, muitas delas com o apoio de investidores de capital de risco (*venture capital*) em diversos casos. Essas novas empresas combinam em geral recursos de investidores de risco, recursos governamentais e recursos de empresas estabelecidas com quem estabelecem associações. Mais adiante neste Capítulo, apresentam-se os perfis associados a um grupo representativo de projetos e empresas atuantes no setor.

No campo das estratégias não pode deixar de ser percebida a importância de segmentos que são potencialmente consumidores-chave de produtos sustentáveis como embalagens e a indústria automobilística. A título de ilustração, o anúncio recente da Coca-Cola da chamada *plantbottle*, que deverá conter até 30% de material baseado em fontes renováveis, é uma indicação expressiva das tendências estratégicas relacionadas às matérias-primas renováveis. Potencialmente movimentos de empresas como a Coca-Cola têm efeito muito importante no estabelecimento de novos conceitos que podem se difundir pela economia. O segmento de embalagens sustentáveis é visto como um campo de muitas iniciativas das empresas mais diretamente ligadas ao consumidor final, como os produtores de alimentos e os grandes distribuidores, o que sugere oportunidades de atuação para as empresas capazes de oferecer novos materiais e novos conceitos de embalagens.

No caso da indústria automobilística, duas tendências fortes influenciam as perspectivas de utilização de produtos derivados de matérias-primas renováveis. A primeira refere-se à redução de emissões e melhoria de eficiência ambiental dos carros. Nesse ponto, os biocombustíveis encontram-se em competição com os carros elétricos que merecem atualmente grande destaque nas estratégias da indústria automobilística. No que se refere aos materiais estruturais, algumas montadoras anunciam em seus relatórios de sustentabilidade metas de utilização de biomateriais como é o caso da Toyota que tem como meta utilizar materiais renováveis ou reciclados em 15% das peças em resinas. A empresa utiliza o conceito de biodegradabilidade como uma qualidade dos bioplásticos, embora pareça associar o conceito também à reciclabilidade.

A segunda tendência forte está relacionada à perspectiva de crescimento da indústria voltada em sua parte mais dinâmica para os mercados emergentes. Nesses mercados, a necessidade de reduzir custos e produzir carros adaptados às condições locais abre oportunidades de inovações nos materiais e nos modelos de negócios que podem oferecer também oportunidades aos biocombustíveis e bioprodutos. Nesse campo, o exemplo mais citado é o desenvolvimento do Nano pela empresa indiana Tata Motors.

Finalmente cabe mencionar que a tendência de utilização de matérias-primas renováveis não deve ser vista apenas como uma reação aos altos preços de petróleo dos últimos anos, mas como um processo mais sólido de desenvolvimento de novos conhecimentos na área. Nesse ponto trata-se de um processo mais consistente que poderia ser entendido como uma convergência de esforços de pesquisa acumulados ao longo de décadas que começam a vislumbrar oportunidades de aplicação. Além disso, a inovação tecnológica é vista historicamente como estratégia de saída de crise. É o lado oportunidade dos períodos de crise que já foram aproveitados por países e empresas para redesenhar suas posições no mercado. O extraordinário projeto Du Pont que resultou no nylon foi um projeto de pesquisa fundamental desenvolvido nos anos 30 em plena depressão econômica.

Nos esforços americanos para estimular a economia com vistas a uma saída da crise atual não pode deixar de ser evidenciada a variável estratégica que tem a inovação tecnológica. No orçamento divulgado recentemente para o US DOE foram alocados \$7,8 bilhões para P&D em energia, 18% mais do que em 2008 e um adicional de estímulo de cerca \$8 bilhões. Deve ser destacado que o Centro de Bioenergia, um dos programas mais inovadores do US DOE, está concebido para funcionar como uma start up e desenvolver o etanol celulósico, reunindo a *expertise* de laboratórios, universidades e indústria para atrair empresas de tecnologia<sup>66</sup>.

Mesmo se fatores como preços baixos de petróleo, o não avanço das restrições ambientais ou a perda de espaço dos biocombustíveis em função de outras soluções dominantes para o transporte – como os carros elétricos, por exemplo, podem representar uma possibilidade de redução dos esforços em utilização das biomassas, as previsões e estudos existentes sugerem que os fatores favoráveis discutidos anteriormente continuarão a pesar nas próximas décadas. Assim, a utilização de biocombustíveis é estimada como crescente a taxas de 10% ao ano para os próximos 20 anos, mesmo que ainda persista algum debate sobre o tipo e forma de produção dos biocombustíveis a serem consumidos. Nos EUA, existem metas estabelecidas pelo Energy Independence and Security Act (EISA) de utilização de biocombustíveis avançados – celulósicos ou não – da ordem de 61 bi-

<sup>66</sup> US Department of Energy (DOE). Biomass program, 2009. Disponível em: <[www1.eere.energy.gov/biomass](http://www1.eere.energy.gov/biomass)>. Acesso em: dez 2009.



lhões de litros para 2022. Sublinhe-se que esses biocombustíveis são atualmente produzidos apenas em plantas piloto ou de demonstração. Estima-se uma produção de 27 milhões de litros em 2010 nas plantas de demonstração já operacionais nos EUA e Canadá.

Por sua vez, os bioprodutos também apresentam projeções de crescimento expressivo. Segundo estudo da McKinsey, os produtos da chamada *white biotech* baseados em processos fermentativos e enzimas devem crescer na faixa de 8% ao ano nos próximos cinco anos. Crescimentos expressivos, acima de 10% ao ano, são também projetados para os bioplásticos<sup>67</sup>.

Nesse contexto de oportunidades, a multiplicidade de alternativas que têm sido desenvolvidas sugere um processo complexo de inovação em que uma nova indústria está sendo construída. Neste Capítulo, procura-se destacar as dimensões chave do surgimento dessa indústria. Entende-se que a compreensão desse processo como um processo de inovação pode servir de base a um planejamento de estratégias e políticas com vistas ao posicionamento do país nesse ambiente de oportunidades.

Nessas condições, algumas dimensões do processo de inovação podem ser centrais na dinâmica de competição e inovação que se desenrola na indústria baseada em matérias-primas renováveis. Na próxima Seção, caracterizam-se essas dimensões por meio de uma breve revisão dos conceitos de economia e gestão da inovação aplicados ao caso.

## 8.2. Processo de inovação e a competição entre tecnologias e estratégias

A construção em curso da indústria de biocombustíveis e bioprodutos pode ser vista como um processo de inovação em que múltiplas alternativas se colocam e são testadas pelos competidores. Algumas dessas alternativas tendem a sobreviver como inovações que se difundem pela economia, enquanto outras não podem não passar no teste de aceitação e difusão. Nesse processo de seleção, além de soluções tecnológicas aos problemas existentes, os inovadores experimentam novos modelos de negócios e inovações de ruptura (*disruptive innovations*) que podem alterar as cadeias de valor estabelecidas e propiciar a entrada de novos competidores e o surgimento de novas conformações da indústria.

<sup>67</sup> Bachmann R. Industrial biotech: new value creation opportunities. McKinsey & Company. Presentation at the BIO Conference, New York, 2003.

O conceito de inovações de ruptura (*disruptive innovations*), refere-se às inovações introduzidas para atender determinados segmentos de mercado não atendidos pela oferta atual. Apesar de serem vistas como inferiores do ponto de vista do desempenho, podem crescer no nicho inicial e expandir a sua penetração de modo a deslocar os competidores estabelecidos que continuam dedicados ao aprimoramento dos conceitos tradicionais. Nesse processo, soluções inicialmente vistas como inferiores acabam se desenvolvendo e assumindo as posições dos antigos líderes. O conceito é atribuído a Clayton Christensen<sup>68</sup>. Um ponto central no conceito e que o torna muito útil no entendimento da dinâmica da inovação está ligado à vulnerabilidade não percebida dos atuais líderes face a inovações nitidamente inferiores e menos competitivas. Essas inovações de ruptura, por atenderem nichos não atendidos pela oferta atual ou por explorarem conceitos com grande possibilidade de evolução, trazem uma ameaça não percebida pelos líderes da indústria. A posição do etanol brasileiro de primeira geração apresenta com a sua superioridade competitiva atual um alvo possível para inovações de ruptura.

### 8.2.1. Processo de adoção das inovações e design dominante

O processo pelo qual as inovações são adotadas pode ser estudado sob diversas perspectivas. Numa revisão e análise das principais abordagens existentes, identificam-se duas variáveis críticas para a análise da adoção de uma determinada inovação: (i) a existência de critérios de desempenho bem definidos; e (ii) a presença ou não de rendimentos crescentes de adoção por efeitos positivos de redes<sup>69</sup>. A adoção pode ser racionalmente orientada se prevalece uma clara definição de desempenho ou, no outro extremo, a adoção pode ser socialmente construída se, na ausência de definições de desempenho, os efeitos de rede prevalecerem. A adoção tenderá para a escolha racional se os decisores conseguem ter informações objetivas e claras do atendimento dos critérios de desempenho pelas inovações propostas. Em caso contrário, a possibilidade de a adoção ser socialmente construída aumenta.

Os biocombustíveis e bioprodutos se caracterizam, em princípio, por uma definição clara e objetiva do desempenho esperado. Entretanto, essa definição vem se modificando e evoluindo com o tempo, em paralelo aos esforços de pesquisa e desenvolvimento e implementação comercial. A qualidade das respostas às questões ambientais tem se tornado mais aguda: tipo de matéria prima e efeitos diretos e indiretos sobre o uso da terra, desempenho em termos de balanço energético e redução de gases de efeito estufa. A adequação ao parque industrial existente (biocombustíveis que exigem adaptações dos carros e construção de infraestrutura de distribuição *versus* biocombustí-

<sup>68</sup> Christensen, Clayton. *The Innovator's dilemma. When new technologies cause great firms to fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press. 1997.

<sup>69</sup> Nelson, R., Peterhansl A., Sampat B., (2004), *Why and how innovations get adopted: a tale of four models*, *Industrial and Corporate Change*, 13, 5, 679-699.



veis *drop in*) tem sido crescentemente levantada e vem criando, por exemplo, uma certa ansiedade para os potenciais produtores de etanol celulósico nos EUA ao perceberem as limitações do etanol (menor poder calorífico, necessidade de adaptação dos motores, necessidade de construção de infraestrutura de transporte e distribuição). O processo de adoção das inovações se torna assim de difícil previsão e crescentemente sujeito à influência de efeitos de construção social em detrimento de méritos estritamente técnicos.

Como ocorre classicamente nos processos de inovação tecnológica, a resposta a um problema colocado pela sociedade e/ou a exploração de oportunidades propiciadas pelo próprio desenvolvimento tecnológico levam a um número elevado de alternativas que passarão por um processo de seleção e convergência, ao final do qual algumas serão escolhidas em detrimento de outras. Esse processo costuma ser designado como busca de um design dominante.

O *design* dominante (DM), em uma classe de produto ou tecnologia, corresponde a aquele que adquire a fidelidade do mercado e em consequência passa a ser adotado pelos concorrentes e inovadores como condição para que possam participar da competição por uma parcela significativa do mercado. Os trabalhos de Abernathy e Utterback<sup>70</sup> são as referências clássicas do conceito de design dominante e do estudo de suas consequências na dinâmica das inovações tecnológicas.

O surgimento do DM revela-se nos estudos de Abernathy e Utterback como uma passagem crítica para a consolidação e difusão de uma inovação tecnológica. Até o surgimento do DM, podem conviver conceitos diferentes da inovação numa situação que se caracteriza por um elevado nível de experimentação. Os concorrentes buscam ganhar a adesão do mercado para o seu conceito e justificar o seu potencial de solução para um determinado problema tecnológico. Essa solução precisa responder tecnicamente às exigências de desempenho e demonstrar uma perspectiva de oferecer essa resposta a custos adequados. Corresponde ao que se denomina fase fluida da dinâmica da inovação.

Com o surgimento do DM, os concorrentes passam a trabalhar com um conceito melhor definido da inovação e se dedicam então a desenvolver processos mais eficientes. O grande desafio então é a produção eficiente e em escala. Isso provoca ao mesmo tempo a difusão do produto e um processo de seleção dos processos mais eficientes. Trata-se da fase transitória.

Uma particularidade importante deve ser observada no caso de produtos derivados das chamadas indústrias de processos como os combustíveis, polímeros e outros produtos químicos. Esses produ-

<sup>70</sup> Abernathy WJ., Utterback, J.M. Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, v. 80, n. 7, June-July 1978, p. 40-47.; Utterback, James M. *Mastering the dynamics of innovation*. Boston, MA: Harvard Business School Press. 1994.

tos se distinguem dos produtos que são objeto de uma operação de montagem em série, como carros, eletro-eletrônicos e muitos bens de consumo final quanto à natureza do DM. Como o conceito do produto é mais claramente definido (por exemplo, as especificações de um biocombustível a ser utilizado num determinado tipo de motor) no início do processo de inovação, essa definição é, na prática, uma condição para que o produto possa ser lançado no mercado. A incerteza nesse caso situa-se principalmente no processo. Costuma-se dizer então que em vez de um design dominante – que tem relação principalmente com a definição do produto - busca-se efetivamente uma tecnologia capacitadora – que está relacionada ao processo.

Ocorre no caso dos biocombustíveis e bioprodutos que, apesar de muitos competidores tomarem os produtos como definidos – etanol, por exemplo, e dirigirem seus esforços ao desenvolvimento dos processos inovadores, o ambiente de pesquisa e desenvolvimento atual apresenta um número crescente de propostas de novos produtos. Isso recoloca a questão num estágio mais fluido do que seria de se esperar dadas as características da indústria.

### 8.2.2. Surgimento do design dominante

Entender como surge um design dominante é sem dúvida um elemento de grande valor estratégico para os agentes envolvidos num processo de inovação tecnológica. Entretanto, os estudos em inovação não são capazes de identificar a priori como o processo ocorre. Com certeza resultam da interação de elementos técnicos e de mercado num determinando instante, dando forma a um conceito de produto ou de processo que passa a ser reconhecido na indústria. Entretanto, outros fatores, além dos tecnológicos, influenciam esse processo e devem ser observados atentamente pelos interessados no caso. Os principais fatores identificados nos estudos em inovação são: a presença de ativos complementares, as regulamentações e intervenções governamentais, os movimentos estratégicos das empresas e a comunicação entre produtores e usuários.

Os ativos complementares referem-se aos recursos necessários, além do *know-how* tecnológico central, para viabilizar uma inovação<sup>71</sup>. Compreende a fabricação competitiva, distribuição e canais de comercialização, os serviços pós-venda e assistência técnica, as tecnologias complementares, as atividades de *marketing* e comercialização, entre outras. Agentes que detenham ativos complementares específicos para uma dada inovação – canais de comercialização e competências relacionais bem desenvolvidas com os usuários, por exemplo - podem ter uma posição de força na definição do design dominante. Os ativos complementares em combustíveis detidos pelas empresas de petróleo e gás podem tanto

---

<sup>71</sup> Teece D., (1986), Profiting from technology innovation, *Research Policy*, 6, (15), 285-305.



influenciar na definição dos conceitos vencedores quanto permitir que essas empresas continuem a deter posições dominantes mesmo com a mudança tecnológica em combustíveis. Papel semelhante pode ser atribuído à indústria química no caso dos bioprodutos e biopolímeros.

Outros ativos complementares que podem ser crítico na estruturação da futura indústria de biocombustíveis e bioprodutos são as capacitações em engenharia de processo e produção em escala. Em geral, essas capacitações não são detidas pelas *start ups* de base tecnológica principalmente aquelas que, dentro da tradição dos segmentos de alta tecnologia, não têm experiência na produção e comercialização de *commodities*. A observação das posições dos inovadores em relação aos ativos complementares permite entender e justificar a necessidade das associações e alianças no processo de desenvolvimento da indústria baseada em biomassa do futuro. Como uma estratégia alternativa, os inovadores podem propor novos modelos de negócio para contornar suas limitações em relação aos ativos complementares. O objetivo seria nesse caso introduzir a inovação e redefinir a estrutura da cadeia produtiva de modo favorável à criação e apropriação de valor pelos inovadores<sup>72</sup>.

As regulamentações e as ações governamentais podem em muitos casos serem decisivas na definição do DM. Em última instância, os regulamentos impõem um padrão. No caso dos combustíveis, em particular dos renováveis, as regulamentações e políticas são vistas como o fator de indução chave para o desenvolvimento e difusão das inovações<sup>73</sup>

Os movimentos estratégicos dos agentes econômicos podem contribuir de forma decisiva para a definição do DM. Estratégias de aberturas de códigos e licenciamento, por exemplo, podem facilitar a definição do DM. Decisões de investimento em determinadas alternativas tecnológicas podem facilitar a curva de aprendizado e gerar externalidades positivas favoráveis a um determinado conceito.

Finalmente, uma gestão bem desenvolvida das relações entre o inovador e os usuários da inovação pode ter peso significativo no poder da empresa inovadora de influenciar a definição do DM. No caso dos combustíveis, considerando a forma atual com que se apresentam os problemas tecnológicos, essas relações se estenderiam ao conjunto da cadeia, indo das fontes de matéria prima ao utilizador final das tecnologias. No caso dos bioprodutos, principalmente os biopolímeros utilizados em embalagens, a definição do conceito de sustentabilidade representa um desafio aos inovadores. Se a definição se der com base no ciclo de vida em termos de carga de gases de efeito estufa gerados, o espaço de biopolímeros convencionais a partir de fontes renováveis sustentáveis (ex: polietileno a

<sup>72</sup> Jacobides, M. G.; Knudsen T.; Augier M., Benefiting from innovation: value appropriation and the role of industry architectures. *Research Policy*, 35, p. 1200-1221, 2006.

<sup>73</sup> Jacobsson S., Bergek, A. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. *Industrial and Corporate Change*, v.13, n.5, p. 815-849.

partir de etanol de cana) pode crescer de forma significativa. Soluções de reciclagem podem também ter grande peso na obtenção de resultados favoráveis na análise de ciclo de vida. Se, entretanto, prevalecer uma visão de contestação da utilização de plásticos pela visibilidade da poluição gerada, o segmento pode favorecer os ditos biodegradáveis, em particular os produtos inovadores como o PLA. Esse debate ainda não está estabelecido com clareza na sociedade. Deve ser assinalado que grandes consumidores de plásticos, como indústria de alimentos e supermercados, para responder às pressões ambientais crescentes sobre os seus produtos, têm caminhado na direção das embalagens ditas sustentáveis baseadas em polímeros biodegradáveis.

De uma forma mais geral, tem sido observado que as escolhas e definições tecnológicas podem ser decorrentes de combinações diversas de fatores, tecnológicos e de outra natureza, mas geram, uma vez concretizadas, fenômenos importantes de bloqueio (*lock-in*) das demais alternativas<sup>74</sup>. Esse efeito tem grande importância no futuro de determinadas tecnologias porque impede que as alternativas abandonadas percorram a curva de aprendizado e tenham a oportunidade de mostrar seu potencial. Dadas as dificuldades de reconhecimento a priori dos DM e dos fatores que os definem, deve ser sublinhado o caráter crítico das decisões tomadas nas fases de escolhas tecnológicas. Cabe aos agentes pelo menos reconhecer que o processo de convergência pode ser inevitável, que um conjunto complexo de variáveis deve ser monitorado, em particular as regulamentações e políticas, os ativos complementares e os movimentos estratégicos dos agentes envolvidos.

### 8.3. Identificação dos principais projetos em curso

A Tabela 2.1, apresentada ao final deste Capítulo, congrega as principais informações sobre uma seleção dos principais projetos em curso em biocombustíveis e bioprodutos. Foram selecionados 45 projetos que, pela consulta à literatura especializada<sup>75</sup>, aos artigos da imprensa de economia e negócios<sup>76</sup>, às apresentações em conferências profissionais, aos relatórios de órgãos oficiais<sup>77</sup> e outros documentos, foram identificados como relevantes e representativos do atual estágio da indústria.

O critério de escolha é o caráter inovador dos projetos. Não são considerados produtores de etanol de milho, cana de açúcar ou outra matéria prima já estabelecida para uso alimentar nem produtores

<sup>74</sup> Arthur B. (1989), *Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events*, *The Economic Journal*, 99, (394), 116-131.

<sup>75</sup> *Biofuel Digest*, ICIS Business, Technology Review, Biofuel International, Biofuels Bioproducts Biorefining.

<sup>76</sup> *The Economist*, *Financial Times*, *Wall Street Journal*.

<sup>77</sup> Documentos da ONU, OCDE, UNCTAD e UNIDO.



de biodiesel a partir de óleos vegetais por rotas convencionais, a não ser que a empresa tenha projetos inovadores em biocombustíveis, bioprodutos e biorrefinarias. Cada projeto foi identificado, na medida das informações disponíveis, segundo as seguintes variáveis: empresa, objetivo do projeto, background da empresa, investidores e associações, origem dos recursos e investimentos realizados, natureza da inovação (matéria prima, processo ou produto) e estágio do desenvolvimento. No que se refere à natureza da inovação, foram identificadas como inovações em matérias-primas os desenvolvimentos visando à utilização de matérias-primas diferentes das utilizadas nos biocombustíveis de 1ª geração: os açúcares da cana de açúcar ou da beterraba e o amido de grãos e cereais de uso alimentar, como milho e trigo, para a produção de etanol, e os óleos vegetais para a produção de biodiesel por transesterificação.

Nas inovações de processo, os processos de fermentação de açúcares e materiais amiláceos em etanol e de transesterificação de óleos e gorduras em biodiesel foram considerados convencionais. Todos os processos de conversão diferentes desses foram considerados inovações de processos. A gaseificação e pirólise de biomassa foram considerados processos inovadores apesar de já serem utilizados na indústria para matérias primas fósseis. No caso dos produtos, os biocombustíveis etanol e biodiesel (ésteres a partir de óleos vegetais e gorduras) foram considerados como produtos estabelecidos e todos os demais produtos diferentes foram considerados inovações de produtos. O mesmo critério se aplica aos bioprodutos. A produção a partir de matérias-primas renováveis de produtos já existentes, como o polietileno derivado do etanol, é considerada uma inovação de processo.

#### 8.4. Competição e inovação em biocombustíveis, bioprodutos e bioprocessos

Nesta seção, analisam-se as informações apresentadas na Tabela 2.1 com o objetivo de identificar a dinâmica de inovação em biocombustíveis e bioprodutos. Os projetos selecionados sugerem que existe um movimento de amplitude expressiva, em termos dos esforços de pesquisa e de inovação, voltado para a indústria de biocombustíveis e de aproveitamento integral da biomassa. Esse movimento pode ser de importância crucial na moldagem da indústria de biocombustíveis e bioprodutos do futuro. Assim, sua compreensão é chave para as iniciativas de investimentos em longo prazo.

Antes de apresentar a dinâmica de inovação da indústria, cabe ressaltar brevemente porque uma nova indústria baseada em biomassa voltada aos biocombustíveis e bioprodutos está sendo cons-

truída. Algumas questões, relacionadas às limitações dos biocombustíveis ditos de primeira geração e às condições que devem preencher os biocombustíveis para que ocupem um espaço no mercado de combustíveis nas próximas décadas, justificam o ambiente de busca de inovações em biocombustíveis e bioprodutos:

- os biocombustíveis de 1ª geração competem com alimentos diretamente ao utilizarem matérias-primas nobres e de uso alimentar;
- os biocombustíveis de 1ª geração competem com os alimentos, mesmo se não deslocam alimentos para uso energético, ao ocuparem terras férteis e deslocarem a produção de alimentos;
- os biocombustíveis de 1ª geração, exceto o etanol de cana-de-açúcar, não são sustentáveis do ponto de vista ambiental;
- os biocombustíveis de 1ª geração não têm condição, pelo nível de produtividade atual, de serem produzidos nos volumes previstos para atender os programas de utilização de energia renovável;
- os biocombustíveis de 1ª geração utilizam matérias-primas com problemas de qualidade, disponibilidade e preços que comprometem a viabilidade econômica da indústria;
- os biocombustíveis de 1ª geração (etanol) não são substitutos ideais dos derivados de petróleo em termos energéticos e ainda exigem a construção de infraestrutura de transporte, distribuição e a adaptação dos motores.

Esse movimento costuma ser designado como voltado para o desenvolvimento dos chamados biocombustíveis de segunda geração ou biocombustíveis avançados. Dada a diversidade de alternativas tecnológicas e concepções que têm sido propostas, a denominação “segunda geração” está se tornando inadequada por destacar essencialmente algumas opções iniciais, como etanol de materiais celulósicos, em detrimento de um espectro muito mais rico e complexo que está sendo desenvolvido na direção do aproveitamento integral da biomassa (biocombustíveis, produtos químicos e bioeletricidade). Numa entrevista recente, o Secretário de Energia dos EUA, Stephen Chu, ao enfatizar o quanto inovadores e diferentes serão os biocombustíveis do futuro, usou a expressão biocombustíveis de quarta ou quinta geração.

A análise desenvolvida nesta Seção está organizada em torno das seguintes dimensões: (i) a quantidade e diversidade das alternativas propostas; (ii) a natureza das inovações, destacando-se as particularidades relacionadas a matérias-primas, processos e produtos; (iii) o perfil, as estratégias das empresas (*background* do conhecimento, associações, empresas de base tecnológica, novos entrantes e as grandes empresas estabelecidas) e os novos modelos de negócios.



### 8.4.1. Diversidade das alternativas propostas

Um número expressivo de iniciativas têm sido lançadas para responder aos desafios e explorar as oportunidades que a “energia do futuro” e as matérias-primas renováveis oferecem.

Do ponto de vista tecnológico, as alternativas em desenvolvimento podem ser resumidas pelo desafio de transformar a luz do sol em combustíveis líquidos, bioprodutos e bioenergia, atuando, de forma combinada ou não, no aumento de produtividade e modificação da própria biomassa e nas diversas alternativas de conversão da biomassa, rotas diretas ou em duas etapas, por via fermentativa, enzimática, química ou termoquímica, para obter diferentes tipos de produtos.

A diversidade de propostas de inovações pode ser constatada, em primeiro lugar, nos diferentes tipos de matérias-primas: culturas existentes, novas culturas com finalidade energética e aproveitamento de resíduos de diversas origens e qualidades. Em cada um dos casos, por sua vez, diferentes abordagens e caminhos são propostos e experimentados, de forma combinada ou não: aumento de produtividade, utilização de terras e recursos não relacionados a alimentos, facilidade logística e preço. Cada uma dessas abordagens por sua vez pode trazer também uma variedade de formas para atingir os objetivos traçados, como mostram as múltiplas abordagens para cultivo e utilização das algas.

No nível das tecnologias de conversão, a variedade contempla rotas bioquímicas, termoquímicas ou químicas que podem ainda serem combinadas entre si em alguns processos. Mas a variedade ocorre ainda dentro de cada uma das rotas, como a utilização de enzimas e fermentações diversas ou as diferentes opções testadas para a gaseificação da biomassa e a conversão em bioóleo.

Como esperado, a variedade em produtos é menor. Entretanto, a observação da indústria sugere que ela seria atualmente crescente por duas razões. Em primeiro lugar, o interesse por combustíveis drop in, que teriam desempenho próximo ou igual ao dos derivados convencionais, não exigiriam modificações dos motores e aproveitariam a infraestrutura de distribuição existente, tem sido crescente. Uma atenção destacada tem sido observada para projetos com essa perspectiva, como atestam muitos dos projetos citados na Tabela 2.1. Em segundo lugar, a diversificação da linha de produtos de modo a associar combustíveis, de alto volume e baixos preços e margens, com produtos químicos, de menor volume e de margens mais altas, tem levado cada vez mais ao surgimento de propostas segundo o conceito de biorrefinaria integrada com múltiplos e novos produtos. Esses projetos estão em relativo atraso se comparados à produção dedicada de biocombustíveis. Mas o conceito é visto como central no futuro da indústria. Deve ser lembrado ainda que a diversificação

de produtos favorece o resultado ambiental da exploração das biomassas, o que é crítico para a utilização de algumas matérias-primas como, por exemplo, o milho.

A combinação das múltiplas alternativas em matérias-primas, tecnologias de conversão e variedade de produtos compõe o quadro de diversidade que retrata o estágio atual da indústria baseada em biomassa. Naturalmente, a tradução dessa diversidade em inovações difundidas no mercado de combustíveis e de bioprodutos deve ser objeto de estudos prospectivos partindo-se do presente estágio de desenvolvimento das tecnologias. Trata-se efetivamente de um processo voltado para a geração de variedades que, dentro da dinâmica da inovação, deverão ser selecionadas ao longo do tempo e contribuirão para a construção da indústria baseada em biomassa do futuro.

Assim, os projetos em desenvolvimento se voltam para a busca de melhores produtos, melhores processos e melhores matérias-primas (de preços mais baixos e estáveis, e com menores problemas de disponibilidade) para a produção de biocombustíveis que possam superar as limitações atuais da indústria e de bioprodutos e se apresentar como alternativas aos produtos de base fóssil.

#### 8.4.2. Natureza das inovações

A análise da dinâmica tecnológica e de inovação em biocombustíveis pode ser desenvolvida segundo as três dimensões que orientam as inovações tecnológicas em biocombustíveis: matérias-primas, processos de conversão e produtos. Essa forma de observação permite ultrapassar a habitual segmentação entre 1ª e 2ª geração, a qual não traduz inteiramente o processo em curso como um processo de inovação envolvendo as indústrias estabelecidas e a indústria de biocombustíveis e bioprodutos do futuro.

O objetivo da análise aqui não é avaliar a viabilidade técnico-econômica das alternativas, mas identificar elementos que possam ajudar na identificação e caracterização de variáveis chave para a compreensão do processo de construção da indústria baseada em matérias-primas renováveis.

Antes de passar à análise da natureza das inovações, cabe observar o estágio dos projetos em curso. A análise sugere que muitos projetos encontram-se atrasados em relação ao planejamento divulgado inicialmente ou, pelo menos, mais atrasados do que os investidores costumam fazer crer em suas apresentações mais otimistas. A demonstração mais clara desse atraso é a produção de etanol celulósico nos EUA que será em 2010 muito abaixo do volume previsto pelos programas americanos<sup>78</sup>.

---

<sup>78</sup> The Energy Independence and Security Act of 2007.



A falta de recursos devido à crise costuma ser mencionada. Mas, ao se observar a evolução dos projetos, nota-se que problemas tecnológicos têm surgido, em particular dificuldades importantes de scale up, o que seria de se esperar em indústrias de processos químicos. Já existem algumas plantas de demonstração em operação, mas muitos projetos ainda lutam para chegar a piloto ou adiam os anúncios de plantas demonstração. As plantas de demonstração que estão operando há mais tempo, como a da logen, desde 2004, relatam com frequência dificuldades operacionais e atingem um nível de utilização muito inferior à capacidade instalada. Os anúncios de plantas comerciais devem ser vistos, portanto, com grande cautela.

Os projetos, principalmente os de etanol de materiais celulósicos, que são os mais próximos da comercialização, são muito intensivos em capital. Basta citar que os custos das plantas de demonstração têm se aproximado de US\$ 50 milhões. Alguns projetos têm dado atenção especial a esse ponto propondo conceitos de plantas que seriam construídas como retrofit de plantas de etanol já existentes. Amyris, Gevo e Butamax, por exemplo, têm anunciado essa estratégia de redução do custo de capital e do tempo de construção das unidades. Naturalmente, a solução é limitada pela própria natureza do projeto que pode exigir uma unidade tipo greenfield.

### 8.4.3. Natureza das inovações: as matérias-primas

A busca da matéria prima ideal, ou de algumas matérias primas ideais, está em aberto e evoluindo rapidamente. Os requisitos das matérias primas incluem fatores múltiplos e não facilmente conciliáveis: disponibilidade, preço, qualidade em relação ao processo de conversão, sem esquecer a sustentabilidade ambiental.

O termo biomassa expressa um conceito bastante abrangente para designar todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal. Este ainda é um termo pouco conhecido fora dos campos da energia e da ecologia<sup>79</sup>. Do ponto de vista da geração de energia, a biomassa abrange os derivados recentes de organismos vivos utilizados como combustíveis ou para a sua produção. É uma forma indireta de energia solar, na qual a radiação é convertida em energia química, através da fotossíntese, não sendo a sua produção limitada no tempo, daí serem renováveis.

Na definição de biomassa para a geração de energia, excluem-se os tradicionais combustíveis fósseis, embora esses também sejam derivados da vida vegetal (carvão mineral) ou animal (petróleo

<sup>79</sup> Van Farfan, E. Biomassa: uma energia brasileira. Revista Eco 21. Rio de Janeiro, n. 93, 2004. Disponível em: <<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp ?ID=843>>. Acesso em dez 2009.

e gás natural), mas são resultado de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem. Neste sentido, o que descaracteriza os materiais de origem fóssil do conceito de renovável é o fator tempo.

Em termos de estrutura química, as biomassas podem ser classificadas como protéicas, oleaginosas e baseadas em carboidratos, em função do tipo de composto que está presente majoritariamente. As baseadas em carboidratos podem, ainda, ser dividida em: sacaríneas, amiláceas e lignocelulósicas, dependendo do tipo de estrutura e interação entre os açúcares constituintes. Essas são, de um modo geral, as biomassas mais abundantes no planeta e estão presentes na estrutura vegetal. O desenvolvimento do conceito de biorrefinaria com base na plataforma bioquímica – objeto do Capítulo 4, passa necessariamente pelo aproveitamento dos carboidratos, que são blocos de construção para a produção de uma gama de substâncias de interesse comercial.

As biomassas sacaríneas, ou sacarídeas, são aquelas que apresentam a estrutura mais simples em termos de carboidratos na natureza. Caso típico é a sacarose, que apresenta estrutura dissacarídica, ou seja, é formada pela união de dois açúcares monoméricos (glicose e frutose). A vantagem de o vegetal armazenar esse tipo de estrutura é a maior velocidade com que este pode utilizar a energia bioquímica contida nessas moléculas para suprir suas atividades metabólicas em períodos de escassez. No entanto, deve-se considerar a alta solubilidade da sacarose, o que a torna uma molécula facilmente transportável pela estrutura do vegetal.

Este carboidrato é encontrado em muitos vegetais, como fonte de carbono e energia. Além disso, também pode ser armazenado em outras partes da planta, como em talos e colmos, a exemplo do sorgo sacarino e a cana-de-açúcar. No entanto, a cana é considerada o vegetal que possui os mecanismos fisiológicos mais aperfeiçoados para a produção de sacarose, pois suas vias fotossintéticas para produzi-la, a partir dos açúcares simples, são mecanismos altamente eficientes, que o homem, através de melhorias contínuas, vem desenvolvendo até criar variedades comerciais com alto teor de sacarose e com maior resistência às intempéries da natureza<sup>80</sup>. As biomassas de composição amilácea, como o próprio nome indica, são constituídas majoritariamente por amido. O amido é a principal substância de reserva nas plantas superiores e fornece em torno de 80% de toda energia consumida pelo homem. Trata-se, portanto, de uma de uma substância biodegradável e não tóxica. Entre as fontes desta biomassa, destacam-se os tubérculos como a mandioca, batata, os cereais como o milho, trigo e arroz, que constituem de 50% a 65% do peso das sementes de cereais secos, e até 80% da substância seca dos tubérculos.

<sup>80</sup> Taupier, L. O. G.; Rodriguez, G. G. A cana-de-açúcar. In: Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos e energia. 1 ed. em português. Brasília: IBIPTI, 1999. Cap. 2.1. p. 21 – 27.



O amido é um homopolissacarídeo formado por unidades de D-glicose. Sua estrutura é formada por duas frações polissacarídicas denominadas de amilose (porção do amido com cadeias lineares) e amilopectina (porção do amido com cadeias ramificadas). Muito de sua funcionalidade se deve a estas duas frações, assim como à organização física na estrutura granular<sup>81</sup>. A proporção entre amilose e amilopectina é variável com a fonte de origem, o que irá conferir características específicas ao amido.

Além desses componentes principais, estudos mostram a existência de uma terceira fração denominada material intermediário<sup>82</sup>. A quantidade e a estrutura deste material diferem de acordo com o tipo e grau de maturação do grânulo do amido. Segundo Biliaderis (1991) esta terceira fração consiste de cadeias lineares com grau de polimerização variando entre 50 a 200 unidades monoméricas ramificadas de baixa massa molecular e comprimento de cadeia maior que o da amilopectina normal.

Os depósitos de amido podem ser transitórios ou permanentes. O transitório ocorre nas folhas onde ele é acumulado durante o dia, e é parcialmente desdobrado e transportando, em forma de açúcares mais simples, para outras partes durante a noite. Os depósitos permanentes ocorrem nos órgãos de reserva como no caso dos cereais e tubérculos. Podem também ocorrer no caule e nas células imaturas próximas da zona de crescimento.

Os alimentos amiláceos sempre estiveram presentes na dieta humana. No entanto, o consumo do amido não se restringe ao uso alimentar direto. Seu potencial como matéria-prima para a indústria química é enorme e vem sendo explorado intensamente. Novas tecnologias para o beneficiamento e valorização de suas propriedades vêm sendo desenvolvidas, como a modificação de sua estrutura. Os amidos modificados possuem extensa aplicabilidade em diversos setores industriais como a indústria têxtil, papel e celulose, polímeros biodegradáveis, química fina e outras. o consumo de amido cresce a uma taxa de 2,25% ao ano e, atualmente, é superior a 60 milhões de toneladas e previsões estimam que seja de 70 milhões de toneladas já em 2010. A Ásia é o principal mercado, tanto produtor quanto consumidor, com destaque para a China. No continente asiático, o amido é produzido a partir de diversas matérias-primas<sup>83</sup>.

O Brasil é o segundo maior produtor de mandioca, contribuindo com cerca de 15% da produção mundial. Para o agronegócio brasileiro, a cadeia produtiva da mandioca tem um papel relevante pela sua ampla utilização em vários setores industriais. É a base alimentar da maioria da popula-

**81** Biliaderis, C. G. The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, v. 69, p. 60-78, 1991.

**82** Kasemsuwan, T.; Bailey, T.; Jane, J. Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches. *Carbohydrate Polymers*, v. 36, p. 301-312. Aug 1998.

**83** Ladislau, D. E. O. Mercado mundial de amido, uma das matérias-primas para o bioplástico. *Bioplastic News*. 2009. Disponível em: <<http://bioplasticnews.blogspot.com/2009/07/mercado-mundial-do-amidouma-das.html>>. Acesso em: dez 2009.

ção de baixa renda, gerando renda no campo e na agroindústria. Para a indústria de transformação, estima-se que as gerações de receitas em conjunto somem 2,5 bilhões de dólares/ano, sendo o quinto produto agrícola em importância, conseguido com a comercialização da raiz, farinhas, féculas e outros derivados<sup>84</sup>.

As biomassas lignocelulósicas são a fonte de carboidratos mais abundantes na natureza, participando em aproximadamente 50% de toda biomassa terrestre. O termo estrutura lignocelulósica está relacionado à parte do vegetal que forma a parede celular<sup>85</sup>. Geralmente, estão disponíveis sob a forma de resíduos agrícolas, agroindustriais, resíduos urbanos e madeiras de angiosperma e gimnosperma. A composição básica do material lignocelulósico depende do vegetal de origem, da espécie da planta, da região de cultivo, idade, período da colheita do material, entre outros fatores<sup>86</sup>.

Essas biomassas possuem um alto conteúdo de carboidratos constituindo-se em uma fonte abundante e renovável de matéria-prima que pode ser utilizada em processos bioquímicos (enzimáticos ou fermentativos). São formadas por estruturas duras e fibrosas, compostas basicamente de celulose e hemicelulose, entremeadas por uma macromolécula composta por álcoois aromáticos, a lignina, que se encontra unida por ligações covalentes e de hidrogênio. Em menores proporções podem ser encontradas também resinas, taninos, ácidos graxos, fenóis, compostos nitrogenados e sais minerais, principalmente, de cálcio, potássio e magnésio<sup>87</sup>. A celulose, maior constituinte da parede celular das plantas, é um homopolossacarídeo linear de cadeia longa composto por unidades de  $\beta$ -D-glicose, em torno de 8.000 a 14.000 unidades, unidas por ligações  $\beta$ 1-4<sup>88</sup>. A glicose é a principal fonte de carbono, utilizada como bloco de construção, que participa do metabolismo de diferentes seres vivos. Devido a isto é considerada como a principal matéria-prima para processos biotecnológicos.

A hemicelulose, um heteropolissacarídeo constituído por unidades de pentoses e hexoses presentes em uma faixa entre 100 a 200 unidades, também vem apresentando grande potencial biotecnológico. Sua estrutura é constituída por diferentes moléculas de sacarídeos como manose, glicose, arabinose, galactose, alguns ácidos orgânicos e principalmente xilose<sup>89</sup>. Destes açúcares, os que merecem

---

<sup>84</sup> FAO, 1997.

<sup>85</sup> Pereira Jr, N.; Schlittler, L.A.F.S.; Couto, M.A.P.G.; Melo, W.C. Biomass of lignocellulosic composition for fuel ethanol production and the context of biorefinery. In: Brazilian Network on Green Chemistry Awareness, Responsibility and Action: UFC Edições, Fortaleza-CE, p. 591-627.

<sup>86</sup> Hassuani, S. J. Resíduos agrícolas: palha. In: Curso Internacional "Energia na indústria de açúcar e álcool". Piracicaba. São Paulo: CTC - Copersucar, 2005.

<sup>87</sup> Shleser, 1994; Olsson; Hahn-Hägerdal, 1996; Neureiter et al., 2002.

<sup>88</sup> Shleser, 1994 apud Betancur, 2005.

<sup>89</sup> Caramenz, M. Produção de endoxilanasas termoestáveis por *Termomyces lannuginosus* IOC-4145 em meio semi-sólido. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química,



destaque são a glicose, como descrito anteriormente, e a xilose que vem recebendo notória atenção em processos de produção de etanol e adoçantes.

Cabe ressaltar que o termo hemicelulose não designa um composto químico definido, mas uma classe de componentes presentes majoritariamente na biomassa, possuindo, cada um, propriedades particulares. Como no caso da celulose e da lignina, o teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas hemiceluloses da madeira variam expressivamente entre diferentes espécies e, provavelmente, também indivíduos da mesma espécie<sup>90</sup>.

A lignina, composto responsável pela rigidez e resistência da parede celular dos vegetais, é uma macromolécula formada pela polimerização desidrogenativa de três álcoois aromáticos: trans-coniferílico, trans-p-cumárico e trans-sinapílico. É convencionalmente definida como uma rede hidrofóbica complexa de unidades fenilpropanóidicas derivadas da polimerização oxidativa destes três álcoois precursores (originados por metoxilação do ácido p-hidroxicinamílico), que dão origem às subunidades p-hidroxifenil, guaiacil e siringil. Esses precursores podem se ligar a diversos sítios, formando um complexo polimérico com grande variedade de ligações intermoleculares (pelo menos 20)<sup>91</sup>. A lignina, em conjunto com a hemicelulose, forma uma matriz que envolve a celulose, conferindo as características supracitadas. A lignina possui diversas aplicações, principalmente energéticas, devido ao seu alto poder calórico.

A previsão para a produção para de biomassas residuais, de natureza lignocelulósica, oriundas das principais culturas agrícolas como milho, arroz, cana-de-açúcar e trigo, somente no Brasil será de aproximadamente 270 milhões de toneladas. Deste montante, estima-se que cerca de 80 milhões ficarão disponíveis para serem aproveitados por diversos setores. Alguns já possuem tradição em aproveitar esses resíduos, como é o caso do setor sucroalcooleiro, que utiliza o bagaço residual das unidades de produção de açúcar e etanol para gerar energia e calor, conferindo, assim, auto-sustentabilidade térmica e energética para as unidades<sup>92</sup>.

Nesse contexto, tem-se intensificado esforços de P&D para a utilização, de forma mais diversificada, de matérias-primas renováveis em substituição às fontes fósseis. Ênfase tem sido dada ao aproveita-

---

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1999.

**90** Vasquez, M. P. Desenvolvimento de processos de hidrólise enzimática e fermentação simultânea para a produção de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar. 205f. Dissertação (Mestrado). Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

**91** Sederoff, R.R.; MacKay, J.J.; Ralph, J.; Hatfield, R.D. Unexpected variation of lignin. *Curr. Opi. Plant Biol.* v.2, p. 145–152. 1999.

**92** Pereira, R. E. Avaliação do potencial nacional de geração de resíduos agrícolas para a produção de etanol. 133 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

mento dos abundantes resíduos agrícolas e agroindustriais. A utilização destas biomassas residuais é de grande interesse e importância, constituindo-se em um dos assuntos mais em voga na biotecnologia moderna, na medida em que não há demanda de aumento da extensão de áreas agricultáveis. O que se objetiva é transferi-los da posição de resíduos sólidos em matérias-primas valiosas, visando à produção de combustíveis e de uma variedade de substâncias químicas. Os avanços nesta área sinalizam que o aproveitamento de matérias-primas renováveis, incluindo os seus resíduos, poderá reverter, ou no mínimo complementar, a dependência mundial por fontes fósseis.

A título de ilustração, alternativas de combustíveis e bioprodutos a partir da cana como o diesel *drop in* da Amyris, o projeto Veranium/BP de etanol celulósico ou o polietileno da Braskem têm surgido, reforçando o valor e potencial da cana de açúcar na indústria baseada em biomassa. Outras culturas energéticas têm sido desenvolvidas, como por exemplo *switchgrass* e *miscanthus* nos EUA e Canadá, e pinhão manso na Índia e outras regiões. O processo de desenvolvimento dessas culturas tem sido difícil como é da natureza das inovações com esperanças e decepções que se alternam em resposta aos esforços dos pesquisadores e investidores. Parece claro que o processo de introdução do cultivo e uso de novas plantas exige um tempo de maturação que não pode ser ignorado e cujos resultados são por natureza incertos.

Na busca desses resultados uma via que tem sido privilegiada é o uso da engenharia genética e dos recursos da biotecnologia moderna para aumentar a produtividade e otimizar o balanço entre as características positivas e negativas das plantas. São desenvolvidas pesquisas em matérias-primas já consagradas, como a cana de açúcar, e em matérias primas ainda não utilizadas largamente pela indústria, como os materiais celulósicos em geral, as algas e novas plantas. No caso de plantas ainda não utilizadas, o desenvolvimento é feito na expectativa de que os novos processos de conversão dos materiais celulósicos venham a se tornar comerciais. No caso do etanol, as inovações na produtividade da cana de açúcar reforçam os processos convencionais de produção além de reforçar a própria posição da cana de açúcar como matéria prima de eleição.

Nesse processo de busca de solução para o problema das matérias primas, duas alternativas merecem no momento o foco das atenções: as algas, em primeiro lugar, e os resíduos urbanos, em particular os resíduos sólidos (*municipal solid waste*).

Apesar do grande interesse que a utilização de algas como matéria prima para a produção de biocombustíveis e bioprodutos tem despertado recentemente (ver alguns projetos em destaque na Tabela 2.1), os problemas existentes são vistos ainda como importantes. Não há produção competitiva hoje. O potencial é reconhecido: alto rendimento em óleo (60%), rápido crescimento, utilização de



terras e recursos de baixo custo de oportunidade, não competição com alimentos e possível utilização de CO<sub>2</sub>. Por isso, os investimentos têm sido expressivos, estimando-se em cerca de US\$84 milhões de recursos de *venture capital*, além de investimentos como: LiveFuels: \$10M (2007), Aurora BioFuels: \$20M (2008), Sapphire Energy: \$100M (2008), Solazyme: \$45M (2008), Algenol Biofuels: \$850M. O anúncio recente (julho 2009) da Exxon, até então ausente de projetos de biocombustíveis, de apoiar o projeto da Synthetic Genomics com o investimento de US\$ 300 milhões, com possibilidade de mais US\$ 300 milhões mais à frente, é visto como um fato marcante não só do potencial das algas como matéria prima como da própria tendência das inovações em biomassa: utilização de recursos de engenharia genética e busca de combustíveis drop in. O volume de recursos concentrados numa única alternativa e numa única empresa é sem precedentes na história da indústria.

Entretanto, melhor compreensão dos princípios de base ainda é necessária para que o *scale up* comercial das algas seja viável. Considerações tanto de biologia quanto de engenharia são críticas e P&D fundamental e aplicado ainda será necessário<sup>93</sup>. O atual estágio ainda seria predominantemente de apoio coordenado de agências governamentais, academia, empresas e investidores com vistas à passagem a escalas piloto e demonstração. Uma grande variedade de pesquisas, projetos e temas têm sido anunciados mas ainda persiste uma disparidade de conceitos e custos que atestam a etapa fluida da tecnologia. De qualquer forma, os projetos em algas parecem sublinhar algumas tendências chave: produção de combustíveis *drop in*, diversificação para produtos de margens elevadas para aplicações especiais em química, farmácia e cosméticos, além de sustentabilidade ambiental inquestionável.

É também crescente o interesse na utilização do lixo como matéria prima que se insere na construção de uma economia baseada na gestão dos resíduos<sup>94</sup>. A perspectiva de novos modelos de negócios associando a solução desse difícil problema das cidades e a geração eficiente e sustentável de energia é uma das linhas de desenvolvimento. No que se refere à produção de biocombustíveis, alguns projetos têm merecido a atenção dos analistas. O lixo tem grandes vantagens como matéria prima no que se refere ao custo, que pode ser negativo, ao contrato de fornecimento, que pode ser estabelecido com as municipalidades em prazos compatíveis com a vida útil dos projetos, e à localização, que, sendo próxima ao mercado consumidor dos produtos gerados, simplifica o transporte e a necessidade de infraestrutura adicional. Os desafios da sua utilização, que se colocam então do lado das tecnologias de conversão, têm sido enfrentados por algumas empresas com projetos inovadores em diferentes estágios de maturação como os da Enerkem e Coskata, entre outros.

<sup>93</sup> Darzins, 2009; Darzins; Garofalo, 2009.

<sup>94</sup> The Economist, 2009.

#### 8.4.4. Natureza das inovações: as tecnologias de conversão

A análise das inovações de processo mostra em primeiro lugar uma amplitude de técnicas em desenvolvimento, utilizando diversas bases de conhecimento (fermentação, processos enzimáticos, engenharia genética, gaseificação, pirólise e ainda catálise e reações químicas), que traduzem o desafio dos biocombustíveis avançados de forma muito mais ampla do que a simples produção de etanol de celulose. Longe de ser irrelevante, a produção de etanol a partir de materiais celulósicos é um desafio tecnológico importante, e que vem sendo perseguido por diversas empresas, mas que não pode ser visto como sinônimo de biocombustíveis avançados, como parece ser às vezes a percepção dominante.

Cabe destacar que, ampliando o grau de variedade e multiplicidade das alternativas em jogo, mesmo tecnologias de conversão de mesma natureza e utilizando a mesma base de conhecimento estão sendo desenvolvidas segundo linhas variadas. O exame mais minucioso das diversas tecnologias de conversão em desenvolvimento traria por certo a percepção de que a competição pelas soluções a serem adotadas se dá não somente entre as tecnologias gerais, mas também dentro de cada uma delas.

A via bioquímica pode utilizar duas etapas (hidrólise e fermentação) para converter a lignocelulose em etanol ou procurar fazê-lo numa única etapa, como será abordado no Capítulo 1.

Já a via termoquímica – tema objeto do Capítulo 5 – propõe diversas alternativas para a gaseificação, algumas inovadoras, como a gaseificação por plasma e por metal líquido, outras mais próximas das utilizadas comercialmente e ainda diversas opções de transformar o gás de síntese gerado em produto final, incluindo a mais conhecida conversão Fisher-Tropsch (FT) ou a ação de microorganismos<sup>95</sup>. Ainda no campo dos tratamentos térmicos, não se pode deixar de mencionar a pirólise para produção de bioóleo que tem sido destacada ultimamente. Da mesma forma, os processos químicos continuam sendo testados e alguns projetos destacados têm proposto a utilização da hidrólise ácida para a produção de etanol a partir de lignocelulose (*Bluefire*) ou a conversão química de açúcares em combustíveis *drop in* (*Virent*). A rota química tem ainda sido mencionada em algumas pesquisas como alternativa para a produção de intermediários de síntese para a construção de plataformas químicas como a do hidroximetilfurfural (HMF) que vem despertando interesse crescente.

A utilização de diferentes bases de conhecimento faz com que na maioria dos casos as empresas se vejam inevitavelmente em projetos que privilegiam uma das rotas, o que as coloca em um nível de incerteza elevado no futuro, caso suas apostas venham a perder espaço na evolução da indústria.

---

<sup>95</sup> Coskata Inc. Our process. Disponível em: <http://www.coskata.com>. Acesso em dez 2009.



Algumas empresas e investidores de maior porte com disponibilidade de recursos têm tratado essa incerteza multiplicando suas apostas em diversas plataformas, com a perspectiva de desmobilizar eventualmente as que se mostrarem menos competitivas. Este é o caso, por exemplo, da Shell e Khosla Ventures. Outras empresas de porte e com volumes de investimento importantes em biocombustíveis e bioprodutos, entretanto, têm diversificando suas apostas de forma mais orientada em termos de tecnologia de conversão, focalizando determinadas áreas do conhecimento. Encontram-se neste caso a BP e a DuPont que concentram esforços na biotecnologia e nas rotas bioquímicas em suas diversas iniciativas.

A variedade de processos aponta ainda para a presença de empresas com *backgrounds* variados de conhecimento e que tradicionalmente não estavam presentes nos mercados de energia e de química. É o caso de forma notável das empresas de biotecnologia, algumas com histórico de desenvolvimentos importantes em outras indústrias como a farmacêutica.

Pela sua importância para o presente estudo prospectivo, apresenta-se a seguir o conceito de biorrefinaria integrada, para em seguida discutir-se a dimensão relacionada à geração de inovações de produtos.

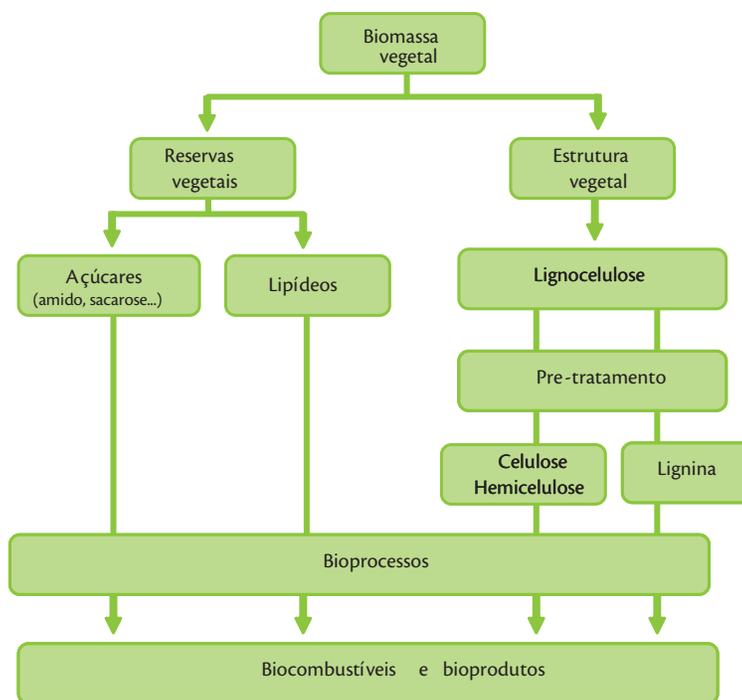
#### 8.4.5. Natureza das inovações: o conceito de biorrefinaria integrada

A biorrefinaria, termo amplamente utilizado nos dias de hoje, define uma estrutura industrial que tem matérias-primas renováveis (biomassas) como base para a produção de uma vasta quantidade de moléculas. É um conceito análogo ao das refinarias de petróleo, a qual tem como objetivo separar e transformar este combustível fóssil em determinadas frações que atendem a determinados setores industriais.

Apesar da utilização das biomassas ser uma prática antiga, o conceito de processar as biomassas por meio de uma série de processos de elevada complexidade técnica para a geração de produtos de uma vasta faixa de valor agregado, bem como energia, é recente. E, de fato, o objetivo essencial da biorrefinaria é produzir produtos de elevado valor agregado a partir de fontes de matérias-primas de baixo valor agregado. Isto remete às biomassas residuais, de natureza agrícola e agroindustrial, como o principal candidato a atender este modelo de produção. Porém, a biorrefinaria não se limita a esta fonte de matéria-prima, podendo utilizar biomassas de outras composições como as oleaginosas, amiláceas e sacaríneas.

Define-se a biorrefinaria como uma estrutura baseada em três diferentes fontes, a saber: biorrefinaria baseada em carboidratos (*sugar biorefinery*); biorrefinaria baseada em biomassas de natureza lignocelulósica (*lignocellulosic biorefinery*) e biorrefinaria baseada em lipídios (*lipids biorefinery*)<sup>96</sup>.

A primeira propõe a utilização dos açúcares que atuam como reservas de energia nos vegetais, como a sacarose e o amido. São açúcares mais acessíveis às necessidades energéticas dos vegetais e objeto de uso pleno da indústria de alimentos. O segundo modelo de biorrefinaria baseia-se na utilização dos constituintes estruturais do vegetal. São frações de maior complexidade estrutural e, por isso, de menor acessibilidade. A terceira baseia-se em grupos específicos de vegetais capazes de produzir, e armazenar, triglicerídeos, que também atuam como reserva energética para o vegetal, e com enorme aplicabilidade em diversos tipos de indústrias. A Figura 8.1 ilustra o conceito de biorrefinaria com base no tipo de matéria-prima.



**Figura 8.1:** Conceito de biorrefinaria com base no tipo de matéria-prima

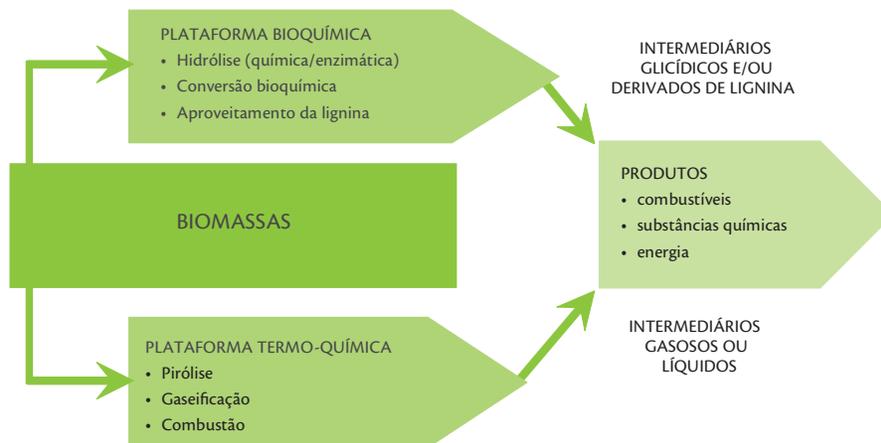
Fonte: Thomas e Octave, 2009

<sup>96</sup> Thomas, D.; Octave, S. Biorefinery: toward an industrial metabolism. *Biochimie*, v. 21, l.1, p. 300-303, 2009.



No caso das biorrefinarias baseadas em carboidratos, a biomassa, que é constituída por três frações principais, é separada e transformada através de dois grupos de tecnologias, denominados plataformas, que se baseiam em processos químicos, bioquímicos e termoquímicos, que visam fornecer blocos de construção para a obtenção de diferentes produtos.

A primeira é denominada plataforma bioquímica, que é baseada em processos químicos e bioquímicos para conversão dos açúcares que são os principais constituintes das biomassas, sendo o tema foco do Capítulo 1. Já a plataforma termoquímica, como o próprio nome diz, é caracterizada por processos de conversão termoquímicos, nos quais a biomassa é submetida a condições sob elevada temperatura e ausência, ou presença controlada, de oxigênio. Tais rotas são denominadas, respectivamente, como pirólise e gaseificação. No caso da pirólise o produto final é um bioóleo, cuja composição se assemelha ao petróleo; na gaseificação o produto é uma mistura gasosa rica em monóxido de carbono e hidrogênio (gás de síntese) que age como bloco de construção em processos de síntese química. Esse tema é abordado com mais detalhe no Capítulo 5 deste estudo. A Figura 2.2 ilustra as rotas descritas.



**Figura 8.2:** Plataformas de processamento de biomassas

Fonte: Pereira Jr. et al, 2008.

O primeiro caso da biorrefinaria, baseada em carboidratos (glicídeos), pode ser subdividido em duas subclasses: A biorrefinaria baseada em biomassas de composição sacarínea e a de composição ami-

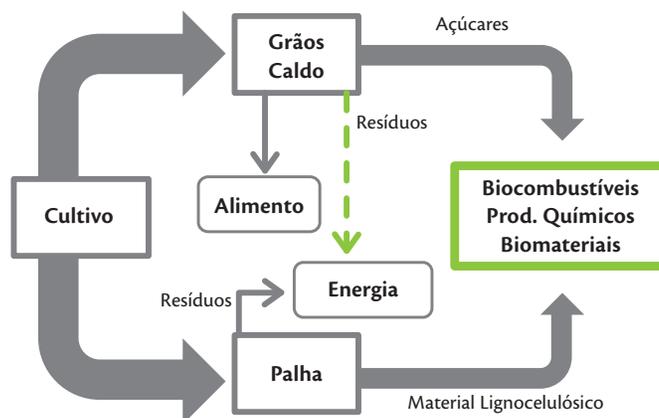
lúcea. Ambos os casos já vêm sendo explorados e suas estruturas se encontram em um nível de maturidade avançada, já que as tecnologias nelas aplicáveis já são totalmente conhecidas e dominadas, motivo que não serão abordadas neste estudo prospectivo. No caso da biorrefinaria de biomassas de composição sacarínea, o Brasil é destaque. No país, este conceito teve sua base desenvolvida sobre a cultura da cana-de-açúcar para, inicialmente, a produção de alimento (açúcar branco) e, atualmente, também para a produção de biocombustível (etanol).

No caso dos materiais sacaríneos, preliminarmente já definidos, os açúcares já estão biodisponíveis e isso contribui para a simplificação dos processos biotecnológicos de transformação. Esta condição é uma grande vantagem para a indústria do etanol brasileiro que, graças a isso, apresenta o menor custo de produção do mercado, uma vez que os demais grandes produtores de etanol utilizam matérias-primas de composição amilácea.

A segunda subclassificação da biorrefinaria baseada em carboidratos é a que utiliza biomassas de composição amilácea. O amido, conforme previamente descrito, é um polímero de glicose e apresenta aplicabilidade tanto nas formas polimérica, oligomérica (dextrinas) quanto monomérica (glicose), o que irá depender da natureza e das condições das operações utilizadas para o seu fracionamento. Contudo, além de um pouco mais complexa que a anterior em termos operacionais, apresenta uma maior variedade de opções para a produção.

No Brasil, apesar de a tecnologia para a produção de etanol estar totalmente estabelecida, a indústria do amido se volta para a produção de alimentos e produtos químicos. Em outros mercados, como o norte-americano, o foco principal é a indústria do etanol, tendo como fonte de matéria-prima o milho. No entanto, devido à necessidade de etapas adicionais para o fracionamento do amido, de forma a tornar as unidades de glicose biodisponíveis, o custo de produção do etanol se torna superior ao do produto brasileiro. Este caso também é observado na indústria europeia que utiliza outros grãos e tubérculos para este fim.

Atualmente, atribui-se às biorrefinarias baseadas em carboidratos, tanto de composição sacarínea quanto amilácea, a denominação de “primeira geração”. Esta é uma questão meramente cronológica, já que estas biomassas foram as primeiras a serem utilizadas para a produção de alimentos, energia e compostos de interesse industrial. A Figura a seguir ilustra uma estrutura simplificada das biorrefinarias com base em carboidratos.



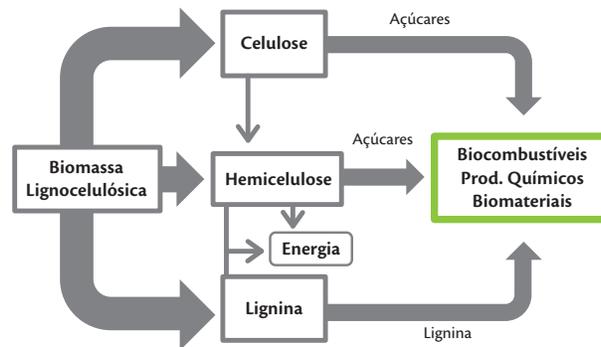
**Figura 8.3:** Estrutura simplificada das biorrefinarias com base em carboidratos

O segundo caso de Biorrefinaria é o baseado em biomassas de composição lignocelulósica. É o modelo mais complexo e conceitualmente mais desenvolvido, pois pode fazer uso de biomassas de diversas origens para a produção de uma vasta quantidade de produtos, através de uma combinação de operações (KAYLEN *et al.*, 2000). O foco deste modelo está nas biomassas oriundas de atividades agrícolas, e baseia-se em dois conceitos fundamentais para a determinação da escala e estratégia de produção, o *high value low volume*<sup>97</sup> e *low volume high value*<sup>98</sup>.

A biorrefinaria de segunda geração (Figura 8.4) utiliza biomassas residuais que se originam em atividades agrícolas. É, atualmente, a que concentra os maiores esforços P,D&I, principalmente para a produção de biocombustíveis. As tecnologias para a produção de etanol de segunda geração são as mais pesquisadas devido às pressões das crescentes demandas do mercado e a quantidade de resíduos gerados por culturas agrícolas em todo mundo.

<sup>97</sup> O conceito *high value high volume*, ou seja, elevado valor agregado e baixo volume de produção, define a estrutura de produção de especialidades.

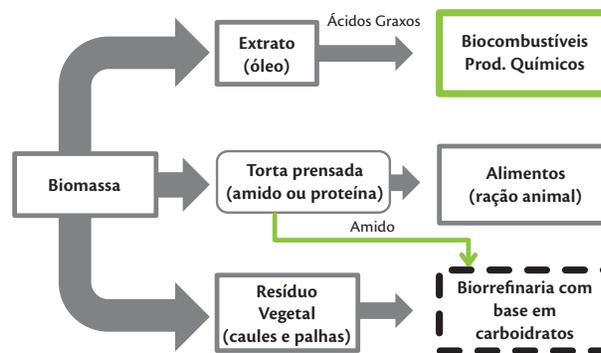
<sup>98</sup> O conceito *low value high volume* é contrário ao anterior e significa baixo valor agregado e maior estrutura de produção. Este conceito é a base para a estrutura de produção de commodities e outros produtos onde a economicidade é alcançada com produção em grande escala.



**Figura 8.4:** Estrutura simplificada para a biorrefinaria com base em biomassa de composição lignocelulósica de segunda geração

O terceiro e último caso de biorrefinaria tem como base biomassa de composição primordialmente lipídica, ou seja, tem os lipídeos como constituinte principal. Este modelo faz uso de grãos, e outros vegetais, ditos oleaginosos, cuja composição é complexa, predominando ácidos graxos com frações protéicas e amiláceas.

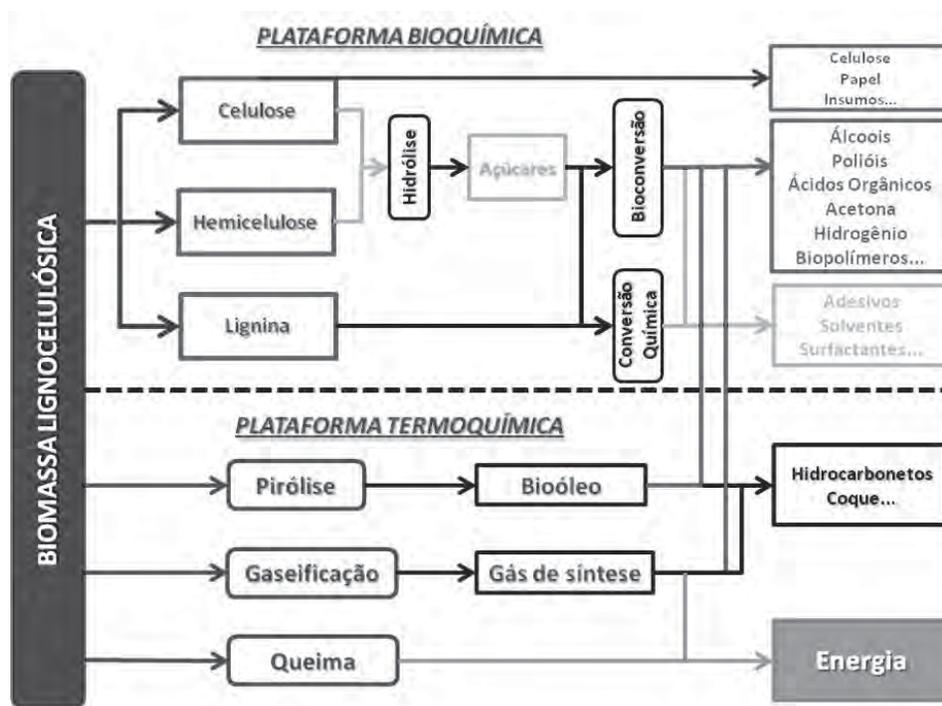
Os principais focos deste modelo de biorrefinaria são a indústria de alimentos e a de combustíveis, em especial o biodiesel e o HBio. Contudo, a Biorrefinaria de base lipídica pode ser considerada uma concatenação de todas, uma vez que, conforme mencionado, as biomassa de base oleaginosa vêm sempre associadas a outras frações, sendo normalmente de composição protéica ou glicídica, as quais também apresentam elevado potencial como fonte de matéria-prima para a geração de compostos de interesse industrial. A Figura abaixo ilustra esse conceito.



**Figura 8.5:** Esquema simplificado de uma biorrefinaria com base em biomassa de composição majoritariamente lipídica



Cabe ressaltar que os modelos de biorrefinaria aqui apresentados são baseados em tecnologias de conversão singulares, ou seja, únicas, para a conversão dos diversos produtos potenciais. São estruturas bastante intensivas em capital e energia, o que, conseqüentemente, se traduz em produtos com elevados custos de produção, principalmente para a submodalidade lignocelulósica. No entanto, o conceito de “biorrefinaria integrada” propõe a combinação de tecnologias de conversão, de ambas as plataformas, de forma a reduzir os custos globais de produção. A proposta deste submodelo vai além de biocombustíveis e bioprodutos, mas inclui a produção de energia elétrica. A Figura 8.6 ilustra uma proposta estrutural para a biorrefinaria integrada.



**Figura 8.6:** Esquema simplificado do potencial de produção da biorrefinaria lignocelulósica através da integração das plataformas

A proposta de biorrefinaria integrada demanda uma estrutura complexa, grande e com uma ampla diversidade de possibilidades. Muitos estudos vêm sendo realizados com o intuito de se estabelecer uma estrutura ótima para o aproveitamento das biomassas. A multiplicidade de soluções se deve a

uma série de parâmetros<sup>99</sup>, os quais podem ser de ordem econômica, política, industrial, tecnológica, logística, climática, ecológica e outras. O estabelecimento de um interrelacionamento harmônico entre os parâmetros mencionados é que irá definir o arranjo físico industrial ótimo.

#### 8.4.6. Natureza das inovações: os bioprodutos

Uma dimensão importante que pode ser evidenciada pela análise das propostas de inovação em desenvolvimento é a relacionada aos novos produtos. Inovações de produto são raras em combustíveis líquidos. A lógica natural da indústria é estabelecer especificações bem definidas de alguns produtos e buscar em inovações de processos a redução de custo e a melhoria de características<sup>100</sup>. Nessa linha, boa parte dos esforços é direcionada para desenvolver novos processos para a produção de combustíveis já conhecidos e utilizados, como o etanol. Mas o estágio atual da indústria vislumbra oportunidades de introduzir novos produtos, de origem renovável, que se aproximem da condição de combustíveis ideais e de outros bioprodutos que possam competir com produtos químicos de base fóssil. Um número crescente de projetos, como pode ser visto na Tabela 2.1, tem se interessado pela inovação de produto.

O problema da adaptação dos motores e da construção de infraestrutura de transporte e distribuição para o etanol e outros combustíveis de primeira geração – um problema clássico de valorização dos ativos complementares existentes – tem aberto um espaço crescente para a inovações de produto com a produção de biocombustíveis *drop in*. As discussões atuais sobre as limitações da infraestrutura americana para o etanol e as dificuldades para sua implementação reforçam essa tendência.

A crescente importância atribuída ao conceito de biorrefinaria, como abordado anteriormente, sugere que a exploração das biomassas precisa integrar uma visão multiproduto, explorando diversas correntes e processos, à semelhança das refinarias de petróleo que derivam do óleo um conjunto variado de produtos. No caso da biorrefinaria, os produtos energéticos aparecem ao lado de produtos químicos. As biorrefinarias têm sido financiadas com empenho pelo governo americano (US DOE e NREL), existindo cerca de 6 projetos em andamento. No Brasil, algumas iniciativas foram registradas de aproveitamento da cana de açúcar para a geração de outros produtos além do etanol. Citam-se os projetos da Oxiten, da associação Dow-Cristalsev e da Braskem. Dentro da linha de aproveitamento diversificado dos produtos derivados da biomassa, mas sem aplicar efetivamente o

<sup>99</sup> Sammons Jr, N. E.; Yuan, W.; Eden, M. R.; Aksoy, B.; Cullinane, H. T. Optimal Biorefinery product allocating by combining process and economic modeling. *Chemical Engineering Research and Design*, n. 86, p. 800-808. 2008.

<sup>100</sup> A lógica de especificações e normas rígidas em combustíveis, além do comportamento conservador da indústria de equipamentos de transporte (montadoras) atua como freio às inovações de produto em combustíveis.



conceito de biorrefinaria, deve ser mencionado o projeto Braskem de produção de biopolietileno a partir de etanol. Essa tendência de valorização de bioprodutos ao lado de combustíveis de grande volume é vista como importante na indústria baseada em biomassa que seria no futuro centrada em processos integrados de biorrefino gerando biocombustíveis e outros bioprodutos.

## 8.5. Empresas e estratégias

Podem ainda ser observadas as empresas envolvidas nos desenvolvimentos e a variedade de perfis e abordagens estratégicas. Destacam-se as empresas que contribuem com o seu conhecimento tecnológico de base: empresas de biotecnologia com experiência anterior em outras indústrias como a farmacêutica ou criadas diretamente para atuar em bioenergia ao lado de *start ups* com outras bases de conhecimento (engenharia química, química).

Podem ainda ser identificadas como empresas que contribuem com seu conhecimento tecnológico acumulado algumas empresas de química/biotecnologia (Du Pont) e enzimas (Novozyme). Movimentos recentes de empresas como Monsanto (adquirindo *start ups* brasileiras de genética da cana) e da BASF (anunciando o interesse em encontrar parceiros para atuar também na biotecnologia aplicada à cana de açúcar) reforçam a diversidade de novos atores em biocombustíveis. Essas empresas contribuem com conhecimentos e experiência em engenharia de processos indispensáveis para a produção em escala industrial. Esses conhecimentos são particularmente ausentes nas empresas de base tecnológica que saem das universidades e centros de pesquisa.

Algumas empresas podem ser caracterizadas pelo seu envolvimento com os combustíveis convencionais: empresas de petróleo e indústria automobilística. Essas empresas, além do aporte de financiamento para os projetos de pesquisa, podem ser importantes detentores de ativos complementares estratégicos para a introdução e adoção das inovações no mercado de combustíveis líquidos. No caso das empresas de petróleo, o negócio representa igualmente uma oportunidade de diversificação em relação aos combustíveis fósseis.

Encontram-se ainda empresas ligadas ao negócio agroindustrial. Aqui aparecem as empresas tradicionais como Cargill e ADM, com história de envolvimento na agroindústria de alimentos. Essas empresas podem ser vistas também como detentoras de ativos complementares, nesse caso ligados à cadeia de produção agrícola e logística de suprimento.

Dois casos particulares merecem um comentário a parte: Shell e BP. Chama a atenção a presença marcante da Shell em cinco projetos diferentes que se estruturaram ao longo dos últimos anos. São cinco plataformas diferentes, todas exploradas na forma de associação ou participação em empresas de base tecnológica. Os projetos incluem a produção de novas matérias primas (algas), inovações de processo (bioetanol de materiais celulósicos, combustíveis líquidos como diesel pela rota termoquímica e combustíveis a partir de açúcares pela rota química) e inovações de produtos (álcoois com maior número de átomos de carbono e novos combustíveis). A abordagem da Shell enfatiza com clareza a aposta na inovação tecnológica como base da competição em biocombustíveis, toma como foco os biocombustíveis avançados e orienta essa aposta para a exploração de diversas plataformas diferentes. Na estratégia da empresa, uma ou mais plataformas poderiam se revelar vencedoras da competição tecnológica, serem escolhidas no processo de seleção e desenvolvidas como negócios em escala comercial. As demais seriam deixadas de lado.

O caso da BP mostra uma abordagem estratégica diferente. A empresa, que informa ter investido cerca de US\$ 1,5 bi desde 2006 em biocombustíveis e bioprodutos, evidenciou mais claramente sua estratégia com os últimos movimentos realizados. A BP tem como objetivo atuar de forma ativa na expansão do mercado dos biocombustíveis partindo dos combustíveis de primeira geração e caminhando, na medida do amadurecimento dos projetos, para a produção de biocombustíveis avançados e bioprodutos. A empresa atua hoje em 7 projetos diferentes que vão da produção de etanol de primeira geração à pesquisa avançada em biotecnologia: produção de etanol no Brasil (Tropical, uma *joint venture* BP, Santelisa e Maeda), produção de etanol a partir de trigo no Reino Unido (Vivergo, uma *joint venture* BP, DuPont e British Sugar), desenvolvimento de tecnologia e produção de butanol (Butamax, uma *joint venture* BP e DuPont), produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos (Vercipia, uma *joint venture* BP e Verenum), produção de diesel a partir de açúcares (projeto desenvolvido por Martek, a partir de algas com apoio da BP), biotecnologia de sementes para culturas energéticas de alta produtividade (Mendel com apoio da BP) e finalmente a aplicação de US\$ 500 milhões, em 10 anos, para a formação do Energy Biosciences Institute (EBI), com a participação de University of California Berkeley, Lawrence Berkeley National Laboratory e University of Illinois.

Com diferenças de enfoque, as estratégias da Shell e da BP traduzem bem o processo de construção da indústria baseada em matérias primas renováveis do futuro.



## 8.6. Considerações para o planejamento da Rede Brasileira de Química Verde

A tese central deste Capítulo sugere que biocombustíveis, bioprodutos e bioprocessos tendem a constituir no futuro uma indústria muito diferente da que existe hoje, principalmente se comparada à de biocombustíveis de primeira geração (etanol e biodiesel). Essa nova indústria deve apresentar uma densidade tecnológica elevada e fazer uso de conhecimento sofisticado e originado de fronteiras atuais do conhecimento principalmente em biologia. A tecnologia tende, portanto, a ser proprietária e a se constituir no fator crítico de competitividade na indústria. A forma de acesso à tecnologia seria assim uma diferença marcante entre a atual geração de biocombustíveis e a indústria baseada em matérias-primas renováveis do futuro.

A hipótese de partida é que a utilização de biomassas para a produção de biocombustíveis e de bioprodutos deve crescer e ter peso significativo na economia. Os biocombustíveis são a força-motriz principal desse mercado, em função dos volumes demandados. Entretanto, o conceito em construção, que abre um grande número de oportunidades é o de aproveitamento integrado das biomassas para a geração de combustíveis, produtos químicos e eletricidade.

Tendo em vista a estruturação da Rede Brasileira de Química Verde, em particular o desenho de seu *Roadmap* Estratégico para os próximos 20 anos, cabe destacar a grande multiplicidade de rotas e soluções tecnológicas que se encontram em desenvolvimento e que de certa forma se encontram em competição como candidatas a soluções vencedoras do processo de desenvolvimento e difusão das inovações. É notável o impulso que a chamada *white biotech* começa a ter, mas alternativas como as rotas termoquímicas ou químicas estão presentes como opções tecnológicas possíveis; sem falar da combinação entre essas rotas. Uma grande atenção aos sinais de mercado (apostas e compromissos) e às indicações de amadurecimento e aprendizado das alternativas tecnológicas deve ser desenvolvida pelas empresas interessadas nos investimentos na área.

Na atual fase da indústria, que este estudo prospectivo considera como fluida e de experimentação, algumas características das iniciativas das empresas e agências governamentais devem ser enfatizadas. Do ponto de vista das agências, destaque-se o peso que tiveram e continuam tendo, em particular as ligadas à energia nos EUA (US Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory, entre outros), na definição de agendas claras de pesquisa, muitas vezes com metas de desempenho a serem atingidas, e alocação de recursos para os empreendimentos.

Do ponto de vista das empresas dois pontos são marcantes. O primeiro é a constante presença de associações em que se busca valorizar a complementaridade das competências. A segunda é a presença de novos atores – a maioria com origem na biotecnologia e no *agribusiness* – que tomam iniciativas nos mercados de energia e de química. Na atual etapa da indústria, esses novos atores têm convivido com as tradicionais empresas de energia e química, em associação com eles ou não. Somente o amadurecimento da indústria indicará se novos competidores efetivamente surgirão ou se a base tecnológica trazida pelas novas empresas será absorvida pelo atores estabelecidos em energia e química, apoiados em seus ativos complementares.



Tabela 8.1: Projetos selecionados em biocombustíveis e bioproductos

Empresa	Projeto	Background	Parcerias	Fontes	Natureza da inovação		
					Matéria-prima	Processo	Produto
Abengoa	Etanol de lignocelulose, rota bioquímica.	Tecnologia para infraestrutura, meio ambiente e energia, desde 1982. Produtora de etanol de 1ª geração e biodiesel.	Dyadic para enzimas; custo atual 2,1 \$/gal; pretende reduzir a 0,30 em 4 anos.	Vendas em 2008: 3,1 mi euros.	Matérias-primas lignocelulósicas.	Hidrólise enzimática	Fase piloto em 2007; demonstração em 2009; Planta piloto comercial em 2012. Pretende licenciar tecnologia.
ADM/MetaboliX	PHA.	Agroindústria; biotecnologia. MetaboliX (1992) tem mais de 130 patentes em PHA.	Joint venture criada em 2004.				Piloto. Testes de comercialização. Produção de 50.0000 t/a a partir de 2009.
Allelyx	Produtividade de cana-de-açúcar.	Biotecnologia e engenharia genética.	Votorantim Novos negócios. Adquirida pela Monsanto.		Cana-de-açúcar com maior teor de sacarose.		
Algenol	Etanol a partir de algas.		Dow.	US DOE e Dow.	Algas.		Planta piloto a ser construída em site da Dow (US\$ 50 mi). Visualiza utilização do etanol para eteno.
Amyris	Isoprenóides para substituir diesel a partir de cana-de-açúcar.	Biotecnologia; biotecnologia sintética. Fundada em 2003. Biotecnologia aplicada à saúde humana.	Crystalsev.	US\$ 110 mi equity (2008). Kleiner Perkins, Khosla, TPG, Votorantim.			Unidades no Brasil. Piloto (2009); demo (2009); teste de uso do combustível. Início de construção de planta comercial com operação em 2011. Conversão de usina de etanol para produzir capex.
Anellotec	Gasolina, diesel e BTX por pirólise de biomassa.	Start up criada em 2009.			Resíduos florestais.		Pesquisa. Piloto 2t/dia em desenvolvimento.





Empresa	Projeto	Background	Parcerias	Fontes	Natureza da inovação		
					Matéria-prima	Processo	Produto
Codexis	Biocatalise para produtos industriais e farmacêuticos.	Biocatalise inicialmente para produtos farmacêuticos. Fundada em 2002.	Shell, BioOne, Chevron, CMA, Maxigen, Pequot, Pfizer		Biocatalise	Combustíveis drop in	Acordo com Shell para comercializar combustíveis. Aplicação da tecnologia em captura de carbono
Coskata	Etanol por fermentação de gás de síntese.	<b>Start up</b> para bioenergia criada em 2006.	Khosla	GM	Gaseificação de biomassa (plasma ou outro) Fermentação do gás de síntese.		Piloto. Demo 2009: 200 mil l/a com 3 diferentes tipos de bioreator e 2 diferentes processos de gaseificação em teste Meta: 100 gal/t de biomassa, custos 1\$/gal Pretende licenciar tecnologia.
DSM Roquette	Ácido succínico.	DSM química e biotecnologia Roquette: química de produtos agrícolas; amido e derivados.				Ácido succínico.	Planta demonstração em final de construção na França Anuncia planta comercial para 2011 ou 2012.
DuPont Danisco	Etanol por hidrólise enzimática com soluções integradas da matéria prima ao produto final.	<b>Joint venture</b> formada em 2008. Danisco é parte da Genencor.		Investimentos realizados pelos participantes estimados em US\$ 100 mi nos últimos 10 anos nas tecnologias da <b>Joint venture</b> .			Demo em conclusão: 250 mil gal/a. Comercial em 2012 Licenciar depois de ter 2 comerciais operando Escala 100 mi gal/a competitiva com petróleo a US\$ 100 em 2016.
Enerkem	Metanol e derivados (etanol) via termoquímica.	<b>Start up</b> para bioenergia a partir de pesquisa em gaseificação fundada em 2000, Canadá.	Rho Ventures, Braemar Energy Ventures, BDR Capital.		Flexível, mas projetos atuais com lixo urbano (MSW), matéria prima a preço negativo 20 tipos de matéria prima testados em piloto	Metanol como básico para etanol e outros Gaseificação	Piloto desde 2003 (3.600 horas) Demo operacional (com postes descartados) 1,3 mi gal/a Acordo de 25 anos para fornecimento MSW Planta comercial em construção, 10 mi gal/a Edmonton Planta 20 mi gal/a planejada Mississippi
Envergent Ensyn/UOP	Bioóleo para fueljet a partir de pirólise.	<b>Joint venture</b> UOP e Ensyn (Canadá).	Resíduos agrícolas e florestais	pirólise	Combust. <b>Drop in</b>	Ensyn tem piloto para bio-óleo de até 100 t/d e fornece tecnologia de pirólise	Bio-óleo para fueljet a partir de pirólise Envergent Ensyn/UOP

Empresa		Projeto	Background	Parcerias	Fontes	Natureza da inovação			
						Matéria-prima	Processo	Produto	Estágio
Fulcrum	Etanol a partir de resíduos urbanos (MSW) Via termoquímica	Criada em 2007.	US Renewable Groups, Rustic Canyon Partners.	Gaseificação de MSW por plasma e síntese de etanol a partir do gás de síntese.	Planejamento de planta 90,000 t/a MSW em 10,5 mi gal/a de etanol; construção começa 2010. Contrato de fornecimento MSW Target: custo < US\$ 1/gal.	Fulcrum.	Etanol a partir de resíduos urbanos (MSW) Via termo-química.	2007	
Gevo	Produção de biobutanol pela fermentação de açúcares derivados de materiais celulósicos.	Khosla, Burrill & Company, Malaysian Life Science Fund, Total.	Biobutanol como combustível e plataforma para hidrocarbonetos produtos químicos, polímeros.	Demo em operação: 1mi gal/a Pretende adquirir plantas de etanol para retrofit.	Gevo	Produção de biobutanol pela fermentação de açúcares derivados de materiais celulósicos	Khosla, Burrill & Company, Malaysian Life Science Fund, Total.	Biobutanol como combustível e plataforma para hidrocarbonetosprodutos químicos, polímeros.	
GreenHouse	Produção de etanol em escala doméstica a partir de bebidas descartadas.			Cervejas e refrigerantes vencidos.			Modelo de negócio: equipamento em comodato e cobrança pelo consumo de matéria prima fornecida pela empresa. Escala		
logen	Produção de etanol a partir de resíduos agrícolas via bioquímica.	Criada nos anos 70. Produção de enzimas.	Shell (50%)	Total: 300 mi US\$ Shell Volkswagen Goldman Sachs PetroCanada Canadá.	Hidrólise enzimática		Piloto Demo desde 2004; 2,5 milhões l/ano; custou 60 mi\$ Produção 2009: 480 mil litros Relata dificuldades ao passar para demo. Planta comercial 90 mi l/a, local e fornecedores definidos Estágio: Feasibility study		
KIOR	Bioóleo por catalise	Criada em 2007.	Khosla Bioecon (start up)	Resíduos agrícolas	Resíduos agrícolas		Combus-tíveis <b>drop in</b>		Pesquisa em laboratório.



Empresa	Projeto	Background	Parcerias	Fontes	Natureza da inovação		
					Matéria-prima	Processo	Produto
L59	Combustíveis drop in e produtos químicos de alto valor	Biotecnologia.	Flagship, Khosla, Lightspeed, Chevron.		Fermentação microbiana.	Combustíveis <b>drop in</b>	Combináveis atendem especificações ASTM e ANP. Demo em construção. Procter & Gamble: apoio no desenvolvimento de produtos químicos de alto valor.
Martek	Biodiesel a partir dos açúcares de algas	Biotecnologia. Algas. Vendas US\$ 350 mi em 2008 para alimentos infantis (DHA)		BP US\$ 10 mi		Combustíveis <b>drop in</b>	Pesquisa. Market acha que obstáculo é custo e não tecnologia.
Mascoma	Etanol a partir de lignocelulose, hidrólise enzimática direta	Biotecnologia. Fundada em 2005.	GM, Marathon, Flagship, Khosla, Atlas, General Catalyst, Kleiner Perkins, Vantage Point	State of Michigan para planta	Bioprocesso consolidado de celulose a etanol		Demo, processo consolidado ainda será transferido para planta demo
Mendel	Sementes de miscanthus	Biotecnologia. Fundada em 1997. Começou em bioenergia em 2006.	BP			Sementes de alta produtividade	Piloto e demo da 1ª geração de sementes
Myriant	Ácido succínico e outros produtos químicos	Biotecnologia aplicada a bioprodutos. Criada em 2009 para explorar os bioprodutos de Bioenergy.				Ácido succínico	Produção em curso por tolling, pronto para comercialização. Associação com Udhe para construção de planta comercial.
Novozymes	Enzimas para hidrólise e fermentação	Enzimas, líder mundial. Vendas 2008: US\$ 1,6.				Enzimas para produção de etanol.	Nova geração de enzimas em 2010. 14% vendas em P&D.
Poet	Grande produtor de etanol. Desenvolve etanol da espiga como matéria prima						Piloto 20 mil gal/a. Logística de colheita. Considerado produtor eficiente 1ª geração. Anuncia planta etanol celulósico (25 mil gal/a) para 2011.

Empresa		Projeto	Background	Parcerias	Fontes	Natureza da inovação			
						Matéria-prima	Processo	Produto	Estrágio
Qteros	Conversão one step celulose em etanol por Clostridium.				US\$ 25 mi de Valero, BP, Venrock, Battery Ventures e Soros.		Qmicrobe (Clostridium) para converter celulose a etanol.		Piloto em construção de capacidade não divulgada e operando em 2010. Pretende licenciar tecnologia.
Range Fuels	Etanol e metanol pela via termoquímica.	Fundada em 2006. Khosia Ventures.			US\$ 250 mi, sendo: 76 grant DOE, 80 garantia USDA e 100 série B.	Madeira.	Liquefação e conversão syngas a etanol.		Piloto operacional Planta em construção (fase 1) e operando em 2010 100mi gal/a etanol.
Sapphire	Algas: tecnologia para uso de CO <sub>2</sub> cultivado, colheita e refino.	Biologia sintética. Criada em 2007.			ARCH Venture Partners, Wellcome Trust, Venrock e Cascade Investment	Algas.		Green crude a ser refinado, drop in.	Piloto 230 patentes na cadeia alga a combustível Aprovado ASTM e testes em aeronaves comerciais Demo em 3 anos.
Solazyme	Biodiesel e jetfuel a partir de algas; produtos farmacêuticos e cosmocêuticos.				US\$ 57 mi de diversos investidores VC US\$ 0,8 mi California Energy Commission.	Algas.	Cultivo de algas sem luz e CO <sub>2</sub> usando materiais celulósicos.		Selecionada pelo Dep of Defense para testes em uso militar.
Synthetic Genomics	Algas produzindo combustível tipo diesel drop in.	Biologia sintética. Fundada por Craig Venger Desde 2005 em algas.			US\$ 300 mi Exxon.	Algas.		Diesel drop in.	Pesquisa.
Vercipia	Etanol a partir de materiais celulósicos	Joint venture em 2009. Verenum e BP.							Planta de 36 mi gal/a na Florida
Verenum	Etanol via bioquímica a partir bagaço de cana Desenvolve field to pumps.	Enzimas. Criada em 2007 pela fusão de Celunol e Diversa. Vendas 2008: US\$ 70 mi.				Bagaço e outros celulósicos	Processo bioquímico.		Piloto operacional Demo em construção (1,4 mi gal/a) JV com BP (Vercipia) para produzir etanol celulósico 250 patentes publicadas 350 patentes depositadas



Natureza da inovação					
Empresa	Projeto	Background	Parcerias	Fontes	Estágio
		Matéria-prima	Processo	Produto	
Virent	Conversão química de açúcares em combustíveis.	Química. Criada em 2002.	Shell, Cargill, Honda, Venture Investors, Advantage Capital.	Conversão química de açúcares em combustíveis	Combust drop in gasolina, diesel, jetfuel.
Ze - Gen	Tecnologia de gaseificação para produção de gás de síntese.			Flexível, atualmente resíduos de construção.	Unidade de demonstração da tecnologia.
				Conversão química de açúcares em combustíveis	Demo 10 mil gal/a biogásolina em construção Projeto de planta comercial de biogásolina Target: competitivo com barril a US\$ 60-70.





## 9. Energias renováveis<sup>1</sup>

As energias renováveis representam apenas 13% do suprimento mundial de energias primárias, sendo que somente a biomassa atinge 10,5%. As principais forças motrizes que impulsionam a utilização de energias renováveis são: as preocupações com o aquecimento global, a busca por segurança energética e a volatilidade dos preços do petróleo; no caso das bioenergias pode se adicionar mais uma força que é o interesse dos governantes em reforçar a agricultura doméstica.

Em um panorama global, mais fortemente influenciado pelos problemas ambientais e de segurança energética, a International Energy Agency (IEA), no documento “World Energy Outlook 2009”, faz uma advertência em relação às implicações das emissões atmosféricas e do consumo de energia no mundo: “os sistemas de energia do mundo estão em uma encruzilhada. As tendências atuais de suprimento e consumo são claramente insustentáveis – ambientalmente, economicamente e socialmente”<sup>2</sup>. A IEA sugere também que o cenário pode e deve ser alterado, pois ainda há tempo para isso. Os dois grandes desafios apontados pela Agência são a garantia de suprimento confiável e economicamente suportável e a rápida mudança para um sistema de baixo carbono, eficiente e amigável ao meio ambiente.

Do ponto de vista estritamente ambiental, devem ser considerados os vários cenários elaborados pelo International Panel on Climate Change (IPCC)<sup>3</sup>, com recomendação clara de que se procure manter o aumento de temperatura no longo prazo abaixo de 2°C, para se assegurar que as consequências sejam ainda suportáveis. Essa meta requer que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) atinjam seu pico antes de 2020. Nessa perspectiva, o Grupo 8 (G8) solicitou que a IEA elaborasse um estudo indicando os caminhos tecnológicos (e os custos associados) que permitissem manter o aquecimento global dentro dos limites seguros sugeridos pelo IPCC. O relatório foi publicado em julho de 2008 e contempla três cenários: o de referência (“Business as usual”) e dois alternativos, o ACT mais moderado e o BLUE mais radical, visando reduzir as emissões em relação ao cenário de referência<sup>4</sup>. O horizonte considerado foi 2050.

<sup>1</sup> Este capítulo foi elaborado por Manoel Regis Lima Verde Leal, Marlos Alves Bezerra, Paulo Marcos A. Craveiro e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.

<sup>2</sup> OECD. International Energy Agency. IEA. Energy and CO<sub>2</sub> implications of the 450 Scenario. In: World Energy Outlook. 2009.

<sup>3</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report on carbon dioxide capture and storage. IPCC., New York: Cambridge University Press, 2005.

<sup>4</sup> OECD. International Energy Agency. IEA Energy Technologies Perspectives, 2008.

A Tabela 9.1 resume as principais características de cada cenário. Os resultados do referido estudo da IEA explicam a preocupação da Agência com a manutenção do cenário de referência: o aumento de 70% no consumo de petróleo e o aumento médio de temperatura de 6°C são insustentáveis ambientalmente, socialmente e economicamente.

**Tabela 9.1:** Principais parâmetros dos cenários da IEA para 2050

Item	Referência	ACT	BLUE
Meta de redução de CO <sub>2</sub> em relação a 2005 (%)	-	0	50
Consumo adicional de petróleo (%)	+70	+10	-27
Emissões de CO <sub>2</sub> (%)	+130	0	-50
Aumento médio de temperatura (°C)	6	2,4 a 2,8	2,0 a 2,4
Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera (ppm)	550	485	450
Investimento anual adicional médio (109US\$/ano)	-	400	1.100

Fonte: IEA, 2008.

Os custos de mitigação nos dois cenários alternativos de baixo carbono são elevados, mas suportáveis, representando cerca de 1,1 % do PIB mundial ao ano ( no cenário BLUE, mais radical). As medidas de mitigação consideradas para os dois principais setores da economia em termos de energia (64% das emissões de CO<sub>2</sub>) são:

- geração de energia elétrica: economia de energia, combustível fóssil/captura e sequestro de carbono, energias renováveis (eólica, solar, hidro, biomassa e geotérmica), nuclear.
- transporte: melhorias nos veículos, gas to liquid (GTL), coal to liquid (CTL), células a combustível, veículos elétricos e biocombustíveis.

Um total de 17 opções de mitigação, que não cabem serem discutidas aqui, foram avaliadas segundo um critério que leva em conta a possibilidade de se chegar à maturidade tecnológica no período



e os custos de mitigação reduzirem. Esses foram limitados a US\$ 50/ t de CO<sub>2</sub> no cenário ACT e a US\$ 200/ t de CO<sub>2</sub> no cenário BLUE.

Mais voltado para as energias renováveis, o European Renewable Energy Council (EREC) elaborou dois cenários para a expansão dessas energias, levando em conta as políticas estabelecidas e o comportamento da sociedade no passado recente. Apresenta-se na Tabela 9.2 o cenário mais conservador, que prevê a manutenção das políticas atuais. Mesmo em um cenário conservador para o EREC, a contribuição das energias renováveis na oferta mundial de energia primária chega a 22% em 2020 e 27% em 2040. Apesar de ter um crescimento mais lento, a biomassa continuará como a mais importante fonte renovável de energia primária e também como a única fonte para a produção de combustíveis líquidos para transporte. A energia eólica manterá o crescimento acelerado já observado hoje ao passo que a energia solar terá um crescimento semelhante, mas um pouco atrasado em relação à eólica.

**Tabela 9.2:** Contribuição das energias renováveis a nível mundial (Mtep)

Energia	2001	2010	2030	2040
Energia Primária (Mtep)	10.038	11.752	15.547	17.690
Biomassa	1.080	1.291	2.221	2.843
PCH	9,5	16	62	91
Eólica	4,7	35	395	580
Solar fotovoltaica	0,2	1	110	445
Solar térmica	4,1	11	127	274
Solar Termelétrica	0,1	0,4	9	29
Geotérmica	43	73	194	261
Marinha	0,05	0,1	2	9
Total Renovável	1.364,5	1.682,5	3.416	4.844
Contribuição Renovável (%)	13,6	14,3	22,0	27,4

Fonte: European Renewable Energy Council, 2006<sup>5</sup>.

Todas as formas de energias renováveis apresentadas na Tabela 9.2, com exceção das energias mari-

<sup>5</sup> EC. European Renewable Energy Council. Need for sectoral renewable energy targets. 2006.

nhas, já se encontram em estágio comercial. Apesar de ainda caras, já são muitos os avanços de P&D, restando agora o desenvolvimento de engenharia e ganhos de escala para torná-las competitivas frente a alternativas. Entretanto, é importante que se diga que programas inteligentes de P&D poderão levar a soluções disruptivas em alguns casos, como por exemplo a energia solar fotovoltaica.

Uma importante indicação do potencial futuro das energias renováveis são os investimentos em cada alternativa e as tendências ao longo do tempo. Um estudo da *United Nations Environment Programme*<sup>6</sup> mostra que tais investimentos estão crescendo aceleradamente, desde 2004, a taxas superiores a 50% ao ano, conforme mostra a Tabela abaixo.

**Tabela 9.3:** Tendências dos investimentos mundiais em energias renováveis (bilhões US\$)

Item	2004	2005	2006	2007	2008
Investimento Financeiro Total	17	36	56	112	119
Eólica	10,0	19,1	25,0	51,3	51,8
Solar	0,6	3,2	10,3	22,5	33,5
Biomassa	1,8	4,1	7,0	10,6	7,9
PCH e Marinha	0,6	1,3	1,5	3,4	3,2
Geotérmica	0,9	0,4	1,0	0,9	2,2
Eficiência energética	0,5	0,9	1,6	2,8	1,8
Outras tecnologias de baixo carbono	0,8	1,6	1,9	2,4	1,8
Biocombustíveis	1,3	5,1	18,0	18,6	16,9
Gastos em P&D e pequenos projetos	19	24	27	36	37
Total de novos investimentos	35	69	93	148	155
Transações Totais*	45	91	133	209	223

<sup>6</sup> UN. United Nation Environment Programme. Global trends in sustainable energy investment. Executive Summary 2009.



**Nota:** \* Inclui investimentos em novas instalações, fusões, aquisições e compra de participações.

**Fonte:** UN, 2009.

Algumas observações são claras: crescimento forte de investimentos em eólica, solar e biocombustíveis; desaceleração em 2008 devido à crise econômica mundial; investimento relativamente baixo em eficiência energética indicando que os custos da energia ainda estão baixos. O crescimento dos investimentos em instalações comerciais está muito mais acelerado que os gastos com P&D, o que de certa forma indica o alto grau de maturidade tecnológica já atingido por estas alternativas. Outra informação importante desta referência diz respeito à porcentagem de investimento em capacidade de geração instalada adicional das energias renováveis (sem incluir as grandes hidrelétricas) em relação à capacidade total instalada em geração nova, que passou de 5% em 2004 para 23% em 2008.

Isso posto, é possível afirmar com segurança que as energias renováveis estão chegando com força no cenário mundial, constituindo-se em opções reais para participar na expansão da oferta de energia. Merecem destaque as energias eólica, solar, biomassa e biocombustíveis. Conforme apontado pela International Energy Agency (IEA), a economia de energia é a forma mais rápida e barata para se reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e por isso será incluída também neste estudo.

No panorama nacional, a matriz energética brasileira contempla 44% de fontes renováveis de energia, bem acima dos 13% da matriz mundial. As principais fontes de energias primárias renováveis são a cana de açúcar (16%), a hidroeletricidade (15%) e o carvão vegetal/lenha (12%).

Na parte de geração de energia elétrica, o governo brasileiro decidiu privilegiar as energias renováveis na expansão do sistema brasileiro, introduzindo em 2002 o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa) que foi operacionalizado em 2004. O objetivo do Proinfa é diversificar a matriz de energia elétrica, fortemente dependente da hidroeletricidade, de forma limpa. Três fontes primárias de energias renováveis foram escolhidas: eólica, PCH e biomassa. Energia solar foi excluída, por haver sido considerada ainda muito cara. Um total de 3.300 MW foi reservado para ser dividido igualmente entre essas três fontes, porém, após dois leilões a divisão ficou em 1.423 MW para eólica, 1.191 MW para PCH e 685 MW para biomassa. Os valores das tarifas de referência para as três alternativas foram 210,20; 127,14 e 112,61 R\$/MWh para eólica, PCH e biomassa, respectivamente. Atualmente, as capacidades instaladas para cada uma delas são 1.423 MW (eólica), 1.191 MW (PCH) e 655 MW (biomassa).

Também no setor de transporte, o Brasil exhibe um perfil de baixo carbono devido principalmente à grande participação do etanol, que representa cerca de 35% do consumo energético da frota de

veículos leves (50% em volume). O biodiesel começou apenas em 2005 e já mostra força no crescimento devido às políticas governamentais de incentivos a este biocombustível. Dois desses tópicos, geração elétrica por fontes renováveis e economia de energia serão tratados em mais detalhes nas seções seguintes deste Capítulo. O foco será mais dirigido nos aspectos de viabilidade tecnológica e no potencial de penetração das alternativas que nos processos produtivos, com o intuito de se indicar como deveria ser a política e priorização de introdução das várias alternativas, bem como os investimentos em desenvolvimento tecnológico. Vale lembrar que biocombustíveis foram tratados nos Capítulos 4, 5 e 8, não sendo objeto de discussão no presente Capítulo.

Descrevem-se, a seguir, os resultados das análises realizadas para o tema “energias renováveis” no contexto do desenvolvimento da Química Verde no Brasil. Apresentam-se inicialmente os panoramas mundial e nacional da produção científica e propriedade intelectual no tema, abordando-se o período 1998-2009. Nas seções seguintes, identificam-se os tópicos tecnológicos de interesse para o estudo prospectivo sobre as energias renováveis selecionadas e apresentam-se as principais tendências tecnológicas e aspectos de mercado a eles relacionadas. Na sequência, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo portfólio tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010 - 2030. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas tecnológicos e do portfólio, com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o Brasil. Em seguida, identificam-se os condicionantes para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas tecnológicos e portfólio estratégico.

## 9.1. Panorama mundial

O panorama mundial da produção científica e propriedade intelectual sobre o tema “energias renováveis” foi elaborado a partir de levantamento direto em duas bases de dados internacionais de referência: (i) *Web of Science*, para o levantamento da produção científica<sup>7</sup>; e (ii) *Derwent Innovations Index*, para o levantamento de patentes<sup>8</sup>. Esses levantamentos abrangeram diversos termos de busca e cobriram o período 1989-2009, como apresentado a seguir.

Considerando que os termos gerais como “renewable energy” ou “biofuels” englobariam tópicos que não serão abordados neste estudo, optou-se por selecionar termos específicos relacionados a tópicos de interesse, como por exemplo, “hydrogen photoproduction” e “solar photovoltaic energy”.

---

7 ISI Web of Science. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

8 Derwent Innovations Index. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.



As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “topic” (TS) e “published year” (PY). A próxima Tabela a seguir apresenta os termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes e os resultados agregados por termo<sup>9</sup>.

**Tabela 9.4:** Termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes no tema “energias renováveis”

Ref.	Termos da estratégia de busca	Número de publicações	
(Web of Science)	Número de patentes		
(Derwent Innovations Index)			
#1	TS=hydrogen photoproduction OR TS=hydrogen biological production OR TS=photosynth* energy	7.904	402
#2	TS=biogas production OR TS=biogas	2.370	2.257
#3	TS=energy efficiency	43.856	46.661
#4	TS=wind energy	11.155	11.823
#5	TS=solar photovoltaic energy OR TS= photovoltaic energy OR TS= PV energy	4.422	3.212
#6	TS=hydropower OR TS=hydraulic energy	3.492	8.442
#7	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6	68.429*	67.514*

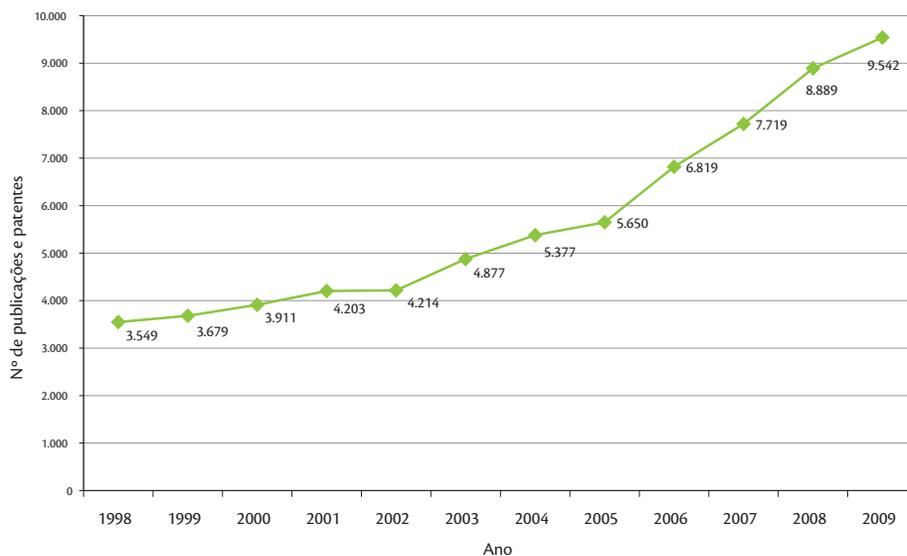
**Nota:** (\*) Resultado da estratégia de busca abrangendo todos os termos com o operador booleano OR, e eliminando os documentos em duplicata. Campo TS= tópico (mais abrangente, do que o campo TI=título).

Adotando-se a estratégia apresentada na Tabela 9.4, foram identificadas 68.429 publicações científicas e 67.514 patentes no período 1998-2009, o que demonstra a importância que vem sendo dada, particularmente na última década, ao desenvolvimento e apropriação de tecnologias referentes às energias alternativas abordadas neste levantamento.

<sup>9</sup> Almeida, M.F.L. Produção científica e propriedade intelectual referentes ao tema “energias renováveis” - tópicos selecionados: 1998-2009. Texto para discussão. Mimeo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. GGEE. Dez 2009.

A Figura 9.1 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre o tema “energias renováveis” no referido período.

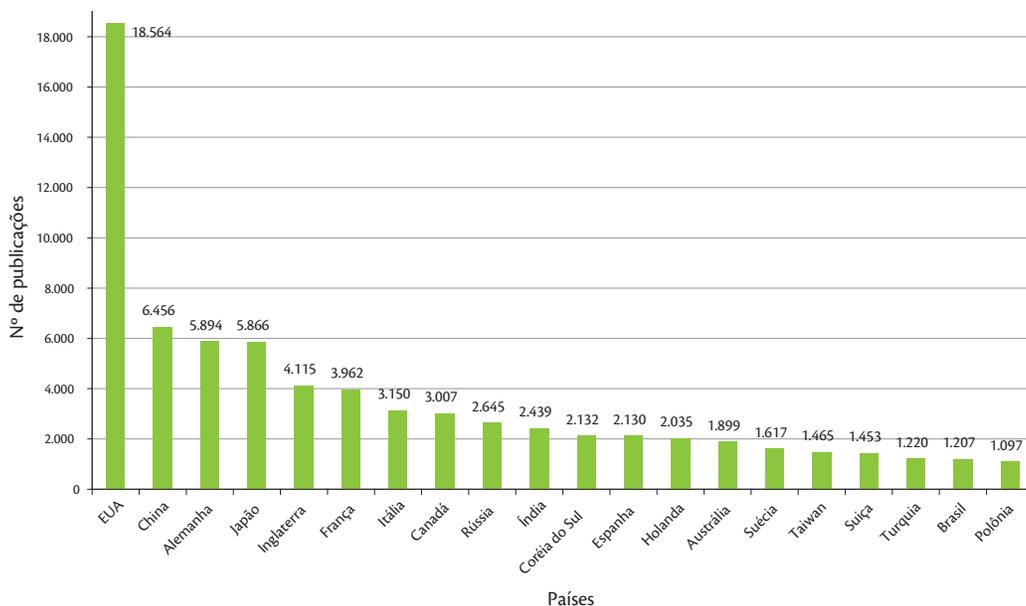
Observa-se uma curva ascendente da produção científica deste tema desde 1998, destacando-se os últimos cinco anos da série, período no qual o número de publicações científicas indexadas na base de dados consultada cresceu a uma taxa média anual de 14%.



**Figura 9.1:** Evolução do Número de publicações científicas sobre energias renováveis

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Figura 9.2 mostra os resultados da análise das 68.429 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores.



**Figura 9.2:** Publicações científicas sobre o tema “energias renováveis”, classificadas por país: 1998 – 2009 (critério “top 20”)

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Os EUA lideram o ranking mundial, com 18.564 publicações, seguidos da China, com 6.456 publicações no período. O Brasil ocupa a 19ª posição do ranking mundial de produção científica no tema “energias renováveis”, com 1.207 publicações indexadas na referida base. Essa busca indicou um total de 172 países.

Na sequência, a Tabela 9.5 apresenta o conjunto das 68.429 publicações científicas classificadas por área de especialização.

**Tabela 9.5:** Publicações científicas sobre energias renováveis, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Energia e combustíveis	8.854	12,93
Ciências ambientais	5.519	8,06
Físico-química	5.179	7,68
Física aplicada	5.089	7,44
Ciência dos materiais: multidisciplinar	4.362	6,37
Astronomia e astrofísica	4.028	5,89
Engenharia elétrica e eletrônica	3.903	5,70
Física: atômica, molecular e química	3.277	4,79
Engenharia química	3.199	4,65
Ciência e tecnologia nuclear	2.805	4,10

**Fonte:** Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

As informações da Tabela 9.5 permitem concluir que não há uma grande concentração de publicações em torno de uma ou mais áreas de especialização. Na faixa de 12,93% a 7,44%, situam-se: energia e combustíveis, ciências ambientais, físico-química e física aplicada. Em um segundo patamar, encontram-se as áreas: ciência dos materiais, astronomia e astrofísica; engenharia elétrica e eletrônica, com percentuais na faixa de 6,37 a 5,70%. As demais áreas mostradas neste ranking situam-se em patamares inferiores na faixa de 4,79 a 4,10% de publicações classificadas nas respectivas áreas.

Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 223 áreas. Cabe destacar que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

A Tabela, a seguir, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.



**Tabela 9.6:** Publicações científicas sobre energias renováveis, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Instituição	País	Número de publicações
Chinese Academy of Science	China	1.604
Russian Academy of Science	Rússia	1.161
University of California, Berkeley	EUA	863
NASA	EUA	691
Kyoto University	Japão	567
University of Tokyo	Japão	556
Centre National de la Recherche Scientifique	França	549
Osaka University	Japão	520
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Itália	490
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	EUA	482
University of Maryland	EUA	448
Indian Institute of Technology	Índia	414
University of Michigan	EUA	406
University of Illinois	EUA	392
University of Colorado	EUA	390
Tohoku University	Japão	382
University of California, Los Angeles	EUA	378
University of London Imperial College of Science Technology & Medicine	Inglaterra	377
Moscow MV Lomonosov State University	Rússia	372
Pennsylvania State University	EUA	371
University of Washington	EUA	370
California Institute of Technology (Caltech)	EUA	365
Johns Hopkins University	EUA	355
University of Wisconsin	EUA	327
Tokyo Institute of Technology	Japão	321

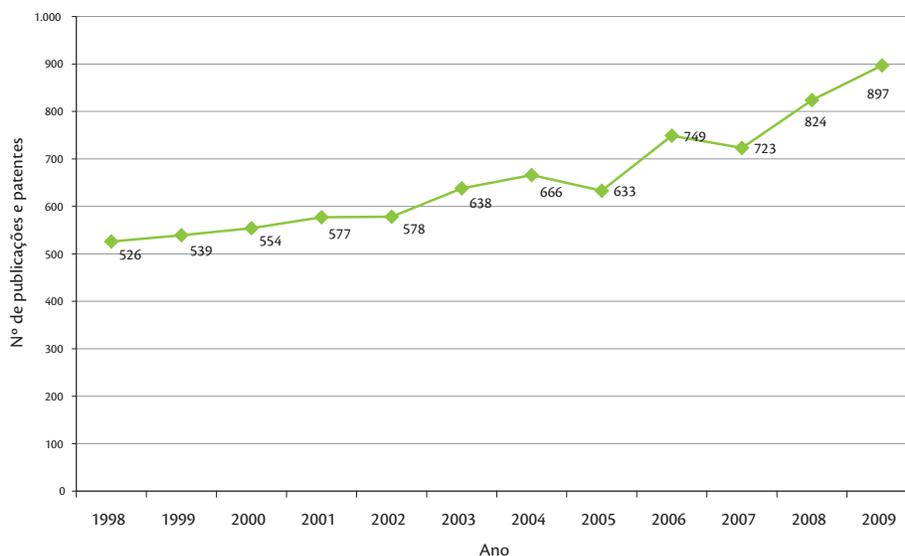
Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Em um total de 21.392 instituições, a Chinese Academy of Science lidera o ranking mundial, com 1.604 publicações em um total de 68.429 publicações. Nas próximas posições, encontram-se a Russian Academy of Science, da Rússia, a University of Califórnia, Berkeley e a NASA dos EUA, com 1.161, 863 e 691 publicações, respectivamente.

Na faixa de 567 a 520 publicações no período, destacam-se três instituições japonesas (Kyoto University, University of Osaka e Tokyo University) e o Centre National de la Recherche Scientifique, da França. Embora o Brasil ocupe a 19ª posição no ranking mundial de publicações científicas sobre o tema em questão, não aparecem instituições brasileiras no ranking das 25 principais instituições às quais os autores estão vinculados. Adiante nesta Seção, informações sobre as instituições nacionais às quais os autores brasileiros estão vinculados serão apresentadas quando da apresentação do panorama da produção científica referente a este tema no Brasil.

Tendo em vista o caráter estratégico das tecnologias que se encontram em estágio embrionário/crescimento no cenário mundial, apresenta-se a seguir os resultados da análise bibliométrica focalizando apenas o tópico “produção biológica de hidrogênio”. Foram identificadas no período 1998-2009, 7.904 publicações científicas e apenas 402 patentes. A estratégia de busca utilizou termos específicos do tópico como: “hydrogen photoproduction”; “hydrogen biological production”; “photosynthesis energy” e “photosynthetic\* energy”. As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “topic” (TS) e “year published” (PY).

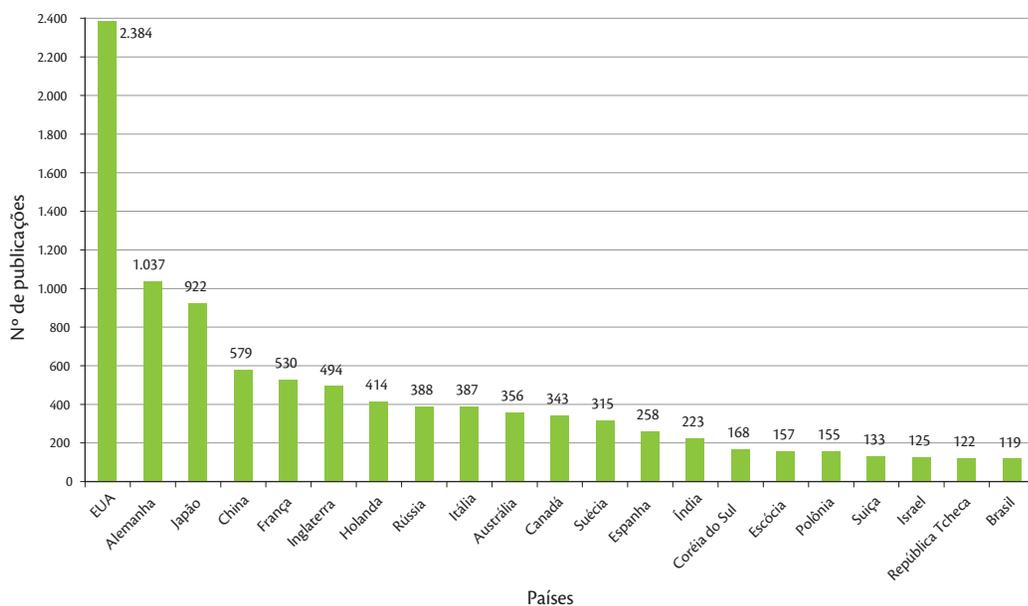
A Figura 9.3 mostra a evolução do Número de publicações científicas sobre o tópico “produção biológica de hidrogênio” no referido período. Observa-se pelo formato da curva que a produção científica sobre este tópico se encontra em estágio embrionário para crescimento, com uma produção anual média de 424 publicações no período 1998-2010. Destaca-se um período de plateau na curva no período de 1998 a 2002. A perspectiva é de crescimento para os próximos anos, pela tendência indicada no gráfico a partir de 2007.



**Figura 9.3:** Evolução do Número de publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Figura 9.4 mostra os resultados da análise das 7.904 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores. Observa-se que os EUA lideram o ranking, com 2.384 publicações, seguidos da Alemanha e do Japão, com 1.037 e 922 publicações, respectivamente. Em um terceiro patamar, encontram-se a China, a França e a Inglaterra com o número de publicações variando de 579 a 494. O Brasil ocupa a 21ª posição do ranking mundial de produção científica sobre o tópico “produção biológica de hidrogênio” com 119 publicações indexadas na referida base, em um total de 103 países.



**Figura 9.4:** Publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por país: 1998 – 2009 (critério “top 21”)

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela apresenta o conjunto das 7.904 publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por área de especialização.

As informações da Tabela 9.7 permitem concluir que não há uma grande concentração de publicações em torno de uma ou mais áreas de especialização. Na faixa de 22,26% a 14,45%, situam-se as áreas de botânica, bioquímica e biologia molecular e físico-química. Em um segundo patamar, identificam-se as áreas de biofísica, física atômica, molecular e química; ciências ambientais e química (multidisciplinar), com percentuais na faixa de 8,98 a 7,67% de publicações classificadas nas respectivas áreas. A área de energia/combustíveis ocupa a 9ª posição do ranking com 315 publicações diretamente ligadas a essa área. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 147 áreas.



**Tabela 9.7:** Publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Botânica	1.760	22,26
Bioquímica e biologia molecular	1.251	15,83
Físico-química	1.142	14,45
Biofísica	710	8,98
Física atômica, molecular e química	619	7,83
Ciências ambientais	616	7,79
Química multidisciplinar	607	7,67
Biotecnologia e microbiologia aplicada	360	4,55
Energia e combustíveis	315	3,98
Ecologia	307	3,88

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Tabela a seguir apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

**Tabela 9.8:** Publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Instituição	País	Número de publicações
Chinese Academy of Science	China	262
Russian Academy of Science	Rússia	188
Moscow MV Lomonosov State University	Rússia	172
Arizona State University	EUA	165
University of California, Berkeley	EUA	160
Kyoto University	Japão	135
Osaka University	Japão	121
Tohoku University	Japão	110
University of Illinois	EUA	104
Centre National de la Recherche Scientifique	França	98
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Itália	96
University of Glasgow	Escócia	95
Australian National University	Austrália	93
University of Sheffield	Inglaterra	92
Vrije University of Amsterdam	Holanda	88
Free University of Berlin	Alemanha	78
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Espanha	69
University of Tokyo	Japão	69
Umea University	Suécia	68
University of Munich	Alemanha	66
Pennsylvania State University	EUA	64
Universiteit Leiden	Holanda	62
Argonne National Laboratory	EUA	61
CEA Saclay	França	61
Lund University	Suécia	60

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009



Em um total de 3.409 instituições, a Chinese Academy of Science, da China, lidera o ranking mundial com 262 publicações no período considerado, seguida de duas instituições russas: a Russian Academy of Science e a Moscow MV Lomonosov State University, com 188 e 172 publicações, respectivamente.

Retomando-se o tema geral, apresentam-se, na sequência, os resultados do levantamento de patentes referentes a energias renováveis no período 1998 – 2009. Como mencionado, esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index e abrangeu os mesmos termos de busca do levantamento anterior. Foram identificadas 67.514 patentes no referido período.

Os resultados do levantamento de patentes permitiram identificar: (i) as principais áreas de especialização associadas ao conjunto de patentes (critério “top 10”), conforme indexação das áreas pelas próprias bases de dados consultadas; (ii) o número de depositantes e os destaques, enfatizando-se a presença de empresas (critério “top 25”); e (iii) uma análise por código da International Patent Classification (ICP), que revela as subclasses ICP de maior representatividade para posterior monitoramento da evolução da propriedade intelectual no tema nos próximos anos.

A Tabela 9.9 apresenta o conjunto das patentes levantadas, segundo a classificação por área de especialização do próprio sistema de indexação da referida base. A pesquisa indicou um total de 24 áreas de conhecimento.

**Tabela 9.9:** Patentes referentes ao tema “energias renováveis”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Engenharia	59.048	87,46
Instrumentos e instrumentação	50.551	74,87
Química	22.924	33,95
Energia e combustíveis	17.102	25,33
Transporte	7.218	24,93
Ciência dos polímeros	6.997	10,69
Ciência da computação	4.295	6,36
Tecnologia de construção	3.033	4,49
Metalurgia e engenharia metalúrgica	2.627	3,89
Recursos hídricos	2.493	3,69

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Ao se analisar as informações sobre patentes apresentadas na Tabela 9.9, observa-se que um percentual bastante significativo refere-se diretamente a duas áreas: engenharia e instrumentos/instrumentação (87,46 e 74,87%, respectivamente). Classificados na área energia/combustíveis há 17.102 documentos, correspondendo a 25,33% do total.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes (Tabela 9.10). Observa-se que a maioria das empresas são de origem japonesa, sendo a Toyota a líder do ranking mundial, com 589 patentes. Seguem-se a LG, a Matsushita e a General Electric com 90, 89 e 69 patentes, respectivamente. A busca indicou um total de 47.468 depositantes.

**Tabela 9.10:** Patentes referentes ao tema “energias renováveis”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Depositante	Número de patentes
Toyota Jidosha KK 589	589
LG Electronics Inc 507	507
Matsushita Denki Sangyo KK 481	481
General Electric Co 348	348
Toshiba KK 320	320
Canon KK 296	296
Hitachi Ltd 293	293
Mitsubishi Electric Co 239	239
Samsung SDI Co Ltd 239	239
Mitsubishi Jukogyo KK 227	227

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela mostra os resultados da análise das 67.514 patentes segundo as subclasses da International Patent Classification (ICP).



**Tabela 9.11:** Patentes referentes ao tema “energias renováveis”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
F03D-009/00	2.040
F03D-011/00	1.019
F03D-003/00	972
H01L-031/00	959
F03B-013/00	921
H01L-031/04	866
H01M-008/04	820
F24J-002/00	746
F03D-001/00	745
B09B-0C3/00	704

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Constata-se que as subclasses ICP de maior representatividade encontram-se na classe F03 - “máquinas ou motores a líquidos; motores movidos a vento, molas, pesos ou outros; produção de força mecânica ou de empuxo propulsivo por reação, não incluída em outro local” e nas classes H01 – “elementos elétricos básicos”, F24 – “aquecimento; fogões; ventilação” e B09 - “eliminação de resíduos sólidos; recuperação de solo contaminado”.

A exemplo do que foi mostrado no panorama da produção científica sobre o tema objeto deste Capítulo, apresenta-se a seguir os resultados do levantamento de patentes focalizando especificamente o tópico “produção biológica de hidrogênio”.

A Tabela 9.12 apresenta o conjunto das 402 patentes levantadas neste tópico, segundo a classificação por área de especialização do próprio sistema de indexação da referida base. Foram identificadas ao todo 26 áreas de especialização às quais as patentes referentes à produção biológica de hidrogênio estão vinculadas.

**Tabela 9.12:** Patentes referentes ao tópico “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de patentes	%
Química	333	82,83
Engenharia	246	61,19
Instrumentos/instrumentação	159	39,55
Biotecnologia e microbiologia aplicada	155	38,55
Energia e combustíveis	130	32,33
Agricultura	115	28,60
Recursos hídricos	84	20,89
Ciência da computação	11	2,73
Metalurgia e engenharia metalúrgica	8	1,99
Ótica	6	1,49

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

A análise das informações sobre patentes mostradas na Tabela 9.12 indica que um percentual significativo dos documentos referem-se diretamente a duas áreas: química (82,83%) e engenharia (61,19%). Em um segundo patamar, situam-se três áreas de especialização: instrumentos/instrumentação (39,55%), biotecnologia e microbiologia aplicada (38,55%) e energia/combustíveis (32,33%). Neste ranking (“top 10”), as demais áreas possuem percentuais inferiores de patentes classificadas segundo as respectivas áreas (de 28,60 a 1,49 %). Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes (Tabela 9.13). Observa-se que as empresas líderes são a Neste Oil Basf AG e a Chiktu Kankyo Sangyo Gijitsu Kenkyu, ambas com 9 patentes, seguidas de 23 depositantes com o número de patentes variando de 4 a 2. A busca indicou ainda um total de 568 depositantes.



**Tabela 9.13:** Patentes referentes à “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Depositante	Número de patentes
Neste Oil OVJ	9
Zh Chiktu Kankyo Sangyo Gijitsu Kenkyu	9
Agric Electrifi Res Inst	4
C&M Group LLC	4
Sumitomo Heavy Ind Ltd	4
Bremer, B.W.	3
Carson, R. W.	3
Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So	3
EERC Energy Environmental Res Cent	3
ENI Technologie Spa	3
Scimist Inc	3
Univ Henan Agric	3
Univ Zhejiang	3
Agency of Industrial Science and Technology (Japão)	2
Amaral Remer R.	2
Basf AG	2
Basf SE	2
Cargill Inc.	2
Commissariat à l’Energie Atomique (França)	2
J. Craig Venter Institute	2
Council of Scientific & Industrial Research (India)	2
Ebara Corp.	2
Elsbett L.	2
Galloway T. R.	2
Harbin Institute of Technology	2

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela 9.14 mostra os resultados da análise das 402 patentes segundo as subclasses da International Patent Classification (ICP).

Para monitoramento posterior das patentes neste tópico com a utilização da International Patent Classification (ICP) como referência, identificam-se sete classes ICP, a saber: C<sub>12</sub>P – “processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros óticos de uma mistura racêmica” (4 subclasses distintas); C<sub>12</sub>M – “aparelhos para enzimologia ou microbiologia”, C<sub>12</sub>N – “microorganismos ou enzimas; suas composições; propagação, preservação, ou manutenção de microorganismos ou tecido; engenharia genética ou de mutações; meios de cultura”; C<sub>10</sub>G- “craqueamento de óleos hidrocarbonetos; produção de misturas hidrocarbonetos líquidos, por ex., por hidrogenação destrutiva, oligomerização, polimerização. ...” C<sub>02</sub>F- “tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos”; A<sub>01</sub>G – “horticultura; cultivo de vegetais, flores, arroz, frutas, vinhas, lúpulos ou algas; silvicultura; irrigação”. A classe B<sub>10</sub>G não consta da - edição 2007.01 da Classificação Internacional de Patentes Atual, que entrou em vigor a partir de janeiro de 2007<sup>10</sup>.

**Tabela 9.14:** Patentes referentes ao tema “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
C12P-003/00	41
C12M-001/00	31
C12N-001/20	24
A01G-007/00	21
C02F-003/34	21
C12P-005/02	16
C12P-007/02	16
B10G-003/00	14
C10G-003/00	14
C12P-005/00	14

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

<sup>10</sup> World Industrial Property Organization. WIPO. International Patent Classification. Edição 2007.1 em português. Disponível em: <<http://www6.inpi.gov.br/patentes/classificacao/classificacao.htm>>. Acesso em: dez 2009.



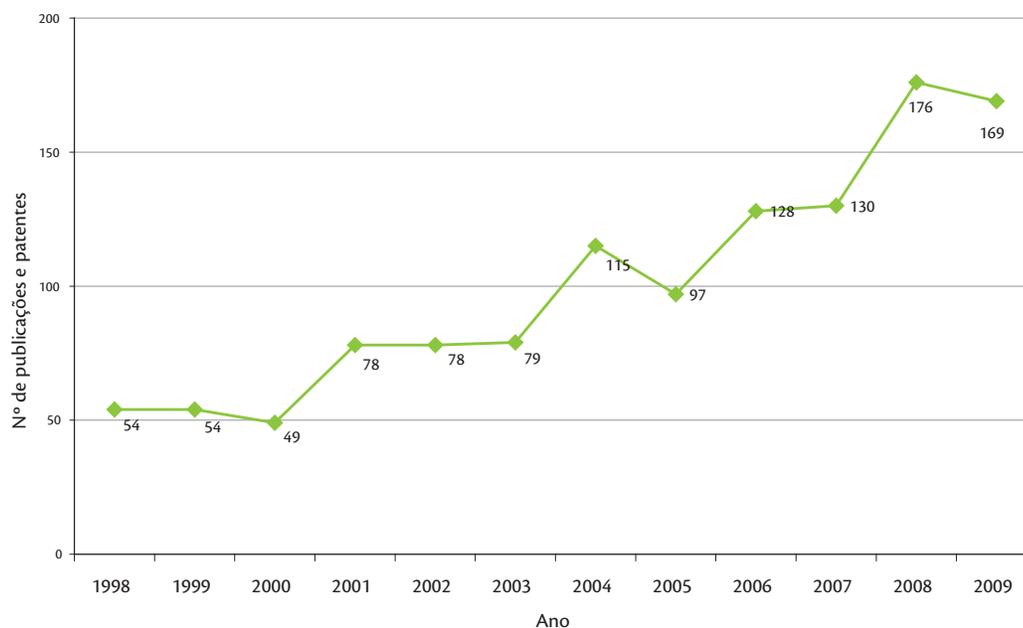
Buscou-se mostrar indicadores bibliométricos de publicações científicas e patentes associados ao tema “energias renováveis” objeto deste Capítulo, focalizando-se tópicos específicos de interesse para o estudo prospectivo. Particularmente, pela sua importância estratégica para o país, apresentaram-se indicadores focalizando especificamente o tópico “produção biológica de hidrogênio”. Os tópicos objeto desta análise constituem alternativas energéticas que deverão contribuir para viabilizar a transição mundial e nacional da denominada “era do petróleo” para a era das energias renováveis.

Vale destacar, entretanto, que qualquer resultado de uma análise bibliométrica tem caráter apenas indicativo, recomendando-se seu cruzamento posterior com outras informações e análises referentes aos tópicos tecnológicos associados ao tema geral (Seção 9.3).

## 9.2. Panorama nacional

Com relação à produção científica nacional no período 1998-2009, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 19ª posição do ranking mundial de produção científica no tema “energias renováveis”, com 1.207 publicações indexadas na referida base (Ver Figura 9.2). Nesta Seção, busca-se apresentar a evolução da produção científica no referido período e analisá-la em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 9.15, a seguir.

A Figura a seguir mostra a evolução do Número de publicações científicas sobre “energias renováveis” no período 1998-2009.



**Figura 9.5:** Evolução do Número de publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “energias renováveis”: 1998 - 2009

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Observa-se pelo formato da curva que a produção científica sobre o tema se encontra em estágio embrionário para crescimento, com uma produção anual média de 100 publicações no período 1998-2010. A perspectiva é de crescimento para os próximos anos, pela tendência geral indicada no gráfico.

A Tabela 9.15 apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem dos autores brasileiros.



**Tabela 9.15:** Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “energias renováveis”, classificados segundo a instituição de origem de seus autores: 1998 – 2009

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	275
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	112
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	102
Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho (UNESP)	São Paulo	88
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	86
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	49
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	42
Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul	38
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	35
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	Diversos	34
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	31
Universidade Federal do Paraná	Paraná	27
Universidade Estadual de Maringá	Paraná	25
Universidade de Brasília	DF	22
Universidade Federal de Uberlândia	Minas Gerais	21
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)	São Paulo	19
Universidade Estadual do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	18
Universidade Federal da Paraíba	Paraíba	17
Universidade Federal do Ceará	Ceará	17
Universidade Estadual do Norte Fluminense	Rio de Janeiro	16
Universidade Federal de Alagoas	Alagoas	15
Universidade Federal Rural de Pernambuco	Pernambuco	15
IPEN	Rio de Janeiro	13
Embrapa	Diversos	12

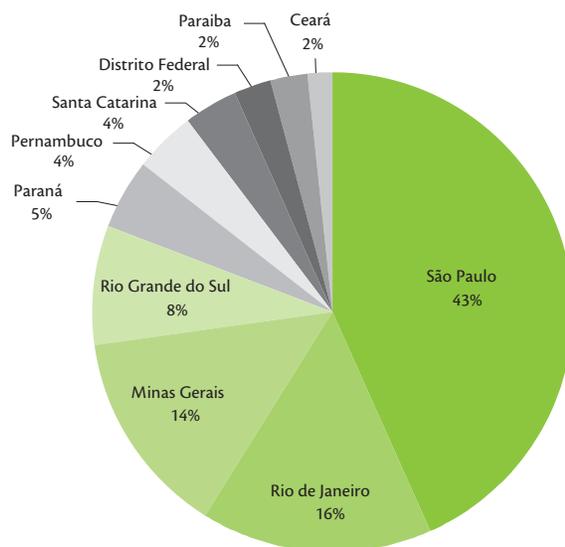
Instituição	Estado	Número de publicações
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	12
Universidade Federal de Lavras	Minas Gerais	12
Universidade Federal de Campina Grande	Paraíba	11
Universidade Federal Fluminense	Rio de Janeiro	11
Universidade Federal do Mato Grosso	Mato Grosso	10
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia	Amazônia	9
Universidade Federal da Bahia	Bahia	9
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas	Rio de Janeiro	8
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ)	DF	7
Instituto de Zootécnica	São Paulo	7
Universidade Federal de Goiás	Goiás	7
Universidade Federal de Itajubá	Minas Gerais	7
Universidade Federal do Espírito Santo	Espírito Santo	7
Universidade Federal de Sergipe	Sergipe	6
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais	Minas Gerais	5
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul 5	Mato Grosso do Sul	5
Universidade Federal do Pará	Pará	5
CEPEL	Rio de Janeiro	4
CNEN	Diversos	4
Laboratório Nacional Luz Síncrotron	São Paulo	4
Observatório Nacional	Rio de Janeiro	4
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	4
Universidade Estadual do Ceará	Ceará	4
Universidade Estadual do Oeste do Paraná	Paraná	4
Universidade Federal de Juiz de Fora	Minas Gerais	4
Universidade Federal de Pelotas	Rio Grande do Sul	4

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009



Lideram o ranking das instituições brasileiras a Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual de Campinas e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, com 275, 112 e 102 publicações indexadas no período 1998-2009. Foram identificadas 1.021 instituições às quais os autores brasileiros estão vinculados.

Apresenta-se na Figura 9.6 a distribuição percentual das publicações científicas com relação aos Estados da Federação, adotando-se como linha de corte até 20 publicações.



**Figura 9.6:** Distribuição percentual das publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “energias renováveis” por Estado da Federação (linha de corte até 20 publicações)

Conforme a Figura 9.6, lideram a produção científica brasileira em “energias renováveis” os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, com percentuais de 43%, 16% e 14%, respectivamente. Importante mencionar a participação dos Estados da Região Nordeste – Pernambuco, Paraíba e Ceará - e da região Sul – Santa Catarina, Paraná e rio Grande do Sul.

Para complementar o panorama nacional, recomenda-se posteriormente o estudo dos grupos de pesquisa atuantes no Brasil nos tópicos abordados neste Capítulo, assim como o levantamento nas bases de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI)<sup>11</sup>, Spacenet (Europa)<sup>12</sup> e

<sup>11</sup> Base de dados INPI. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br>>. Acesso em: dez 2009.

<sup>12</sup> Base de dados Spacenet. Disponível em:<<http://ep.spacenet.com>>. Acesso em: dez 2009.

USPTO (EUA)<sup>13</sup> para investigar em maior detalhe a posição do Brasil em termos de propriedade intelectual em relação ao tema. Isso porque no levantamento na Derwent Innovations Índex, o Brasil não aparece em destaque em relação a nenhum dos tópicos abordados no período 1998-2009, ao contrário da produção científica.

### 9.3. Tópicos associados ao tema

O Quadro 9.1 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema “energias renováveis” que foram selecionados para a construção dos mapas tecnológicos no mundo e no Brasil. Inclui os descritivos dos tópicos, o grau de maturidade de cada tópico no mundo<sup>14</sup> e os setores mais impactados pelo seu desenvolvimento no país. As referências alfanuméricas na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos respectivos mapas tecnológicos.

**Quadro 9.1:** Tópicos associados ao tema “energias renováveis”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T6a	Produção biológica de hidrogênio	Produção de hidrogênio por microorganismos	Embrionário/crescimento	Meio ambiente, energia e petróleo
T6b	Biogás	Aproveitamento de resíduos	Crescimento	Meio ambiente, petróleo e agroindústria
T6c	Eficiência energética	Melhoria do rendimento energético dos atuais processos	Crescimento	Todos os setores
T6d	Energia eólica	Produção de energia elétrica limpa	Maduro	Energia elétrica
T6e	Energia solar fotovoltaica	Produção de energia elétrica limpa	Maduro	Energia elétrica
T6f	Energia hidráulica	Produção de energia elétrica com impacto do reservatório	Maduro	Energia elétrica e meio ambiente

<sup>13</sup> Base de dados USPTO. Disponível em: <<http://www.uspto.gov>>. Acesso em: dez 2009.

<sup>14</sup> De acordo com Roussel, P. Technological maturity proves a valid and important concept. *Research Management*. V. 27. n.1, January-February 1984; Roussel, P. A., Saad, K. N.; Erickson, T. J. *Third generation R&D: managing the link to corporate strategy*. Cambridge: Harvard Business School Press. 1991.



Apresentam-se a seguir as principais tendências tecnológicas dos tópicos em questão, visando fundamentar a análise prospectiva do tema “energias renováveis”, cujos resultados são apresentados nas Seções 9.4 e 9.5.

### 9.3.1. Produção biológica de hidrogênio

O hidrogênio, apesar de ser o elemento mais abundante na terra, é altamente reativo e não é encontrado livre na atmosfera. Atualmente, a maior parte do hidrogênio utilizado como combustível é produzida a partir de combustível fóssil, especialmente gás natural. Logo, não é o hidrogênio em si, mas o seu método de fabricação que decidirá se a nova fonte de energia será ambientalmente amigável ou não.

A principal motivação para os estudos de processos biológicos para a produção de hidrogênio é obter um combustível “limpo”, sem utilização prévia de eletricidade e sem geração de gases poluentes que contribuem para o aumento do efeito estufa, sendo, portanto, ecologicamente correto. Estima-se que é possível uma eficiência de conversão da radiação solar em  $H_2$  de até 10%.

A produção biológica de hidrogênio pode ser realizada por duas categorias de organismos vivos (microorganismos): (i) os que possuem a capacidade de realizar fotossíntese; e (ii) aqueles que realizam o processo de produção de  $H_2$  por fermentação (T6a).

A produção biológica de  $H_2$  por intermédio da fotossíntese, por sua vez, pode ser conduzida por: (i) algas verdes (biofotólise direta); (ii) cianobactérias (biofotólise indireta); e (iii) por bactérias fotossintetizantes (fotodecomposição de compostos orgânicos).

Na produção de  $H_2$  por algas verdes os principais microorganismos dessa categoria são as *Chlamydomonas reinhardtii*, algas eficientes na produção de  $H_2$  a partir da água. Já na produção de  $H_2$  por cianobactérias, hidrogênio e oxigênio são formados a partir da energia solar e da água, sem desprendimento de  $CO_2$ . Nas cianobactérias podem existir três tipos de enzimas diretamente envolvidas no metabolismo do  $H_2$ : a nitrogenase, que catalisa a redução de  $NH_4^+$  a  $N_2$  com liberação obrigatória de  $H_2$ ; a hidrogenase de assimilação, que recicla o  $H_2$  liberado pela nitrogenase e a hidrogenase bidirecional, que por sua vez pode produzir ou consumir  $O_2$ . As cianobactérias unicelulares são as únicas capazes de produzir hidrogênio através da biofotólise indireta da água.

Na produção de  $H_2$  por bactérias fotossintetizantes, as bactérias envolvidas são as do gênero *Chromatium*, capazes de degradar glicose completamente à  $CO_2$  e  $H_2$  ( $C_6H_{12}O_6 + H_2O \rightarrow 12H_2 + 6CO_2$ ),

utilizando um amplo espectro de luz. Uma outra grande vantagem desses microorganismos reside no fato dos mesmos consumirem diversos substratos orgânicos, o que possibilita a produção de  $H_2$  a partir de efluentes.

Na produção de hidrogênio por fermentação – segunda rota - o  $H_2$  é libertado pela ação de hidrogenases, como meio de eliminar o excesso de elétrons gerados durante a degradação de hidratos de carbono. As principais espécies utilizadas para esse fim são a *Clostridium acetobutylicum* e a *Clostridium perfringens*. Ambas possuem alta velocidade de produção de hidrogênio; com essa produção sendo constante durante o dia e a noite. Em função do substrato utilizado, as bactérias fermentativas podem ser classificadas em proteolíticas ou sacarolíticas.

Do exposto, observa-se que existe uma grande quantidade de microorganismos produtores de  $H_2$ , todos eles apresentando vantagens que devem ser aproveitadas e desvantagens que devem ser superadas (Quadro 9.2).

**Quadro 9.2:** Vantagens e desvantagens da utilização de diversos microorganismos para a produção de  $H_2$

Microorganismo	Vantagens	Desvantagens
Algas verdes	Utilizam água como substrato.	Necessitam de iluminação. Necessitam de atmosferas pobres em oxigênio (inibição por $O_2$ ).
Cianobactérias	Utilizam água como substrato. Nitrogenase produz principalmente $H_2$ . Fixam $N_2$ .	Necessitam de iluminação natural. Inibição da nitrogenase por $O_2$ . Hidrogenase deve ser cancelada para não degradar o $H_2$ produzido. Produção de $CO_2$ .
Bactérias fotossintetizadoras	Utilizam substratos de diferentes resíduos e efluentes. Utilizam amplo espectro de luz.	Necessitam de iluminação constante. Produção de $CO_2$ .
Bactérias fermentativas	Utilizam substratos de ampla variedade de fontes de carbono. Não necessitam de iluminação. Produzem metabólitos secundários de alto valor agregado. Processo anaeróbico sem problemas de inibição por $O_2$ .	Resíduo de fermentação necessita de tratamento para não causar problemas de poluição. Produção de $CO_2$ .



A produção de  $H_2$  por algas verdes utiliza as algas *Chlamydomonas reinhardtii*, que são eficientes na produção de  $H_2$  a partir da água e que, seguramente, são a maior aposta da comunidade científica para uma produção economicamente viável e sustentável de hidrogênio no futuro próximo.

O US Department of Energia (DOE) dos EUA estima ser necessário apenas 9000 Km<sup>2</sup> de área cultivada com algas para se ter uma produção de  $H_2$  suficiente para substituir toda a gasolina consumida naquele país (com uma eficiência de conversão da radiação solar em  $H_2$  de 10%)<sup>15</sup>. A produção sustentada de  $H_2$  pelas algas *Chlamydomonas reinhardtii* é consequência da inativação reversível da atividade fotossintética, que por sua vez leva a uma diminuição na oxidação da água a  $O_2$  (condições de anaerobiose).

Estudos científicos demonstraram que a remoção do enxofre do meio de cultura das células provoca essa inativação. Nessa condição (deficiência de enxofre), ocorre uma conversão de uma proteína do P680 (QA reduzida para uma QA não reduzida). A QA não reduzida, que é um intermediário no ciclo de reparo do P680, se acumula em função da incapacidade do P680 ser totalmente reparado dos efeitos de danos provocados pela radiação, devido a deficiência de aminoácidos sulfurados<sup>16</sup>. Como consequência, a transferência de elétrons na membrana dos tilacóides é significativamente reduzida ou até mesmo interrompida, provocando a redução na produção de  $O_2$ . Por consequência, ocorre uma transição do meio de cultura de *C. reinhardtii* de aeróbico para anaeróbico, resultando na indução de uma hidrogenase que é responsável pela produção de  $H_2$ .

Para que a produção de  $H_2$  por algas verdes se torne viável alguns gargalos de produção devem ser superados: (i) redução do tamanho do sistema “antena” do P680; (ii) aumento da taxa de dissipação dos prótons formados no lúmen do tilacóide; e (iii) redução da inibição da atividade da hidrogenase pelo  $O_2$ .

As culturas de algas que são encontradas livremente na natureza apresentam uma baixa eficiência de utilização da radiação solar. Isso decorre do fato das mesmas possuírem um “grande” sistema “antena” do P680, ou seja, apresentam grande quantidade de clorofilas ligadas ao fotossistema II. Essa massa de clorofila proporciona uma cor verde escura à cultura de células, o que reduz a entrada de radiação para as camadas inferiores do cultivo, decrescendo a eficiência de utilização da radiação. Como resposta ao exposto acima, vários mutantes com a característica de possuírem um sistema “an-

<sup>15</sup> US Department of Energy. DOE. A prospectus for biological  $H_2$  production. 2009. Disponível em: <<http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/production/pdfs/photobiological.pdf>>. Acesso em: dez 2009.

<sup>16</sup> Ghirardi, M. L.; Kosourov, S.; Tsygankov, A.; Rubin, A.; Seibert, M. Cyclic photobiological algal  $H_2$  production. In: Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review, NREL/CP-610-32405, 2002.

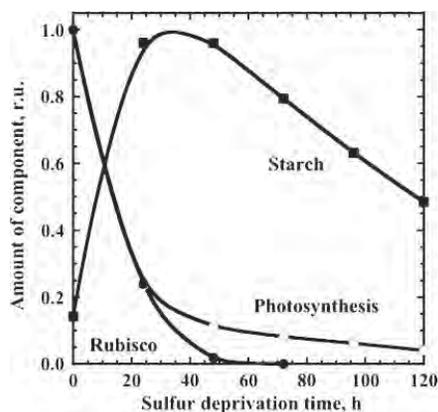




Em outro campo, as pesquisas buscam separar temporalmente a produção de  $O_2$  e  $H_2$ . Essa estratégia já é bastante utilizada, com o processo sendo nomeado de produção fotossintética de  $O_2$  e produção de  $H_2$  em duas fases. Na primeira fase, as algas verdes são crescidas em ambiente sob irradiação (fotossíntese normal) até alcançar uma certa densidade de células na cultura. Após, se retira o enxofre do meio de cultura, provocando o declínio da fotossíntese e a manutenção da respiração, fazendo com que em pouco tempo o meio ambiente se torne anaeróbico e propicie a atividade da hidrogenase e produção de  $H_2$ <sup>18</sup>. Adicionalmente, pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de produzir hidrogenase tolerante ao  $O_2$ . Hidrogenases Ni-Fe tolerante ao  $O_2$  já foram identificadas em vários microorganismos, como na bactéria *Rubrivivax gelatinosus*, podendo em curto tempo ser geneticamente expressa em uma cianobactéria.

Além da própria resolução dos gargalos acima descritos, visando à produção de algas para a produção de  $H_2$  em larga escala, outra gama enorme de possibilidades descortina-se no campo da produção de biocombustíveis por organismos fotossintéticos. Entre esses, destaca-se a produção integrada de  $H_2$  pelo cultivo integrado de diferentes microorganismos.

Quando uma cultura de *C. reinhardtii* é submetida a um ambiente desprovido de enxofre, concomitantemente com a produção de  $H_2$ , em função da parada dos transportes de elétrons na cadeia de transporte de elétrons dos tilacóides ocorre uma massiva mudança na expressão gênica e logicamente no metabolismo das células, com uma forte degradação de proteínas e um surpreendente aumento no conteúdo de amido<sup>19</sup> (Figura 9.8).

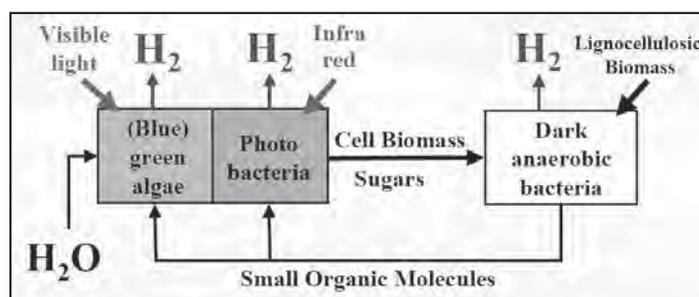


**Figura 9.8:** Produção de amido concomitante com declínio da fotossíntese e atividade da Rubisco em células de *Chlamydomonas reinhardtii* cultivadas sob condições de anaerobiose

<sup>18</sup> Melis, A., Happe, T. Hydrogen Production. *Green Algae as a Source of Energy*. *Plant Physiology*, v.127, p. 740 - 748, 2001.

<sup>19</sup> Melis, A. Photosynthetic  $H_2$  metabolism in *Chlamydomonas reinhardtii* (unicellular green algae). *Planta*, v.226, p. 1075–1086, 2007.

A produção metabólica de  $H_2$  ligada a uma produção de amido por *C. reinhardtii*, aliada ao metabolismo dos outros organismos aqui discutidos, sugere o desenho de um sistema integrado em que os microorganismos submetidos tanto a condições aeróbicas, quanto a condições anaeróbicas, utilizando radiação visível e no infravermelho, produzem  $H_2$  e substrato (especialmente amido e material celulósico) para outro grupo de microorganismo que em condições de anaerobiose degradam essas moléculas por um processo fermentativo, produzindo também  $H_2$  e pequenas moléculas orgânicas, que por sua vez podem alimentar os microorganismos fotossintéticos<sup>20</sup> (Figura 9.9).



**Figura 9.9:** Co-cultura de algas verdes, cianobactérias, bactérias fotossintetizadoras e bactérias fermentativas em reatores integrados

Em uma outra linha de pesquisa, recentemente foi mostrado que a adição de nanopartículas de platina no P700 de uma bactéria termofílica proporcionou a produção de  $H_2$  in vitro, sob iluminação artificial. Nesse arranjo, os elétrons transportados desde o P680, ao chegarem no P700, ao invés de serem entregues a hidrogenase, são catalisados pela platina, formando  $H_2$ . Segundo os autores, essa produção se manteve estável por cerca de 85 dias<sup>21</sup>. Evidentemente que as pesquisas nesse sentido são incipientes, devendo ser essa uma linha promissora para o avanço do conhecimento sobre a produção biológica do  $H_2$ .

<sup>20</sup> Melis, A.; Melnicki, M. R. Integrated biological hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, v.31, p. 1563 – 1573, 2006.

<sup>21</sup> Iwuchukwu, I. J.; Vaughn, M.; Myers, N.; O'Neill, H.; Frymier, P.; Bruce, B. D. Self-organized photosynthetic nanoparticle for cell-free hydrogen production. *Nature Nanotechnology*, Published online: 8 November 2009 | doi:10.1038/nnano.2009.315.



### 9.3.2. Biogás

O biogás é um gás natural resultante da fermentação anaeróbica de dejetos animais, resíduos vegetais, lixo industrial ou residencial em condições adequadas. Compõe-se de uma mistura de gases que tem sua concentração determinada pelas características do resíduo e pelas condições de funcionamento do processo de digestão. É constituído principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e geralmente apresenta em torno de 65% de metano, sendo o restante composto na maior parte por dióxido de carbono e alguns outros gases, porém, em menores concentrações<sup>22</sup>. A Tabela 9.16 apresenta a composição do biogás.

A utilização do biogás como recurso energético é devida fundamentalmente ao metano, que quando puro em condições normais de pressão (1 atm) e temperatura (0°) possui um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m<sup>3</sup>. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% tem um PCI entre 4,95 e 7,92 kWh/m<sup>3</sup>.

**Tabela 9.16:** Composição do biogás

Gás	Símbolo	Concentração no biogás (%)
Metano	$\text{CH}_4$	50 - 80
Dióxido de carbono	$\text{CO}_2$	20 - 40
Hidrogênio	$\text{H}_2$	1 - 3
Nitrogênio	$\text{N}_2$	0,5 - 3
Gás sulfídrico e outros	$\text{H}_2\text{S}, \text{N}_2, \text{H}_2, \text{CO}, \text{O}_2$	1 - 5

Fonte: La Farge, 1979<sup>23</sup>.

A Tabela a seguir mostra a equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia.

<sup>22</sup> Ferraz, J. M. G.; Mariel, I. E. Biogás uma fonte alternativa de energia. Sete Lagoas: Embrapa.CNPMS,1980.

<sup>23</sup> La Farge, B. Le biogaz. Procédés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1979.

**Tabela 9.17:** Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia

Energético	Ferraz; Mariel, 1980	Sganzerla, 1983	Nogueira, 1986	Santos, 2000
Gasolina (l)	0,61	0,613	0,61	0,6
Querosene (l)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (l)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (l)	-	0,79	0,80	-

Fonte: Ferraz; Mariel, 1980<sup>24</sup>; Sganzerla, 1983<sup>25</sup>; Nogueira, 1986<sup>26</sup>; Santos, 2000<sup>27</sup> apud Coldebella et al. 2008<sup>28</sup>.

Transformar o biogás em energia elétrica depende da utilização de geradores. Para que ocorra a queima e sua transformação em energia térmica, faz-se necessário o uso de fornos e para utilização em motores a gasolina, torna-se necessária a conversão do motor para biogás. Os motores a biogás funcionam segundo os mesmos princípios dos motores diesel e Otto, bastando apenas algumas modificações no sistema de alimentação, ignição e também na taxa de compressão.

O biogás pode ser usado como combustível em substituição do gás natural ou do gás liquefeito de petróleo (GLP), ambos extraídos de reservas minerais. Pode ser também utilizado para cozinhar em residências rurais próximas ao local de produção, economizando outras fontes de energia, como lenha ou GLP. Na produção rural, pode ser utilizado no aquecimento de instalações para animais muito sensíveis ao frio ou no aquecimento de estufas de produção vegetal, para citar alguns exemplos. Além desses usos, pode ainda ser utilizado na geração de energia elétrica, por meio de geradores elétricos acoplados a motores de explosão adaptados ao consumo de gás<sup>29</sup>.

O biogás tem sido utilizado por meio da combustão em fogões, aquecedores, incubadoras e pequenos motores, normalmente equipamentos de uso estacionário. Em motores estacionários, pode-se utilizar o biogás diretamente produzido nos biodigestores para o acionamento de bombas hidráulicas e geradores de energia, sendo, assim, uma grande vantagem o seu uso no meio rural. No setor agrícola, por

<sup>24</sup> Ferraz, J. M. G.; Mariel, I. E. Biogás uma fonte alternativa de energia. Sete Lagoas: Embrapa. NPMS, 1980. 27p.

<sup>25</sup> Sganzerla, E. Biodigestor: uma solução. Ed. Agropecuária. Porto Alegre, 1983.

<sup>26</sup> Nogueira, L. A. H. Biodigestão: A alternativa energética. Nobel - São Paulo, 1986.

<sup>27</sup> Santos, P. Guia técnico de biogás. Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN. Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 117 p.

<sup>28</sup> Coldebella et al. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. Informe Gepec, v.12, n.2, jul./dez. 2008.

<sup>29</sup> Avellar, L. H. N.; Luczynski, E. Abordagem qualitativa da inserção do biogás x diesel para o meio rural. In: 4º Encontro de Energia no Meio Rural. CD ROM, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: Encontro de Energia no Meio Rural, 2002. p. 44-49.



exemplo, as granjas de suínos utilizam o processo de digestão anaeróbica para tratar as águas residuais da limpeza das pocilgas e produzir biogás. Já no cenário urbano, nos dias atuais, a geração de energia elétrica a partir do biogás está em expansão, principalmente nos aterros sanitários.

### 9.3.3. Eficiência energética

O desperdício e a utilização ineficiente de recursos são práticas que não mais se coadunam com a sociedade contemporânea, caracterizada pela vertiginosa alteração de comportamento e acirrada competição entre os seus segmentos. Parte substancial das decisões estratégicas requeridas pela sociedade envolve a energia, insumo essencial para a consolidação do desenvolvimento econômico e do bem estar social.

A produção de energia, em especial, exige pesados investimentos com longos prazos de retorno, que repercutem de modo relevante sobre o processo de desenvolvimento e sempre causam impactos sobre o meio ambiente em intensidades que dependem principalmente da natureza da fonte energética.

A eficiência energética é o mais importante vetor que dispõe a sociedade contemporânea para atenuar o aumento mundial de produção de energia, motivado pelo crescimento populacional e das atividades produtivas, em especial, as energo-intensivas. É uma importante abordagem, especialmente porque é um gerenciamento pelo lado da demanda. Segundo a avaliação do Programa Nacional de Conservação de Energia (Procel), cada R\$ 1,00 investido em eficiência energética evita cerca de R\$ 17,00 na aplicação de recursos no sistema elétrico nacional.

Eficiência energética pode ser definida como a relação entre a energia útil e a energia fornecida a um sistema para se obter um determinado produto ou serviço. O objetivo é obter o mesmo produto ou serviço, com qualidade adequada, utilizando a menor quantidade de energia e o máximo de eficácia no processo. Neste sentido, ser eficiente do ponto de vista energético equivale a gastar menos energia para se obter um mesmo resultado final; ou ainda, gastar a mesma quantidade de energia e obter um melhor resultado final.

O conceito de eficiência energética engloba outros conceitos relacionados a características técnicas dos equipamentos de geração de energia, dos processos produtivos, dos bens produzidos, dos equipamentos de uso final de energia, além dos aspectos econômicos.

Recente estudo realizado pela McKinsey<sup>30</sup>, intitulado “*The Carbon Productivity Challenge*”, aponta que a estabilização das emissões de gases com efeitos de estufa, sem comprometer o ritmo de crescimento econômico constitui um grande desafio que governantes e empresas estão enfrentando. Para tal, o Produto Interno Bruto (PIB) produzido por unidade de carbono terá que aumentar dez vezes até 2050. Uma intervenção neste cenário adverso é necessária no sentido de reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> e a eficiência energética deverá assumir um papel fundamental na cadeia da energia, desde a produção até o consumo final.

A implementação de programas de eficiência energética (T6c) deverá ser a prioridade para desacelerar o aquecimento global, já que podem contribuir com dois terços da meta de redução de carbono até 2020.

Especialistas internacionais apontam que tecnologias inovadoras poderão contribuir significativamente para a redução das emissões de gases com efeitos de estufa, merecendo destaque tecnologias mais eficientes nas seguintes áreas: (i) veículos automotivos; (ii) climatização ambiental; (iii) edificações; e (iv) iluminação.

No Brasil, ainda não existe um programa nacional de eficiência energética como um todo, mas somente abordagens setoriais. O país vem desenvolvendo esforços para melhorar a eficiência energética dos seus processos desde meados da década de 80, quando foram criados dois principais programas nacionais: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), da Eletrobrás, e o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (Conpet) da Petrobras.

Embora outras iniciativas anteriores tivessem ocorrido, esses dois programas constituem a maior expressão do interesse do governo federal e uma manifestação favorável de se estabelecer uma política pública para a área de energia que incorporasse a necessidade de agir sobre o controle da demanda de energia. Na verdade, é mais razoável aceitar que os principais fatores que motivaram a criação dos programas de eficiência energética foram as fortes pressões ambientais internacionais que começaram a pesar sobre o Brasil e o “apagão” nacional do ano de 2001.

No Brasil foram promovidas iniciativas bem sucedidas com criação de leis, programas específicos de eficiência energética, regulamentos e mecanismos modernos e úteis no sentido de promover a introdução de melhores tecnologias e práticas para uso eficiente de energia. Lamentavelmente, a re-

---

<sup>30</sup> McKinsey & Co. The carbon productivity challenge: curbing climate change and sustaining economic growth. June 2008.



sultante final dos esforços desses quase 30 anos é modesta e frustrante, considerando-se o enorme potencial e as oportunidades perdidas no campo da eficiência energética.

No início da privatização de empresas do setor elétrico, foram colocadas cláusulas nos primeiros contratos de concessão sobre obrigações de investimentos em eficiência energética, mostrando a importância que o setor público conferiu ao tema. Isso se tornou regra a partir de 1998, quando a recém criada ANEEL estabeleceu uma determinação de investimento de 1% da receita operacional líquida das empresas de eletricidade em programas de Eficiência Energética e de Pesquisa e Desenvolvimento (Lei Número. 9.991 de 24/07/2000).

A partir desta Lei, o país nunca teve tantos recursos destinados a programas de eficiência energética e iniciou-se uma fase onde os recursos passaram a ser muito maiores que aqueles historicamente destinados a essas atividades. No biênio 2003/04 mais de R\$ 185 milhões foram aplicados pelas empresas enquanto que o Procel investiu somente R\$ 29 milhões em 2003. A partir de 2005 mais de R\$ 400 milhões têm sido investidos pelas empresas em programas de eficiência energética, o que é muito significativo.

São frágeis as avaliações do que foi economizado com todos esses investimentos. Os números apresentados pela ANEEL e pelas concessionárias não inspiram muita credibilidade. As concessionárias vivem um permanente conflito de interesse: como vão realizar bons programas de eficiência energética se são remuneradas pelas vendas de energia. Por outro lado, é mais prático para a ANEEL fiscalizar as despesas com os programas, que avaliar a eficácia dos mesmos, uma atividade muito específica e técnica, bastante diferente das atribuições usuais de um órgão regulador. Em resumo: é provável que se esteja gastando muito para se economizar pouca energia elétrica.

O racionamento de energia elétrica dos anos 2001-02 teve o mérito de motivar o país para as possibilidades e a busca de resultado das medidas de eficiência energética. Uma das importantes consequências foi ter desenterrado e melhorado um projeto de lei que tramitava há mais de dez anos no Congresso, transformando-o na Lei Número. 10.295, promulgada em 17/10/2001. Essa lei é conhecida como Lei de Eficiência Energética e tem como objetivo estabelecer índices de consumo máximo de equipamentos comercializados no país. Sua aplicação deverá melhorar continuamente a eficiência dos equipamentos elétricos usados pelos brasileiros no longo prazo, todavia, o progresso na sua implementação tem sido incompreensivelmente lento.

O Fundo Setorial CT-Energ, criado a partir do ano de 2001, é mais um exemplo de ações que favorecem o avanço da eficiência energética no Brasil. Este Fundo é destinado a financiar programas e

projetos na área de energia, especialmente na área de eficiência energética no uso final. A ênfase é na articulação entre os gastos diretos das empresas em P&D e a definição de um programa abrangente para enfrentar os desafios de longo prazo no setor, tais como fontes alternativas de energia com menores custos e melhor qualidade e redução do desperdício, além de estimular o aumento da competitividade da tecnologia industrial nacional.

O potencial de economia de energia pode ser avaliado pela eficiência média típica no uso da energia pelo setor de atividade, energético e uso final. A Tabela a seguir apresenta o potencial de economia de energia no Brasil.

**Tabela 9.18:** Potencial de economia de energia no Brasil

Potencial de economia	Descrição	Eficiência média (%)
Setor de atividade	Energético	76
	Industrial	71
	Público/comercial/agropecuário	54
	Residencial	45
	Transportes	40
Total	58	
Fonte energética	Eletricidade	77
	Óleo combustível	73
	Gás natural/gás/GLP	61
	Carvão vegetal/lenha/bagaço	55
	Gasolina/querosene/diesel/álcool	40
Total	58	
Uso final	Calor de processo	74
	Aquecimento direto	57
	Força motriz	51
	Outros	41
Total	58	

Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia, 2005.



### 9.3.4. Energia eólica

A energia eólica (T6d) é a energia cinética do deslocamento de massas de ar (vento). Os ventos são causados pela associação do movimento de rotação da Terra com a radiação solar incidente gerando diferença de aquecimento entre o equador e os pólos. Fenômenos naturais que se repetem, por isso é considerada energia renovável. Devido a este fator, ventos das superfícies frias sopram dos pólos para o equador para substituírem o ar quente que sobe para a atmosfera superior em direção aos pólos.

O vento usado pelos geradores eólicos é o vento próximo à superfície terrestre. Esta energia é utilizada visando dois objetivos básicos: produção de energia mecânica para bombeamento de água ou produção de energia elétrica para utilização direta ou armazenamento em baterias.

A energia eólica apresenta como vantagens principais ser renovável e disponível em quase todos os locais do planeta. O vento em si é gratuito, porém a captura da sua energia exige um custo inicial relativamente alto devido à sua baixa densidade. O aproveitamento da energia eólica para geração de eletricidade, em escala industrial, compõe atualmente a matriz energética de 50 países, incluindo o Brasil. Em dezembro de 2008, estavam em operação em todo o mundo cerca de 200 mil turbinas eólio-elétricas, correspondendo a uma potência total instalada de 121.188 MW, e com capacidade de produção superior a 200 bilhões de quilowatts-hora por ano. No ano de 2008, apenas o mercado de aerogeradores teve o seu valor avaliado em US\$ 47,5 bilhões e uma expansão de 28,8 % na sua capacidade instalada.

No final de 2008, os EUA lideravam mundialmente o aproveitamento da energia eólica, com 25.170 MW de capacidade instalada, seguidos da Alemanha (23.903 MW) e da Espanha (16.740 MW). O Brasil ocupava a 24ª posição com 338,5 MW de capacidade instalada. A energia eólica é útil para o meio ambiente e cada vez mais ela se torna um importante fator na economia global. A indústria dos ventos já criou mais de 400 mil empregos ao redor do mundo. E se a crise econômica mundial não se agravar muito, teremos cada vez mais investimentos, já que os preços dos combustíveis fósseis estão cada vez mais altos e voláteis.

O desenvolvimento de aerogeradores modernos tem progredido no sentido de dois tipos básicos, caracterizados pela orientação do eixo de rotação da turbina em relação ao solo: turbina eólica de eixo horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine – HAWT) e turbina eólica de eixo vertical (Vertical Axis Wind Turbine – VAWT). No aspecto comercial, as turbinas de eixo horizontal têm alcançado aceitação quase unânime (cerca de 95%), embora as pesquisas continuem visando o

aprimoramento dos equipamentos de eixo vertical, que vêm sendo utilizados principalmente em regiões de condições ambientais extremas

As turbinas de eixo vertical são mais simples em sua concepção e manutenção, principalmente por não necessitarem de mecanismo de direcionamento e terem o gerador elétrico instalado na altura do solo. Entretanto por seu rotor estar mais próximo do solo, notadamente as do tipo Darrieus, não aproveitam a característica do gradiente vertical do vento, aumento da intensidade do vento com a altura.

Tendo em vista que as turbinas de eixo vertical ainda não atingiram um estágio tecnológico que inspire confiabilidade operacional, essa análise está voltada especificamente para as turbinas eólicas de eixo horizontal. Atualmente estão disponíveis comercialmente vários modelos desses aerogeradores, sendo os principais fabricantes de origem europeia, merecendo relevância às empresas Enercon, Vestas, NEG Micon e AN Windenergy. Os aerogeradores de eixo horizontal são classificados segundo a sua dimensão conforme dados da Tabela a seguir.

**Tabela 9.19:** Classificação dos aerogeradores de eixo horizontal pela dimensão

Tamanho	Diâmetro do rotor (m)	Potência nominal (kW)
Pequeno	Inferior a 12	Menor que 40
Médio	De 12 a 54	De 40 a 1.000
Grande	Superior a 45	Acima de 1.000

Em quinze anos o tamanho das turbinas eólicas evoluiu da dimensão de 12m de diâmetro e 15kW de potência nominal até a atual de 140 m e 7.000kW. Este desenvolvimento foi surpreendente em um período de tempo relativamente curto, especialmente após a experiência sob a sensação de fracasso do desenvolvimento de turbinas com potência superior a 1 megawatt no final dos anos 80 e início dos 90. O comércio de aerogeradores no mundo se desenvolveu rapidamente em tecnologia e tamanhos durante os últimos 15 anos, como mostra a Tabela 9.20 e ilustra a Figura 9.10.

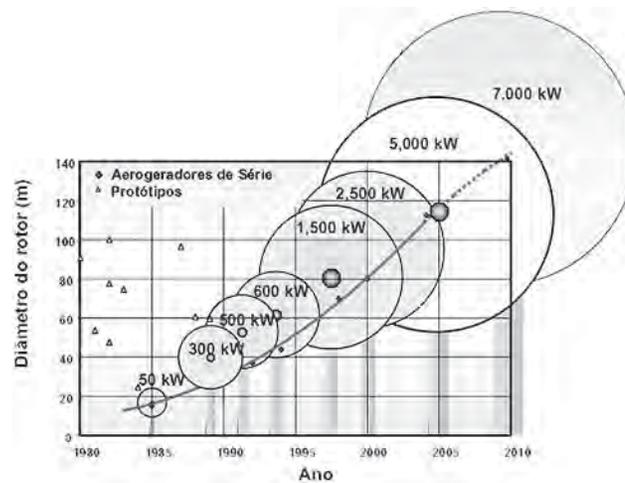


**Tabela 9.20:** Evolução dos aerogeradores comerciais: 1985 - 2010

Ano	Diâmetro do rotor (m)	Potência nominal (kW)
1985	15	50
1989	30	300
1992	37	500
1994	46	600
1998	70	1.500
2005	110	5.000
2010	140	7.000

Fonte: Dewi, 2006<sup>31</sup>.

A Figura a seguir ilustra o impressionante desenvolvimento do tamanho e da potência de aerogeradores desde 1985.



**Figura 9.10:** Evolução dos aerogeradores comerciais: 1985 - 2010

Fonte: Dewi, 2006<sup>32</sup>.

<sup>31</sup> German Wind Energy Institute.DEWI. Wind energy study 2006. Market assessment of the wind energy industry up to the year 2014. Hamburg: Dewi. 2006.

<sup>32</sup> German Wind Energy Institute.DEWI. Wind energy study 2006. Market assessment of the wind energy industry up to the year 2014. Hamburg: Dewi. 2006.

O desenvolvimento de turbinas eólicas visando o aumento do tamanho prossegue em ritmo acelerado. Especialmente para aplicações no mar grandes aerogeradores, cerca de 7,0 MW de potência nominal e 140m de diâmetro de rotor, estão em fase de projeto e estarão prontos até o ano 2010.

Em nível mundial, os custos de produção de eletricidade via energia eólica são altamente dependentes do regime de ventos e do porte dos empreendimentos. Considerando esses parâmetros, os custos podem atingir as seguintes faixas de variação: (i) grandes empreendimentos: US\$ 35 a 60/MWh; (ii) médios empreendimentos: US\$ 45 a 80/MWh; e (iii) pequenos empreendimentos: US\$ 70 a 120/MWh. Embora seu custo de instalação esteja situado por volta dos US\$ 1.500.000 por MW de capacidade instalada, as variações nos regimes e fluxos dos ventos apresentam graus de incerteza maiores do que as variações da vazão d' água. Isso se reflete em fatores de capacidade de cerca de 35% contra 65% das hidroelétricas.

A tendência do desenvolvimento de aerogeradores no mundo é atingir a produção de máquinas de grande porte, funcionando com grande eficiência, para atender principalmente a exigência natural das concessionárias de energia elétrica de geração integrada de grandes blocos de energia.

A tecnologia dos aerogeradores consolidou o denominado conceito dinamarquês - marco no desenvolvimento de turbinas eólicas modernas. Sua concepção é caracterizada por um tipo de máquina de eixo horizontal, rotor up-wind de três pás, com cubo rígido e rotação constante, e que operam acopladas à rede elétrica com gerador assíncrono. O sistema de acionamento obedece a um ordenamento linear multiplicador de velocidade-freio-acoplamento gerador. A orientação da turbina é feita por um motor de acionamento; a limitação de potência é realizada através do efeito stall ou controle de passo; e a proteção contra tormentas por um freio aerodinâmico. Os aerogeradores do conceito dinamarquês tiveram a sua comprovada viabilidade técnica na Califórnia, nos EUA.

Os modelos mais recentes de aerogeradores lançados por alguns fabricantes no mercado confirmam diversas características do conceito dinamarquês, porém incorporam alguns novos aspectos, merecendo relevância: eliminação da caixa de engrenagens (tração direta rotor-gerador), rotor de velocidade variável e pás com perfil aerodinâmico da grande eficiência de conversão e operação mais silenciosa.

As vantagens dessas inovações são tão evidentes que deverão servir de referência para os demais fabricantes, sob o risco de tornarem-se obsoletos os seus produtos. No aerogerador de tração direta rotor-gerador, o número de peças mecânicas é sensivelmente reduzido, o funcionamento mais silencioso, o projeto da nascele muito simples e todo o óleo de lubrificação ou hidráulico pode ser evitado. Os aerogeradores de rotor com velocidade variável apresentam como principais vantagens:



maior produção de energia, cargas menores no rotor devido a rajadas, muito baixa emissão de ruídos em baixas velocidades e possibilidade de pequenas taxas de variação do passo.

A próxima Tabela apresenta os principais dados das usinas eólico-elétricas em operação no Brasil.

**Tabela 9.21:** Principais usinas eólico-elétricas em operação no Brasil

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Eólica de Prainha	10.000	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	Aquiraz - CE
Eólica de Taiba	5.000	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	São Gonçalo do Amarante - CE
Eólica-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho	1.000	CEMIG Geração e Transmissão S.A.	Gouveia - MG
Eólio - Elétrica de Palmas	2.500	Centrais Eólicas do Paraná Ltda.	Palmas - PR
Eólica de Fernando de Noronha	225	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE.	Fernando de Noronha - PE
Parque Eólico de Beberibe	25.600	Eólica Beberibe S.A.	Beberibe - CE
Eólica do Mucuripe	2.400	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	Fortaleza - CE
RN 15 - Rio do Fogo	49.300	Energias Renováveis do Brasil S.A.	Rio do Fogo - RN
Eólica de Bom Jardim	600	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.	Bom Jardim da Serra - SC
Foz do Rio Choró	25.200	SIIF Cinco Geração e Comercialização de Energia S.A.	Beberibe - CE
Eólica Olinda	225	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE.	Olinda - PE
Eólica Canoa Quebrada	10.500	Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A.	Aracati - CE
Lagoa do Mato	3.230	Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A.	Aracati - CE
Parque Eólico do Horizonte	4.800	Central Nacional de Energia Eólica Ltda.	Água Doce - SC
Eólica Paracuru	23.400	Eólica Paracuru Geração e Comercialização de Energia S.A.	Paracuru - CE

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Eólica Praias de Parajuru	28.804	Central Eólica Praia de Parajuru S.A.	Beberibe - CE
Pedra do Sal	18.000	Eólica Pedra do Sal S.A.	Parnaíba - PI
Macau	1.800	Petróleo Brasileiro S.A.	Macau - RN
Eólica Água Doce	9.000	Central Nacional de Energia Eólica Ltda.	Água Doce - SC
Parque Eólico de Osório	50.000	Ventos do Sul Energia S.A.	Osório - RS
Parque Eólico Sangradouro	50.000	Ventos do Sul Energia S.A.	Osório - RS
Taíba Albatroz	16.500	Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	São Gonçalo do Amarante - CE
Parque Eólico dos Índios	50.000	Ventos do Sul Energia S.A.	Osório - RS
Millennium	10.200	SPE Millennium Central Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Presidente	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Camurim	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Albatroz	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos I	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos III	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Atlântica	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Caravela	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos II	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos IV	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Mataraca	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Total: 34 usinas	Potência total: 443.284 kW		

Fonte: ANEEL, 2009<sup>33</sup>.

<sup>33</sup> Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL. Banco de Informações de Geração. 2009. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: dez 2009.



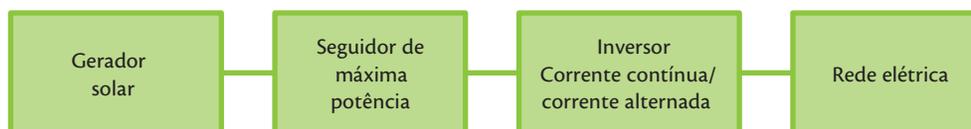
### 9.3.5. Energia solar fotovoltaica

A conversão direta da luz solar em energia elétrica é realizada através do chamado efeito fotovoltaico (T6e), estudado por Becquerel desde 1839. É importante ressaltar que esse processo de conversão não depende do calor e, pelo contrário, o rendimento da célula fotovoltaica decresce quando a sua temperatura se eleva. Esse comportamento é explicado pelo fato de que os fótons da luz solar transferem sua energia diretamente aos elétrons sem a necessidade de uma etapa térmica intermediária.

O efeito fotovoltaico pode ser obtido em todos os materiais semicondutores, pois são inadequados os isolantes, por causa da sua baixa condutividade, e os metais, em decorrência da sua elevada concentração de elétrons, no escuro. Ele só ocorre quando existe uma barreira de potencial no semicondutor não iluminado, como a encontrada na interface entre duas áreas de dopagem diversa, isto é, onde dois tipos de “impurezas” foram introduzidas em concentrações inferiores a 1%. Se esse material é iluminado, as cargas elétricas criadas pela luz através do efeito fotocondutor serão separadas pela barreira em cargas positivas de um lado, e negativas do outro, possibilitando a geração de potência elétrica.

Atualmente, o silício é o mais importante material semicondutor usado na conversão fotovoltaica e também o material básico para toda a indústria eletrônica. As células fotovoltaicas da atualidade são produzidas a partir de silício monocristalino, policristalino ou amorfo.

Uma usina elétrica fotovoltaica, operando interligada à rede elétrica convencional, compõe-se basicamente do gerador solar e do subsistema condicionador de potência, que converte a saída do gerador em potência útil. A Figura a seguir mostra o diagrama de blocos de uma usina fotovoltaica interligada à rede elétrica.



**Figura 9.11:** Diagrama de blocos de uma usina fotovoltaica interligada à rede elétrica

O gerador solar consiste de um arranjo elétrico em série e paralelo de módulos fotovoltaicos, montados em uma estrutura de sustentação, de forma a se obter a potência e a tensão nominal em corrente contínua requeridas. O módulo é formado por um conjunto de células fotovoltaicas interliga-

das e encapsuladas. Normalmente são incorporados diodos de potência no arranjo para proteção dos módulos contra sobre aquecimento e circulação interna de corrente.

O módulo comercial de silício monocristalino apresenta eficiência na faixa de 10 a 13 %, todavia poderão ser produzidos equipamentos que alcancem rendimento de 28% sob luz solar ordinária em condição AM 1.5 (espectro solar na superfície da terra com o sol elevado de 48,2° em relação à vertical do local), e de 34% sob concentração.

O módulo de silício policristalino apresenta eficiência um pouco inferior a do monocristalino, entretanto o potencial de menor custo de produção torna esta alternativa muito atraente do ponto de vista comercial, além da obtenção de células quadradas. As células quadradas possibilitam produzir módulos fotovoltaicos com um fator de ocupação de 100%, de forma compensar a redução de eficiência das células policristalinas.

Os módulos de silício mono e policristalino apresentam vida útil superior a 20 anos, ou seja, mantêm a condição original de produção de energia durante todo o período referido, porém possuem custo de produção elevado, como consequência do altíssimo grau de pureza exigido para o silício e das elevadas perdas desses materiais durante o processo de corte.

O silício amorfo apresenta-se como a mais importante alternativa para produção de células fotovoltaicas de baixo custo, pois requer uma quantidade muito menor de material por watt e permite a formação de células com grande área em processo automatizado. Os módulos comerciais de silício amorfo apresentam como principais desvantagens em relação aos mono e policristalinos a eficiência em torno de 9% e vida útil de 10 anos, pois são mais sensíveis ao processo de degradação.

A estrutura de sustentação dos módulos pode ser fixa ou móvel, através de moto-redutores que seguem o movimento do sol. O movimento é comandado por sensores ou tabelas de posição do sol, que sinalizam para dispositivos eletrônicos ou microcomputadores, e estes comandam o acionamento dos moto-redutores.

O subsistema condicionador de potência (Power Conditioning Subsystem - PCS) coleta a energia produzida pelo gerador solar na forma CC e, após o condicionamento, a transporta para a rede elétrica na forma CA. O PCS é composto de diversos dispositivos acoplados fisicamente com as funções de controlar o acionamento-desacionamento, ponto de operação do gerador solar, proteção do sistema, conversão de corrente contínua em alternada e sincronização com a rede elétrica. O controle do ponto de operação é exercido pelo seguidor de máxima potência, pois a saída de po-



tência de um gerador solar é sensivelmente influenciada pelo nível de insolação do local e temperatura de operação das células fotovoltaicas. O seguidor ajusta, a cada instante, a tensão e a corrente de operação, possibilitando que o gerador opere sempre no ponto de máxima potência.

O inversor é o componente do PCS que transforma a energia CC em AC, dissipando o mínimo de potência para reduzir perdas e formatando a onda com um baixo teor de harmônicos e em sincronismo com a rede. Atualmente, utilizam-se inversores comutados à linha e autocomutados. No primeiro tipo o processo de inversão é controlado pela tensão da rede e no autocomutado o controle é realizado por um sinal gerado no próprio inversor. O PCS possui um transformador de proteção que desacopla à parte CC da AC, e outro que eleva a tensão de saída para o nível da rede de distribuição. O PCS apresenta uma eficiência média em torno de 92%.

As centrais fotovoltaicas em operação na Califórnia, nos EUA, apresentam um fator de capacidade máximo anual (relação entre a potência média gerada e a potência nominal no período considerado) na faixa de 25% a 30%, e eficiência média global de conversão de 9 a 12%.

Os custos de investimentos e operacionais das usinas helioelétricas, apesar de ainda serem mais elevados do que os das usinas termo e hidroelétricas convencionais, apresentam tendência decrescente em razão dos seguintes fatores: (i) aumento de eficiência dos coletores e absorvedores solares, como consequência da melhoria do rendimento ótico e redução da emissividade; (ii) elevação da temperatura do fluido térmico possibilitando elevar a eficiência do conjunto turbina/gerador; (iii) aumento da capacidade instalada por central, traduzindo-se em redução dos custos de investimento por unidade de potência e de operação e manutenção; (iv) aperfeiçoamento dos equipamentos de controle, o que leva a uma sensível melhoria na relação custo-benefício; (v) incorporação de melhorias tecnológicas, tais como: eliminação do fluido térmico, armazenamento térmico eficiente, aperfeiçoamento do elemento de coleção da radiação e dos sistemas de seguimento da posição do sol; e (vi) melhoria da eficiência das células fotovoltaicas e redução nas suas perdas de produção.

A Tabela 9.22 apresenta dados comparativos das tecnologias para geração helioelétrica.

**Tabela 9.22:** Dados comparativos das tecnologias para geração helioelétrica

Tecnologia Parâmetro	Usina solar torre de potência	Usina solar calha parabólica	Piscina solar	Central fotovoltaica
Pais/ local	Espanha/Sevilha	EUA/Califórnia	Israel/ B Há' Árava	Portugal/Serpa
Potência da planta (MW)	11	340	5	11
Área do coletor (Ha)	7,5	120	25	32
Densidade de potência (KW/Ha)	1.500	2.800	200	350
Eficiência global anual (%)	14 a 19	14 a 18	2	9 a 12
Custo de investimento (US\$/KW)	1.100 a 4.800	2.890 a 4.500	4.000	6.500 a 7.500
Custo da energia gerada (US\$/MWh)	40 a 170	200 a 400	850	2.700 a 4.500

Fontes: Fraindenraich; Lyra, 1995; PSA, 1999; EC, 2009.



A Figura 9.12 mostra a evolução da capacidade fotovoltaica instalada no mundo expressa em 1000 MW e a curva decrescente de crescimento (%) ao longo do período.



**Figura 9.12:** Evolução da capacidade fotovoltaica instalada no mundo

Fonte: IMS Research, 2009<sup>34</sup>.

Os estudos e a experiência adquirida na utilização do recurso solar para geração de eletricidade em larga escala têm demonstrado que os impactos térmicos e climáticos associados a uma central fotovoltaica são mínimos. Os módulos reduzem a refletividade levemente, o que tende a elevar a temperatura do local, porém esse efeito é compensado pela conversão de boa parcela da luz solar em eletricidade, que normalmente irá produzir calor. Nesta tecnologia não existe emissão de resíduo qualquer espécie.

Com relação às centrais solares do tipo SEGS e ISCCS, os fabricantes fornecem dados que mostram um nível de emissão de NOx e CO<sub>2</sub> bem abaixo dos normalmente verificados em plantas térmicas convencionais. Além disso, as emissões se dão principalmente à noite, quando os efeitos de poluição atmosférica são minimizados.

<sup>34</sup> IMS Research. YMR's Solar Cell Capacity, Shipment and Company Profile Database and Report. 2009.

A energia solar ainda não ocupa uma posição de destaque na matriz energética mundial, porque se apresenta sob forma descontínua, sujeita a alternâncias periódicas (dia-noite, inverno-verão) e casuais (céu claro-nebuloso), o que exige o uso de dispositivos de acumulação, com a consequente elevação dos custos. Algumas questões merecem destaque: (i) a energia solar é fruto de um longo processo de maturação, alternando sua existência com períodos de ampla difusão e períodos de falta de interesse e pouca aceitação. Não obstante os avanços e retrocessos mencionados, a ciência e tecnologia solar constituem hoje uma base de conhecimento, cujos fundamentos estão solidamente estabelecidos; (ii) a tecnologia solar só ingressou no campo dos energéticos em situações em que as perspectivas de uso de combustíveis fósseis começaram a declinar; (iii) no passado, a tecnologia solar foi muito mais o resultado de estímulos externos.

O cálculo tradicional do custo da energia elétrica gerada por fontes convencionais não incorpora a substancial parcela decorrente de impactos ambientais dessas fontes, devido ao fato de serem repassados para toda a sociedade. O aprofundamento das discussões sobre questões de energia e meio ambiente favorecerá uma utilização ampla e progressiva da energia solar.

O Brasil situa-se em segundo lugar no mundo quanto à energia solar incidente. A título de ilustração, o Estado do Ceará é caracterizado por insolação superior a 2.600 horas por ano, radiação solar global média anual de 5,4 kWh/m<sup>2</sup> por dia e uma área de 42.586 km<sup>2</sup> especialmente favorável ao aproveitamento dessa energia, aspectos que o credenciam como um dos mais interessantes locais do planeta para aplicações de energia solar. Vale ressaltar que as tecnologias para aproveitamento desse recurso vêm apresentando sensíveis reduções no seu custo de produção e já são competitivas com energias convencionais em aplicações específicas.

No tocante ao mercado potencial para a tecnologia termelétrica solar, somente na Região Nordeste existem cerca de 30,8 milhões de hectares de terras irrigáveis, distribuídas em 17 áreas prioritárias. Entretanto, devido a limitações no suprimento de energia elétrica poderão não ser aproveitadas em curto e médio prazos. A demanda potencial de eletricidade associada à irrigação é estimada de 1.500 MW a 3.000 MW, em função da tecnologia de irrigação utilizada e da distância à fonte. O potencial hidrelétrico da região Nordeste é da ordem de 26.700 MW, dos quais mais de 13.350 MW já são explorados em usinas hidrelétricas ao longo do Rio São Francisco.

A limitação do uso da hidreletricidade e a demanda potencial de energia elétrica para irrigar o semi-árido da região Nordeste justificam a idéia de associar a geração termelétrica solar a projetos de irrigação. Entre os inúmeros benefícios, destacam-se: crescimento local e desenvolvimento; implementação de benefícios sociais; oferta de novos empregos no campo, evitando o êxodo rural; mais água



poderá ser direcionada para irrigação ao invés de geração elétrica; e a hidreletricidade não usada para irrigação estará disponível para outras aplicações.

### 9.3.6. Energia hidráulica

A energia hidráulica (T6f) é uma fonte renovável e uma das formas indiretas da energia solar. Trata-se de um recurso energético simples de ser explorado e praticamente inesgotável, pois o potencial hidráulico depende da energia solar e da energia potencial gravitacional da terra. O aproveitamento do potencial hidráulico existente em um rio, através de hidrelétricas, permite a geração de eletricidade em larga escala, com baixo impacto ambiental e com eficiência da ordem de 80%. O potencial hidráulico é proporcionado pela vazão hidráulica e pela concentração dos desníveis presentes ao longo do curso de um rio. As principais partes de uma central hidroelétrica são: barragem, condutos de adução da água, casa das máquinas e canal ou galeria de restituição.

A barragem possui as seguintes finalidades: represar as águas do rio para permitir sua captação e desvio; e elevar o nível das águas a fim de proporcionar um desnível adequado a um aproveitamento hidroelétrico ou condições de navegabilidade ao rio; e formar o reservatório regulador de vazão. Já os condutos de adução da água destinam-se à condução da água da barragem para as turbinas. A casa de máquinas constitui o componente mais importante de uma hidroelétrica, na qual estão localizados os geradores elétricos e as turbinas. O canal ou galeria de restituição deve ser construído quando a restituição da água não puder ser feita diretamente ao leito do rio.

Esse é o panorama das possibilidades e desafios das tecnologias associadas às energias renováveis em foco, cujo estágio de desenvolvimento pode ser observado em seu conjunto nos mapas tecnológicos mundial e do Brasil, apresentados nas Seções 9.4 e 9.5, a seguir.

## 9.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010-2030

A Figura 9.13 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no mundo. Esse mapa permite comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde, no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.

Estágios	Desenvolvimento do tema “energias renováveis” no mundo		
	2010 - 2015	2016 - 2025	2026 - 2030
Comercialização	T6f	T6d T6e	
Produção/ processo	T6e T6b T6d		T6a
Inovação/ implantação			T6a
Scale-up		T6a	
Fase demonstração		T6a	
Fase piloto	T6a		
Pesquisa em bancada			

**Figura 9.13:** Mapa tecnológico do tema “energias renováveis” no mundo: 2010 – 2030

Notação: T6a – Produção biológica de hidrogênio; T6b – Biogás; T6c – Eficiência energética; T6d – Energia eólica; T6e – Energia solar fotovoltaica; T6f – Energia hidráulica.

As informações e dados constantes no panorama mundial do tema “energias renováveis” e as principais tendências tecnológicas que foram discutidas na Seção 9.3 deste Capítulo sustentam o exercício prospectivo das trajetórias tecnológicas de cinco dos seis tópicos tecnológicos desenhadas na Figura 9.1, considerando-se os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030. A trajetória do tópico “eficiência energética” (T6c) não foi desenhada no mapa em função de seu caráter transversal e também pelo fato de sua implantação ter componentes culturais e políticos, mais marcantes que os desafios tecnológicos per se.

As trajetórias tecnológicas preconizadas no mapa tecnológico da Figura 9.12, indicam que, em meados do período 2010-2015, o tópico “produção biológica de hidrogênio” (T6a) se encontrará na fase piloto e que seus resultados promissores levarão à fase de demonstração ainda neste período.



Já os tópicos “biogás” (T6b); “energia eólica” (T6d); “energia solar fotovoltaica” (T6e) estarão em fase de produção em larga escala, como indicado na Figura 9.12. O tópico “energia hidráulica” (T6f), também considerado maduro, encontra-se no estágio superior do mapa tecnológico.

No período do médio prazo (2016- 2025), destaca-se a trajetória do tópico “fotossíntese artificial” (T6a) que passará da fase de scale-up para implantação, prevendo-se a entrada em operação em larga escala no período seguinte (2026 -2030). Ainda no médio prazo, os tópicos “energia eólica” (T6d) e “energia solar fotovoltaica” (T6e) estarão no estágio superior do mapa como pode ser visualizado na Figura 9.12.

## 9.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A Figura 9.13 apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais.

As principais tendências tecnológicas referentes ao tema e as informações e dados constantes no panorama nacional apresentado na Seção 9.3 deste Capítulo serviram de base para a construção do mapa tecnológico do tema “energias renováveis” no Brasil. Indicam-se as trajetórias de cinco dos seis tópicos tecnológicos desenhadas na Figura 9.13, considerando os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030. Pelos motivos apontados na seção anterior, a trajetória do tópico “novas tecnologias voltadas para eficiência energética” (T6c) também não foi traçada no mapa tecnológico do Brasil.

Com relação às trajetórias indicadas no mapa tecnológico da Figura 9.14, observa-se que, no início do período 2010-2015, o tópico “matérias-primas oleaginosas não-convencionais” (T6a) estará no estágio de pesquisa em bancada, um pouco mais atrasado do que a situação apontada no mapa mundial. Os resultados das pesquisas em bancada só deverão passar para a fase piloto no final deste período, devendo chegar à fase demonstração no médio prazo (2020) e ao escalonamento por volta de 2025. Inovações e produção em larga escala estão previstas para o longo prazo (2026 -2030).

O fato de “energia solar fotovoltaica” (T6e) ser uma tecnologia considerada madura no mundo irá se refletir na trajetória deste tópico no Brasil. Prevê-se que ainda no período 2010-2015 já esteja entrando em fase de produção em larga escala. Os tópicos “energia hidráulica” (T6f) e “energia eólica” (T6d), considerados maduros, estarão nos estágios superiores aqui também no mapa do Brasil.

Estágios	Desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil		
	2010- 2015	2016- 2025	2026- 2030
Comercialização	T6f	T6d	
Produção/ processo	T6b T6d		T6a
Inovação/ implantação			T6a
Scale-up			T6a
Fase demonstração		T6a	
Fase piloto		T6a	
Pesquisa em bancada	T6a T6e		

**Figura 9.14:** Mapa tecnológico do tema “energias renováveis” no Brasil: 2010 – 2030

Notação: T6a – Produção biológica de hidrogênio; T6b – Biogás; T6c – Eficiência energética; T6d – Energia eólica; T6e – Energia solar fotovoltaica; T6f – Energia hidráulica.

O tópico “biogás” (T6b), cuja tecnologia hoje está em fase de crescimento, iniciará seu ciclo de uso em larga escala por volta de 2012-2013.

A Figura 9.15 representa o portfólio tecnológico estratégico do tema “energias renováveis”, no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 9.13).

Ao se analisar o portfólio tecnológico da Figura 9.14, confirma-se o posicionamento estratégico indicado nos mapas tecnológicos (Figuras 9.12 e 9.13), particularmente no que tange ao tópico



“energia eólica” (T6d) e aos tópicos “energia hidráulica” (T6f) e “biogás” (T6b) que se situam nas posições “ideal” e “aceitável”, respectivamente.



**Figura 9.15:** Portfolio tecnológico estratégico do tema “energias renováveis” no Brasil:2010 – 2030

Notação: T6a – Produção biológica de hidrogênio; T6b – Biogás; T6c – Eficiência energética; T6d – Energia eólica; T6e – Energia solar fotovoltaica; T6f – Energia hidráulica.

Cabe ressaltar, porém, que os tópicos com maior potencial e que representam as chamadas “apostas” estratégicas para o país são: “produção biológica de hidrogênio” (T6a); “eficiência energética” (T6c) e “energia solar fotovoltaica” (T6e).

## 9.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

Apontam-se nesta seção os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “energias renováveis” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilização o

desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos. O Quadro 9.3 apresenta tais condicionantes no curto, médio e longo prazo.

**Quadro 9.3:** Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquecimento global e seus impactos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educação em todos os níveis;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educação em todos os níveis;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legislação ambiental mais restritiva;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas creditícias e tributárias para consolidar a base industrial brasileira;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos humanos em nível técnico e graduado e pós-graduado;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcerias público-privadas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcerias público-privadas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos da Química Verde e da Biotecnologia (estado-da-arte mundial);</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de arranjos cooperativos de pesquisa, como redes, clusters e sistemas locais de inovação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigência de escala de produção;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de energias limpas;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção mais limpa;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percepção da sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioética</li> </ul>	

Reconhece-se hoje que o suprimento dos combustíveis convencionais – notadamente os fósseis – é limitado e insuficiente para sustentar a atual taxa de desenvolvimento industrial e populacional por muito tempo. A alternativa de exploração comercial de um conjunto mais amplo de fontes energéticas, principalmente as renováveis, apresenta-se como uma opção contemporânea de desenvolvimento socioeconômico sustentável. Nessa perspectiva foram identificados e selecionados seis tópicos de interesse para o Brasil, que foram objeto da visão de futuro do desenvolvimento do tema em um horizonte de 20 anos. Ressalta-se que os tópicos relativos a biocombustíveis (bioetanol e biodiesel) não foram aqui incluídos, por terem sido elencados na análise dos temas biorrefinarias e oleoquímica, respectivamente.

A visão de futuro construída para o Brasil, no que se refere à geração de novos conhecimentos e inovações no tema “energias renováveis” estará sujeita, portanto, aos condicionantes indicados no Quadro 9.3. Nesse contexto e visando a concretização das trajetórias tecnológicas preconizadas na Figura 9.13, as ações voltadas à estruturação e ao fortalecimento da capacidade nacional devem ser implementadas como prioridades estratégicas, como será devidamente abordado no Roadmap Estratégico da Rede Brasileira de Química Verde.



## Lista de participantes do workshop

---

### Workshop “Visão de Futuro e Programa da Rede Brasileira de Química Verde”

Andressa Gusmão  
Daniel Hoefle  
Flávia Maria Lins Mendes  
Larissa Barreto Paiva  
Márcia Gomes de Oliveira  
Maria Fátima Ludovico de Almeida  
Mariana Azpiazu  
Marcos Alberto Castelhana Bruno  
Marlos Alves Bezerra  
Nei Pereira Júnior  
Paola Galera  
Paulo Luiz de Andrade Coutinho  
Peter Rudolf Seidl  
Pierre Mothé Esteves  
Raimundo Guilherme Corrêa  
Regina Celi Araújo Lago  
Rodrigo Cartaxo  
Suzana Borschiver





ISBN - 978-85-60755-31-8



**cgEE**

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
*Ciência, Tecnologia e Inovação*

**Ministério da  
Ciência e Tecnologia**