

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Gustavo Alves Soares

**O AVANÇO DAS TECNOLOGIAS DE SEGUNDA
GERAÇÃO E SEUS IMPACTOS NA INDÚSTRIA DO
ETANOL**

Rio de Janeiro

2016

Gustavo Alves Soares

**O AVANÇO DAS TECNOLOGIAS DE SEGUNDA
GERAÇÃO E SEUS IMPACTOS NA INDÚSTRIA DO
ETANOL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edmar Luiz Fagundes de Almeida

COORIENTADOR: Prof. Dr. José Vitor Bomtempo Martins

RIO DE JANEIRO

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

SHAPE

S676 Soares, Gustavo Alves.
O avanço das tecnologias de segunda geração e seus impactos na indústria do etanol / Gustavo Alves Soares. – 2016.
178 f. ; 31 cm.

Orientador: Edmar Luiz Fagundes de Almeida

Coorientador: José Vitor Bomtempo Martins

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia, 2016.

Referências: f. 142-159.

1. Inovações tecnológicas. 2. Indústria do etanol. 3. Modelos de negócios.
I. Almeida, Edmar Luiz Fagundes, orient. II. Martins, José Vitor Bomtempo, coorient. III. Universidade do Rio de Janeiro. Instituto de Economia.
IV. Título.

CDD 338.064

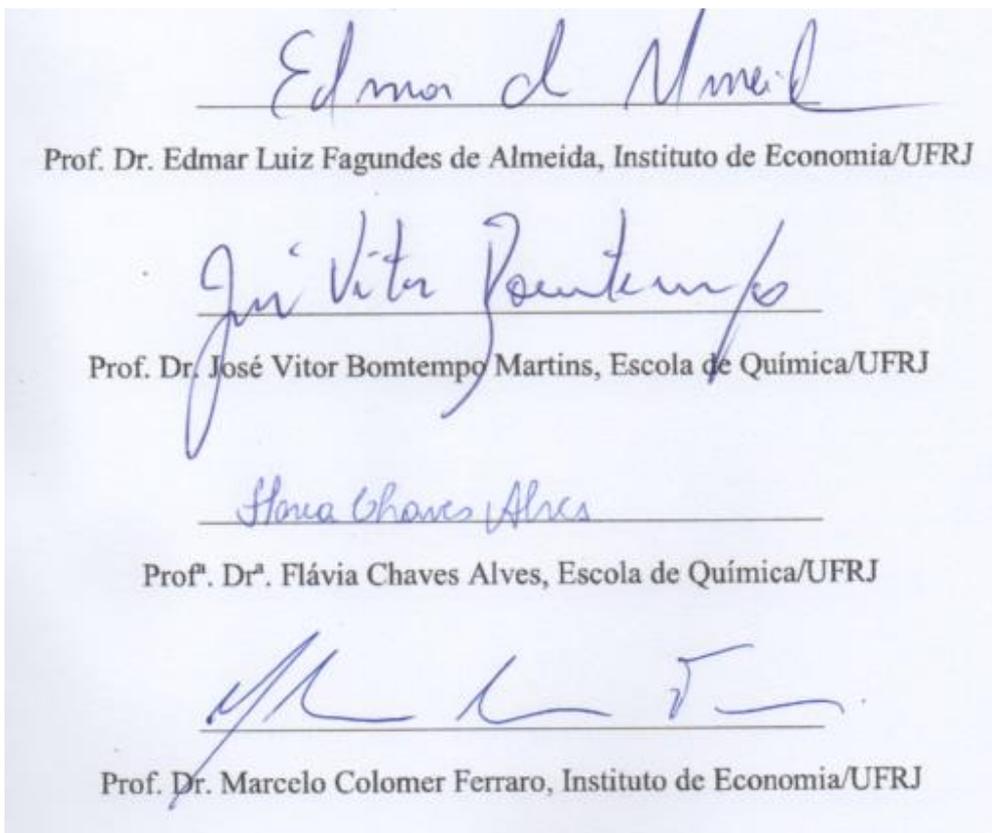
FOLHA DE APROVAÇÃO

Gustavo Alves Soares

O AVANÇO DAS TECNOLOGIAS DE SEGUNDA GERAÇÃO E SEUS IMPACTOS NA INDÚSTRIA DO ETANOL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

Aprovada em:



Para minha mãe, Rosana, e meu pai, Augusto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família, especialmente à minha mãe, Rosana, ao meu pai, Augusto e a minha irmã, Mariana, por todo apoio que me deram.

Agradeço ao meu orientador e professor José Vítor pela paciência, pelo auxílio e por seus ensinamentos. E não posso deixar de registrar aqui o orgulho ser orientando de tão grande pesquisador, professor e pensador.

Especial agradecimento merece ser dado ao Grupo de Economia da Energia do Instituto de Economia da UFRJ, pois, além de me facilitar o contato com diversos profissionais ligados ao ramo da energia, me fez conhecer excelentes amigos, todos apaixonados pelo estudo da economia da energia.

Agradeço também ao Grupo de Estudos em Bioeconomia da Escola de Química da UFRJ por oferecerem ótimas aulas, muitas discussões, novos desafios e por me apresentarem excelentes profissionais que contribuíram muito para a realização desse trabalho e crescimento pessoal.

Por fim, agradeço aos meus amigos por me incentivarem e transformarem toda minha caminhada mais prazerosa.

Resumo

SOARES, G. A., **O Avanço das Tecnologias de Segunda Geração e Seus Impactos na Indústria do Etanol**. Dissertação (Mestrado em Economia da Indústria e Tecnologia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Esta dissertação faz uma análise da evolução da indústria do etanol, desde suas origens, nos anos de 1930, até os dias atuais com a inauguração das primeiras plantas comerciais de etanol de segunda geração. O objetivo principal do trabalho é avaliar quais os principais impactos que a introdução das tecnologias de segunda geração causa na indústria.

Utilizando os princípios da organização industrial, o trabalho identifica que a introdução das tecnologias de segunda geração deve promover uma significativa mudança estrutural na indústria do etanol. A complexidade das novas tecnologias e o uso de uma nova base de matérias-primas são os fatores que contribuem para as mudanças estruturais. Como consequência, estão surgindo na nova indústria do etanol empresas com perfis bem diferentes das tradicionais empresas da indústria do etanol.

O trabalho utiliza os modelos de negócio como unidade de análise para estudar o desenvolvimento das empresas que já inauguraram usinas comerciais de etanol de segunda geração. Constata-se que, apesar de haver bastante semelhanças entre a proposição e captura de valor entre as empresas, há grande diversidade de modelos de negócios pois, devido à heterogeneidade de perfis, as empresas realizam a criação de valor de formas variadas, isto é, elas se estruturam de maneiras diferentes para realizar a produção do etanol de segunda geração.

Apesar de já existirem plantas comerciais, muitas dificuldades ainda precisam ser superadas, principalmente no que tange à criação da cadeia de abastecimento de matérias-primas e ganhos de eficiência com o uso nas novas tecnologias, que ainda não são competitivas frente às tecnologias de primeira geração. Essas características caracterizam a indústria do etanol como estando em um processo inicial de transição tecnológica, onde o apoio governamental é essencial para que haja o contínuo avanço dos ganhos de aprendizado e escala com o uso das tecnologias de segunda geração.

Palavras-chaves: etanol, indústria do etanol, tecnologias de segunda geração, transição tecnológica, empresas, modelos de negócios.

Abstract

SOARES, G. A., **O Avanço das Tecnologias de Segunda Geração e Seus Impactos na Indústria do Etanol**. Dissertação (Mestrado em Economia da Indústria e Tecnologia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

This dissertation analyzes the evolution of the ethanol industry, since its begins, in the 1930s, to the present day with the opening of the firsts commercial plants of second generation ethanol. The main objective of this work is to evaluate what are the main impacts of the introduction of the second generation because the industry technologies.

Using the principles of industrial organization, the work identifies that the introduction of second generation technologies should promote a significant structural change in the ethanol industry. The complexity of new technologies and the use of a new base of feedstock are the factors that contribute to the structural changes. As a consequence, new companies, with different profiles from the traditional ethanol industry companies, are emerging in the new industry.

The work uses business models as an analytical unit to study the development of companies that have opened commercial plant of second generation ethanol. It is noted that, although there are enough similarities between the proposition and capture value between companies, there is great diversity of business models because of the different profiles, companies realize the value creation in different ways. They are structured in different ways to accomplish the production of second generation ethanol.

Although there are already commercial plants, many difficulties still need to be overcome, especially with regard to the feedstock supply chain creation and efficiency gains with the use of the new technologies that are not yet competitive against of first generation technologies . These features characterize the ethanol industry as in initial process of technological transition, where government support is essential so that there is the continuous advancement of learning gains and scale with the use of second generation technologies.

Keywords: ethanol, the ethanol industry, second generation technologies, technological transition, companies, business models.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO 2- EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DO ETANOL	14
2.1 A EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DO ETANOL	18
2.1.1 Evolução do etanol nos EUA.....	19
2.1.2 Evolução do etanol no Brasil	24
2.2 CARACTERÍSTICAS DA ATUAL INDÚSTRIA DO ETANOL	31
2.2.1 EUA.....	31
2.2.2 Brasil.....	35
2.3 CONCLUSÕES.....	39
CAPÍTULO 3- IMPACTOS DO USO DAS TECNOLOGIAS DE SEGUNDA GERAÇÃO NA INDÚSTRIA DO ETANOL.....	42
3.1 AVANÇO DAS TECNOLOGIAS DE SEGUNDA GERAÇÃO	42
3.1.1 Avanço do E2G nos EUA	46
3.1.2 Avanço do E2G no Brasil.....	48
3.2 NOVAS MATÉRIAS-PRIMAS E TECNOLOGIAS E SEUS IMPACTOS NA INDÚSTRIA DO ETANOL	51
3.2.1 Novas matérias-primas	52
3.2.2 Tecnologias de segunda geração.....	59
3.3 CONCLUSÕES.....	68
CAPÍTULO 4- TRANSIÇÕES TECNOLÓGICAS E MODELOS DE NEGÓCIOS.....	72
4.1 INTRODUÇÃO	72
4.2 TRANSIÇÕES TECNOLÓGICAS	73
4.3 MODELOS DE NEGÓCIOS.....	83

4.4 CONCLUSÕES.....	87
CAPÍTULO 5- MODELOS DE NEGÓCIOS EM ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO.....	88
5.1 INTRODUÇÃO.....	88
5.2 EVOLUÇÃO DAS EMPRESAS.....	89
5.2.1 ENERKEM.....	89
5.2.2 GRANBIO.....	93
5.2.3 ABENGOA.....	96
5.2.4 POET-DSM.....	101
5.2.5 BETA RENEWABLES.....	104
5.2.6 DUPONT.....	107
5.2.7 RAÍZEN.....	111
5.3 MODELOS DE NEGÓCIOS.....	115
5.3.1 Proposição de valor.....	115
5.3.2 Criação de valor.....	116
5.3.2 Captura de valor.....	122
5.4 CONCLUSÕES.....	124
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....	135
REFERÊNCIAS.....	142
ANEXO.....	160

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

Elevadas economias de escala, baixos custos de produção, alta densidade energética e previsibilidade no abastecimento são algumas das características que fizeram com que os combustíveis de origem fóssil passassem a dominar o setor de transportes. Entretanto essas qualidades só foram percebidas à medida que a indústria do petróleo crescia a ponto de, quando surgiram os primeiros automóveis, haver uma diversidade de diferentes combustíveis sendo experimentados, dentre eles, o etanol.

Contudo rapidamente tais qualidades ficaram evidentes e toda a infraestrutura construída para os meios de transportes foram feitas com base na utilização dos combustíveis de origem fóssil. Assim a maioria esmagadora dos meios de transportes é movida à gasolina ou diesel, os postos de abastecimento de combustíveis são conhecidos como “postos de gasolina”, e oleodutos cortam diversos países etc.

Entretanto os combustíveis de origem fóssil também apresentam a característica de serem grandes emissores de gases de efeito estufa e, com o agravamento dos problemas relacionados às mudanças climáticas, é preciso que se reveja a matriz energética do setor de transportes, caso se queira combater tais problemas.

A solução para o setor de transportes então é a introdução de fontes de energias renováveis que sejam capazes de reduzir as emissões dentro desse setor. Contudo, como toda estrutura para os transportes foi baseada no uso de fontes fósseis, a maior inserção das fontes renováveis só se dará com grandes mudanças em toda a estrutura, de forma que essas novas fontes possam ser usadas.

Como foi visto, o etanol é utilizado como combustível veicular desde o surgimento dos primeiros automóveis, entretanto ele não conseguiu concorrer com a gasolina e acabou tendo seu uso restrito a poucos países e principalmente na forma de aditivo à gasolina (SPERLING, 1990). Porém, apesar de o etanol não ser economicamente mais competitivo que a gasolina, ele pode ser ambientalmente superior.

Deriva de sua superioridade no âmbito ambiental, a aposta no etanol como um possível combustível para realizar a transição energética no setor de transportes. Essa opção se torna mais viável uma vez que o etanol, além de apresentar uma abordagem semelhante ao uso dos combustíveis fósseis¹, já é produzido em larga escala, há produção

¹ Quer dizer, é um combustível líquido transportado e distribuído de maneira semelhante aos combustíveis de fontes fósseis, entretanto, tanto seu transporte quanto uso não podem ser realizados com o uso dos mesmos equipamentos, uma vez que devido ao maior teor de água o etanol causa a oxidação deles.

de carros *flex* (principalmente no Brasil), permite aumento dos ganhos agrícolas e pode ser produzido na maioria dos países e regiões (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Hoje o etanol é o biocombustível mais produzido, e as projeções são de que para os próximos anos sua produção mais que dobre (IEA, 2015). Como atualmente a produção é realizada majoritariamente a partir do uso vegetais ricos em açúcares facilmente extraídos, predominantemente a cana-de-açúcar e o milho, sua expansão levaria a necessidade de expansão das lavouras.

Apesar de em países como o Brasil a ampliação das lavouras não ser necessariamente um problema (EMBRAPA, 2014), na maioria deles o crescimento das plantações ou maior destinação da produção de alimentos para a produção de etanol pode ocasionar elevação dos preços dos alimentos e elevação do desmatamento. Inclusive, esse último fator pode fazer com que o etanol deixe de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e passe a emitir mais que a gasolina (LAPOLA *et al.*, 2010; FARGIONE *et al.*, 2009; KHANA *et al.*, 2009).

Então, para que a produção de etanol aumente sem que haja necessidade de expansão das plantações, é preciso que a haja significantes ganhos de produtividade, tanto na produtividade dos insumos quanto nas tecnologias, e/ou mudança da base de matérias-primas.

Essas soluções são incapazes de serem alcançadas da maneira atual como a indústria do etanol o produz, isto é, com o uso das tecnologias de primeira geração². Isso porque essas tecnologias aplicadas à produção do etanol já são consideradas maduras, com os rendimentos de produção perto do limite (NOGUEIRA *et al.*, 2008), e apenas conseguem produzir etanol com a utilização de açúcares facilmente extraídos dos vegetais, de forma que apenas poucas culturas, como batata, beterraba, milho e cana-de-açúcar são passíveis de serem utilizadas.

O uso das tecnologias de segunda geração pode resolver esses problemas, uma vez que elas estão em seu estágio inicial de desenvolvimento, o que quer dizer que há ainda muita possibilidade para ganhos de produtividade, e permite o uso de uma maior variedade de novas matérias-primas. Aliás, essas tecnologias recebem esse nome justamente por permitir o uso de outra fonte de matéria-prima, que no caso é o material lignocelulósico, presente na biomassa vegetal. Assim, com o uso das tecnologias de segunda geração, materiais como resíduos agrícolas, florestais, industriais, urbanos e

² Que utilizam como matéria-prima vegetais ricos em açúcares facilmente extraídos como a beterraba, cana-de-açúcar, milho, trigo, sorgo sacarino etc.

energy crops (culturas de vegetais ricas em celulose), podem virar insumos para a produção do etanol, que passa ser chamado de etanol de segunda geração.

Além de permitir a troca na base de matérias-primas, o etanol de segunda geração é capaz de reduzir muito mais as emissões de gases de efeito estufa que o etanol tradicional, o etanol de primeira geração (NOGUEIRA *et al.*, 2008; SCHENPF, 2010. Fato esse que impulsiona mais ainda o incentivo ao etanol como substituto aos combustíveis fósseis.

Entretanto, assim como o setor de transportes foi construído e estruturado segundo o uso dos combustíveis derivados do petróleo, a indústria do etanol foi toda estruturada segundo o uso das tecnologias de primeira geração e o uso de culturas vegetais alimentícias. No capítulo dois, será possível observar a evolução da indústria do etanol e como ela se estruturou para operar com o uso das tecnologias de primeira geração e, principalmente, com a utilização do milho e da cana-de-açúcar.

No caso do setor de transportes, a incorporação maior de fontes de energia renováveis necessariamente levará à adaptação das estruturas desse setor. Assim, caso a participação do uso de etanol cresça, será preciso a implementação de bombas de etanol nos postos de combustíveis, a produção de caminhões tanques e navios tanques específicos para o transporte do etanol, construção de etanoldutos e maior difusão de carros *flex* ou carros apenas a etanol etc. O mesmo então deve valer no caso da introdução de novas-matérias-primas e tecnologias na indústria do etanol.

Então, a transição energética necessária no setor de transporte e a transição tecnológica dentro da indústria do etanol são uma dupla transição que fundamenta a problemática tratada neste trabalho, que, apesar de focar no caso da transição tecnológica, ressalta a primeira como principal instigadora da segunda. Assim, essa dissertação busca responder às perguntas se realmente a introdução das tecnologias de segunda geração podem ser consideradas como um processo de transição tecnológica dentro da indústria do etanol, e, em caso afirmativo, como as principais empresas estão se organizando para essa nova realidade.

Alguns objetivos precisam ser completados para que se possa responder a tais perguntas. Um dois mais importantes é constatar se realmente as tecnologias de segunda geração e o uso de novos tipos de matérias-primas representam uma ruptura com a tradicional forma em que o etanol é produzido. Em seguida é preciso caracterizar um processo de transição tecnológica para confirmar se de fato o uso nas novas tecnologias representa uma transição. Por fim, como transição de qualquer natureza é um processo e,

como todo processo, possui diferentes estágios, a observação desse atual estágio será feita através da observação de como as principais empresas a utilizarem as tecnologias de segunda geração estão se organizando. Essa organização será representada pela elaboração de modelos de negócios dessas empresas e que neste trabalho, significam a maneira como as empresas atuam dentro de uma indústria (MAGRETTA, 2002).

Além desta introdução esta dissertação possui mais cinco capítulos.

Os capítulos 2 e 3 são essencialmente descritivos e possuem o objetivo de permitir que se faça uma comparação entre a forma em que a indústria está hoje estruturada com a forma em que o etanol de segunda geração é produzido. No início do capítulo 2, será contada a história da indústria do etanol, desde a sua origem até os dias atuais, de forma a se observar, no fim do capítulo, como a indústria se estruturou.

No capítulo 3, o foco está na evolução das tecnologias de segunda geração, contada no início do capítulo, e as implicações que a utilização delas causam dentro da indústria. Essas implicações serão constatadas a partir da comparação com a estrutura descrita no capítulo 2.

Apesar de os capítulos serem essencialmente descritivos, é praticamente impossível conceber uma análise histórica sem que haja alguma teoria como pano de fundo ajudando a coletar as informações que se julgam mais importantes. A partir da leitura do capítulo 4, ficará evidente que os capítulos anteriores foram feitos à luz das teorias de cunho neoschumpeteriano, com maior destaque para os processos de transições tecnológicas estudadas por diferentes autores. Entretanto o objetivo do capítulo 4 é, além de caracterizar o que é um processo de transição tecnológica, revelar o quanto as ações das empresas atuantes nesses processos são importantes, de forma a justificar a utilização de modelos de negócios como forma de análise de um determinado estágio do processo.

Assim o capítulo 4 é dividido em duas partes principais, a primeira fazendo uma revisão da literatura sobre transições tecnológicas e a segunda explicando o que é entendido como modelos de negócios.

O capítulo 5, em certa medida, pode ser concebido como a descrição do processo presente no capítulo 3, a partir da visão de algumas empresas atuantes na indústria do etanol. Nesse capítulo, a evolução de sete empresas dentro da indústria será contada, e, ao final do capítulo, os modelos de negócios das empresas serão elaborados e comparados. A construção dos modelos de negócios das empresas trata-se de uma interpretação feita pelo autor dos processos de introdução das tecnologias de segunda geração realizados por essas empresas.

Por fim, no capítulo 6, encontram-se as considerações finais.

CAPÍTULO 2- EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DO ETANOL

A utilização do etanol como combustível no setor de transportes não é recente e data do surgimento dos primeiros automóveis. Henry Ford, por exemplo, conhecido por tornar os automóveis acessíveis às classes trabalhadoras no início do século XX era um simpatizante do etanol como combustível. Seu famoso Modelo T, em suas primeiras versões, podia ser ajustado para operar tanto com gasolina quanto com etanol (SPERLING, 1990).

Além do etanol e da gasolina, diversas outras fontes eram utilizadas na fase inicial da indústria automobilística, entretanto, à medida que a indústria do petróleo crescia, e ocorria o barateamento da gasolina e do óleo diesel, produtos derivados do petróleo, estes passaram a ser predominantes. Essa predominância estende-se a todo setor de transporte, que chega em 2014 com 96,5% de seu consumo final energético proveniente de fontes fósseis. As fontes renováveis são responsáveis pelos 3,5% restantes e, dentre elas, o etanol é o de maior uso (REN, 2015).

Entretanto o interesse pelo etanol combustível sempre esteve presente principalmente com o objetivo de aumentar a segurança energética nos países. Esse interesse era ampliado quando situações de elevação expressiva do preço do petróleo ocorriam, como no caso de guerras ou das Crises do Petróleo, ou havia reduções significativas nos preços dos insumos usados para a produção de etanol (SPERLING, 1990). Contudo, nos anos recentes, as questões climáticas têm sido o principal *driver* a estimular os investimentos em etanol em substituição aos combustíveis fósseis, pois estes são um dos principais responsáveis pelo aquecimento global, visto que a queima, tanto da gasolina quanto do diesel, é responsável por emitir grandes quantidades de gases de efeito estufa (GEE), causadores do problema.

Segundo a IEA (2015), o setor de transportes foi o segundo setor que mais emitiu gás carbônico (CO₂), um GEE, sendo ele responsável por 23% do total do gás emitido. O setor só perdeu para o de geração de eletricidade. Entretanto, segundo o *World Energy Outlook 2015* da IEA, em 2040, as emissões de CO₂ serão 16% maiores do que se observou em 2013, sendo que o principal responsável por esse crescimento será o setor de transportes.

De acordo com REN (2015) e IEA (2015), a transição energética no setor de geração elétrica é mais fácil do que no setor de transportes, uma vez que para o primeiro existem opções que atualmente possuem custos operacionais inferiores aos das opções

não renováveis e não necessitam do desenvolvimento de toda uma nova infraestrutura para a distribuição de eletricidade, inclusive a produção pode ser realizada de forma distribuída, como no caso da energia solar. Tal fato não acontece no segundo caso visto que o etanol é atualmente mais custoso que as opções de origem fóssil e não pode usufruir da já complexa infraestrutura feita para o transporte, distribuição e consumo dos mesmos.³

Mesmo com essas dificuldades, a maioria dos investimentos e políticas governamentais voltadas para a transição energética no setor de transporte é focada nos biocombustíveis (REN, 2015). As projeções feitas para 2040 são que os biocombustíveis passem dos atuais 3,5% para 9%, ficando o etanol responsável por 70% dos biocombustíveis consumidos (IEA, 2015). A evolução para 9% representa um grande desafio, visto ser necessário mais que dobrar a atual produção de etanol. Esse desafio é ampliado porque a atual indústria do etanol enfrenta uma série de questionamentos que colocam em xeque a real capacidade de o etanol cumprir o papel de um substituto, ambientalmente e socialmente sustentável, à gasolina.

O etanol é hoje predominantemente produzido a partir das tecnologias chamadas de primeira geração e, conseqüentemente, o produto dela derivado é chamado etanol de primeira geração (E1G). Existem também as tecnologias de segunda geração e o etanol de segunda geração (E2G). A diferenciação entre o E1G e o E2G assumida aqui será a que se baseia nas características do tipo de matéria-prima utilizada para a sua produção (IEA, 2013; UNCTAD, 2016). Entretanto outras definições existem, considerando como critério maturidade tecnológica e/ou capacidade de redução de GEE (EPA, 2016).

O E1G então recebe esse nome por ser derivado de açúcares facilmente extraídos dos vegetais. Na atualidade, as principais culturas vegetais utilizadas para abastecer fábricas do E1G são o milho e a cana-de-açúcar (UNCTAD, 2016). As tecnologias para a produção do E1G são conhecidas pelos homens há milhares de anos, sendo utilizadas desde sempre na produção de bebidas alcoólicas. Para fins automobilísticos, as tecnologias só passaram a ser aplicadas na virada do século XIX para o XX, com o surgimento dos primeiros carros (SPERLING, 1990; NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Os questionamentos destacados anteriormente decorrem dos limites impostos pelas atuais tecnologias de primeira geração. Primeiro, por fazer uso de matérias-primas que

³ Os custos de geração das fontes renováveis são mais baixos que os das fontes fósseis, entretanto, devido a intermitência ou sazonalidade das fontes renováveis, estas ainda não são competitivas contra as fontes fósseis.

também são utilizados como alimentos básicos, a indústria do etanol é acusada de causar a elevação nos preços dos alimentos. Há muita discussão quanto ao real impacto do etanol na elevação dos preços dos alimentos, contudo com a perspectiva de ampliação da produção de etanol e a conseqüente necessidade de expansão das lavouras essa é uma discussão que deve se manter no caso do E1G.

Segundo, no que tange a sustentabilidade ambiental, a necessidade de expansão das lavouras de culturas destinadas a produção de E1G pode impactar direta e indiretamente na mudança do uso da terra. O principal exemplo de mudança direta no uso da terra, e o de maior preocupação quanto à sustentabilidade, é o desmatamento, isto é, remoção da vegetação natural para dar espaço a plantações. A mudança indireta no uso da terra ocorre quando a produção do etanol não causa o desmatamento diretamente, mas reduz a área destinada a produção de alimentos, implicando a necessidade de se expandir para outras regiões, o que pode levar ao desmatamento (EMBRAPA, 2014; UNCTAD, 2016).

Deriva do problema da mudança do uso da terra o terceiro questionamento de qual é a real capacidade do E1G em reduzir as emissões de GEE frente ao uso da gasolina. Diversos estudos afirmam que, quando incluídos os impactos referentes à mudança do uso da terra, o E1G não só deixa de emitir menos como pode passar a poluir mais que a gasolina (LAPOLA *et al*, 2010; FARGIONE *et al*, 2009; KHANA *et al*, 2009).

O quarto ponto refere-se aos limites de ganhos de produtividade das tecnologias de primeira geração que, por serem usadas há décadas, para muitos elas são consideradas maduras, de maneira que há pouco espaço para inovações que proporcionem elevados ganhos de produtividade (UNCTAD, 2013; IEA, 2008). Nogueira *et al*. (2008) afirmam que, os ganhos de produtividade, na fase industrial de produção do E1G, utilizando a cana, estão limitados a 4%.

Diferentemente do que ocorre com o E1G, o etanol produzido a partir das tecnologias de segunda geração, o E2G, não sofre de tais questionamentos, por ser ele comprovadamente superior ao E1G nos aspectos ambientais, sociais e nos de ganhos de produtividade (IEA, 2015; UNCTAD, 2016; BNDES, 2010). Assim, quando foi dito que o etanol é uma das principais apostas para incitar a transição energética dentro do setor de transporte, muito se tinha em consideração a utilização do E2G como substituto à gasolina.

O E2G recebe esse nome por utilizar como matéria-prima o material lignocelulósico presente em toda biomassa vegetal, composto basicamente de celulose, hemicelulose e lignina. Os dois primeiros são açúcares e o último uma macromolécula responsável em

prover sustentação aos vegetais. Diversos estudos tentam estimar a produção anual desse material sem que haja real consenso sobre o valor, porém todos afirmam que se trata do recurso orgânico mais abundante na superfície terrestre (SILVIA, 2012; JOSHI *et al.*, 2011).

Por utilizar o material lignocelulósico, em tese, qualquer biomassa é passível de ser utilizada para a produção do E2G, o que inclui resíduos agrícolas, recursos florestais, resíduos urbanos e as *energy crops* (culturas vegetais potencialmente de baixo custo, ricas em celulose e voltadas para a produção de bioenergia e biocombustíveis). Então, diferente do que ocorre no E1G, a utilização de tecnologias de segunda geração permite a utilização de biomassas que não são usadas como alimentos.

As tecnologias de produção do E2G são variadas podendo seguir três principais grandes rotas, a bioquímica, a termoquímica e a híbrida (uma combinação das outras duas). Cada uma apresenta especificidades quanto à maneira de produzir, aos rendimentos de etanol e à geração de resíduos (SIMS *et al.*, 2010). Algumas dessas tecnologias são conhecidas há muito tempo, como por exemplo a gaseificação. Outras tecnologias são mais novas, como a de hidrólise enzimática que começou a ser desenvolvida após metade do século XX.

Contudo, diferentemente do que acontece com o E1G, as unidades comerciais produtoras de E2G são muito recentes, a primeira só foi inaugurada em 2013 (BETARENEWABLES, 2016)⁴. Seus atuais custos elevados tendem a cair na medida que os problemas da cadeia de produção forem superados - estudos apontam que em um futuro próximo o E2G será mais competitivo que o E1G (MILANEZ *et al.*, 2015). Durante esse início do aprendizado é importante que o apoio governamental permaneça e se amplie, pois poucas empresas estariam dispostas e/ou teriam a capacidade de suportar esse período que envolve a criação de uma cadeia de abastecimento de matérias-primas e adaptação das tecnologias às diferentes matérias-primas (EGGERT e GREAKER, 2014).

O interesse dos governos em apoiar essas tecnologias deve-se ao elevado potencial de redução de GEE que elas possibilitam com a produção do E2G (UNCTAD, 2016). Também, como foi dito anteriormente, as tecnologias de produção do E2G permitem a utilização de matérias-primas que não competem com a produção de alimentos, e, mesmo

⁴ Por comparação, no Brasil, a primeira grande usina de E1G foi fundada em 1927 e chamava-se Usina Serra Grande Alagoas e utilizava o melaço, um subproduto da produção de açúcar, como matéria-prima (RODRIGUES, 2000).

que haja plantações destinadas à produção do E2G, elas podem ser feitas em terrenos menos férteis com o uso das *energy crops* (SCHENPF, 2011).

O fato de a aplicação das tecnologias de segunda geração em larga escala ser um acontecimento recente e, aliado a isso, haver maior complexidade tecnológica e o uso de uma nova base de matérias-primas, induz a crer que a forma como a indústria do etanol se estrutura para a produção do E2G seja bem diferente da maneira como ela está estruturada sobre as tecnologias de primeira geração. Assim o objetivo principal deste capítulo e do capítulo seguinte é comparar a forma como o etanol é produzido, seguindo as tecnologias de primeira ou segunda geração, e suas diferentes implicações para diversas características industriais.

Este capítulo está dividido em mais duas seções. A próxima seção irá tratar da história da indústria do etanol veicular desde suas origens até os dias atuais. Os principais aspectos destacados nesta seção serão as políticas governamentais de incentivo, participação de diferentes órgãos governamentais e aumento da produção de etanol.

A seção 3 pode ser considerada o resultado a que levou a evolução descrita na seção 2, isto é, quais são as características predominantes na atual indústria do etanol.

A seção 3 é seguida diretamente pelo capítulo 3 que mantém uma estrutura semelhante a este capítulo, isto é, uma seção histórica e outra descrevendo o atual estágio das novas tecnologias de produção do etanol. Assim, é possível identificar semelhanças e diferenças no processo histórico e implicações que o uso das novas tecnologias causa na estruturação da cadeia de produção do etanol.

2.1 A EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DO ETANOL

A utilização do etanol como combustível veicular data do final do século XIX, porém, os primórdios da atual indústria do etanol como se conhece hoje data da década de 70 do século seguinte. Na ocasião, dois fatores foram preponderantes para que o desenvolvimento da indústria ocorresse.

As crises do petróleo que ocorreram na mesma década são um deles. Em 1973 os países da OPEP, cartel formado pelos principais países exportadores de petróleo cuja predominância são de países do Oriente Médio, em retaliação ao suporte prestado pelos EUA e pela Europa a Israel durante a Guerra do Yom Kippur, restringiram a produção e a exportação de petróleo ocasionando um elevado aumento do preço do barril de petróleo. A segunda crise do petróleo, que ocorreu em 1979, deveu-se à crise política no Irã e a posterior guerra Irã-Iraque, dois países integrantes da OPEP. Durante o período que se

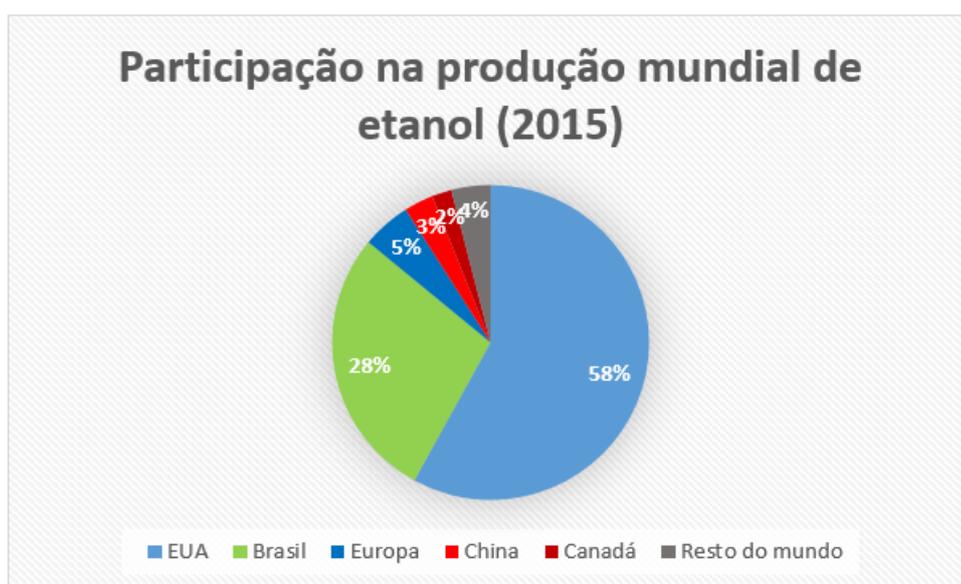
estende de 1973 até 1981 o preço do barril de petróleo saltou de U\$ 4 para U\$ 34 (PERTUSIER, 2004).

Países que dependiam muito das importações de petróleo, como o Brasil e os EUA, registraram, com a elevação dos preços do petróleo, o aumento nos preços dos combustíveis, a queda na competitividade industrial, o aumento acentuado da inflação e a deterioração da balança comercial. Essas consequências negativas sinalizaram a esses países os graves problemas que uma elevada dependência energética de petróleo e seus derivados pode acarretar. Assim, Brasil e EUA passaram, a partir da década de 70, a incentivar a produção de etanol como substituto à gasolina de forma a reduzir sua dependência energética. Assim o segundo fator de estímulo ao desenvolvimento da indústria do etanol é o forte apoio governamental.

Em 2014, a produção de etanol foi de 94 bilhões de litros e dois países foram responsáveis por 83 % desse total, os EUA com 58% e o Brasil com 25% (REN, 2015). Conforme o gráfico 1 revela, os outros 17% são divididos principalmente entre China, países da Europa e Canadá. Devido à preponderância dos EUA e do Brasil este capítulo falará apenas sobre eles.

Também é importante ressaltar a disseminação de políticas de mandatos obrigatórios de etanol pelo mundo. Na tabela A.1 do anexo deste trabalho estão listados todos os países que atualmente possuem mandatos de mistura obrigatória de etanol.

Gráfico 1



Fonte: RFA (2016)

2.1.1 Evolução do etanol nos EUA

Antes dos anos 1970, nos EUA, o incentivo à produção do etanol dava-se com a baixa do preço do milho, que no caso norte americano sempre foi a principal matéria-prima utilizada para produção de etanol, e o conseqüente *lobbying* dos produtores de milho e destilarias. Um marco foi a retirada de um imposto federal de U\$ 2,08 por galão (1 galão \approx 3,7 litros), em 1906, o qual existia desde 1861 (SPERLING, 1990).

A década de 1930, nos EUA, foi marcada por confrontos entre produtores agrícolas e destilarias de um lado e empresas de petróleo e automóveis de outro. O primeiro segmento batalhava por maiores incentivos à produção do etanol, inclusive com o estabelecimento de uma porcentagem de mistura deste à gasolina. Usavam como argumentos que o estímulo ao etanol levaria a um aumento da independência energética, alívio financeiro aos agricultores e melhoraria o desempenho automotivo devido às características do etanol⁵. O segundo segmento argumentava que a mistura elevaria os preços da gasolina, visto que o etanol era mais caro que esta, e que a mistura poderia causar danos aos carros (SPERLING, 1990).

Por fim, a discussão que se iniciou em nível federal reduziu-se a alguns Estados do Centro-Oeste dos EUA, sendo que até então nenhuma mistura obrigatória foi estipulada. Apesar das derrotas, apoiadores do etanol combustível não desistiram e, em 1935, construíram uma usina de produção de etanol de capacidade anual de 3,7 milhões de galões. O projeto foi levado à frente por uma fundação sem fins lucrativos, a The Chemical Foundation, que recebia apoio de Henry Ford e outras fundações. A importância desse marco deve-se ao fato de que a usina, após superação de diversas dificuldades, revelou ser possível produzir etanol em uma escala superior até então praticada. Ao final de 1938 a usina abastecia mais de 2000 postos de combustíveis que vendiam o etanol misturado à gasolina em uma proporção de até 10% (SPERLING, 1990).

Diversas outras usinas, seguindo o modelo da The Chemical Foundation, foram planejadas, mas muitas não chegaram a sair do papel pois, com o fim da Segunda Guerra Mundial, o preço do milho disparou, desincentivando assim o consumo e produção do etanol (SPERLING, 1990). Acrescentam-se aos desincentivos novas descobertas de

⁵ O etanol possui maior teor de oxigênio (35% da massa do etanol), o que possibilita uma queima mais limpa e melhor desempenho dos motores. Quando misturado à gasolina o etanol atua como aditivo melhorador de qualidade e redutor de emissões poluentes. A mistura de etanol permite a substituição do MTBE, um aditivo que é acusado de causar danos ao meio ambiente e à saúde humana (Nogueira *et al.*, 2008).

petróleo nos EUA e resto do mundo, ao longo das décadas de 1950 e 1960, o que manteve o preço da gasolina bem inferior ao do etanol.

Uma nova virada na história ocorreu em 1973 com a Primeira Crise do Petróleo. Aliado à alta elevada dos preços do petróleo houve também o “Teste de Nebraska”, ocorrido em 1974, em que veículos rodaram mais de 3,2 milhões de quilômetros utilizando o E10⁶, revelando assim a possibilidade de se usar o E10 sem prejuízo aos motores dos carros (SCHELLER, 1979). Os primeiros avanços vieram a nível estadual, com diversos Estados reduzindo impostos sobre gasolina que contivessem etanol misturado. Em seguida, a nível federal, o grande salto ocorreu em 1978 com o Energy Tax Act, lei federal que reduziu o imposto federal sobre o E10 em U\$ 0,04, o que representa um subsídio de U\$ 0,4 por galão de etanol (SOLOMON *et al.*, 2007).

Além dos benefícios fiscais, o governo elevou os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) em etanol de U\$2,4 milhões em 1977 para U\$24 milhões em 1980 (DOE, 1979). Ainda em 1980 com a aprovação do Energy Security Act foram liberados U\$1,2 bilhões para o financiamento de novas unidades de produção de etanol e outros biocombustíveis. O Energy Security Act ainda possuía objetivos ambiciosos, como a redução do consumo de gasolina em 10% até 1990, substituindo o pelo etanol (SPERLING, 1990).

Graças aos incentivos, já em 1978 começaram a surgir as primeiras bombas específicas para o E10 e ao final de 1979 tinha-se mais de 2200 postos de combustíveis com bombas específicas de E10. Em 1982 a Energy tax act foi atualizada e a redução de impostos sobre o E10 passou para U\$ 0,05 o galão, em seguida, em 1984, há uma nova atualização, chegando a um abatimento de U\$ 0,06 o galão de E10 (NGUYEN, 2016). Encorajados pelo aumento dos incentivos, pelo baixo custo de capital necessário para se construir plantas de etanol e facilidade em lidar com as tecnologias de conversão (de primeira geração), muitos projetos de plantas de etanol surgiram. Em relatório de 1980 estimou-se que mais de 300 projetos de usinas de etanol, muitas das quais nunca saíram do papel. Inclusive empresas de óleo e gás como a Amoco, a Texaco e Chevron passaram a se interessar pela produção de etanol, contudo entraram na indústria a partir de *joint ventures* (SPERLING, 1990).

⁶ Gasolina com porcentagem de mistura de etanol de 10%

Pode-se imaginar que devido à grande entrada de empresas na década de 80 a indústria de etanol nos EUA seria desconcentrada⁷, o que é um erro pois, em 1990, apenas uma empresa, a Archer Daniels Midland (ADM), era responsável pela produção de 55% de todo etanol. A ADM é uma empresa produtora de produtos agrícolas e processadora de alimento que, devido ao excesso de capacidade ociosa em suas plantas de xarope de milho (um tipo de açúcar) percebeu que poderia adaptá-las para produção de etanol (KOPLOW, 2006). Ainda, a ADM passou a investir em plantas de etanol com capacidade anual de produção cada vez maior, sendo a maior dela com capacidade de 275 milhões de galões ano (KOPLOW, 2006).

Entretanto a concentração foi diminuindo com a entrada de novas empresas. Em 2004 a ADM produzia 43% do total de etanol dos EUA e em 2005 passou a produzir 29% (YACOBUCCI, 2004). Em 2011 a Poet superou a ADM como maior produtora de etanol com uma produção de 11, 8% enquanto a ADM possuía 10, 2% (NGUYEN, 2016). Já a partir desse ano a Federal Trade Commission (FTC) dos EUA considera a indústria de etanol nos EUA como sendo desconcentrada (FTC, 2015).

A partir da década de 90 o incentivo fiscal federal sofreu uma nova série de atualizações. Em 1990, passou a ser de U\$0,054, em 2000, U\$ 0,052 e em 2003, U\$0,051, este último com validade até 2007. Em 2004 a The American Jobs Creation Act estendeu o benefício até 2010, porém, em 2008, uma nova lei federal reduziu a isenção fiscal para U\$0,045. Em contrapartida a essa redução a mesma lei criou uma linha de crédito especial para pequenos produtores de etanol (DOE, 2010).

O principal estímulo à indústria do etanol iniciou-se em 2005 com a aprovação do Renewable Fuel Standard (RFS), lei federal cujas diretrizes e regulamentação são geridas pela EPA. O RFS passou a estipular mandatos crescentes de mistura de biocombustíveis aos combustíveis de origem fóssil. Em 2007, com o Energy Independence and Safety Act (EISA), também conhecido como RFS 2, atualizaram-se para cima as metas de utilização dos biocombustíveis de modo a se atingir 136 bilhões de litros em 2022 (DOE, 2016).⁸

⁷ Concentração industrial é um indicador que busca revelar se há ou não poder de mercado por parte de determinado número de empresas dentro de uma indústria. Assim, em uma indústria concentrada, poucas empresas são responsáveis pela maior parte da produção ou do *market share* e, conseqüentemente, possuem capacidade de influenciar nos preços de seus produtos. O contrário para indústrias desconcentradas (KUPFER e HASENCLEVER, 2013).

⁸ O RFS divide os biocombustíveis em biocombustível celulósico (capaz de reduzir as emissões de GEE em mais de 60%, onde se enquadra o E2G), biocombustíveis avançados (capazes de reduzir as emissões de GEE em mais de 50%), biodiesel de biomassa e biocombustíveis convencional (reduz emissão de GEE em 20%, onde se enquadra o E1G do milho) (EPA, 2015). Os biocombustíveis celulósicos são biocombustíveis avançados

A tabela 1 apresenta a progressão dos mandatos estipulados pelo RFS 2 para os diferentes biocombustíveis.

Tabela 1-Volumes anuais estipulados pelo RFS 2 em 2007 (em bilhões de galões)

Ano	Total de biocombustível	Biocombustível celulósico	Biodiesel de biomassa	Outros biocombustíveis avançados	Biocombustível convencional
2008	9	0	0		9
2009	11,1	0	0,50	0,10	10,5
2010	12,95	0,10	0,65	0,20	12
2011	13,95	0,25	0,80	0,30	12,6
2012	15,2	0,50	1	0,50	13,2
2013	16,55	1	1	0,75	13,8
2014	18,15	1,75	1	1	14,4
2015	20,5	3	1	1,5	15
2016	22,25	4,25	1	2	15
2017	24	5,5	1	2,5	15
2018	26	7	1	3,	15
2019	28	8,5	1	3,5	15
2020	30	10,5	1	3,5	15
2021	33	13,5	1	3,5	15
2022	36	16	1	4	15

Fonte: RFA (2016)

Percebe-se que o RFS reflete o aumento das preocupações com questões ambientais que passaram a ser mais fortes nas últimas décadas, visto que, além de ser administrado por uma agência ambiental foca no desenvolvimento de biocombustíveis avançados, capazes de reduzir efetivamente as emissões de GEE. Por isso, além de estimular o E1G também estimula o E2G, considerado um biocombustível celulósico.

O RFS vem sofrendo constantes atualizações, sendo a última ocorrida em 2016. Nessa situação, as estimativas foram revistas para baixo como reflexo da atual dificuldade que os produtores de biocombustíveis avançados estão enfrentando com a passagem da produção em escala piloto para a escala comercial (EPA, 2016). A tabela 2 apresenta os resultados da última revisão feita no RFS, no caso para os anos de 2014 e 2015 as estimativas foram reduzidas para entrar de acordo com a atual capacidade produtiva instalada de combustíveis avançados nos EUA. No ano de 2016 seria de fato a nova estimativa no RFS e para 2017 a EPA aguarda os resultados de 2016 para criar novo mandato.

Tabela 2-Volumes anuais do RFS atualizados em 2016 (em bilhões de galões)

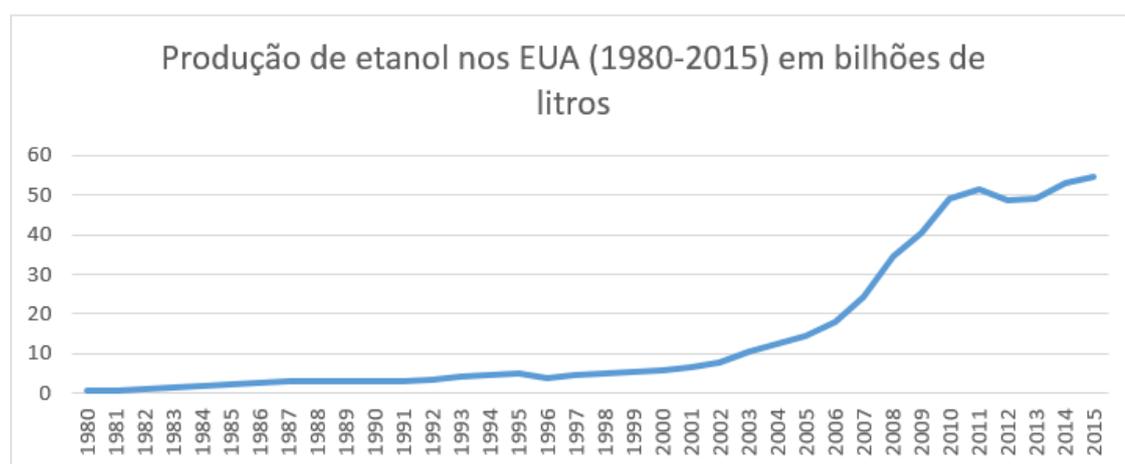
Ano	Total de biocombustível	Biocombustível celulósico	Biodiesel de biomassa	Outros biocombustíveis avançados	Biocombustível convencional
2014	16,28	0,033	1,63	1,01	13,61
2015	16,93	0,123	1,73	1,03	14,05
2016	18,11	0,230	1,9	1,48	14,5
2017	18,8	0,312	2,0	1,69	14,8

Fonte: adaptação de EPA (2016)

Ainda, os EUA aplicavam tarifas ao etanol importado, com objetivo claro de restringir as importações do etanol brasileiro, que como será visto, também conta com amplo apoio estatal e é mais competitivo que o etanol de milho norte americano. A tarifa ao etanol importado era de U\$0,54 por galão (DOE, 2010). Ao final de 2011, tanto os incentivos fiscais quanto o imposto sobre as importações foram eliminados (EXAME, 2011).

A combinação de mandatos obrigatórios de etanol, incentivos fiscais federais, impostos sobre a importação de etanol e diversas políticas estaduais de fomento fizeram com que a indústria do etanol nos EUA se desenvolvesse e conseqüentemente a produção crescesse a taxa elevadas, como revela o gráfico 2. Pelo gráfico percebe-se que a partir do ano de 2005, quando o RFS foi aprovado, a taxa de crescimento da produção deu um grande salto, revelando assim a importância desta lei.

Gráfico 2



Fonte: RFS (2016)

2.1.2 Evolução do etanol no Brasil

Assim como no caso dos EUA, a construção da indústria do etanol no Brasil aconteceu de forma mais intensa a partir da década de 70, principalmente em decorrência das Crises do Petróleo que no caso brasileiro tiveram impacto mais expressivo uma vez que o petróleo era responsável por cerca de 42% da matriz energética, em 1974, e o país

não possuía produção expressiva sendo, 80% do petróleo era importado (SPERLING, 1990).

Porém, diferentemente dos EUA, o Brasil já praticava misturas obrigatórias de etanol desde 1931, quando o governo, por meio de um decreto federal, estipulou uma mistura de no mínimo 5% (NOGUEIRA *et al*, 2008). Essa decisão tinha o objetivo de reduzir a demanda por petróleo importado e só foi possível graças a testes realizados anteriormente por centros de pesquisas e universidades que revelaram que a mistura do etanol à gasolina em certos limites não danificava os automóveis (NOGUEIRA *et al*, 2008).

Em 1933, mais um importante passo foi realizado com a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), autarquia federal que tinha como objetivo regular a produção e a comercialização do açúcar e etanol. No que se refere ao etanol, o IAA passou a determinar o percentual de mistura e os preços e a financiar a construção de novas destilarias (NOGUEIRA *et al*, 2008). Como resultado o número de usinas produzindo etanol veicular saltou de uma, em 1933, para 54, em 1945 (ROTHMAN *et al.*, 1983).

A porcentagem de mistura do etanol à gasolina variou ao longo dos anos, com destaque para o período da Segunda Guerra Mundial em que foram observadas misturas de até 42% em decorrência da restrição das importações de petróleo (BIODIESELBR, 2006). Entretanto, até o ano de 1975, a média de mistura manteve-se em 7,5%, quando em decorrência da primeira Crise do Petróleo viu-se a necessidade de expansão da utilização do etanol (NOGUEIRA *et al*, 2008).

A resposta dada à primeira Crise do Petróleo (1975) foi o Programa Nacional do Alcool⁹ (Proálcool). O Proálcool foi instituído por decreto pelo Governo Federal. Vale lembrar que no período o Brasil estava sendo governado por uma ditadura militar.

Apesar do elevado poder do governo central a aplicação do Proálcool, em sua fase inicial não foi muito bem coordenada principalmente entre os diferentes órgãos públicos e empresas estatais. O IAA, que há anos estava envolvido com a produção de cana-de-açúcar, advogava que ela deveria ser a única matéria-prima, a Petrobras, empresa de petróleo estatal brasileira, queria ter o monopólio do programa e a Copersucar, que na época era uma cooperativa dos maiores produtores de açúcar do Estado de São Paulo, queria que o programa focasse em subsídios e que o Governo não entrasse na produção do etanol (SPERLING, 1990). Também os bancos estatais, como o Banco do Brasil, no

⁹ Etanol, álcool e álcool etílico são palavras que se referem a mesma substância: um composto orgânico de fórmula C₂H₆O

começo estavam avessos a empréstimo para novos produtores de etanol. Por exemplo, de 32 novos projetos de destilarias aprovados pelo IAA para receber financiamento pelos bancos estatais, apenas oito realmente receberam (SPERLING, 1990). De acordo com Cruz *et al.* (2012), apesar dessas dificuldades iniciais, o Proálcool é considerado mundialmente como o maior e melhor programa de promoção de biocombustíveis.

A Comissão Nacional do Álcool (CNA) foi criada para ser o órgão responsável pela gestão do programa, incluindo a determinação de metas de produção, que inicialmente era de três bilhões de litros para 1979. Outros órgãos também participavam da operação. Ao IAA, como foi dito, cabia a avaliação de novos projetos de usinas de etanol que, caso aprovados, tinham acesso a uma série de vantagens de financiamentos como maiores prazos para pagamentos, menores taxas de juros e *grants*¹⁰ (SPERLING, 1990; CRUZ *et al.*, 2012). Havia também controle dos preços do etanol e da gasolina. Em geral, os preços do etanol e da gasolina eram mantidos de maneira a deixar o etanol atrativo tanto para o produtor quanto para os consumidores. O controle de preço era realizado em conjunto com o IAA e a Petrobras (SPERLING, 1990).

Os incentivos surtiram efeito e em 1979 foram produzidos aproximadamente 3,5 bilhões de litros de etanol, 15% superior à meta estipulada. Esse sucesso na fase inicial do Proálcool foi facilitado por alguns fatores. Primeiro, o Brasil possuía experiência secular na produção e logística da cana-de-açúcar, segundo, havia capacidade ociosa nas usinas de açúcar. Terceiro, no Brasil, já se misturava etanol à gasolina há décadas, inclusive com casos de porcentagem acima dos 20%, logo não foram necessárias grandes mudanças na infraestrutura de transportes e comercialização para suportar gasolina com maiores teores de etanol (SPERLING, 1990). Apenas por comparação, no EUA, em 1980, foram produzidos apenas 647 milhões de litros de etanol (RFA, 2016).

Em 1979, com a segunda Crise do Petróleo, o Proálcool precisou ser reforçado. Uma nova meta de produção foi estipulada (10,7 bilhões de litros) para 1985, o consumo de etanol hidratado¹¹ (E100, sem necessidade de mistura de gasolina) passou a ser estimulado e houve a liberação de U\$5 bilhões para serem investidos durante 6 anos na

¹⁰ Subvenção é um auxílio financeiro ofertado pelo Estado ou agentes privados, seja como forma de incentivo, patrocínio ou ajuda de custo.

¹¹ O etanol de mistura obrigatória cujo objetivo é aumentar a octanagem da gasolina e reduzir as emissões chama-se etanol anidro. O etanol que se compra nos postos de combustíveis é o etanol hidratado, chamado nesse trabalho de E100. A diferença entre eles está no teor de água que cada um possui, enquanto o etanol hidratado possui cerca de 5% de água, o etanol anidro contém cerca de 0,05% de água.

implementação de infraestrutura capaz de suportar o aumento de produção e a distribuição do E100 (SPERLING, 1990).

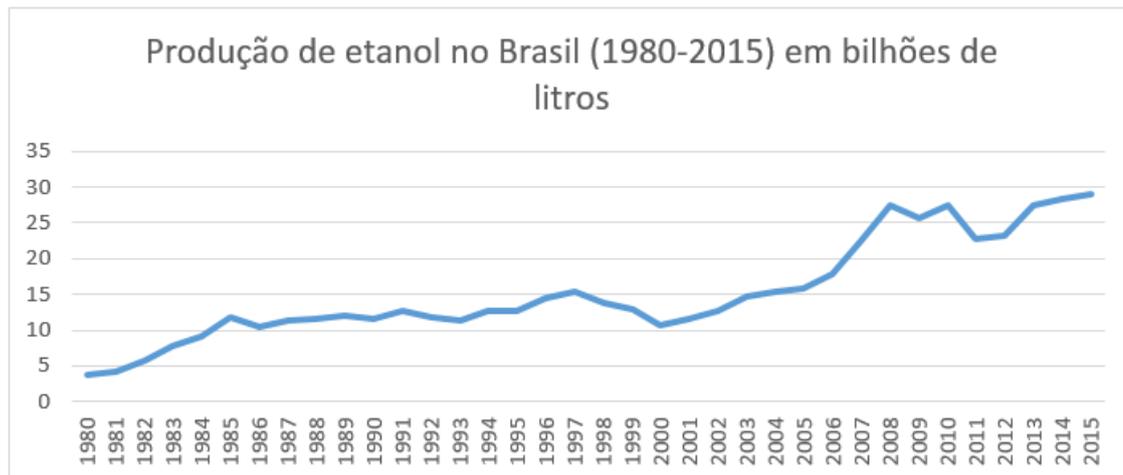
No Brasil, as empresas já produziam carros capazes de utilizar gasolina com quantidades elevadas de etanol. Porém apenas após 1979 elas passaram a produzir carros capazes de utilizar o E100, pois o governo estipulou elevada meta de produção de etanol, mantendo as garantias de preços competitivos, e ainda determinou uma série de novos estímulos ao consumo de carros movidos 100% a etanol. Entre esses estímulos há a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) a veículos a etanol. Para os taxis o IPI foi isento (CRUZ *et al.*, 2012).

A introdução dos carros movidos a E100 foi bem sucedida e já em meados dos anos 80 as suas vendas representavam cerca de 95% das vendas de novos veículos (XAVIER, 2007). O aumento da demanda de etanol, puxado tanto pelo avanço do uso dos carros movidos a E100 como pela elevação da porcentagem de mistura à gasolina, foi correspondida com êxito no aumento da produção do etanol. Em 1985, foram produzidos 11,7 bilhões de litros de etanol, 8% a mais do que a meta estipulada em 1979 (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Apesar dos ótimos resultados apresentados em 1985, esse ano marca o início da trajetória de declínio do Proálcool. Primeiro, o preço do barril do petróleo despencou, saindo do patamar de U\$ 40 em 1985 para algo entre U\$ 12 e U\$ 20 em 1986 (HALVORSON, 2011). Segundo, o Brasil atravessava uma grande inflação, onde os preços controlados dos combustíveis agravavam a situação (NASS *et al.*, 2007). Terceiro, o Brasil deixou de ser uma ditadura o que dificultava a manutenção das políticas de estímulo ao etanol (NASS *et al.*, 2007). Quarto, os preços internacionais do açúcar subiram fazendo com que as usinas destinassem mais cana para a produção de açúcar (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

A partir desse período o governo suspendeu os subsídios à produção de etanol e foram interrompidos novos financiamentos para destilarias. Apesar da inflação elevada, o controle de preços foi mantido até 1999 (CRUZ *et al.*, 2012). Em decorrência da diminuição de estímulos, elevação do preço do açúcar e queda do preço do petróleo a produção de etanol ficou estagnada até início dos anos 2000, como revela o gráfico 3.

Gráfico 3



Fonte: UNICADATA (2016) e NOVACANA (2016)

As vendas de carros movidos a E100 também perderam força, principalmente após 1989, quando ocorreu a crise de abastecimento de etanol. Não havia oferta suficiente de etanol para toda a demanda. Em 1990 as vendas desses veículos foram de apenas 11,4% (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

A partir de 1990 a interferência estatal na indústria do etanol começou a diminuir. A primeira medida foi a extinção do IAA, que em tese acabou com o monopólio da compra e exportação de açúcar dessa agência. Em seguida deu-se início ao fim do tabelamento dos preços do etanol. Em 1996, o etanol anidro deixou de ser regulado e, em 1999, o E100 também (NOGUEIRA *et al.*, 2008). Do quadro legal original de medidas de incentivo ao etanol apenas os mandatos de mistura obrigatória e a tributação diferenciada do E100 e carros movidos a E100 permaneceram.

Contudo a tendência de estagnação começou a se reverter no início dos anos 2000, quando as questões de caráter ambiental passaram a ser muito mais importantes que as questões relativas à dependência energética.

Uma primeira medida que beneficiou o etanol foi a aprovação da Lei 10.336/2001, que criou a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE), imposto federal aplicado sobre a comercialização e importação de combustíveis. Em seguida, sobre o pretexto de o etanol ser superior ambientalmente à gasolina, foi aprovado a Lei do Álcool (Lei 10.453/2002), que determinava maior tributação (via CIDE) sobre a gasolina em relação ao etanol. Parte dos recursos arrecadados poderia ser usada para subsídios (de preços, estocagem e transporte de etanol) (BACCARIN *et al.*, 2009). Também em 2001, entrou em vigor a lei que elevava a mistura obrigatória do etanol anidro à gasolina para

20%. Posteriormente esse valor foi elevado para 24% e 25% (BACCARIN *et al.*, 2009). Atualmente a mistura obrigatória é de 27% (ANP, 2016).

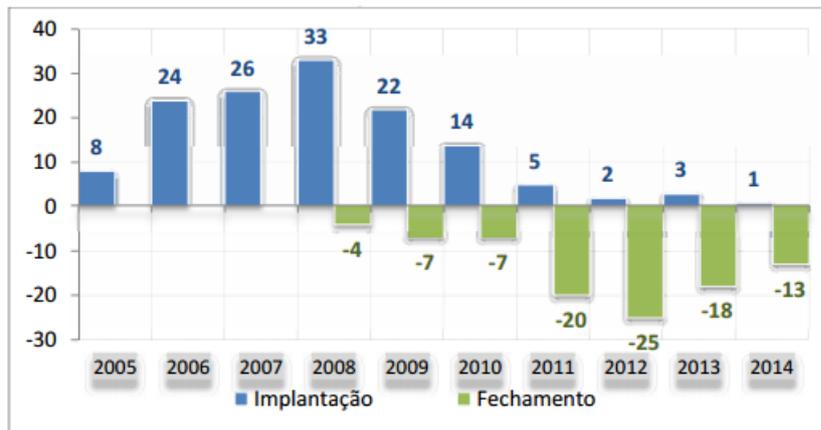
Além dessas novas leis contribuiu para a retomada do crescimento da produção de etanol o aumento do preço do barril de petróleo, que saiu de U\$ 17,8, em 1999, para U\$ 62,8, em 2006 (BACCARIN *et al.*, 2009). Outro fator preponderante foi a introdução dos carros *flex* no Brasil a partir de 2003. Diferente dos carros *flex* nos EUA, que podem utilizar uma mistura de no máximo 85% de etanol, no Brasil, pode-se usar qualquer proporção de etanol. Já em 2004 as vendas de carros *flex* no Brasil foram de 22% do total de veículos licenciados, a partir de 2005 esse valor ultrapassou a casa dos 80% e assim manteve-se até 2015, quando atingiu 88% do total das vendas (ANFAVEA, 2016).

Esse conjunto de fatores estimulou o investimento na indústria e entre os anos de 2006 e 2010 foram investidos cerca de U\$ 33 bilhões no setor. No mesmo período 119 novas usinas entraram em operação (EPE, 2012; EPE, 2015). Essa nova fase de crescimento da indústria do etanol no Brasil também é marcada pela entrada de empresas com perfil muito diferente dos tradicionais usineiros. Petroleiras são um desses novos perfis que passaram a produzir etanol no Brasil. A Shell, por exemplo, é um dos mais importantes agentes dentro da indústria brasileira de etanol. O início de sua atuação na produção aconteceu em 2011 quando criou a Raízen, *joint venture* com a Cosan, empresa tradicional do ramo de açúcar e etanol (BOMTEMPO, 2013).

Cargill, LDC e Bunge são gigantes do agronegócio que também estão produzindo etanol no Brasil. Essas empresas possuem acesso a mercados em todo o mundo, o que facilita muito a comercialização do açúcar, assim como são grandes produtoras de insumos agrícolas. Hoje a LDC, por meio da Biosev, é a segunda maior empresa processadora de cana no Brasil.

O gráfico 4 revela que 2008 foi o ápice de inaugurações de novas usinas, mas também foi a data em que se deu início a uma nova fase de dificuldades para a indústria de etanol com o número de novas usinas caindo e o número de usinas fechando subindo.

Gráfico 4- Entrada/fechamentos de usinas no Brasil



Fonte: EPE (2015)

Entre os principais motivos para essa reviravolta tem-se a crise internacional de 2009 que elevou muito os custos financeiros das empresas, que no momento encontravam-se muito endividadas em decorrência do período anterior de grandes investimentos, o que dificultou ainda mais o acesso a novo créditos (MILANEZ *et al.*, 2012).

Outro motivo foi a perda de competitividade do etanol frente à gasolina. Fruto da queda da produtividade da cana em decorrência de grandes secas, entre os anos de 2008 e 2012, e o avanço da mecanização da lavoura de cana, principalmente a partir de 2007 com a celebração do Protocolo Agroambiental, entre o Estado de São Paulo, maior produtor de cana do Brasil, e as usinas paulistas. O acordo visava estimular a mecanização a fim de reduzir as queimadas, processo necessária na colheita manual. Em 2007, na região centro-sul do Brasil, 42% da colheita de cana era mecanizada, já em 2012, esse valor subiu para 85% (NYKO *et al.*, 2014).

A mecanização da colheita de cana é um procedimento relativamente novo no Brasil, ou seja, a colheita mecanizada ainda está em processo de aprendizado, tanto dos fabricantes de maquinários quanto dos operadores destes. Com o passar do tempo a tendência é que a colheita mecanizada recupere as perdas iniciais de produtividade que causou e inclusive proporcione maior competitividade a produção da cana (BNDES, 2014).

Se por um lado o preço do etanol estava crescendo com os aumentos de custo por outro o preço da gasolina mantinha-se baixo, sendo controlado pelo governo brasileiro com o objetivo de controlar a inflação. A primeira medida de controle foi zerar a CIDE em 2012. Vale lembrar que ela incidia diferenciadamente entre o etanol e a gasolina. Segundo, apesar de os preços dos combustíveis não serem mais regulados no Brasil, o

Governo, por meio da Petrobras, que praticamente detém o monopólio do refino brasileiro, mantinha o preço da gasolina no Brasil abaixo dos preços internacionais (OLIVEIRA e ALMEIDA, 2014).

A crise pela qual passa a indústria do etanol brasileira ainda não acabou, estando muitas empresas em recuperação judicial. Mas algumas melhorias já podem ser observadas como a volta da CIDE em 2015 e do aumento substancial no preço da gasolina. Como as usinas de etanol no Brasil também geram bioeletricidade, através da queima do bagaço de cana, e vendem o excesso dela para a rede, os elevados preços da eletricidade registrados a partir de 2012 (acima de R\$ 800 megawatt/hora) viraram importante fonte de receitas.

2.2 CARACTERÍSTICAS DA ATUAL INDÚSTRIA DO ETANOL

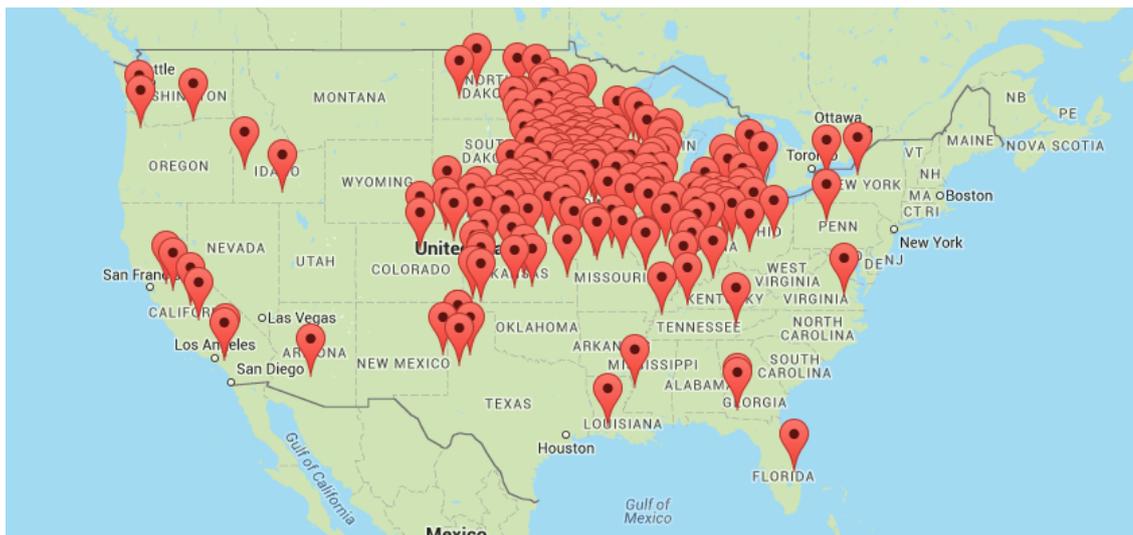
Tanto nos EUA quanto no Brasil as suas respectivas indústrias de etanol apresentam muitas semelhanças, principalmente no que tange aos aspectos regulatórios e estruturais. Porém, por utilizarem diferentes tipos de matérias-primas, algumas importantes diferenças podem ser constatadas.

As principais características analisadas serão aquelas relativas às matérias-primas (tipo, produção, logística e produtividade), tecnologias (processos, insumos, produtividade e subprodutos), empresas (usinas e perfil), mercados (produção, consumo, exportação e importação) e barreiras à entrada.

2.2.1 EUA

Pelos dados da Renewable Fuels Association (RFA) (2016), os EUA possuem 210 usinas de E1G, das quais 98% utilizam o milho como matéria-prima. A tecnologia predominante é a rota biológica de sacarificação seguida de fermentação, a qual pode ser feita seguindo dois diferentes procedimentos, o seco (grande maioria das usinas) e o úmido (DOE, 2010). A localização das usinas pode ser observada na figura 1.

Figura 1-localização das usinas de etanol nos EUA



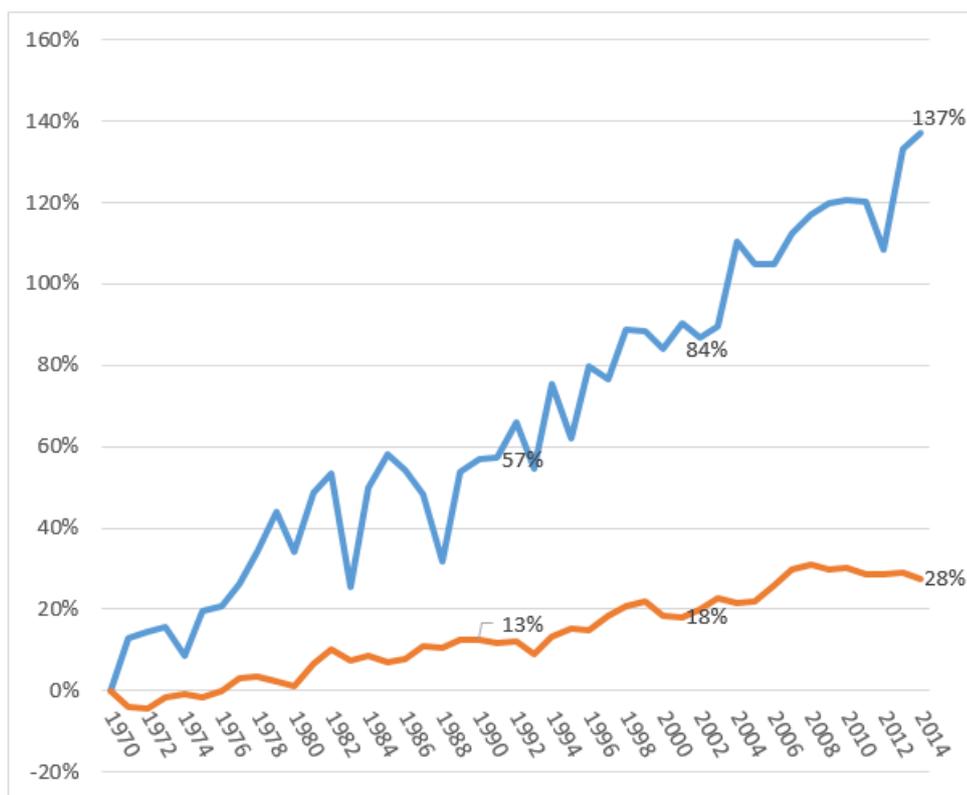
Fonte: RFA (2016)

Os EUA são há bastante tempo o maior produtor mundial de milho e na safra de 2014/2015 ¹² produziu 361 milhões de toneladas, 35% da produção mundial. Desse total 36% foram destinados à produção de E1G (USDA, 2016). A maior parte desta produção concentra-se no chamado Cinturão do Milho, na região Centro-Oeste, não obstante, a maior parte das usinas de E1G dos EUA se localizarem nessa região. A área planta de milho nos EUA é de 36 milhões de hectares (USDA, 2016).

O milho é uma cultura milenar e cultivada em quase todos os países do globo. Por ser uma das culturas mais produzidas no mundo, o milho atrai a atenção das principais empresas de biotecnologia que investem pesado no desenvolvimento de novas variedades e tecnologias para o plantio do milho (NYKO *et al.*, 2014). O Gráfico 5 compara o avanço na produtividade do milho e da cana. Nele percebe-se que os ganhos do milho são muito superiores ao da cana, pois diferente do milho, praticamente só Brasil e Índia produzem a cana em larga escala.

¹² Safra do milho nos EUA inicia-se no mês de setembro e termina no mês de agosto.

Gráfico 5- Ganho de produtividade mundial histórica (base 1970, em %)



Fonte: FAOSTAT (2016)

A maneira como o milho é colhido e transportado às usinas de etanol vem sendo aprimorada desde a década de 70, encontrando-se atualmente bem desenvolvida. Em média chegam em uma usina de E1G de milho cerca de 618 mil toneladas de milho por ano para ser processado. Entretanto, vale destacar que o tamanho das usinas nos EUA é muito heterogêneo, por exemplo, a maior planta de E1G do país que pertence a ADM e foi construída em Cedar Rapids, Iowa, possui capacidade anual de 275 milhões de galões e utiliza anualmente 2,5 milhões de toneladas de milho. Esta unidade, que utiliza a via seca, foi anexada a uma antiga unidade da empresa que produz o E1G pela via úmida. Em conjunto, as duas unidades produzem anualmente 400 milhões de galões e utilizam aproximadamente 7 milhões de toneladas de milho (ETHANOLPRODUCER, 2008). Por outro lado, a planta da Abengoa, localizada em Portales, Novo México, tem capacidade anual de processamento de 260 mil toneladas de milho (ABENGOA, 2016).

No caso da produção do E1G à base de milho, o custo de matéria-prima é responsável por 85% do custo de produção (CHOVAU *et al.*, 2013). Ainda o acesso à matéria-prima, no caso da produção do E1G de milho é a principal barreira à entrada na indústria, pois a usina precisa ser construída perto das fontes de matérias-primas para que os custos de transportes não elevem mais ainda o custo final do E1G. Por isso, a entrada

de novas empresas através da construção de novas unidades requer, ou maior destinação de milho já produzido para a nova usina, ou a expansão da lavoura de milho. Já foi visto anteriormente que o maior consumo de milho para a produção de etanol enfrenta diversos questionamentos e, nos EUA, a terra é muito valorizada, o que eleva a necessidade de capital inicial caso queira se expandir a lavoura.

Já as tecnologias de produção do E1G de milho são muito simples, sendo utilizadas para a produção do etanol veicular desde o início do século passado. No processo úmido o milho, ao chegar à usina, é macerado e em seguida sofre alguns outros processos físicos e químicos para a separação de diversos componentes do milho, como proteínas, amido e óleo de milho. O amido então é separado e segue para um tanque onde irá ser exposto à ação de enzimas para que ele seja quebrado em moléculas fermentáveis de açúcares, processo chamado de sacarificação (NOGUEIRA *et al.*, 2008). As enzimas utilizadas na produção do E1G do milho, as amilases, possuem um grande mercado pois também são utilizadas em outras indústrias como a alimentícia e têxtil. A indústria responsável por produzir essas enzimas é madura, isto é, há uma tecnologia dominante, e é concentrada. Em 2013, três empresas, Novozymes, Dupont e DSM, foram responsáveis por 74% da produção de todas as enzimas vendidas para diversas indústrias, inclusive para a do etanol (NOVOZYMES, 2014).

Em seguida, os açúcares liberados, que possuem 6 carbonos (C6), são fermentados por leveduras. Esse processo também é conhecido há milhares de anos, principalmente para a produção de bebidas, e a principal levedura utilizada é a *saccharomyces cerevisiae*. O mercado de leveduras é um mercado competitivo, inclusive empresas de E1G produzem a própria levedura sendo que grande parte das leveduras utilizadas são recicladas e utilizadas novamente. Atualmente os rendimentos da fermentação de açúcares C6 são elevados e acima de 90% (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

O processo seco de produção do E1G é mais simples, porém, com menos subprodutos. Na via seca o milho é moído e, em seguida, exposto às enzimas, para a realização da sacarificação. Depois de liberados os açúcares são fermentados dando origem assim ao E1G. O principal subproduto é o *distillers dried grains* (DGS), um complexo proteico utilizado como ração animal (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Quase 40% da produção do etanol é realizada por fazendeiros, plantadores de milho, que em determinado momento, principalmente a partir de 2005, decidiram investir em plantas de etanol (DOE, 2010). Os outros 60% englobam principalmente grandes empresas processadoras de alimentos, como a ADM, Cargill e Louis Dreyfus (LDC). Há

também empresas petroquímicas, como a Valero e a Murphy Oil (RFA, 2016). Outras empresas de destaque são a Poet e Green Plains, que são empresas grandes com foco na produção do etanol mas que também são produtores de milho.

A produção de etanol nos EUA, no ano de 2015, foi de 14 bilhões de galões (54,7 bilhões de litros) (RFA, 2016). O país ainda importou 10,6 milhões de galões (0,03 bilhões de litro) de etanol do Brasil pois precisava bater a meta estipulada pelo RFS para combustível avançado (FCT, 2015). Vale destacar que desde 2008 a EPA considera o etanol brasileiro proveniente da cana um combustível avançado.

As exportações de etanol convencional (E1G) nos EUA cresceram entre o período julho de 2014 e junho de 2015, passando de 762 milhões de galões para 865 milhões de galões (FCT, 2015). Esse aumento deve-se a dificuldade que o mercado norte americano tem de superar a “barreira dos 10%” de mistura de etanol. Como quase todo veículo leve nos EUA já utiliza o E10 para o cumprimento da meta estipulada pelo RFS é necessário aumento do consumo de etanol através da utilização de maiores porcentagens de mistura, tais como o E15 e o E20 (respectivamente gasolina com 15% e 20% de etanol misturado). A EPA já autorizou a utilização do E15 para veículos fabricados a partir de 2000, entretanto o seu consumo ainda não é largamente utilizado devido a necessidades de mudança na infraestrutura.

Estimular o uso de veículos *flex*, que nos EUA são veículos capazes de utilizar etanol até a proporção máxima de 85% (E85), é outra solução. Contudo há muita dificuldade para a disseminação desse tipo de veículo, principalmente pela falta de infraestrutura para o seu abastecimento. Em 2014, apesar de incentivos como *grants* e créditos especiais para implementação de estrutura de abastecimento de E85, apenas 2,2% dos postos de combustíveis eram capazes de comercializar o E85 (EPA, 2013; FUELSINSTITUTE, 2014).

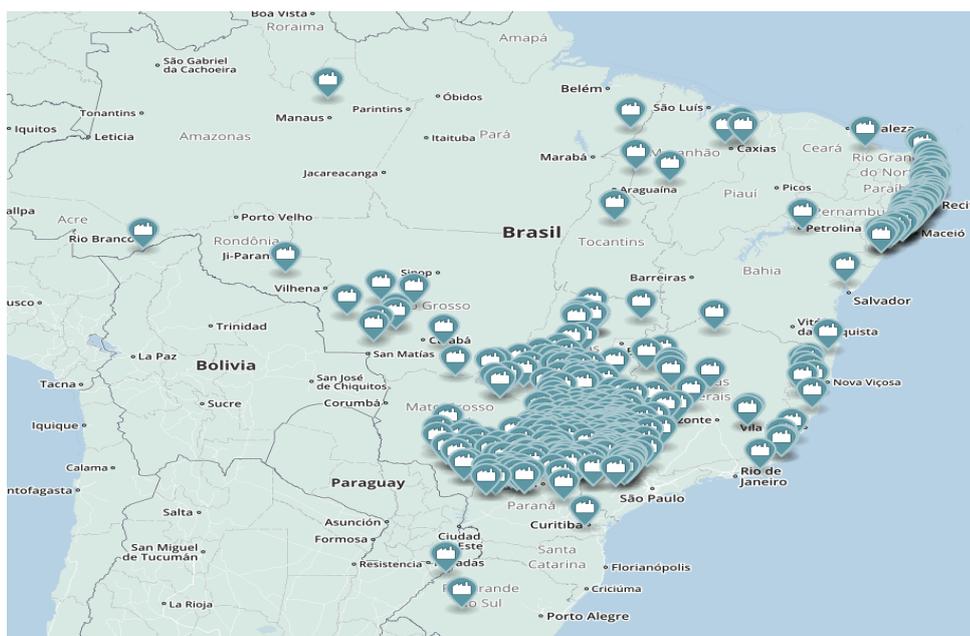
2.2.2 Brasil

No Brasil a indústria do etanol está inserida no chamado setor sucroenergético dado suas profundas relações com a produção de açúcar. Como foi visto, o início da indústria de etanol com o Proálcool se deu com a anexação de destilarias nas usinas de açúcar. Esse fato também confere o caráter desconcentrado dessa indústria desde a década de 70, diferente do que aconteceu nos EUA.

Atualmente existem 390 usinas autorizadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) a produzir etanol. Pela figura 2 percebe-se que a maioria delas se concentra principalmente no sudeste do Brasil, que possui 212 usinas. O maior estado produtor é

São Paulo, responsável por quase 50% dos 29 bilhões de litros produzidos em 2015 (NOVACANA, 2015).

Figura 2- Localização das usinas de etanol no Brasil



Fonte: NOVACANA (2016)

A principal matéria-prima utilizada é a cana-de-açúcar. O Brasil é o maior produtor mundial de cana, responsável por cerca de 40% da produção mundial, na safra de 2014/2015¹³ produziu 632 milhões de toneladas que após processados geraram 86 milhões de toneladas de ATR¹⁴ (NOVACANA, 2016). Deste total de ATR 56 % foram destinados à produção de etanol e o restante à produção de açúcar (NOVACANA, 2016). A lavoura de cana ocupou, em 2015, no Brasil, 10, 8 milhões de hectares (UNICA, 2016).

Como se observa no gráfico 5, a produtividade da cana, entre 1970 e 2014, cresceu muito abaixo da produtividade do milho. Isso se deve em parte à falta de interesse das grandes empresas de biotecnologia no desenvolvimento de tecnologias para cana, uma vez que em relação ao milho, a produção de cana representa um mercado diminuto. Outro fator que contribui para a baixa taxa de crescimento é o esgotamento de ganhos das tradicionais rotas de melhoramento aplicados à cana (NYKO *et al.*, 2014). Entretanto, apesar dos baixos ganhos de produtividade, a produção de cana gera muito mais toneladas

¹³ No centro-sul do Brasil a safra da cana compreende os meses de abril até março (NOVACANA, 2016)

¹⁴ ATR é a abreviação de açúcares totais recuperáveis que são os açúcares extraídos após a moagem da cana, predominantemente a sacarose, um açúcar de 6 carbonos.

por hectares do que a produção de milho. Enquanto cana gera em média 70 toneladas por hectare o milho gera 10 toneladas (NOVACANA, 2016; USDA, 2016).

Apesar da mudança da colheita manual para a colheita mecanizada ser recente, as usinas de E1G no Brasil continuam recebendo vultuosas quantidades de matérias-primas. A média, por usina, é de 1,6 milhões de toneladas ano, contudo, assim como nos EUA, os tamanhos das usinas são heterogêneos. No Brasil a maior usina tem capacidade de moagem de 10,5 milhões de toneladas ano. A usina pertence a São Martinho e localiza-se em Pradópolis, São Paulo (NOVACANA, 2016). Por outro lado, tem-se a Usina Lajedão, do grupo Unial, localizada em Lajedão, Bahia, que possui capacidade anual de processamento de 202 mil toneladas de cana (NOVACANA, 2016).

No Brasil, a expansão da lavoura de cana ainda encontra bastante espaço para crescimento, principalmente ocupando áreas subutilizadas da pecuária extensiva praticada no país. Segundo EMBRAPA (2015), no Brasil, a pecuária ocupa 180 milhões de hectares de terras das quais mais da metade encontra-se degradada. Em 2009 foi aprovada a Lei 6077/09 que determinou o zoneamento agroecológico da cana, isto é, foram mapeadas áreas nas quais a expansão da lavoura de cana pode ser realizada. Nesta lei foram excluídas áreas com mata virgem, áreas do bioma amazônico, do Pantanal e da Bacia do Alto Paraguai. Foram indicadas áreas degradadas de pastagens, com declividade inferior a 12%¹⁵ e que não necessitem de irrigação plena. Sendo assim, em 2009, estimou-se que há potencialmente 64 milhões de hectares disponíveis a expansão da lavoura de cana (MANZATTO, 2009). Atualmente, a área planta com a cana representa apenas 16% dessa área em potencial.

A tecnologia de produção do E1G é mais simples que a aplicada na produção de E1G do milho, uma vez que não necessita utilização de enzimas. Após a chegada à usina, a cana é moída para se extrair o caldo. Deste processo além do caldo da cana também é gerado o bagaço da cana, que geralmente é utilizado como fonte de geração de calor e energia através da sua queima. O caldo então é higienizado por meio de aquecimento e filtragem para que em seguida seja fermentado com a aplicação de leveduras (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Em média 60% de toda cana utilizada pelas usinas é provenientes das mesmas empresas das usinas. O restante é fornecido por terceiros, em geral pequenos proprietários (BACCARIN *et al.*, 2009). Há atuando na indústria diferentes perfis de empresas, como

¹⁵ Inclinação superior a 12% impossibilita o uso de maquinários para a colheita de cana

as petroleiras, do agronegócio e da química, vistas anteriormente. Entretanto a maioria das empresas caracteriza-se por serem pequenas e agrícolas, em média possuindo uma usina, e de gestão familiar. Entre as empresas há grande diversificação de produtividade. Na mesma indústria convivem empresas rentáveis e inovadoras e empresas estagnadas, obsoletas e endividadas (NOGUEIRA *et al.*,2008).

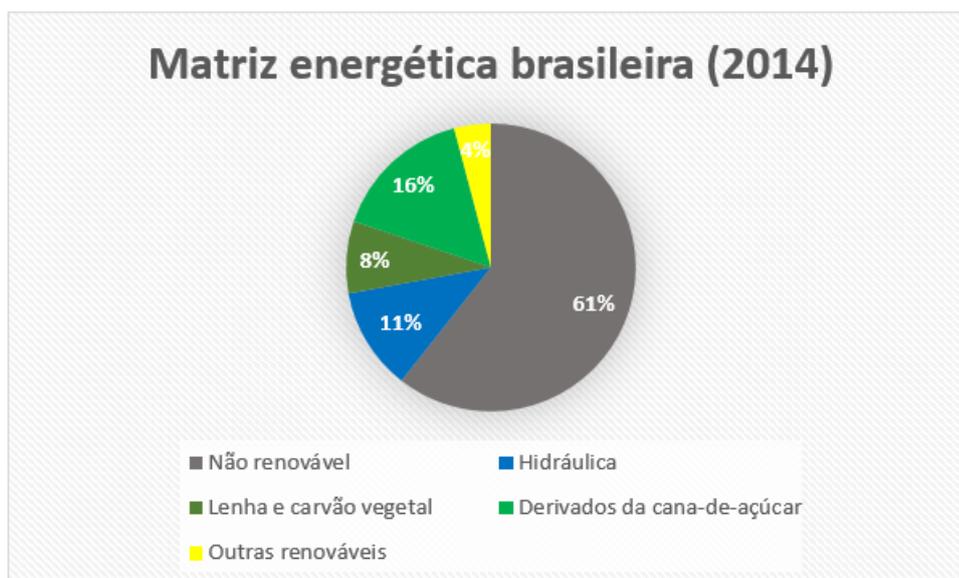
Em 2014 o etanol representou 38% do total de combustíveis utilizados pela frota de veículos leves no Brasil. Nos EUA, o etanol representou cerca de 10% (EPE, 2015). Esse elevado consumo de etanol deve-se à grande frota de carros *flex* que o país possui, 60%, e a elevada porcentagem de mistura obrigatória de etanol anidro, atualmente em 27% (EPE, 2015).

Em 2015 foram exportados 1,8 bilhões de litros, sendo os principais destinos os EUA e a Coreia do Sul. O Brasil importou 0,06 bilhões de litros (NOVACANA, 2015).

Em geral, além do açúcar e do etanol, as usinas também são capazes de gerar eletricidade com a queima do bagaço e palha da cana. Do total de energia elétrica gerada em 2014, o setor sucroenergético foi responsável por 32,3 TWh, sendo 19,1 TWh destinado ao mercado e 13,2 TWh destinado ao consumo próprio do setor (MME, 2015).

Como pode se observar no gráfico 6 o setor sucroenergético, com o etanol e a bioeletricidade, foi responsável por 16% da matriz energética brasileira em 2014, sendo ele um dos grandes diferenciais do Brasil para a manutenção de uma matriz energética renovável.

Gráfico 6



Fonte: MME (2015)

2.3 CONCLUSÕES

A tabela 3 resume e compara algumas características encontradas tanto na indústria do etanol nos EUA quanto no Brasil. Todavia também é importante comparar como se deu a evolução da indústria nesses dois países.

Nos dois países, a indústria se desenvolveu graças ao amplo apoio governamental com o fim de combater o problema da dependência energética. Contudo, no caso do Brasil, o apoio governamental foi mais direto, com controle de preços da gasolina, do etanol e do açúcar. Também foi mais amplo devido ao grande esforço em estimular a demanda de etanol com a introdução dos carros movidos 100% a etanol e com a aplicação de elevadas porcentagens de mistura de etanol anidro à gasolina. Nos EUA, o principal incentivo do governo se deu através de isenções fiscais e facilidade de financiamento. O estímulo à demanda por etanol só passou a ser mais forte após o ano de 2005, com as metas do RFS.

Tabela 3- Comparação entre a indústria do etanol nos EUA e no Brasil

Aspectos	Características	EUA	Brasil
Matérias-primas	Principal matéria-prima	Milho	Cana-de-açúcar
	Área plantada (2015)	36 milhões de hectares	10,8 milhões de hectares
	Estrutura de logística com matéria-prima	Bem estruturada e homogênea	Em adaptação
	Perspectiva de ganhos de produtividade na matéria-prima	Baixa	Alta
Tecnologias	Tecnologia	Sacarificação do amido seguida de fermentação	Moagem da cana seguida de fermentação
	Enzimas	Utiliza	Não utiliza
	Perspectivas de ganho de produtividade na fase industrial	Baixa	Baixa
	Principais subprodutos	DGS, óleo de milho, xarope de milho	Bagaço, vinhaça
Estrutura industrial	Perfil das usinas	Muito heterogêneo	Muito heterogêneo
	Perfil das empresas	Homogêneo	Heterogêneo
	Concentração industrial	Desconcentrada	Desconcentrada
	Principal barreira à entrada	Acesso à matéria-prima	Acesso à matéria-prima
	Integração vertical	Integrada	Integrada
	Mercados para o etanol	Principalmente interno	Principalmente interno

Fonte: elaboração própria

No que tange as características da indústria, é interessante notar que as principais diferenças entre os países são originárias do tipo de matéria-prima predominante utilizada na indústria. A principal diferença que merece ser destacada é que a produção do E1G no

Brasil, feita à base de cana-de-açúcar, é muito mais eficiente que a produção nos EUA, feita à base de milho, mesmo considerando que uma tonelada de milho produza muito mais litros de E1G do que uma tonelada de cana.

Essa maior eficiência deve-se a três fatores. Primeiro, a produção com o uso de cana é mais simples, uma vez que não requer a utilização de enzimas. Segundo, a cana gera muito mais toneladas por hectare. Terceiro, após a moagem da cana, há a geração do bagaço de cana, que, quando queimado, gera o calor e a energia elétrica necessários para a produção do E1G. No caso da energia elétrica, em geral, as usinas ainda comercializam o excedente para a rede.

Decorre também dessas vantagens a maior heterogeneidade do perfil de empresas presentes no Brasil. Pois, em anos recentes, grandes empresas, principalmente internacionais, têm entrado na indústria brasileira a fim de explorar as vantagens que a produção com base na cana-de-açúcar oferece.

Os aspectos estruturais nos dois países são bem semelhantes, fato que se deve muito à baixa complexidade das tecnologias de primeira geração e ao longo histórico de apoio governamental à indústria. Primeiro, a pouca complexidade tecnológica representa uma baixa barreira à entrada, o que permitiu que grandes números de empresas agrícolas diversificassem sua produção através da construção de usinas de E1G. Decorre daí a elevada integração vertical e a desconcentração da indústria. A integração vertical também é influenciada pela necessidade de garantia de abastecimento de matéria-prima para que as usinas se mantenham ativas.

Segundo, o apoio do governo, principalmente através a imposição de mandatos obrigatórios de etanol, cria um mercado garantido para o etanol, o que possibilita a coexistência na indústria de usinas bem heterogêneas em capacidade produtiva e conseqüentemente em produtividade, dados os ganhos de escala.

Essa heterogeneidade produtiva tende a se reduzir à medida que as questões ambientais tendem a se fortalecer e, assim, maiores ganhos de produtividade são exigidos. Uma forma de aumentar os ganhos de produtividade é a possibilidade do uso integral da biomassa vegetal, isto é, utilizar, além dos açúcares facilmente extraídos, o material lignocelulósico. Para tanto, o avanço das tecnologias de segunda geração é imprescindível para a concretização dessa possibilidade.

Entretanto, como se tentará mostrar no capítulo seguinte, uma vez que as tecnologias de segunda geração são mais complexas e utilizam uma base de matérias-

primas diferente, é esperado que o maior avanço dessas na indústria leve a mudanças significativas na forma como ela se estruturou.

CAPÍTULO 3- IMPACTOS DO USO DAS TECNOLOGIAS DE SEGUNDA GERAÇÃO NA INDÚSTRIA DO ETANOL

3.1 AVANÇO DAS TECNOLOGIAS DE SEGUNDA GERAÇÃO

A evolução descrita anteriormente foi feita com base principalmente com as tecnologias de primeira geração, de forma que na atualidade, a indústria de etanol é basicamente estruturada com tais tecnologias. Contudo não se deve desprezar a influência das políticas descritas anteriormente no desenvolvimento também da produção do E2G, tanto no Brasil quanto nos EUA.

As tecnologias de segunda geração apesar de serem conhecidas há décadas não foram alvo de grandes incentivos específicos nas fases iniciais da indústria de etanol uma vez que, por possuírem maior complexidade tecnológica e necessitarem do desenvolvimento de uma nova cadeia de produção e abastecimento de matérias-primas, eram mais custosas que as de primeira geração. Entretanto, essa situação tem mudado à medida que as questões climáticas ganham mais forças.

Na próxima seção serão discutidas as principais diferenças entre a produção do E1G e a do E2G, contudo é preciso adiantar aqui que, atualmente, há muitas maneiras de se produzir o E2G. As empresas que atuam em sua produção usam diferentes abordagens tecnológicas e usam diferentes matérias-primas. A Tabela A.2 do anexo apresenta uma lista das principais empresas e características das suas plantas pilotos e de demonstração.

As matérias-primas utilizadas na produção do E2G são aquelas ricas em material lignocelulósico, sendo assim é possível a utilização de diversos tipos de resíduos agrícolas, florestais e urbanos. Também têm sido desenvolvidas culturas de vegetais ricos em celulose para o abastecimento das plantas de E2G. No que tange as diferentes tecnologias de segunda geração, essas podem seguir as rotas bioquímicas, termoquímicas e híbridas. Algumas dessas tecnologias são seculares, contudo, o maior interesse por elas restringia-se a pesquisas em escala de laboratório e com sua aplicação industrial limitada a momentos de grandes dificuldades de abastecimento de petróleo e seus derivados.

Os primórdios das tecnologias da rota termoquímica datam de 1792 quando o engenheiro escocês, Willian Murdoch, desenvolveu técnicas de transformar carvão mineral em gás de carvão, em tal situação o gás era utilizado para iluminação residencial. A prática de transformar carvão em gás, apesar de altamente poluidora e não econômica, ganhou mais espaço e, ao final do século XIX, era muito utilizada para o aquecimento doméstico e iluminação das ruas em diversas cidades europeias (SPERLING, 1990). O

avanço da utilização de querosene, produto derivado do petróleo, e em seguida o gás natural e a eletricidade praticamente eliminaram a utilização do gás de carvão, à época chamado de “*town gas*” (SPERLING, 1990).

A gaseificação, tecnologia que atualmente é utilizada na produção de E2G, surgiu no final do século XIX com o fim de se produzir o *town gas*. A sua aplicação para a produção de combustíveis líquidos aconteceu após a Primeira Guerra Mundial na Alemanha. Esse país, que possuía abundantes jazidas de carvão e poucas de petróleo, investiu na gaseificação com o fim de se produzir gasolina e outros similares derivados do petróleo para evitar a dependência de petróleo. Destaque merece ser dado à contribuição dada por Franz Fischer e Hans Tropsch que aprimoraram o processo de gaseificação conseguindo alcançar maiores rendimentos de combustíveis a partir do carvão com a utilização de catalisadores. O processo, hoje conhecido como Fischer-Tropsch, foi largamente utilizado na Alemanha, principalmente durante a Segunda Guerra Mundial (SPERLING, 1990). Nesse período, a gaseificação ganhou mais força e cerca de 1,7 bilhões de litros de combustíveis derivado do carvão eram produzidos anualmente. É interessante destacar que no mesmo período a Alemanha também produzia cerca de 287 mil litros de E1G derivado principalmente da batata (SINGH, 2012). Diferente das tecnologias de primeira geração, a gaseificação requeria investimentos muito vultosos. Na Alemanha, os principais investimentos na área foram realizados por grandes empresas alemãs, como a Basf, Bayer, Hoechst e a Ruhrchemie (SPERLING, 1990).

Apesar de a principal matéria-prima ser o carvão, o processo de gaseificação permite também a utilização de biomassa. Contudo, apesar de esforços iniciais de se usar biomassa na Segunda Guerra Mundial, os principais avanços com o uso dessa tecnologia para a produção do E2G com a biomassa só se deram a partir dos anos 80 com o surgimento das primeiras plantas piloto modernas¹⁶ (SLOMOM *et al*, 2007).

As rotas bioquímicas também são antigas e seu surgimento data do século XIX. Em 1819, Henry Braconnot, químico francês descobriu que a aplicação de ácido sulfúrico a biomassas liberava a glicose (um C6), um açúcar fermentável, essa técnica é conhecida como hidrólise ácida. Já em 1838, outro químico francês, Anselme Payen, conseguiu isolar do material lignocelulósico a celulose (KOVARIK, 2013). Os alemães foram os primeiros a utilizarem a hidrólise ácida para a produção de etanol, em 1898, eles produziam o E2G com base na utilização de madeira (RAPIER, 2011).

¹⁶ Que utilizam a tecnologia de hidrólise enzimática.

Durante a Primeira Guerra Mundial, duas plantas de produção de E2G foram construídas nos EUA, uma no Estado da Carolina do Norte e outra em Louisiana. As duas unidades foram construídas pela Standard Alcohol e tinham capacidade de produção de 20.000 litros de etanol por dia através da utilização de serragem. Vale lembrar que em ambos os casos a produção do E2G era completamente ineficiente e só se justificava devido à restrição do uso de petróleo e milho (SCHIMITZ, 2011).

Após esses esforços iniciais os avanços das tecnologias de segunda geração, seguindo a rota bioquímica, restringiram-se ao meio acadêmico e em escala laboratorial. Os artigos do fim da primeira década e início dos anos 20 já defendiam o E2G como possível solução para a dependência energética do petróleo como mostra a passagem a seguir tirada do The Washington Post: “*One of the most important of recent discoveries . . . is that ethyl alcohol . . . is so remarkably cheap that it can be obtained from ordinary sawdust (and) seems destined to solve the problem of motor fuel . . . Wood, then, in place of petroleum, is to be for (auto drivers) the future source of supply.*” (SINGHT, pg. 17, 2012). Universidades, como a de Wisconsin, e institutos de pesquisa, como o Instituto Pasteur, produziam o E2G em seus laboratórios (KOVARIK, 2013).

No período da Grande Depressão e da Segunda Guerra Mundial, novamente estímulo foi dado para a produção do E2G. Na Alemanha, em 1930, um processo envolvendo ácidos menos concentrados foi desenvolvido por Heinrich Scholler. O processo Scholler foi aplicado na construção de três unidades de produção de E2G na Alemanha e uma na Suíça. Nos EUA, o processo foi modificado pelo Laboratório de Produtos Florestais de Wisconsin. Esse novo processo foi utilizado na construção de plantas de hidrólise ácida no Estado do Oregon, nos EUA, na Província de Heilongjiang, na China, e em diversas regiões da Rússia. Em todos casos o objetivo principal não era a fabricação do E2G como produto final, mas sim sua posterior utilização na fabricação de tecidos e borrachas sintéticas (KOVARIK, 2013; YINBO *et al.*, 2006). Entretanto esse processo foi rapidamente substituído com a introdução dos tecidos sintéticos feitos de *nylon* (CHANDLER, 1999).

Outro grande avanço no desenvolvimento da tecnologia de segunda geração veio ainda durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse período, nas batalhas nas selvas do Sudeste asiático, os militares perceberam que suas vestimentas, feitas com algodão, estavam se deteriorando muito rapidamente. Em questão de semanas as vestimentas eram transformadas em trapos. Cientistas enviados junto ao exército americano acusaram um

fungo como o causador da rápida deterioração das vestimentas de algodão (TOLAN, 2002).

Em laboratórios, Elwyn T. Reese, um químico do exército, descobriu que na verdade o que estava causando a rápida deterioração das vestimentas era uma enzima liberada pelo fungo que estava transformando a celulose em glicose (TOLAN, 2002). A partir desse evento dá-se início aos estudos da rota de conversão chamada de hidrólise enzimática, uma alternativa à hidrólise ácida (KOVARIK, 2013).

Apesar da importante descoberta durante os anos 50 e 60 pouco foi discutido sobre as tecnologias de segunda geração, principalmente devido aos baixos preços do petróleo. Essa situação só se alterou na década de 70, principalmente com as Crises do Petróleo e o desenvolvimento da biotecnologia. Nessa nova fase diversas empresas surgiram ou passaram a atuar na produção de enzimas e/ou leveduras. Importantes insumos necessários para a produção de E2G via hidrólise enzimática.

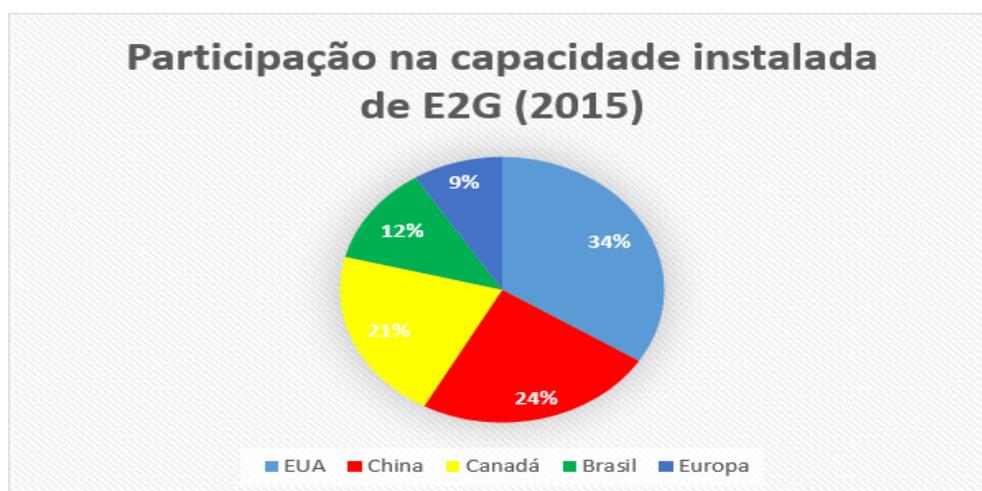
Empresas pequenas, com base em biotecnologia, começaram a surgir, principalmente na produção de enzimas. Importantes exemplos são a Iogen, empresa canadense fundada em 1974. Em 1982, a Iogen inaugurou a primeira planta piloto de E2G via hidrólise enzimática (KOVARIK, 2013 e IOGEN, 2016). Além da planta piloto da Iogen, diversas outras surgiram nos anos seguintes e em diversos países como revela a tabela A.2 do anexo. Grandes empresas também passaram a se interessar pela biotecnologia, e conseqüentemente, com a produção de insumos para a produção de E2G. São os casos da Genencor, Dupont e Dow (HAMILTON, 1985). Ainda, na década de 70, diversas universidades e centros de pesquisa também passaram a se interessar pelo E2G. Como é o caso da National Renewable Energy Laboratory (NREL), nos EUA, um dos centros mais importantes de pesquisa em biocombustíveis, que, trabalhado junto à indústria, busca o desenvolvimento comercial das novas tecnologias.

A partir deste ponto, o avanço das tecnologias de segunda geração só será descrito no caso dos EUA e do Brasil. Porém, diferente do que acontece no caso da produção de etanol como um todo, o que inclui a produção do E1G, outras regiões do planeta possuem atuação significativa no desenvolvimento das novas tecnologias, como são os casos da Europa, Canadá e China, inclusive, como pode se observar no gráfico 7. O Brasil encontra-se apenas na quarta posição em capacidade instalada de produção do E2G (UNCTAD, 2016).¹⁷

¹⁷ As estimativas de UNCTAD (2016) estão superestimadas, uma vez que incluem a capacidade produtiva de empresas que planejaram inaugurar suas plantas de E2G em 2016. Muitos desses projetos,

Devido à importância dessas outras regiões no desenvolvimento das tecnologias de segunda geração, os Box A.1, A.2 e A.3, presentes no anexo deste trabalho encontram-se contada uma breve história da produção do etanol, incluindo o avanço das tecnologias de segunda geração, nos casos na China, no Canadá e na Europa.

Gráfico 7



Fonte: UNCTAD (2016)

3.1.1 Avanço do E2G nos EUA

Diversas políticas de fomento das tecnologias de segunda geração têm sido adotadas no mundo, porém, os EUA surgem como o principal país a estimular a produção de E2G. Nesse país, diversos órgãos federais estão atuando no desenvolvimento das tecnologias de segunda geração, sendo o mais importante deles o DOE. Outros órgãos de destaque são o Departamento de Agricultura (USDA) e Departamento de Defesa (DoD).

Os maiores incentivos ao E2G começaram a partir do ano de 2000, quando o governo federal aprovou o Biomass R&D Act, uma lei cujo objetivo principal era viabilizar rapidamente novas tecnologias e processos necessários para a criação da disponibilidade de biomassa e produção biocombustíveis. A Lei ainda determinou que os esforços entre os diferentes órgãos governamentais sejam realizados de forma cooperativa de maneira a se evitar a redundância de esforços. Ainda, o documento aprovou um orçamento de U\$ 5 milhões em 2002 e de U\$14 milhões entre 2003 e 2007 para investimentos em novas tecnologias (NYKO *et al.*, 2010).

Em 2002, outra importante lei foi aprovada, a Farm Security and Rural Investment Act-Farm Bill. Essa lei é abrangente e visa fomentar a economia de base agrícola dos

como a planta comercial do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), estão atrasados e não devem ser inaugurados em 2016.

EUA. Entre seus capítulos há um dedicado ao fomento energético com base em produtos agrícolas. A lei amplia os apoios financeiros em P&D, em biorrefinarias¹⁸ e plantas de demonstração de E2G. A Lei também propôs financiamento para pequenos fazendeiros interessados em diversificar sua produção, incluindo a produção de E1G (USDA, 2002)

Entretanto, sem dúvida, a mais importante Lei de estímulo à produção de E2G foi a Energy Policy Act de 2005, já comentado anteriormente, que com o RFS buscou criar um mercado para o E2G através da imposição de mandatos obrigatórios e crescente de consumo de E2G, e outros combustíveis avançados.

O RFS foi atualizado em 2007, quando entrou em vigor a EISA, os novos valores estipulados dos mandatos constam na Tabela 1. Além do estímulo através da criação de mercados para os biocombustíveis, a EISA priorizou o desenvolvimento tecnológico e a comercialização das novas tecnologias. Diversos órgãos governamentais foram autorizados a aplicar recursos, principalmente na forma de *grants*, em diversos projetos de plantas pilotos e de demonstração. Estima-se que entre os anos de 2008 e 2014, apenas o Biomass Program, programa operacionalizado pelo DOE, investiu U\$ 3,3 bilhões (PEREIRA *et al.*, 2014). O Biomass Program é um projeto amplo, que se originou na década de 70, entretanto a partir da EISA passou a ter mais fôlego, e engloba além de investimentos em biocombustíveis, investimentos na produção de matérias-primas, de bioquímicos e na logística com matérias-primas.

A Environmental Entrepreneurs (E2) (2015) estimou que entre 2007 e 2014 foram investidos cerca U\$ 1,7 bilhões especificamente no desenvolvimento da produção de biocombustíveis avançados. Apenas três agências foram responsáveis por 87 % desses investimentos como mostra Tabela 4.

Tabela 4- Investimentos entre 2007 e 2014 por agência e tipo (em milhões de dólares)

Agência	Grants	Empréstimos	Total
DOE	\$ 541,7	\$ 133,9	\$ 675,6
USDA	\$ 25,6	\$ 573,5	\$ 599,1
DOD	\$ 225,3	\$ 0	\$ 225,3

Fonte: E2 (2015)

Em 2009, foi aprovada a American Recovery and Reinvestment Act (ARRA). A Lei visava amortizar os efeitos negativos causados pela Crise Mundial sobre a economia dos EUA. No que se refere aos biocombustíveis avançados a ARRA autorizou a utilização

¹⁸ Biorrefinarias são unidades industriais capazes de utilizar matéria-prima renovável, de maneira integral, para a produção de uma variedade de substâncias e energia. Elas podem utilizar diferentes rotas tecnológicas e devem produzir o mínimo possível de resíduos e emissões de gases de efeito estufa (Bastos, 2007).

de U\$ 786,5 milhões para serem investidos em P&D, incluindo fundos para implementação de novas biorrefinarias em escalas piloto e demonstração. Projetos em escala comercial também foram beneficiados. Para esses casos foram destinados U\$ 176,5 milhões (NYKO *et al.*, 2010).

Os avanços das plantas em escala piloto e demonstração revelaram que uma das grandes barreiras para o desenvolvimento do E2G é a necessidade da criação de uma eficiente cadeia de fornecimento de matérias-primas. A Farm Security and Rural Investment Act, de 2014, tinha entre seus objetivos fomentar essa cadeia autorizando investimentos governamentais para a produção e logística de matérias-primas. Através do Biomass Crop Assistance Program (BCAP) U\$ 25 milhões anuais, até 2018, serão destinados a tal fim (UNCTAD, 2016).

Em 2010, com o objetivo de tornar comercialmente viáveis as tecnologias desenvolvidas, o DOE passou a emitir anualmente o Multi-year Progran Plan (MYPP). O documento, formulado pelo Bioenergy Technologies Office (BETO), agência do DOE, identifica áreas com maior possibilidade de comercialização e indica onde os investimentos públicos devem ser aplicados (NYKO *et al.* 2014). O BETO conta com o apoio do NREL e de outros laboratórios ligados ao DOE que constrói *desing cases* para identificar os desafios tecnológicos que devem ser superados para a comercialização das novas tecnologias. Após essa etapa, o BETO elabora diversas oportunidades de financiamento que são oferecidas mediante editais (NYKO *et al.*, 2014).

Como resultado dessas políticas, atualmente os EUA são o principal país a investir em E2G. Eles possuíam uma capacidade produtiva estimada de 1,37 bilhões de litros de E2G, em 2015, o que representa, como revela o gráfico 7, 34 % da capacidade produtiva mundial instalada em 2015 (UNCTAD, 2016).

3.1.2 Avanço do E2G no Brasil

No Brasil, um dos primeiros esforços de produção do E2G surgiu no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), importante centro de pesquisa privado cujos principais acionistas são empresas do setor sucroenergético brasileiro. Ele foi fundado em 1969 com o objetivo principal de desenvolver melhorias na produção de cana-de-açúcar. Em 1990 a empresa iniciou pesquisas com gaseificação da biomassa. Em 2006, o CTC mudou o foco e passou a investir mais na tecnologia de hidrólise enzimática. Hoje, em parceria com a Novozymes, fornecedora de enzimas, e a Andritz, fornecedora de equipamentos, a empresa possui uma planta piloto de E2G que utiliza resíduos da cana (CTC, 2016).

Antes do CTC, a Dedini, empresa de engenharia e bens de capital, especializada em equipamentos para atender o setor sucroenergético brasileiro, inaugurou uma planta piloto de produção de E2G via hidrólise ácida. Atualmente a empresa, assim como o setor em geral, está passando por grandes dificuldades financeiras. A planta está desativada pelo menos desde 2010 (NYKO *et al.*, 2010).

Instituições federais começaram a ter um papel mais ativo no incentivo ao E2G a partir de 2006 com a criação do Plano Nacional de Agroenergia (PNA) pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O PNA objetivava organizar e desenvolver propostas de inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia (MAPA, 2006). Deve-se ao PNA a criação da EMBRAPA agroenergia, um dos principais laboratórios de P&D governamentais sobre o tema no país.

Outro passo importante foi dado com o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e inovação (PACTI) realizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). O plano possuía um programa específico para biocombustíveis, que priorizava o desenvolvimento de processos de hidrólise enzimática. O PACTI previa a construção do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE). Para tal finalidade, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), agência vinculada ao MCT, destinou R\$ 69 milhões (NYKO *et al.*, 2010). Hoje o CTBE, além de possuir uma planta piloto de E2G, inaugurada em 2010, atua no desenvolvimento de novas variedades de cana e desenvolvimento do plantio (CTBE, 2016). A Finep também investiu R\$10 milhões, em 2008, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para projetos de produção de enzimas e sua utilização na hidrólise enzimática (NYKO *et al.*, 2010).

A Petrobras, grande produtora de E1G, desde 2004 trabalha em seu Centro de Pesquisa (Cenpes) no desenvolvimento da hidrólise enzimática. A sua planta piloto foi inaugurada em 2007 e utilizava o bagaço de cana como insumo. Em 2012 a Petrobras recebeu, na categoria inovação, o Prêmio Brasil Ambiental por abastecer 40 minivans com o E2G durante a Rio + 20 (NOVACANA, 2015).

Em 2011 a Petrobras investiu R\$ 11 milhões na empresa norte americana Blue Sugars (antes chamada de KL Energy). O investimento visava a adaptação da planta piloto da empresa para operar com o bagaço de cana. Em 2012 a Blue Sugar licenciou a sua tecnologia para a Petrobras, que no mesmo ano anunciou a construção de uma planta comercial de E2G de capacidade produtiva de 40 milhões de litros por ano (BIOFUELSDIGEST, 2014). Entretanto a Blue Sugar faliu em 2013 e a Petrobras retirou

seus investimentos na empresa. Atualmente a Petrobras atravessa grandes dificuldades financeiras em decorrência das políticas de controle de inflação, comentadas anteriormente, dos prejuízos em sua produção de E1G, que nunca deram lucros à empresa¹⁹, avanço da investigação da Polícia Federal, que expôs um complexo esquema de corrupção dentro da empresa causando a desvalorização das ações da empresa, e queda do preço do petróleo.

Em comparação com os EUA, no Brasil, a coordenação entre os diferentes agentes envolvidos com E2G era muito fraca e, no caso brasileiro, a iniciativa privada era pouco participativa. Essa situação começou a se reverter quando, em 2011, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social do Brasil (BNDES) e a Finep lançaram o Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica e Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS).

A elaboração do PAISS surgiu em um contexto onde diversas outras regiões do mundo, como Canadá, EUA e Europa, já haviam dado importantes passos em direção à comercialização do E2G. Considerando as possíveis oportunidades que o setor sucroenergético tem a oferecer, o PAISS foi lançado abordando três linhas principais: o E2G oriundo de biomassa de cana-de-açúcar; novos produtos de cana-de-açúcar; gaseificação de biomassa, também com foco em cana (NYKO *et al.*, 2013).

O PAISS foi exitoso em atrair a iniciativa privada e ao fim de seu processo de seleção de plano de negócios, referentes ao E2G, 16 foram aprovados²⁰. Originalmente o PAISS contava com recursos na ordem de R\$1 bilhão para financiar os projetos através de *grants* e empréstimos, porém, devido ao elevado número de projetos esse valor teve que ser atualizado para R\$ 3,3 bilhões (NYKO *et al.*, 2013).

Dentre os principais projetos financiados pelo PAISS destacam-se o do CTC, que recebeu do programa R\$350 milhões para a construção de sua planta de produção comercial, que está sendo construída em anexo a uma unidade produtora de E1G. A Raízen, maior produtora de E1G do Brasil, a Abengoa e a Odebrecht também receberam financiamento do programa. A unidade da Raízen de produção de E2G também foi construída em anexo a uma unidade de E1G e foi inaugurada em 2015. A Abengoa, que já inaugurou uma unidade comercial de E2G nos EUA, e a Odebrecht estão com seus projetos parados.

¹⁹ Desde 2009 a Petrobras Biocombustíveis acumulou R\$2,1 bilhões em prejuízos.

²⁰ Nenhum projeto de gaseificação foi aprovado.

Um dos casos mais interessantes é o da GranBio que recebeu do PAISS R\$ 280 milhões em financiamento. Depois, o BNDES optou por virar um dos acionistas, e ao total, aplicou cerca de R\$ 600 milhões na empresa, possuindo cerca de 15% de suas ações. A Granbio é uma *start-up* brasileira, que construiu sua unidade de produção de E2G independente.

Apesar dos excelentes resultados obtidos com o PAISS percebe-se que problemas relacionados à fase agrícola da produção do E2G são um dos gargalos que precisam ser superados para que a produção do produto em larga escala seja alcançada. Deve-se a esses problemas o lançamento, em 2014, do PAISS 2, ou PAISS agrícola. O programa, que segue o mesmo padrão do primeiro, foi dividido em cinco linhas temáticas passíveis de financiamento, são elas: desenvolvimento de novas variedades de cana (com foco na transgenia), sistemas integrados de manejo e planejamento de produção, novas técnicas de propagação de mudas, máquinas e equipamentos e adaptação de sistemas industriais a outras culturas.

Ao todo 29 empresas foram selecionadas pelo programa e o orçamento total liberado foi de R\$ 1,9 bilhões, valor 30% superior ao orçamento original (BNDES, 2016). A Raízen e a Odebretch receberam financiamento para o desenvolvimento de novas formas de plantio envolvendo mudas pré-brotadas. Atualmente, a produção de cana-de-açúcar requer que, para um hectare, sejam destinadas 16 toneladas de cana, na forma de toletes, para o plantio que gera em média 70 toneladas de cana-de-açúcar²¹. O plantio com mudas pré-brotadas pode elevar a competitividade da cana em 40% uma vez que desfaz a necessidade do uso de toletes (NOVACANA, 2016).

O PAISS e o PAISS 2 surtiram efeito e fizeram o Brasil alcançar a quarta posição dentre os maiores países com capacidade produtiva instalada de E2G, como revela o gráfico 7. Em 2015 o valor era de 177 milhões de litros por ano.

3.2 NOVAS MATÉRIAS-PRIMAS E TECNOLOGIAS E SEUS IMPACTOS NA INDÚSTRIA DO ETANOL

Apesar de serem conhecidas desde antes da década de 70 as tecnologias de segunda geração, para a produção de etanol, durante muito tempo tiveram seu desenvolvimento realizado à margem do crescimento da indústria do etanol, restrita a universidades,

²¹ 16 toneladas é o valor médio utilizado no plantio mecanizado capaz de gerar em média 80 toneladas por hectare em um ano e 400 toneladas ao fim de um ciclo de 5 anos. A média com plantio manual cai para 12 toneladas (Milanez *et al.*, 2013)

laboratórios e momentos de muita dificuldade no abastecimento de petróleo e seus derivados.

A maior introdução das tecnologias na indústria aconteceu a partir dos anos 80 com o surgimento das primeiras plantas piloto e aumento das questões relacionadas ao meio-ambiente. Contudo as novas tecnologias conferem características bem diferentes à indústria do etanol. O objetivo dessa seção é identificar algumas dessas mudanças causadas pelas tecnologias de segunda geração e o uso de novas matérias-primas e comparar com as características estruturadas com base nas tecnologias de primeira geração descritas no capítulo anterior.

3.2.1 Novas matérias-primas

O E2G recebe esse nome por utilizar para sua produção o material lignocelulósico presente na biomassa. Em tese, qualquer biomassa vegetal é passível de ser utilizado para produção do E2G, mas para que ela cumpra as funções de sustentabilidade, ambiental e social, elas devem preencher alguns critérios além dos baixos custos, como não competir com alimentos, possuir balanço energético positivo²², disponibilidade, estocagem e aproveitamento integral.

Dados esses critérios, o amplo leque de possibilidades de matérias-primas para a produção de E2G se reduz sendo que as mais utilizadas, são a palha do milho, palha do trigo, palha e bagaço de cana, resíduos sólidos urbanos e algumas *energy crops*. Cada uma delas se diferencia quanto à sua composição, variando as quantidades de celulose, hemicelulose e lignina. A tabela 5 mostra as diferentes composições dos diferentes materiais.

²² A matéria-prima precisa gerar mais unidades de energia renovável do que consome de energia fóssil para ter um balanço energético positivo.

Tabela 5- Estimativa da média da composição lignocelulósico das matérias-primas (em %)

Tipo	Matéria-prima	Material lignocelulósico		
		Celulose	Hemicelulose	Lignina
Florestal	Pinho	44	25	26
	Carvalho	40	20	25
Florestal de rotação curta	Álamo	46	26	23
	Eucalipto	43	23	25
Resíduos florestais	Casca	24	25	50
	Serragem	47	21	25
Herbáceos	<i>Switchgrass</i>	37	31	23
	<i>Mischantus</i>	45	24	21
	<i>Arundo Donax</i>	33	27	18
	Cana energia	43	27	26
Alimentícios	Sorgo sacarino	39	24	9
	Cana-de-açúcar	31	12	8
	Milho	40	30	12
Resíduos agrícolas	Palhas	37	27	17
	Bagaçó	39	31	18
Resíduos urbano	Lixo Urbano	14	2	16

Fonte: adaptação de EC (2015), MILANEZ *et al.* (2015)

As *energy crops* em suas duas formas, que podem ser herbáceas ou florestais, são culturas ricas em celulose e, em geral, não são utilizadas como alimento. Elas também podem ser plantadas em áreas agrícolas marginais (pouco férteis). Por essas características as *energy crops* são culturas propícias para a produção de bioenergia (o que inclui o E2G) e são menos controversas quanto a discussão sobre os impactos nos preços dos alimentos (MELÉNDEZ *et al.*, 2012).

Contudo as *energy crops* herbáceas não são culturas cultivadas de forma generalizada e, diferente dos resíduos agrícolas, que são subprodutos deixados nos campos após a colheita do produto primário, requerem custos elevados para a sua produção e relativo comprometimento de longo prazo do produtor. Outro problema é que não há muitos outros usos para as *energy crops* herbáceas que não a geração de bioenergia, logo não existe grandes mercados para elas. Por isso a produção das *energy crops* precisa do desenvolvimento de contratos entre os produtores e consumidores (SCHENPF, 2010).

Atualmente há muitas empresas dedicadas à produção das *energy crops* e desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas a ganhos de produtividade. Um bom exemplo é a Ceres, empresa de biotecnologia agrícola, que atua no desenvolvimento de novas variedades das *energy crops*.

No Brasil a Ceres atua vendendo sementes de sorgo sacarino e dando suporte na plantação e colheita do mesmo. O sorgo sacarino é considerado um produto “*drop-in*” na indústria do etanol pois pode ser colhido e processado utilizando os mesmos equipamentos utilizados na produção do E1G. Devido ao seu rápido crescimento ele é plantado na entressafra da cana. Apesar de estar abastecendo a produção de E1G, o sorgo sacarino é utilizado por algumas plantas de produção de E2G sendo que a Ceres desenvolve variedades com maior teor de biomassa, “sorgo biomassa”, assim como o *switchgrass* e o *mischantus* (CERES, 2016).

A empresa possui diversas parcerias com centros de pesquisa e universidades que a ajudam a desenvolver variedades mais produtivas e maneiras mais eficientes de plantar e colher. Alguns parceiros são o Noble Foundation, Monsanto e a The Texas A&M University (CERES, 2016). A Ceres ainda recebeu financiamento do PAISS para que desenvolvesse novas variedades de cana, inclusive com a utilização de transgenia.

A Genera Energy é uma empresa americana dedicada a venda de serviços para a cadeia de fornecimento de biomassa para biorrefinarias. Ela possui parcerias com empresas e universidades especializadas no desenvolvimento de matéria-prima. Uma dessas parcerias, com Center of Renewable Carbon Program na University of Tennessee Institute of Agriculture, que conta com financiamento do DOE, tem como o objetivo desenvolver a produção de *switchgrass*, além de criar uma cadeia de logística para o produto (BIOFUELSDIGEST, 2016).

No Brasil a Granbio produz um tipo de cana energia, uma nova variedade de cana com maior teor de biomassa. O desenvolvimento dela contou com apoio do Instituto Agrônomo de Campinas e financiamento do BNDES (GRANBIO, 2016). Canergy é outra empresa produtora de E2G que utiliza cana energia. Ela, em parceria com a empresa Kleentek, que desenvolve sementes de cana energia, irão contratar fazendeiros locais para a produção da cana energia (BIOFUELSDIGEST, 2015).

Segundo as empresas dedicadas ao desenvolvimento das *energy crops* herbáceas, os ganhos de produtividade, principalmente em tonelada de biomassa por hectare, são bem superiores as tradicionais culturas utilizadas no E1G. No caso da cana energia da Granbio, por exemplo, além da superioridade relativa a menor necessidade de irrigação e fertilização, ela pode produzir até 200% a mais de biomassa que a tradicional cana-de-açúcar e, segundo a empresa, em 15 anos, ela conseguirá alcançar a marca de 300 toneladas de cana energia por hectare. A Vignis, outra empresa que está desenvolvendo

a cana energia, afirma que é possível a geração de 450% mais de bagaço de cana por hectare plantado com o uso da cana energia (GRANBIO, 2016; MARIANO, 2015).

Outra vantagem das *energy crops* é o rápido crescimento. Segundo a Nexsteppe, empresa norte americana dedicada ao desenvolvimento do sorgo sacarino como uma *energy crop*, sua versão de sorgo mais rica em biomassa, o Palo Alto Sorgo Biomassa, após plantado, pode ser colhido em 120 dias, gerando em média 30 toneladas de biomassa por hectare. Em comparação, a cana comum é colhida em 12 meses depois de plantada e o eucalipto em 5 anos (NEXSTEPPE, 2016).

As *energy crops* florestais, diferentes das herbáceas, já são largamente difundidas pelo mundo principalmente para o abastecimento da indústria de papel, construção civil e moveleira. Exemplos destas árvores utilizadas como *energy crops* são a acácia, o eucalipto, o pinus e o álamo, os dois primeiros são exemplos de angiosperma e os dois últimos exemplos de coníferas.

Países como os do Norte da Europa, China, Canadá, Brasil e EUA, que são grandes produtores de celulose, possuem grandes plantações florestais. Contudo, para a produção do E2G, a biomassa florestal não pode ser utilizada na forma de toras sendo assim é preciso que se crie toda uma nova cadeia de logística para a madeira que inclua além da colheita e transporte, a adaptação da madeira às necessidades de unidade de E2G. Dado essa dificuldade, inicialmente, as unidades de produção do E2G eram construídas em anexos a serrarias ou fábricas de celulose para assim aproveitar os resíduos derivados dessa produção.

A Chemrec, empresa sueca, por exemplo, é uma empresa especializada em gaseificação de licor negro, um subproduto da produção de papel. Sua primeira planta piloto é abastecida com licor negro proveniente da fábrica da Smurfit Kappa linerboard, empresa produtora de papel, e foi construída em parceria com a Volvo e Total. A planta piloto recebeu cerca de €28 milhões em financiamento do Governo Sueco e da EC (CHEMREC, 2008).²³

A New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) é o nome dado à parceria envolvendo empresas e laboratórios japoneses interessados em produzir E2G. Uma dessas empresas, a Oji Holdings, é uma das maiores

²³ A planta piloto, denominada BioDME, tem como produto principal o dimetil éter, utilizado para abastecer caminhões da Volvo, porém também é possível produzir E2G com a tecnologia da empresa. Estimativas realizadas pela empresa afirmam que se todas as empresas suecas produtoras de papel anexassem plantas de gaseificação de licor negro a suas fábricas, elas poderiam suprir cerca de 25% da demanda de combustíveis do país (Chemrec, 2008).

comercializadoras de eucalipto e produtora de papel do mundo, e responsável por abastecer a planta piloto da NEDO com resíduos florestais. Inaugurada em 2011 e localizada em Hiroshima, Japão, a unidade produz o E2G por meio da hidrólise enzimática (BACOVSKY, 2013).

Com a evolução de maquinários hoje é possível a produção de florestas com o objetivo de abastecer especificamente biorrefinarias. A GreenWood Resoucers (GWR), empresa norte americana, atua em toda a cadeia de recursos florestais, desde a plantação até a comercialização. A GWR é a empresa responsável pelo fornecimento de álamo para a Zechem, empresa produtora de E2G que possui uma unidade de demonstração em Oregon, nos EUA, e está construindo uma planta comercial, em anexo a sua de demonstração (ZEACHEM, 2016; BIOFUELSDIGEST, 2015).²⁴

As *energy crops* florestais possuem a vantagem, frente as herbáceas, de já possuírem cadeias produtivas e mercados bem estabelecidos. O que, de certa forma é um incentivo para quem deseja ser produtor destas. Além disso, as toneladas de biomassa gerada por hectare são bem elevadas apesar do maior tempo necessário para a colheita.

Resíduos agrícolas são subprodutos deixados nos campos após a colheita do produto primário ou após o processamento deste em alguma unidade de conversão. Eles não possuem custos associados a sua produção, os custos estão associados ao produto primário. Porém, os resíduos agrícolas deixados nos campos de plantação, como a palha de milho e a palha da cana, não podem ser utilizados em sua totalidade. Alguma porcentagem precisa ser deixada no campo para proteger o solo contra a erosão e repor nutrientes (SCHENPF, 2010).

Apesar de não haver custos de produção a utilização de resíduos agrícolas para o abastecimento de fábricas de E2G encontra muitas dificuldades, principalmente no que diz respeito à logística com as matérias-primas, que envolve colheita, transporte, armazenamento e processamento.

Atualmente, a logística com as matérias-primas, tanto com os resíduos quanto com as *energy crops*, é um dos principais gargalos que devem ser superados para que a produção em larga escala seja alcançada e o E2G fique mais competitivo. Cada tipo de matéria-prima irá requerer um tipo diferente de logística dado as suas características químicas, físicas e regionais.²⁵ Meléndez *et al.* (2012) estimaram que as matérias-primas

²⁴ O vídeo mostra a maneira como o álamo é colhido pela GRW e a Zea Chem: <https://www.youtube.com/watch?v=uLnSE1BiELA>

²⁵ Questões como relevo, leis trabalhistas, fertilidade dos solos etc. também influenciam.

chegam a pesar 50% dos custos totais de se produzir o E2G, dos quais entre 60% e 90% são oriundos dos custos de logística.

Também há empresas atuando no desenvolvimento de eficientes cadeias de logística para os resíduos agrícolas, a Pacific Ag é um exemplo. A empresa atua realizando contratos com fazendeiros locais e, com seus maquinários, remove os resíduos das fazendas e entrega às empresas que irão produzir o E2G. A Pacific Ag é fornecedora da Edeniq, que possui uma usina de E2G na Califórnia e é parceira da Dupont no desenvolvimento da cadeia de logística de palha de milho que abastece a planta comercial da mesma e possui uma *joint venture* com Abengoa (PACIFICAG, 2016).²⁶

Outras empresas atuando como intermediários são as já destacadas Genera Energy e GRW. Também podem ser citados os casos da Poet Biomass e da Biochemtex Agro, que como será visto no capítulo 5, são subsidiárias de empresas produtoras de E2G.

Dada a grande importância de criar eficientes cadeias de logística para as matérias-primas, os governos têm investido e dado apoio ao desenvolvimento desse segmento. No Brasil, como já foi visto, o PAIS 2, possuía entre seus objetivos desenvolver fontes mais produtivas de matérias-primas, assim como melhores formas de transporte para tais. Nos EUA, o DOE tomou à frente de um importante projeto denominado Biomass Alliance for Logistic Efficiency and Specification (BALES).

O BALES, que se iniciou em 2013, tem como objetivos desenvolver e demonstrar novas tecnologias para a colheita e processamento capazes de reduzir o custo da cadeia de fornecimento de biomassa para U\$ 53 por tonelada, até o fim de 2016, ao mesmo tempo em que investe na melhora da produtividade da matéria-prima. O projeto é realizado com diversas empresas como a Poet Biomass, Monsanto, Vermeer etc. e alguns laboratórios como o Idaho National Laboratory e o NREL. Um dos projetos apoiados pelo DOE foi o que desenvolveu a metodologia aplicada pela Poet-DSM, em sua usina de produção de E2G comercial. Além da metodologia uma série de novos maquinários foi criada (DOE, 2015).

O bagaço da cana e do sorgo, resíduos gerados após o seu processamento nas usinas de E1G e açúcar, são tradicionalmente utilizados como fontes de geração de calor e energia elétrica. Contudo, devido à facilidade para sua obtenção e homogeneidade da matéria-prima, o bagaço tem sido utilizado também como insumo para a produção do E2G. Não é sem razão que diversas empresas construíram ou estão construindo suas

²⁶ O modo como a Pacific Ag atua é resumido nesse vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=hICW4JdmpMY>

plantas de produção de E2G em anexo a uma de E1G no Brasil. Principais exemplos são a Raízen, CTC e Abengoa.

Ainda, a utilização de resíduos agrícolas, tanto os deixados nos campos quanto aqueles processados, quando utilizados em usinas de E2G anexadas a usinas de E1G, possibilitam o aumento da produtividade de etanol por hectare em cerca de 50 % a 60% (SILVA, 2015). Isto é, a produção de etanol aumenta sem necessidade de novas plantações.

Resíduos sólidos urbanos são outro tipo de resíduo utilizados para geração de biocombustíveis. Nesses casos os fornecedores de matérias-primas são as entidades responsáveis por coletar e armazenar os resíduos urbanos, na maioria dos casos são prefeituras municipais. Empresas que optam por usar essa fonte de matéria-prima realizam contratos com as prefeituras e, inclusive, recebem por utilizar os resíduos urbanos, isto é, os resíduos sólidos urbanos, como matéria-prima, têm custo negativo (JACOBSCONSULTANCY, 2013).

Nesta seção ficou evidente que existe uma grande variedade de possíveis matérias-primas sendo desenvolvidas para a produção do E2G e que essa mesma variedade implica a necessidade de diferentes meios de tratá-las. Além disso, como a produção em larga escala de E2G é relativamente recente, os processos envolvendo logísticas ainda estão em seu início de aprendizado.

No caso da produção do E1G, apesar de também existir uma grande variedade de possíveis matérias-primas, apenas duas, a cana e o milho, são responsáveis por quase toda a totalidade da produção do E1G. Essas são culturas plantadas há séculos e as formas de plantar, colher, transportar e processar para abastecer as unidades produtoras de E1G já estão sendo aperfeiçoadas há dezenas de anos. Por comparação, enquanto as primeiras plantas comerciais de E2G, que estão sendo construídas para operar com capacidade de processamento média de 300 mil toneladas ano, ainda não foram capazes de operar em plena capacidade, existem plantas tradicionais de E1G que podem processar até 10 milhões de toneladas por ano, no caso cana, ou até 7 milhões de toneladas de milho.

No que tange a ganhos de produtividade, as *energy crops*, principalmente as herbáceas, apresentam ainda muito espaço para o ganho de produtividade, uma vez que, apenas recentemente as empresas passaram a se interessar no melhoramento das novas culturas. O mesmo vale para a cana-de-açúcar cujas novas técnicas de melhoramento genético estão sendo só agora desenvolvidas. O milho é atualmente a cultura que mais

obteve ganhos de produtividade nos anos recentes, pois, por ser utilizado largamente no mundo inteiro atrai maior interesse das empresas de biotecnologia agrícola.

Outra questão relevante é o elevado número de novos agentes interessados em desenvolver uma cadeia de suprimento para a produção do E2G. Além das tradicionais empresas de biotecnologia, diversas universidades e *start-ups*, passaram a pesquisar e desenvolver melhorias genéticas em novas fontes de matérias-primas. Também passaram a surgir empresas cujo objetivo é servir como intermediário entre a produção de matérias-primas e produção de etanol, quebrando assim a tradicional estrutura verticalizada encontrada na produção do E1G. A tabela A.3 apresenta algumas das empresas envolvidas especificamente no desenvolvimento de matérias-primas e logística.

3.2.2 Tecnologias de segunda geração

A produção do E2G pode ser alcançada principalmente através de três grandes rotas tecnológicas. A primeira, a bioquímica, envolve a utilização de microrganismos, enzimas ou ácidos para a quebra da celulose e hemicelulose em açúcares fermentáveis. A segunda, a termoquímica, transforma a biomassa, em gás de síntese ou bio-óleo, através de processos térmicos. Posteriormente esses produtos podem ser transformados no E2G ou em outros bioprodutos. A terceira é uma rota híbrida e consiste na combinação das outras duas rotas.

Dentre as atuais tecnologias em desenvolvimento não há ainda nenhuma que tenha apresentado maiores vantagens comerciais. De maneira que pode-se dizer que ainda não há um padrão tecnológico dominante que no futuro guiará os novos investimentos em produção de E2G. Entretanto há aquelas tecnologias que melhor se adaptam para os diferentes tipos de matérias-primas, ou seja, a matéria-prima utilizada, além de influenciar no desenvolvimento de uma cadeia de logística específica a ela, também influencia na construção da usina de produção de E2G pois impacta na escolha de qual melhor tecnologia se utilizar (MELÉNDEZ *et al.*, 2012). Entre os principais exemplos de tecnologias sendo desenvolvidas há a hidrólise enzimática, o bioprocessamento consolidado (BPC) e a gaseificação.

A hidrólise enzimática²⁷, como já foi visto, teve seu desenvolvimento iniciado durante a Segunda Guerra Mundial. Para fins de produção do E2G sua aplicação em escala piloto só aconteceu em 1982 e em escala comercial em 2013. Atualmente muitas empresas estão interessadas em desenvolver essa tecnologia principalmente aquelas que

²⁷ Vídeo do processo: <https://www.youtube.com/watch?v=iljM5UP2gEQ>

detêm conhecimentos dentro da área de biotecnologia, pois veem no avanço da produção do E2G uma possibilidade de expandir a venda de seus principais produtos, enzimas e leveduras, sejam elas tradicionais ou geneticamente modificadas.

Grandes empresas da biotecnologia como a Dupont e a DSM já inauguraram suas plantas de produção de E2G e pretendem licenciar suas tecnologias desenvolvidas internamente. Outra grande empresa é a Novozymes, que além de ser a maior empresa fornecedora de enzimas, é sócia da Beta Renewables, empresa que também produz E2G. Empresas pequenas de biotecnologia, como a Iogen e Dyadic, também passaram a desenvolver tecnologias relacionadas à produção do E2G.

A primeira etapa da hidrólise enzimática envolve o pré-tratamento da matéria-prima, cujo objetivo é a separação dos componentes que formam o material lignocelulósico, isto é, a separação da lignina, celulose e hemicelulose. Existem diversas maneiras de se realizar o pré-tratamento sendo que cada um possui algumas vantagens e desvantagens como resume a tabela 6.

Tabela 6- Vantagens e desvantagens de diferentes métodos de pré-tratamento

Método de pré-tratamento	Vantagens	Desvantagens
Biológico	-Degrada lignina e hemicelulose -Baixo consumo de energia	-Baixa taxa de hidrólise
Moagem	-Reduz cristalinização da celulose	-Elevado consumo de energia
Explosão a vapor	-Causa transformação na lignina e solubilização da hemicelulose -Eficiente em custo -Alta recuperação de glicose e hemicelulose	-Gera componentes tóxico -Degradação parcial da hemicelulose
AFEX	-Aumenta a área de superfície acessível -Baixa formação de inibidores	-Não é eficiente em materiais com muita concentração de lignina -Alto custo e grande quantidade de amônia
Explosão de CO2	-Aumenta a área de superfície acessível -Não gera componentes tóxicos -Eficiente em custo	-Não afeta a lignina nem a hemicelulose -Requer alta pressão
Oxidação	-Remove a lignina eficientemente -Baixa formação de inibidores -Baixa demanda de energia	-Alto custo dos catalisadores
Ozonólise	-Reduz parcela da lignina -Não gera componentes tóxicos	-Elevados custos e quantidades do ozônio
Organosolv	-Hidrólise da lignina e hemicelulose	-Alto custo -Solventes precisam ser reciclados
Ácido concentrado	-Elevado rendimento de glicose -Temperaturas ambiente	-Alto custo do ácido -Ácido precisa ser reciclado -Causa corrosão -Forma inibidores
Ácido diluído	-Menos problemas de corrosão	-Degrada os produtos

	-Menos formação de inibidores	-Forma menos açúcares
--	-------------------------------	-----------------------

Fonte: Tradução de Alvira *et al.* (2010).

Essas vantagens e desvantagens dependem muito do tipo de matéria-prima utilizada. As empresas com plantas comerciais de E2G que utilizam a hidrólise enzimática estão enfrentando dificuldades em avançar nesta etapa do processo. A Granbio, por exemplo, que inaugurou sua planta de produção comercial em 2014, ainda não alcançou a plena capacidade produtiva, principalmente devido a problemas na fase do pré-tratamento. A empresa, em 2016, teve que paralisar pela segunda vez suas atividades para solucionar problemas nesse segmento. Segundo o CTBE, o principal problema da Granbio é que a tecnologia de pré-tratamento utilizada, criada pela Beta Renewables, não foi desenvolvida para a utilização de bagaço e palha da cana, de forma que adaptações no processo ainda estão em curso (NOVACANA, 2016).

Por se tratar de uma etapa que necessita de muitos conhecimentos relacionados à engenharia química, engenharia de materiais e mecânica é comum que as empresas produtoras de E2G se relacionem com empresas de engenharia para desenvolverem os processos de pré-tratamento. A Andritz, empresa austríaca de engenharia, em conjunto com a Poet-DSM, desenvolveu a tecnologia de pré-tratamento utilizada na planta comercial de E2G desta última. A Andritz também tem parceria com o CTC.

A Abengoa, que originalmente é uma empresa de engenharia, desenvolveu internamente o processo que utiliza em suas plantas de E2G. A Biochemtex, uma das empresas que formam a *joint venture* Beta Renewables, também é uma empresa de engenharia, e desde 2006 vem desenvolvendo sua tecnologia de pré-tratamento.

Após o pré-tratamento, a lignina é recuperada e utilizada como fonte de geração de energia elétrica. Assim, as usinas que produzem E2G através da hidrólise enzimática também produzem bioenergia que é utilizada na própria usina e seu excedente é vendido à rede. A tabela 7, que resume as características das primeiras usinas de produção comercial de E2G, contém também a capacidade em MW de cada usina.

Tabela 7- Características das plantas comerciais de E2G

Empresa	Localização	Matéria-prima	inputs (toneladas/ano)	Tecnologia	Capacidade instalada de E2G (milhões de litros/ano)	Custo de capital (milhões de dólares)	Potência de geração de bioenergia (MW)	Ano de inauguração
Enerkem	Alberta/Canadá	Resíduos sólidos urbanos	100.000	Gaseificação	38	100	Não realiza	2014
Raízen	São Paulo/Brasil	Bagaço de cana	Não identificado	Hidrólise enzimática	42	100	7	2015
Granbio	Alagoas/Brasil	Palha da cana	400.000	Hidrólise enzimática	82	265	16	2014
Poet-DSM	Iowa/EUA	Resíduos do milho	285.000	Hidrólise enzimática	94	275	17	2014
BetaRenewables	Piedmont/Itália	Resíduos do milho	270.000	Hidrólise enzimática	75	210	13	2013
Dupont	Iowa/EUA	Resíduos do milho	375.000	Hidrólise enzimática	113	225	Não realiza	2015
Abengoa	Kansas/EUA	Resíduos do milho	350.000	Hidrólise enzimática	95	500	21	2014

Fonte: sites das empresas; site Nova Cana (2016); Edmonton (2014)

A etapa seguinte ao pré-tratamento é a de hidrólise da celulose e hemicelulose, isto é, a quebra deles em açúcares fermentáveis. A hidrólise também está presente na produção do E1G do milho, entretanto, nesse caso ela é utilizada para se quebrar o amido em moléculas menores de açúcares. Tal procedimento é bem mais simples que a quebra da celulose e os procedimentos atuais envolvem a utilização de menos misturas de enzimas e alcançam facilmente rendimentos de 100% de conversão do amido. Além disso, a hidrólise da celulose é altamente dependente do pré-tratamento, pois sem ele, a conversão da celulose alcança rendimentos muito baixos (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

A etapa da hidrólise tem atraído a atenção das empresas de biotecnologias e dos governos, principalmente devido as grandes possibilidades de redução de custos. Nos EUA, por exemplo, desde 2004, o NREL, juntamente com a Genencor (comprada pela Dupont em 2011) e a Novozymes, vem desenvolvendo enzimas mais eficientes. Em quatro anos a parceria conseguiu reduzir os custos de se produzir as enzimas em 20 vezes. Em 2008, sob o Biomass Program, novamente as enzimas foram foco do DOE que investiu em quatro empresas. Além das duas anteriores também foram selecionadas a Verenium (comprada pela DSM em 2012) e a DSM (ETHANOLPRODUCER, 2011).

Atualmente existem diferentes plataformas tecnológicas relativas a enzimas sendo perseguidas, como as originárias de fungos ou bactérias. Outra questão relevante é se a

produção de enzimas irá ser centralizada ou *on-site*. A Novozymes mantém seu comprometimento com a produção centralizada, ou seja, investe em grandes fábricas de enzimas para em seguida realizar a distribuição para seus clientes. Este é o atual modelo usado na produção do E1G. Empresas como Dyadic e Dupont, estão focando no desenvolvimento *on-site*, isto é, a produção de enzimas é realizada na própria usina de E2G. Neste procedimento, há menor escala na produção das enzimas porém evita-se os custos de transporte e é possível a melhor adaptação do coquetel enzimático à matéria-prima utilizada (DYADIC, 2014).

Após a liberação dos açúcares o próximo passo é a transformação deles em etanol através da fermentação. No caso da hidrólise enzimática, dois tipos de açúcares são liberados, os de cinco carbonos (C5) e os de seis carbonos (C6). A fermentação dos C6 pode ser realizada com a utilização de leveduras tradicionais, as mesmas utilizadas na produção do E1G. Entretanto, a fermentação do C5 é mais complexa e requer a utilização de microrganismos geneticamente modificados (NOGUEIRA *et al.*, 2008). A fermentação dos C5 ainda apresenta rendimentos bem inferiores à fermentação dos C6 revelando assim um espaço para futuros ganhos de produtividade na produção do E2G (LUXRESEARCH, 2016).

Como é de se esperar, no desenvolvimento de leveduras capazes de fermentar o C5 ou simultaneamente os C5 e C6, há a presença de grandes empresas de biotecnologias, como Dupont e DSM. Também é significativa a participação de empresas pequenas, como a Leaf Technologies, C5 Yeast Company e Iogen, que atuam em parcerias com outras empresas com maiores recursos financeiros e/ou recursos produtivos complementares. Após a fermentação o passo seguinte é a destilação. Este é semelhante ao observado na produção do E1G.

A hidrólise enzimática pode ser realizada segundo diferentes tipos de concepções. Por exemplo, o processo desenvolvido pela Abengoa segue a chamada sacarificação com fermentação simultânea (SSF) caso em que após o pré-tratamento da biomassa, os açúcares C5 presentes na hemicelulose são separados e fermentados em um tanque enquanto a celulose segue para outro tanque onde será hidrolisada e posteriormente os açúcares liberados serão fermentados (CUNHA, 2013). Já a Beta Renewables desenvolveu o processo de sacarificação com co-fermentação. Segundo esse conceito, após o pré-tratamento, tanto a celulose quanto hemicelulose seguem para um mesmo reator. Lá, a celulose será a hidrolisada e os açúcares (C6) liberados serão fermentados juntamente com os açúcares da hemicelulose (C5), este procedimento requer a utilização

de leveduras geneticamente modificadas capazes de fermentar tantos os C5 quanto os C6 (CUNHA, 2013).

Por sua vez, a Dupont e a Poet-DSM desenvolveram suas tecnologias sobre o conceito de hidrólise e co-fermentação em separado. Seguindo esse processo, após a hidrólise da celulose, os açúcares liberados são direcionados para o mesmo tanque onde se encontram os açúcares liberados da hemicelulose. Neste reator há a fermentação simultânea dos diferentes açúcares, aqui também é necessária a utilização de microorganismos especiais. A Dupont, por exemplo, utiliza bactérias *Zymomonas mobilis* geneticamente modificadas para a fermentação (CUNHA, 2013).

O CBP, um processo bioquímico, consiste na aplicação, após o pré-tratamento, de um único microrganismo capaz de sozinho hidrolisar a celulose e fermentar os diferentes açúcares. A utilização dessa técnica é muito limitada principalmente devido as grandes dificuldades tecnológicas envolvidas no desenvolvimento desse microrganismo. A Mascoma, uma *start-up* norte americana, persegue o desenvolvimento deste processo. A empresa possui uma planta em escala demonstrativa e foi construída com apoio financeiro do DOE e da Valero (CUNHA, 2013). Em 2014, a Mascoma foi comprada pela Lallemand, empresa de biotecnologia canadense (ETHANOLPRODUCER, 2014).

Nas rotas de conversão bioquímicas as diferentes composições químicas do material lignocelulósico possuem impactos relevantes no rendimento da produção do E2G. Já no caso das rotas termoquímicas a principal característica da biomassa que impacta nos rendimentos é a umidade, ou seja, quanto mais úmida a matéria-prima menores os rendimentos e maiores os custos. Outra diferença é que nas rotas termoquímicas a biomassa é utilizada integralmente, inclusive a lignina (SCHENPF, 2010).

A gaseificação pertence a rota termoquímica e é um tecnologia madura, sendo que sua aplicação em larga escala, com o uso do carvão, data da década de 40 do século passado. Entretanto, a aplicação da gaseificação para a produção do E2G com a utilização da biomassa é um procedimento mais complexo, dado a necessidade da criação de cadeia de abastecimento das matérias-primas, inclusive, muitas empresas, com expectativas de produzir o E2G em larga escala desistiram, como é o caso da Choren (BACOVSKY, 2013), ou mudaram de base de matérias-primas, como é o caso da Coskata, que passou a produzir o E2G a partir do gás natural (BIOFUELDIGESTS, 2014), ou estão com os projetos andando em “marcha lenta”, como é o caso da Ineos Bio e da Fulcrum (NREL, 2016).

Na gaseificação, a biomassa, devidamente processada é encaminhada para um reator onde será exposta a um ambiente anaeróbico e a elevadas temperaturas (acima dos 700°). Nesta fase do processo a biomassa será transformada em gás de síntese. Após a limpeza do gás, que pode envolver ciclones de ar quente ou vapor de água, diferentes processos químicos, como o Fischer-Tropsch podem ser aplicados para transformar o gás de síntese em outros produtos, inclusive o E2G²⁸ (SCHENPF, 2010).

Muitas empresas utilizam a gaseificação da biomassa para a produção do E2G em escala piloto ou demonstração. Todavia a única que possui planta de produção comercial é a Enerkem. A Enerkem utiliza em sua unidade de produção resíduos sólidos urbanos, material bem heterogêneo, o que propicia a utilização da gaseificação.

A Ineos Bio também utiliza a tecnologia de gaseificação, contudo, diferente da Enerkem, ela transforma o gás de síntese em E2G a partir da aplicação de microrganismos capazes de fermentar o gás. A empresa possui uma planta piloto funcionando desde 2003 (AEC, 2014) e está construindo uma planta demo com previsão de inauguração para final de 2016 (NREL, 2016)

Ainda há muito que se aprimorar em todas as tecnologias aqui destacadas. No caso das pertencentes à rota bioquímica o pré-tratamento da biomassa é hoje o principal desafio, entretanto, novas enzimas, inclusive capazes de degradar a lignina, e leveduras mais eficientes também devem continuar a serem alvo de pesquisas. O uso de biomassa nas rotas termoquímicas gera muita impureza no gás de síntese, o que requer a limpeza desse material. Uma oportunidade de melhoramento então seria a redução da geração dessas impurezas (SCHENPF, 2010).

Percebe-se nesta seção que a opção por algum tipo de matéria-prima irá determinar a escolha da tecnologia de conversão, uma vez que para cada tipo de biomassa há uma melhor maneira de produzir o E2G. Ao extremo, pode-se afirmar que nenhuma usina de E2G será idêntica a outra pois, até mesmo quando se utiliza um mesmo tipo de biomassa, esta pode variar em sua composição físico-química a depender da maneira como foi produzida e da região de onde advém.

A mudança da base de matéria-prima utilizada na produção do etanol então requer que novas maneiras de produzir o etanol sejam aplicadas. Entretanto, como destacaram Bennet e Pearson (2009) e Bomtempo (2012), uma mudança da base de matérias-primas

²⁸ Vídeo do processo: <https://www.youtube.com/watch?v=DV8Q4YTXQ-4>

dentro de uma indústria não apenas leva a utilização de novas tecnologias, mas sim a uma complexa reestruturação industrial.

A primeira grande mudança é a necessidade de tecnologias mais complexas. Como observado, no caso das rotas bioquímicas, há a necessidade de conhecimentos tecnológicos não difundidos, que são detidos por poucas empresas. Sendo assim, não é possível ir ao mercado adquirir facilmente os equipamentos e insumos necessários para a produção do E2G. Na produção do E1G já não há esse problema pois há muitos anos as tecnologias de produção estão sendo difundidas sendo que existem diversas empresas de engenharia dedicadas ao fornecimento de equipamentos, como a Dedine, a Poet, a Fagen etc. No caso dos insumos, as enzimas e as leveduras necessárias para a produção do E1G já são largamente produzidas e utilizadas em diferentes mercados além dos de biocombustíveis.

No caso da produção do E2G, segundo a rota bioquímica, os mercados de insumos estão em fase inicial de desenvolvimento. Enquanto o mercado de enzimas utilizadas no E1G é concentrado em torno de três empresas, no caso do E2G não se pode dizer o mesmo visto a emergência de novas empresas com o fim de produção de enzimas. Vale ressaltar, que apesar da emergência de uma nova variedade de empresas de biotecnologia, é comum que haja a compra destas emergentes por parte das grandes.

Na produção do E2G há também uma mudança no perfil das empresas. Enquanto a produção do E1G é feita majoritariamente por empresas agrícolas e alimentícias, e, quando há perfis diferenciados, petroleiras e empresas químicas, eles o fazem geralmente em parceria com empresas tradicionais do setor. Na produção do E2G há maior diversidade. Essa mudança também acarreta uma mudança no que Pavitt (1984) chamou de padrão setorial de inovação. Segundo o autor, que pretendia explicar as mudanças setoriais de trajetória tecnológica, os diferentes setores industriais podem ser classificados segundo diferentes padrões de inovação, entre esses padrões destacam-se os setores “dominados pelos fornecedores” e os “baseados em ciência”.

No primeiro caso, as empresas dentro de determinada indústria não são as responsáveis pelo desenvolvimento das inovações utilizadas por elas, mas sim, os fornecedores de equipamentos e insumos. No segundo caso, as empresas em determinada indústria são as responsáveis pelas as inovações que elas próprias utilizam assim como comercializam para demais os setores.

Para muitos autores, como Cunha (2013) e Bomtempo (2013), a tradicional indústria do etanol pode ser considerada como sendo “dominada pelos fornecedores” uma

vez que as empresas produtoras do E1G não são as responsáveis pelo desenvolvimento das inovações que utilizam. Isto é, importam equipamentos, não desenvolvem novas variedades de enzimas, leveduras e bioprodutos. Entretanto, a atual produção do E2G, como é feita hoje, não pode ser classificada como dominada por fornecedores, dado que as empresas que o produzem, em sua maioria, são empresas que focam no desenvolvimento de novas tecnologias e com tradição no desenvolvimento de inovações. Então, a atual produção do E2G pode ser classificada como “baseada em ciência”.

Por fim, devido ao elevado grau de complexidade tecnológica, a principal barreira à entrada é o custo e capital e a falta de conhecimento tecnológico. No caso da produção do E1G a principal barreira à entrada é o acesso a matéria-prima. As usinas precisam ser construídas próximas às fontes de matéria-prima, caso contrário os custos de transporte da matéria-prima tornariam a produção não competitiva. A entrada de uma nova empresa necessitaria também da expansão da área plantada, tanto de cana quanto de milho. A tabela 8 resume as principais diferenças entre a produção do E1G e do E2G percebidas ao longo dos capítulos anteriores. Ela ainda compra a capacidade de redução de GEE e os preços tanto do E1G quanto do E2G.

Tabela 8-Diferenças entre o E1G e o E2G (continua)

	E1G	E2G
Matérias-primas	Predominantemente cana e milho.	Variadas: resíduos (agrícolas, florestais e urbanos) e <i>energy crops</i> .
Perspectiva de novos ganhos de produtividade das matérias-primas.	Baixo para o milho. Elevado para a cana.	Muito elevados para as <i>energy crops</i> herbáceas.
Estrutura de logística com matéria-prima.	Bem estruturada e homogênea.	Em desenvolvimento e heterogênea.
Integração vertical	Em geral as empresas que produzem o E1G também produzem as matérias-primas e realizam a colheita. Mas também consomem matérias-primas de terceiros.	Não é o padrão. Há inclusive a presença de agentes intermediários entre o produtor de matéria-prima e o produtor do E2G.
Complexidade tecnológica da produção	Baixa.	Elevada.
Mercado de enzimas	Concentrado e com alto rendimento de conversão.	Em formação e com diferentes rotas tecnológicas sendo perseguidas. Muitas novas empresas entrando.
Perfil de empresas produtoras	Pouco variado, grande maioria de produtores agrícolas e empresas de alimentos ou agronegócio.	Variado, há presença relevante de petroleiras, empresas de biotecnologia, <i>start-ups</i> , engenharia e energia. Além das empresas tradicionais do E1G.
Padrão de inovação	Dominado pelos fornecedores.	Baseado em ciência.

Tabela 8- Diferenças entre o E1G e o E2G (continuação)

Principal barreira à entrada	Acesso à matéria-prima, mais evidente no caso do milho nos EUA.	Elevado custo de capital e conhecimentos tecnológicos não difundidos
Principais subprodutos	Milho- DGS Cana- Vinhaça, bagaço, bioenergia.	Lignina no caso das rotas bioquímicas e bioenergia.
Apoio governamental	Presente na forma de subsídios e mandatos de mistura obrigatória	Presente na forma de subsídios, mandatos obrigatórios, apoio em P&D, apoio em investimento em nova capacidade produtiva.
Principais países produtores	Basicamente EUA e Brasil	EUA, China, Canadá, Brasil e países da Europa.
Principais mercados	EUA e Brasil	Principalmente mercados que oferecem algum tipo de benefício ou mandato para o E2G como os EUA e países da Europa.
Preços médios por litro	Etanol de cana ³¹ U\$ 0,87 Etanol de milho ²⁹ U\$ 1,06	As estimativas entre os preços mínimos de venda de E2G das primeiras plantas comerciais variam entre U\$ 0,51 até U\$ 1,20. ³⁰
Redução nas emissões de gases de efeito estufa com a utilização do etanol feito de diferentes matérias-primas	Cana- 86% Milho- 35%	Resíduos de milho- 103% <i>Energy crops</i> - 115% Resíduos sólidos urbanos- 80%

Fonte: elaboração própria

3.3 CONCLUSÕES

O etanol apresenta-se como uma das opções para a transição energética dentro do setor de transportes que, como foi visto, será o principal setor a acrescentar maior nível de emissões de GEE até 2040. Entretanto, a opção pelo etanol leva muito em conta os avanços com as tecnologias de segunda geração, que diferentemente das tradicionais tecnologias, permite a utilização de matérias-primas que não são utilizadas como alimentos, com maiores perspectivas de ganhos de produtividade e que originam um produto capaz, inclusive, de retirar GEE do ambiente.

Percebe-se que o E1G brasileiro derivado de cana possui qualidades que o definem como um biocombustível avançado, uma vez que, no Brasil, há áreas possíveis para a expansão da lavoura de cana, sem que haja a necessidade de desmatamento ou troca de cultura. O E1G da cana é capaz de reduzir as emissões de GEE em até 83%. Contudo, mesmo com tais qualidades, as empresas no Brasil e o Governo brasileiro estão investindo nas tecnologias de segunda geração pois, além de deixar o país na dianteira do desenvolvimento destas tecnologias, ainda permite que a produção de etanol cresça em

²⁹ Fonte: REN (2015)

³⁰ Dados tirados da Lux Research (2016) que considera estimativas de custos dos insumos e receita de capital investido.

até 60% utilizando a mesma área plantada de cana com a utilização do bagaço e da palha da cana.

Além do Brasil, os EUA, China, Canadá e Europa são as principais regiões na dianteira do desenvolvimento das tecnologias de segunda geração. Os EUA se apresentam como o principal país nesta corrida visto ter o programa de incentivo mais completo, envolvendo mandatos obrigatórios de E2G e incentivos a investimento em capacidade produtiva. Assim o país se encontra na primeira posição dos países com capacidade instalada.

É interessante notar que, assim como as tecnologias de segunda geração vêm sendo alvo de constantes políticas governamentais de incentivo à demanda, ao investimento em inovação e à expansão da capacidade produtivas, o mesmo ocorreu no início da instalação da indústria do etanol, principalmente a partir da década de 70 do século passado. Entretanto, entre os dois casos, os motivos que incentivaram os diferentes governos a agirem foram diferentes.

No início do processo de consolidação da indústria, o principal problema a ser resolvido pelo etanol era o da dependência energética. Assim, os incentivos ao E1G faziam muito mais sentido dado a menor complexidade das tecnologias e consequente maior facilidade de assimilação das tecnologias pelas empresas. Também não havia a necessidade de construção de novas cadeias de logística com matérias-primas e o custo de capital necessário era menor.

Quando as questões ambientais e sociais passaram a ser mais fortes, ficou evidente os limites impostos pelas tecnologias de primeira geração e novas soluções começaram a ser buscadas. Assim, a produção do E2G surgiu como uma delas, entretanto, devido aos grandes desafios existentes para sua aplicação em larga escala os diferentes governos viram a necessidade de apoiar o desenvolvimento das tecnologias de segunda geração.

Entre os grandes desafios para a produção do E2G está a escolha de uma matéria-prima. Essa escolha é de suma importância, uma vez que irá impactar em toda a construção do resto da cadeia de produção. Como foi visto, cada tipo de matéria-prima possui características diferentes o que consequentemente necessita de uma forma específica para a realização de sua colheita, seu transporte e seu processamento. Ainda, como o desenvolvimento dessas etapas necessita de conhecimentos novos e/ou não difundidos, há a ocorrência de novos agentes, como novas empresas, grandes empresas de setores diversos, laboratórios e universidades, atuando em diferentes elos da cadeia de

produção do E2G. Essa situação é bem menos comum do que ocorre no caso da produção do E1G.

Entre as possíveis matérias-primas, as *energy crops* se destacam pelo fato de possibilitarem grandes ganhos de produtividade, entretanto, devido à necessidade de maior comprometimento dos produtores e a ainda baixa escala de produção do E2G, essa opção ainda não é a mais viável. Por outro lado, os resíduos, principalmente os agrícolas, foram a escolha de matérias-primas dos primeiros projetos em escala comercial.

A opção pelos resíduos deve-se a sua grande disponibilidade após a colheita e processamento e ao seu aparente “custo zero”. Alia-se a isso a possibilidade de construção das usinas de E2G anexadas a usinas de E1G, de maneira a se reduzir os custos de capital da planta, além de permitir a implementação dela em uma região próxima à fonte de matéria-prima. Ainda, no caso da utilização do bagaço de cana, os custos de transportes da matéria-prima são quase nulos.

A fase industrial também é muito influenciada pela escolha da matéria-prima, e para cada tipo de matéria-prima haverá uma melhor tecnologia e, no caso específico da hidrólise enzimática, haverá uma melhor forma de pré-tratamento, uma melhor combinação de enzimas e melhores tipos de leveduras.

Assim como no caso das etapas agrícolas, as diferentes etapas industriais necessitam de conhecimentos tecnológicos complexos e não difundidos. O que, além de atrair para indústria do etanol diversos tipos diferentes de perfis de firmas, suscita a realização de parcerias entre elas, e entre elas e governos a fim de se buscar a complementaridade de recursos e conhecimentos.

Apesar de a tabela 7 mostrar que entre as empresas com plantas comerciais parece haver uma preferência pela tecnologia de hidrólise enzimática, não se deve considerar que um padrão tecnológico dominante tenha surgido. Mesmo que façam uso da mesma tecnologia, essa pode seguir diferentes conceitos com o uso diferentes tecnologias de pré-tratamento. Também há a escolha entre se produzir as enzimas na própria planta de E2G ou adquiri-la de terceiros. Ainda, em relação às enzimas, estas podem ser produzidas segundo diferentes plataformas.

Assim, como a tabela 8 resume, a principal conclusão deste capítulo é que a forma como o E2G é hoje produzido em quase nada parece com a maneira como a indústria do etanol é hoje estruturada. Essa grande diferença, ao se analisar a indústria como um todo, ainda não é perceptível dada a baixíssima participação que a produção de E2G tem atualmente.

Entretanto, há de se ressaltar que a produção do E2G em larga escala é um evento recente que se iniciou apenas em 2013, e que vem encontrando dificuldades para assegurar a produção contínua nas escalas planejadas, estando assim na sua fase inicial de aprendizado. Com isso, é bem possível, que à medida que os problemas iniciais sejam superados, as tecnologias de segunda geração ganhem mais espaço e comecem a alterar significativamente a maneira como a indústria se estrutura.

CAPÍTULO 4- TRANSIÇÕES TECNOLÓGICAS E MODELOS DE NEGÓCIOS

4.1 INTRODUÇÃO

O principal objetivo do capítulo anterior foi demonstrar o quanto a produção do E2G diferencia-se da produção do E1G, mesmo sendo o E1G e o E2G produtos idênticos. Uma das principais mudanças observadas é que enquanto o E1G é produzido de maneira quase que homogênea tanto no Brasil quanto nos EUA, isto é, com a utilização de um tipo de matéria-prima, com perfis de empresas semelhantes e pouco espaço para novas inovações radicais, o E2G é produzido de variadas maneiras, por meio de diferentes perfis de empresas e contando com bastante espaço para inovações.

Ainda, apesar do E2G apresentar uma série de vantagens frente ao E1G, a sua produção é ainda muito inferior ao do E1G. Em 2015, não foram elaborados dados com a produção de E2G por país, apenas existem algumas estimativas de produção por empresas. Essa inferioridade justifica-se pela ainda baixa competitividade das tecnologias de segunda geração frente às de primeira geração, situação que tende a mudar à medida que as dificuldades iniciais da produção em larga escala sejam superadas.

Devido à grande diferença entre as maneiras de produzir e os agentes envolvidos, espera-se que uma maior difusão das tecnologias de segunda geração dentro da indústria do etanol cause mudanças estruturais que são acompanhadas por mudanças sociais, surgimento de novas instituições, novas políticas etc.

Na literatura econômica, esse processo é conhecido como transição tecnológica e referem-se ao surgimento e posterior difusão de uma inovação tecnológica radical que, na medida que ganha mais adeptos, altera as características industriais e sociais que foram desenvolvidas sobre outros tipos de tecnologias (NELSON e WINTER, 1982; MALERBA e ORSENIGO, 1997). Segundo essa literatura, as empresas têm um papel central na dinâmica da transição tecnológica, uma vez que elas são as principais responsáveis pela criação e uso das inovações.

Uma forma de observar a atuação das empresas e conseqüentemente alguns aspectos do processo de transição tecnologia é através da observação de seus modelos de negócios (MN). MN representam como uma firma entrega sua proposição de valor, ou, em outras palavras, como ela atua dentro de uma indústria (MAGRETTA, 2002; ZOTT *et al.*, 2011). Em geral, inovações radicais requerem a criação de novos MN que ao serem desenvolvidos levam em consideração os recursos e conhecimentos internos às firmas

assim como fatores externos a elas (DEMIL e LECOCQ, 2010), de maneira que ao se observar os diferentes MN das empresas é possível identificar quais atores envolvidos nas transições tecnológicas, quais as principais tendências de organização empresarial, qual o papel das políticas governamentais, como as empresas estão buscando solucionar as dificuldades iniciais do uso de novas tecnologias, como as empresas reagem a mudanças políticas etc.

Este capítulo está dividido em quatro seções, ademais esta introdução tem-se a seção referente à revisão sobre a literatura de transições tecnológicas, seguida pela seção sobre MN e pelas considerações finais.

4.2 TRANSIÇÕES TECNOLÓGICAS

Joseph Schumpeter não foi o primeiro teórico a tratar sobre a inovação e a suas consequências para a indústria e sociedade, entretanto ele é um dos mais influentes, visto que suas ideias principais influenciaram toda uma nova geração de economistas, que passaram a se chamar neo-schumpeterianos, e romperam com a tradição neoclássica econômica que, ao considerar a interação entre as empresas seguindo a concorrência perfeita, mostra-se insuficiente em explicar, entre outras coisas, como ocorrem as transições tecnológicas.

Segundo o autor, o que é entendido como concorrência perfeita pelos neoclássicos nunca existiu e que, no capitalismo, o normal é a concorrência envolvendo grandes empresas que a todo momento buscam poder de monopólio. Ele ainda destaca que o período, que se inicia em 1890, caracterizado pela presença de grandes oligopólios, não houve queda na produção e nem no consumo das famílias, inclusive houve melhoras qualitativas deste consumo (SCHUMPETER, 1942). Para Schumpeter (1942), o estudo econômico trata-se de um estudo evolutivo, logo histórico, em que o motor principal da concorrência é a inovação, isto é, as empresas estão a todo momento buscando diferenciar-se dos seus concorrentes e assim alcançarem maiores lucros.

Inovação aqui é entendida como um conceito amplo que envolve, além de mudanças tecnológicas, o desenvolvimento de novos produtos, a descoberta de novos mercados, novas formas de organização empresarial e MN (SCHUMPETER, 1942; TEECE, 2010). As inovações são frutos da interação competitiva entre as empresas que buscam incessantemente a criação de novas oportunidades lucrativas, quer dizer, as empresas estão sempre na busca por lucros extraordinários (POSSAS, 2009).

Uma das consequências das inovações bem-sucedidas é o desenvolvimento de monopólios. Segundo a visão schumpeteriana, monopólios não devem ser vistos como

uma situação de não competição, na verdade, ele é em si o objetivo da competição entre as firmas (POSSAS, 2009). Monopólios por parte de algumas firmas são situações temporárias, já que a todo momento novas inovações surgem e contestam a estabilidade deles. Essa contestação é fruto do denominado processo ativo das inovações, isto é, o surgimento de inovações que ferem o suposto equilíbrio e fazem surgir um novo monopólio. Um outro processo é o chamado processo passivo da inovação, onde as inovações conseguintes às radicais são de caráter incremental (POSSAS, 2009).

Além de trazer a inovação para o foco da concorrência, Schumpeter também destacou o papel que elas possuem em não só alterar as estruturas industriais, como o desenvolvimento de monopólios, por exemplo, mas também amplos aspectos da vida econômica, social e ambiental. Foi o que o autor chamou de “a destruição criadora” do capitalismo, isto é, as inovações criando novas estruturas e condições, deteriorando as antigas (SCHUMPETER, 1942). Por fim vale destacar que Schumpeter não desconsidera o papel do meio social e das grandes transformações (guerras, revoluções e desastres ambientais) no processo competitivo. Para o autor, essas questões também são relevantes e influenciam as empresas, entretanto o contínuo desenvolvimento de novos bens, novos métodos de produção ou transporte, novos mercados criados são o impulso fundamental da competição no capitalismo (SCHUMPETER, 1942).

As principais implicações que a teoria schumpeteriana oferece sobre a concorrência são: ela é um processo dinâmico movido pelas ações criativas das empresas, concorrência não é o oposto de monopólio, diferenciação entre os agentes tem impacto na lucratividade e estruturas de mercado sofrem influência da concorrência. Elas, além da grande importância dada às inovações, serviram de base para o posterior desenvolvimento das teorias evolucionárias, também chamadas de neo-schumpeterianas.

O grande avanço dessas novas teorias frente à teoria schumpeteriana provém da melhor interpretação microeconômica que elas possuem, uma vez que seus principais autores, destacadamente Nelson e Winter (1982), desenvolveram microfundamentos, que diferentemente da tradição neoclássica, buscam maior compromisso com a realidade. Entre os principais microfundamentos destacam-se a racionalidade limitada, em contraste com a racionalidade maximizadora, e a noção de trajetória, em contraste com o equilíbrio estático (NELSON e WINTER, 1982).

A racionalidade limitada origina-se da incapacidade de as empresas coletarem e interpretarem todas as informações que o ambiente oferece. Deve-se a ela a impossibilidade de as empresas decidirem suas ações com base em fórmulas de

maximização de lucros, como prezam os neoclássicos, por isso as empresas atuam através do desenvolvimento de rotinas (NELSON e WINTER, 1982).

As rotinas são definidas pelos neo-schumpeterianos como padrões de interação e organização que representam soluções bem-sucedidas para problemas particulares (NELSON e WINTER, 1982). As rotinas podem ser de vários tipos: operacionais, que focam na operação cotidiana das empresas; rotinas de busca, relacionadas às inovações, isto é, criação de novas rotinas; rotinas de investimento, onde as empresas decidem ou não se expandem sua capacidade produtiva.

Dois aspectos essenciais precisam ser ressaltados em relação às rotinas. Primeiro, elas são conjuntos de conhecimentos operacionais e tecnológicos armazenados ao longo do tempo, quer dizer, elas seguem uma trajetória, o outro microfundamento. Esse primeiro aspecto quebra com o conceito de equilíbrio estático neoclássico que determina que as ações das empresas são tomadas com bases em dotações de recursos inseridos em uma fórmula matemática de maximização aplicável a qualquer situação e período histórico (NELSON e WINTER, 1982).

Segundo, empresas com melhores rotinas possuem maiores vantagens competitivas (NELSON e WINTER, 2002). Esse segundo aspecto confere o caráter evolucionário das teorias neo-schumpeterianas. Segundo Teece (2007), durante o processo competitivo, apenas as empresas bem adaptadas irão se manter no mercado. A manutenção delas no mercado consiste na construção de dois tipos de capacidade, a *technical fitness*, que seria a aplicação de rotinas operacionais e tecnológicas melhores ou no mínimo iguais às dos concorrentes, e a *evolutionary fitness*, que representa a capacidade de as firmas inovarem em um amplo aspecto tecnológico e organizacional. Vale lembrar que o conceito *fitness* foi retirado da ecologia e representa a capacidade de um ser vivo sobreviver e se perpetuar.

Uma das características das empresas que são selecionadas pelo mercado é o compartilhamento de um conjunto de rotinas semelhantes entre elas. Quando esse conjunto envolve conhecimento complexo de engenharia, processos produtivos, maneiras de lidar com maquinário, características de produto, levando em conta instituições e infraestrutura, diz-se que há um regime tecnológico (RIP e KEMP, 1998).

Regimes tecnológicos são caracterizados por diferentes graus de oportunidades tecnológicas, cumulatividade e apropriabilidade, e a análise dessas características permite relacionar o comportamento das firmas com atual estágio de desenvolvimento em que o regime tecnológico se encontra (MALERBA e ORSENIGO, 1993). Regime tecnológico

também é uma variável endógena, pois ao mesmo tempo em que influencia o comportamento das firmas, também é alterado pelos movimentos delas.

Oportunidade tecnológica representa a facilidade com que as inovações surgem em determinada indústria. Assim níveis altos de oportunidade incentivam as empresas a adotarem estratégias de exploração, que significa a pesquisa por novas possibilidades de inovação. Investimentos em P&D são o melhor exemplo desse tipo de estratégia. Cabe ressaltar que conforme as empresas aumentam seus conhecimentos em pesquisa básica, o nível de oportunidade tecnológica na indústria aumenta (MALERBA e ORSENIGO, 1993).

O início do processo de transição tecnológica é caracterizado por elevado grau de oportunidade tecnológica e, conseqüentemente, diferentes tecnologias com fins similares surgem. Também é um estágio caracterizado pelo surgimento e entrada de novas empresas em determinada indústria em transição tecnológica. Como foi possível observar em capítulo anterior, a transição na indústria do etanol envolve a participação de grande variedade de empresas. Há empresas emergentes como a Enerkem, Granbio, Iogen, Zechem, empresas novas entrantes, como a Dupont, DSM, BioChemtex, SHELL, e empresas que já atuavam na indústria do etanol, como POET e Cosan.

Com o passar do tempo e com a competição, algumas das novas tecnologias e rotinas passam a dominar as outras, e maior atenção e recursos são direcionados ao melhoramento delas, o que representa um processo cumulativo, uma vez que maiores conhecimentos são acumulados em seu uso. Segundo Albernathy e Utterback (1978), esse processo caracteriza o surgimento de um *design* dominante e, quando ele surge, as inovações são cada vez menos de caráter radical e passam a ser mais de caráter incremental.

Uma vez estabelecido o *design* dominante e, conseqüentemente, um regime tecnológico, o conhecimento acumulado de cada firma aumenta, o que dificulta a entrada de novas firmas e leva as firmas incumbentes a aumentarem seus ganhos (NELSON, 1994). Entretanto em muitas indústrias, consideradas maduras, o conhecimento tecnológico já se encontra muito difundido de maneira que há menores dificuldades à entrada de novas empresas (MALERBA e ORSENIGO, 1993).

No caso estudado no capítulo anterior, a indústria do etanol é considerada uma indústria madura, visto que, além do longo período de existência, os conhecimentos necessários para se produzir o E1G já são bem difundidos e novos ganhos de produtividade são limitados. Por outro lado, as tecnologias de segunda geração estão em

processo inicial de aprendizado, pois apenas recentemente as plantas de produção evoluíram das unidades pilotos e de demonstração para a escala comercial.

Por último, tem-se a apropriabilidade que é a capacidade de as firmas protegerem suas inovações e retirarem delas lucros extraordinários. Decorrem dessa variável estratégias que buscam aumentar o grau de apropriabilidade. Uma delas é a busca pelo controle de recursos essenciais para o desenvolvimento de determinada tecnologia ou produto (MALERBA e ORSENIGO, 1993). É interessante notar que o grau de apropriabilidade é influenciado pelo avanço do nível de cumulatividade, assim, altos graus de cumulatividade são responsáveis por maiores graus de apropriabilidade

Hamilton (1985 e 1990) em seu estudo sobre a evolução da introdução da biotecnologia em setores maduros, como o farmacêutico, desenvolveu uma teoria similar à desenvolvida até aqui, contudo ele deu especial atenção as diferentes maneiras como os diferentes tipos de empresas atuam nas transições tecnológicas. Os diferentes tipos de firma destacadas pelo autor são aquelas já mencionados aqui e são as firmas emergentes e as estabelecidas, incumbentes e novas entrantes.

As firmas emergentes são aquelas que surgem com início do processo de transição tecnológica e, geralmente, surgem com o objetivo de aproveitar algumas das diversas possibilidades tecnológicas que existem devido ao elevado grau de oportunidade tecnológica. São caracterizadas por serem empresas pequenas, de base tecnológica e que não possuem conhecimentos nem recursos relacionados à operação em larga escala nem recursos financeiros necessários (HAMILTON, 1985 e 1990).

As empresas estabelecidas incumbentes são aquelas que já atuavam no regime tecnológico a ser contestado pela introdução de novas tecnologias. Em geral, essas empresas não possuem os conhecimentos tecnológicos relacionados às novas tecnologias, entretanto possuem conhecimentos necessários para a produção comercial, como relação com fornecedores de matérias-primas e acesso as vias de distribuição (HAMILTON, 1990).

As empresas estabelecidas novas entrantes são aquelas que possuem posição em outras indústrias, mas que são atraídas para a indústria em transformação pois veem a possibilidade de aplicar seus recursos de maneira competitiva no desenvolvimento da nova tecnologia (HAMILTON, 1990).

Assim o autor distingue as firmas quanto à detenção ou não dos *ativos de núcleo tecnológico* e/ou *ativos complementares*³¹. Os *ativos de núcleo tecnológico* consistem em conhecimentos tácitos ou codificáveis relacionados às novas tecnologias (HAMILTON, 1990), que, no caso das tecnologias de segunda geração, relacionam-se com os conhecimentos ligados à biotecnologia necessária para a produção e desenvolvimento de enzimas e leveduras, ou os conhecimentos ligados à engenharia química e de materiais para o desenvolvimento do pré-tratamento, no caso de rota bioquímica, ou de tanques de gaseificação, além de catalisadores, para as rotas termoquímicas. As *ativos complementares* são os conhecimentos e recursos necessários para que a operação em larga escala seja realizada (HAMILTON, 1990), e, no caso da produção do E2G, envolve a criação de cadeia de abastecimento de matérias-primas, conhecimentos de engenharia para construção de unidades comerciais, acesso à rede de distribuição do E2G e recursos financeiros.

Então as empresas emergentes caracterizam-se por deter algum conhecimento relacionado ao *núcleo tecnológico*, enquanto as incumbentes possuem aqueles ligados aos *ativos complementares*. As estabelecidas novas entrantes, em geral, além de possuir recursos relacionados aos *ativos complementares* podem deter recursos ligados ao *núcleo tecnológico*.

Para o autor, as transições tecnológicas ocorrem em três fases, e em cada uma delas os diferentes tipos de empresas assumem diferentes tipos de estratégias. No caso das firmas estabelecidas, em um primeiro momento, após o surgimento da tecnologia radical, ela precisa *expandir seus horizontes*³², isto é, identificar potenciais tecnologias e aumentar seus conhecimentos sobre elas. Esse objetivo é alcançado através de programas internos de P&D ou em colaboração com terceiros, como universidades, outras empresas e laboratórios. Em seguida, há a necessidade de se *criar opções*, ou seja, identificação de oportunidades para uso comercial das novas tecnologias. Nessa fase, as empresas, em parcerias ou internamente, focam seus investimentos em tecnologias específicas ou nichos de mercados, onde as novas tecnologias são mais bem aceitas ou mais competitivas. Por fim, na última fase, as estabelecidas precisam *estabelecer posição*, que se refere ao comprometimento de longo prazo da firma com a nova tecnologia, quando

³¹ Respectivamente a tradução de core technical assets e complementary assets utilizado por Hamilton (1985).

³²O termo é uma adaptação de *open windows* utilizado por Hamilton (1985 e 1990).

ela passa a investir em seu uso em larga escala com respectivos esforços de expansão de mercado (HAMILTON, 1985 e 1990).

Para as empresas emergentes, o primeiro passo é *criar negócios*, isto é, precisa demonstrar o potencial da tecnologia que pretende desenvolver de maneira a atrair investidores, visto que a superação da falta de recursos financeiros é uma das principais dificuldades a se superar. Vale a ressalva de que o comprometimento inicial das emergentes está muito limitado aos recursos de que dispõem. Esses recursos, em geral originam-se de apoio governamental, capitalistas de risco ou empresas estabelecidas. Em seguida, *expandir posição* significa a busca por novos parceiros e investimentos que possibilitem o contínuo investimento na tecnologia desenvolvida para que novas oportunidades de aplicação sejam descobertas. Por fim, o *estabelecimento de posição* é a busca por capacidades, que pode ser através de parcerias com outras empresas para operação em larga escala, seguindo algumas das possibilidades que a tecnologia desenvolvida oferece (HAMILTON, 1990).

Percebe-se a importância que as parcerias entre empresas e governo possuem no desenvolvimento de uma tecnologia até sua aplicação em larga escala. Hamilton (1985 e 1990) destacou que o objetivo dessas parcerias é a busca de complementação de capacidades, principalmente em uma segunda fase, quando se dá o processo de saída das fases experimentais para as fases de produção. No capítulo seguinte, o papel das parcerias ficará mais evidente, porém, com base nos capítulos anteriores, já é possível perceber essa relevância, principalmente quando parcerias são formadas entre empresas ligadas ao abastecimento de matérias-primas e as empresas produtoras de E2G, como é o caso da Green Woods e Zechem, ou entre empresas de biotecnologia e de engenharia, como o da Dyadic e a Abengoa.

Além das firmas destacadas até aqui como principais agentes dentro das transições tecnológicas, diversos outros agentes, como governo, universidades, institutos de pesquisa, fundações, consumidores também estão envolvidos nesse processo. O papel desses outros agentes fica mais evidente quando se leva em consideração não só o processo de transição tecnológica, mas também como as inovações radicais, aquelas que abalam os regimes, surgem.

Diversos autores (GEELS, 2002; KEMP *et al*, 1998) sustentam que para melhor compreender o processo de transição tecnológica é preciso identificar as causas que levam ao surgimento das inovações e, para tanto, o conceito de regime tecnológico desenvolvido até aqui não se mostra suficiente, uma vez que ele se restringe muito às questões ligadas

aos conhecimentos técnicos e de engenharias e às rotinas operacionais. Segundo esses autores, o conceito de regime tecnológico precisa ser expandido para regime sociotécnico, explicado a seguir, como na abordagem de transição tecnológica sobre a Perspectiva Multinível (PMN).

A PMN além do destaque dado à diversidade de agentes também leva em consideração as mudanças que ocorrem em uma combinação de fatores de natureza técnica, regulatória, social e comportamental. Essas mudanças ocorrem através de diferentes níveis, uma vez que as inovações surgem nos nichos, passando pelos regimes e impactando em questões culturais, ambientais e sociais, em contextos mais distantes da inovação (OROSKI, 2013).

O regime sociotécnico, dentro da PMN, é considerado o *nível meso*, o que quer dizer que o regime, onde há o processo cumulativo de conhecimento envolvendo uma tecnologia, está entre outros dois níveis, o micro e o macro. A adição do conceito “sócio” deve-se à percepção de que tecnologias só possuem valor quando inseridas em ambientes sociais, de forma que ao se entender as influências sobre regimes tecnológicos também é preciso entender a relação que eles têm com os mais diversos grupos sociais, como consumidores, cientistas, governos etc. (GEELS, 2005).

O regime está inserido dentro de um *nível macro*, também chamado de paisagem. A paisagem consiste em estruturas que se alteram lentamente ao longo do tempo. Tais estruturas são formadas por variada gama de fatores, tais como cultura, valores sociais, questões climáticas, governos, demografia, crescimento econômico e outros fatores macroeconômicos. Apesar de ser lenta a mudança da paisagem, em algumas situações, tais como guerras, epidemias, catástrofes naturais, ela pode se alterar rapidamente (GEELS, 2002)

O *nível micro*, também chamado de nichos tecnológicos, é considerado o berço de um novo regime, pois é de onde surgem as inovações radicais que poderão impactar e alterar o regime sociotecnológico. As tecnologias em desenvolvimento nos nichos, devido ao seu estágio inicial, são ineficientes e caras, não conseguindo assim competir com as atuais tecnologias empregadas nos regimes (GEELS, 2004). Em tal situação, os nichos oferecem um ambiente de proteção para essas novas tecnologias. Essa proteção pode ser originária de rotinas de P&D de firmas, subsídios dos governos, empresas estatais, universidades, centros de pesquisa do governo, oferecimento de *grants* etc. (KEMP *et al*, 2001).

Dentro da lógica do modelo multi-nível para transições tecnológicas, as novas tecnologias surgem nos nichos tecnológicos geralmente em respostas a problemas que o regime não consegue solucionar. Os atores envolvidos nos nichos acreditam que as novas tecnologias irão ser usadas no regime ou inclusive substituí-lo completamente (GEELS, 2002). Isto é, os nichos garantem tempo necessário para que as novas tecnologias sejam testadas e um *design* dominante surja.

As novas tecnologias começam a transitar dos nichos para o regime quando melhorias nos preços e performances já são evidentes, quando oportunidades externas se criam e novas regras se estabilizam. Em outras palavras, pode se considerar como a passagem da fase laboratorial para as etapas de produção em plantas de demonstração e, em seguida, comerciais. Nessa nova fase, a maior difusão das novas tecnologias começa a contestar as do antigo regime e, à medida que ela ganha maior espaço, as mudanças estruturais, institucionais, culturais, ambientais começam a ser percebidas (GEELS, 2004). Ao extremo, pode ser que ocorra a completa substituição da velha tecnologia e, conseqüentemente, um novo regime socio-técnico ocupe o lugar do antigo.

Durante o processo de transição, é interessante notar que dos nichos, que, como foi visto, são ambientes onde as novas tecnologias encontram condições para seu desenvolvimento, surgem diferentes tipos de tecnologias. Entretanto, durante a passagem para o regime, onde as condições de mercado são muito relevantes, muitas delas não se mostram competitivas e acabam por ter seu desenvolvimento interrompido. É então comum que, dessa passagem, o processo seletivo acabe por levar diversas empresas à falência, principalmente aquelas pequenas, como *start-ups*, ou que empresas estabelecidas redirecionem seus investimentos para outras tecnologias.

Apesar da abordagem multi-level parecer unidirecional, isto é, que a transição tecnológica comece necessariamente nos nichos e evolui para o regime que, por fim, irá alterar aspectos da paisagem, muitos autores, como Berkhout *et al.* (2004), consideram que a relação inversa é muitas vezes mais relevante do que a descrita aqui. A relação inversa então seria mudanças que acontecem na paisagem que possuem a capacidade de influenciar e induzir inovações no regime e nos nichos. Os autores, por exemplo, citam que, desde meados dos anos 80, as preocupações ambientais, questão presente na paisagem, têm sido o principal *driver* a instigarem inovações nos regimes e também nos nichos. Assim, sobre influência de mudanças nas paisagens, inovações podem surgir também de dentro dos próprios regimes, o que poderia ser considerado uma adaptação do

antigo regime a uma nova realidade (BERKHOUT *et al*, 2004). Nesse caso, os regimes abririam espaços para que as inovações do nicho se conectem a eles (OROSKI, 2013).

Sobre o olhar da PMN, no que foi descrito no capítulo anterior, percebe-se que os principais *drivers* a incentivarem as tecnologias de segunda geração são o avanço das questões ligadas ao meio-ambiente e à incapacidade das tecnologias de primeira geração se expandirem sem a necessidade de expansão de lavouras.

Influenciadas por esses *drivers*, os governos de diversos países passaram a dar apoio aos mais diversos tipos de empresas. Também laboratórios governamentais e universidades passaram a dar maior atenção às tecnologias de segunda geração. As grandes empresas, dos mais diversos setores, também passaram a investir no desenvolvimento interno ou em parceria com pequenas empresas. Essas condições criaram o nicho necessário para que as diferentes tecnologias de segunda geração passassem a ser testadas

Ainda não se pode dizer que as novas tecnologias de segunda geração saíram do nicho e passaram a contestar o atual regime, pois ainda não foi possível observar um *design* dominante, e o apoio do governo ainda é essencial para que as condições de proteção às novas tecnologias se mantenham. Contudo, como foi visto no capítulo anterior, já é possível observar diversas mudanças de caráter industrial, social, cultural e regulatório envolvendo diversos agentes. Por exemplo, em relação ao consumo percebe-se que a perspectiva de expansão na produção de etanol fez surgir diversos tipos de certificados que classificam o etanol quanto a sua origem e capacidade de redução de GEE. Esses certificados são em grande parte frutos de políticas públicas, mas também refletem uma maior preocupação do consumidor com as questões ambientais. Ainda, principalmente nos EUA e Brasil, é possível perceber reflexos no avanço do consumo de carros *flex*.

Sobre regulação, a expansão da produção do E2G aliado a suas qualidades fez com que diversos países passassem adotar mandatos obrigatórios de mistura de etanol à gasolina, principalmente em substituição ao tetraetilchumbo. No âmbito social, ainda com impacto muito reduzido, mudanças são observadas com o aumento da renda dos produtores rurais, uma vez que passaram a também vender resíduos agrícolas. Devido a maior complexidade tecnológica, melhores salários são pagos aos operários das usinas, visto ser necessário maior qualificação dos trabalhadores.

Uma outra maneira de observar essas mudanças dentro da indústria é através da observação dos diferentes MN das firmas que pertencem a ela. Como foi dito, MN

representam a maneira como a firma atua na indústria, e, quando a empresa cria seu MN, leva em consideração amplo aspecto industrial, social e econômico do ambiente onde ela se situa. Na próxima seção, será feita uma discussão sobre MN de maneira a possibilitar a elaboração dos MN de algumas das principais empresas envolvidas na produção do E2G.

4.3 MODELOS DE NEGÓCIOS

Schumpeter (1942) apenas considera novas tecnologias como inovações se estas forem bem aceitas e conseguirem ser comercializadas. De outra forma, a nova tecnologia não apresenta nenhum valor. Em uma literatura mais moderna considera-se que o uso de uma nova tecnologia só possui valor quando a elas estão atrelados a bons MN (TEECE, 2010; CHESBROUGH, 2003). Segundo Chesbrough (2003), uma tecnologia medíocre seguida de um bom MN poderá ser mais valiosa que uma tecnologia fantástica atrelada a um MN medíocre.

A literatura econômica sobre MN é recente e tem ganhado mais espaço à medida que as tecnologias de informação, computacionais e o *e-commerce* avançam cada vez mais dentro das mais diversas indústrias. O crescimento dessas tecnologias permite que cada vez mais as tradicionais relações entre empresas, fornecedores e consumidores sejam superadas por novas maneiras de se relacionarem (TEECE, 2010). Contudo deve-se a sua relativa novidade à existência de diferentes definições do que sejam MN.

Segundo Magretta (2002), MN devem ser considerados como histórias que explicam como as empresas agem. Eles devem refletir as hipóteses das empresas sobre o que os consumidores desejam, como eles querem, como eles vão pagar e como a firma deve se organizar para tanto (TEECE, 2010). Assim a definição de MN que será usada neste trabalho é aquela que divide os MN em proposição de valor, criação de valor e captura de valor (TEECE, 2010; CHESBROUGH, 2003).

A proposição de valor de um produto ou serviço é o diferencial encontrado nele, que busca solucionar problemas identificados pelos consumidores. Consequentemente, a definição da proposição de valor depende do segmento de mercado que se pretende atingir (CHESBROUGH, 2003).

A criação de valor representa a maneira como a empresa produz seu produto ou serviço e como, entre os diferentes elos da cadeia de produção, a empresa consegue criar mais valor para si. Geralmente a criação de valor é realizada em um contexto de rede de valor, o que significa que o processo produtivo é realizado em parcerias com outros agentes (CHESBROUGH, 2003). Essas parcerias podem envolver desde relações simples

com fornecedores de insumos até junções entre empresas que busquem complementar seus recursos produtivos.

Os recursos produtivos considerados aqui seguem uma visão penrosiana e são representados por conhecimentos acumulados, ativos tangíveis e intangíveis (DEMIL e LECOCQ, 2003). Segundo essa visão, os recursos produtivos, mesmo que semelhantes entre as empresas, podem ser usados de maneiras diferentes (PENROSE, 1959. Exemplos de recursos produtivos são: plantas de produção, *know how* tecnológico acumulado, acesso a matérias-primas etc.

A captura de valor é o objetivo final que leva as empresas a competirem em uma indústria, uma vez que ela representa a maneira como elas lucram (TEECE, 2010). Essa linguagem está em íntima relação com os lucros extraordinários discutidos na seção anterior, pois, como foi visto, o incentivo da firma a inovar é a possibilidade de lucrar acima das margens normais da indústria onde ela atua, entretanto esse diferencial só será possível se a firma desenvolver um bom MN.

Teece (2010) argumenta que para que uma empresa capture valor de uma inovação tecnológica, ela precisa estar associada a MN enquadrados dentro de uma estratégia empresarial. Estratégia para o autor é um conceito mais abrangente que MN e considera a determinação de proposição de valor para cada mercado onde a empresa atua e, em cada um deles, desenvolver maneiras que dificultem que as empresas concorrentes imitem o MN aplicado. Para o autor, a principal maneira de dificultar a imitação de um MN é através da utilização de recursos produtivos de difícil imitabilidade na criação de valor (TEECE, 2010).

De forma semelhante, Magretta (2002) define estratégia como a capacidade da firma manter-se diferente das demais empresas. Com o exemplo do Wall Mart, ela argumenta que, a partir de uma estratégia diferente, a empresa conseguiu melhores rendimentos que as demais, mesmo utilizando MN semelhantes ao delas.

Magretta (2002) aponta que Sam Walton, quando abriu sua primeira loja do Wall Mart em 1962, conseguiu ganhar seus concorrentes, pois possuía uma estratégia única. A sua estratégia consistia em construir grandes lojas próximas a pequenas cidades, que até então eram ignoradas pelas outras empresas de supermercados. Uma vez estabelecida a loja, a demanda das cidades era tão pequena que não comportavam outras lojas. Sendo assim, a estratégia do Wall Mart era difícil de replicar, uma vez que, por ter sido a primeira empresa a se estabelecer nas cidades pequenas, impedia a construção de outras lojas pelos

concorrentes (MAGRETTA, 2002). Assim, apesar de utilizar MN semelhante aos demais concorrentes, o Wall Mart conseguiu se destacar graças a sua estratégia única.

Os autores (TEECE, 2010; MAGRETTA, 2002) argumentam ainda que para que o MN permita a captura de valor ao longo do tempo, precisam estar em contínua adaptação. Essas adaptações são respostas às mudanças externas percebidas pelas empresas, respostas às ações dos concorrentes e aos avanços tecnológicos. Em outras palavras, essas adaptações dos MN representam a necessidade de que eles próprios sejam o alvo de constantes inovações.

Ao estar em constantes mudanças, o estudo dos MN pode seguir uma abordagem dinâmica (DEMIL e LECOCQ, 2010) e é interessante notar que por serem criados para responder a questões externas e com base em recursos internos, uma análise da evolução dos MN de empresas dentro de determinada indústria permite estudar como se dá o processo de transição tecnológica dentro dessa indústria (OROSKI, 2013).

Contudo este trabalho seguirá uma abordagem estática dos MN, que foram elaborados como respostas das empresas à introdução de uma nova tecnologia, no caso, as tecnologias de segunda geração. A vantagem de se usar uma abordagem estática é a possibilidade da elaboração de quadros que permitem a comparação entre as diferentes respostas dadas pelas diferentes empresas às dificuldades que surgiram com a chegada à produção em larga escala do E2G. Entretanto, apesar de seguir uma abordagem estática, há de se ressaltar que, ao se elaborar um MN para determinada empresa, esse MN retrata como a empresa utiliza seus recursos produtivos, e como foi visto, como são construídos através de processos cumulativos.

Como é de se esperar, o desenvolvimento dos MN varia entre os tipos de empresas, uma vez que entre elas há grande diferencial entre os recursos produtivos possuídos. Destacadamente, a diferença entre a forma de criação de valor entre empresas estabelecidas e emergentes é bem significativa (CHESBROUGH, 2003. BOHNSACK *et al.*, 2014).

Segundo Chesbrough (2003), as empresas estabelecidas tendem a adaptar as novas tecnologias aos seus MN já existentes, ou, mesmo quando há inovação no MN, eles mantêm muitas características dos anteriores. Esse comportamento é explicado pelo autor devido à existência de uma lógica dominante dentro das empresas. A lógica dominante é a maneira como a empresa interpreta o ambiente onde ela atua, assim como a maneira como ela compete nesse ambiente a fim de lucrar. A criação dessa lógica dominante é útil, uma vez que permite o desenvolvimento das rotinas necessárias para coordenar o

funcionamento da empresa. Entretanto essa lógica dominante acaba por limitar a visão da firma, impedindo que ela identifique novas oportunidades de desenvolvimento de novos MN.

De acordo com Amit e Zott (2001) e Teece (2010), as empresas estabelecidas focam sua atenção no desenvolvimento de MN que levem a ganhos de eficiência no processo de criação de valor ou que permitam a alavancagem dos *ativos complementares*, de maneira a reduzir custos e reforçar sua posição competitiva. Como nesses procedimentos as regras de decisão das empresas são mantidas, os ativos internos não são alterados e como não há criação de novos mercados, as empresas estabelecidas acabam não divergindo muito dos seus atuais MN (CHESBROUGH e ROSENBLOOM, 2002).

Assim Bohnsack *et al.* (2014) afirma que, no processo de desenvolvimento de MN das empresas estabelecidas, a *dependência de caminho* se faz muito atuante, e MN bem-sucedidos anteriormente tendem a ser replicados pela empresa. Ainda os autores destacam que quando há inovação de MN pelas empresas estabelecidas, dificilmente será uma inovação radical. Segundo os autores, devido à grande quantidade de recursos que as empresas estabelecidas possuem, elas são capazes de desenvolver e experimentar diferentes tipos de MN ao mesmo tempo. O que possibilita a escolha daquele que mais se adapta ao MN tradicional da empresa.

Diferentemente das estabelecidas, as empresas emergentes não possuem grande influência da dependência de caminho, assim elas são mais flexíveis em desenvolver MN radicais. Consequentemente é esperado que essas empresas deem ênfase às novidades como principal fonte de criação de valor. Também se espera que o principal objetivo do desenvolvimento de MN seja a busca de *ativos complementares* detidos por novos parceiros (CHESBROUGH e ROSENBLOOM, 2002; AMIT e ZOTT, 2011).

No caso das empresas emergentes, a principal restrição no desenvolvimento de seus MN é a falta de recursos. Assim dificilmente as empresas emergentes têm capacidade de testar mais de um MN ao mesmo tempo e não conseguem sustentar essa fase de experimentação durante muito tempo (BOHNSACK *et al.* 2014). Assim, diferente do caso das firmas estabelecidas que possuem maior capacidade de adaptação, uma vez estabelecido seu MN, a empresa emergente fica muito vulnerável a variações drásticas no ambiente externo ao longo do tempo (BOHNSACK *et al.* 2014).

4.4 CONCLUSÕES

Os capítulos anteriores trataram de descrever o processo de introdução das tecnologias de segunda geração na indústria do etanol. A partir do que foi discutido nesses capítulos é possível determinar tal processo como início de uma transição tecnológica.

Em tal situação, há, além do surgimento de muitas novas firmas, a entrada de diversas outras estabelecidas e a reação das firmas incumbentes. Essas diferentes firmas possuem capacidades e recursos distintos, o que, conseqüentemente, acarreta o desenvolvimento de uma grande variedade de distintos MN atrelados às tecnologias de segunda geração. O desenvolvimento de novos MN é necessário, uma vez que as tecnologias de segunda geração são de caráter disruptivo, e a atual maneira como o E1G é produzido é incompatível com o uso das novas tecnologias.

Os novos MN precisam então solucionar questões relacionadas principalmente a criação de valor, pois as tecnologias de segunda geração são inovações de processo. O uso de uma abordagem estática de MN então permite a comparação de como as empresas estão se organizando para produzir o E2G.

No próximo capítulo, os MN das primeiras empresas que inauguraram suas plantas comerciais de E2G serão elaborados. O uso da abordagem estática dos MN então permite observar como as mais diversas empresas estão respondendo às dificuldades que as novas tecnologias impõem para a produção do E2G.

CAPÍTULO 5- MODELOS DE NEGÓCIOS EM ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

5.1 INTRODUÇÃO

Como foi discutido no capítulo anterior, o sucesso da utilização de uma nova tecnologia está intimamente relacionado ao modelo de negócio atrelado a ela. Geralmente, quando se fala sobre novos modelos de negócios, esses são relacionados a inovações de produtos, de maneira que tão importante quanto a forma como esse produto é criado é a diferenciação que ele oferece, isto é, qual a sua proposição de valor.

Neste trabalho, as inovações radicais estudadas são inovações de processo, de maneira que o produto final oferecido pelas diferentes empresas é o mesmo, o E2G. Inclusive, apesar de ser ambientalmente superior ao E1G, os dois possuem os mesmos usos, de forma que, se as questões de âmbito ambientais não fossem relevantes, não haveria necessidade de diferenciar os dois tipos de etanol.

Com isso, no que tange a aplicabilidade do E2G, há pouco espaço para o desenvolvimento de novas proposições de valores. Contudo, dado ao caráter disruptivo das tecnologias de segunda geração, o que inclui a utilização de novos tipos de matérias-primas e a participação de perfis variados de empresas, é esperado que haja uma grande variedade de diferentes modelos de negócios, dadas as diferentes maneiras que as firmas se organizam para produzir o E2G.

Neste capítulo serão elaborados os modelos de negócios das empresas que atualmente possuem plantas comerciais de E2G. Os modelos de negócios serão elaborados segundo a definição descrita no capítulo anterior, isto é, como as empresas propõem, criam e capturam valor. A abordagem utilizada será estática, de forma a permitir comparar os diferentes modelos de negócios desenvolvidos nessa fase essencial da transição tecnológica da indústria do etanol, o início da produção em larga escala.

Entretanto, apesar da abordagem estática, a comparação entre os diferentes modelos de negócios será precedida de uma descrição da evolução das empresas dentro da indústria do etanol, com o objetivo de conseguir classificar a empresa quanto ao seu perfil, assim como identificar quais seus recursos produtivos capazes de proporcionarem a captura de valor. As empresas selecionadas foram a Enerkem, Granbio, Abengoa, Raízen, Dupont, Poet-DSM e Beta Renewables.

Em seguida, os modelos de negócios das empresas serão analisados de forma conjunta, ou seja, haverá uma seção falando das proposições de valor, uma sobre a criação

de valor e uma sobre a captura. Entretanto, nas conclusões do capítulo, haverá uma tabela contendo um resumo dos modelos de negócios de cada empresa.

5.2 EVOLUÇÃO DAS EMPRESAS

Nesta seção a história de sete empresas, que atualmente possuem plantas comerciais de E2G, serão descritas. Algumas dessas empresas são centenárias, sendo assim o foco das descrições será a partir do momento em que elas passaram a atuar com a produção do etanol.

Os dados utilizados para descrever a evolução das firmas e também para a elaboração dos modelos de negócios foram coletados principalmente de fontes secundárias fornecidas pelas empresas, como em relatórios anuais, *press releases* oficiais, *sites* oficiais e apresentações de representantes das empresas. Também foram utilizadas informações presentes em sites especializados em bioeconomia, como os sites Ethanol Producer, Biofuels Digests e Nova Cana. Informações disponíveis em sites e relatórios de diversas agências governamentais e internacionais também foram largamente utilizadas.

5.2.1 ENERKEM

Origens

A Enerkem é uma *start-up* canadense que, como muitas outras, tem sua origem relacionada a universidades. No caso dessa empresa, sua origem deve-se aos trabalhos de Esteban Chornet, professor de engenharia química da Universidade de Sherbrooke, que há anos vem se dedicando aos estudos relacionados à transformação de biomassa em biocombustíveis. Além dos trabalhos acadêmicos, entre 1993 e 2003, o professor atuou como um dos principais cientistas atuantes no NREL nos EUA. A tecnologia desenvolvida pela Enerkem é de gaseificação e foi criada por Esteban Chornet, entretanto a iniciativa de fundar a empresa partiu de seu filho, Vincent Chornet, que atuava no mercado financeiro, principalmente na administração de fundos para *start-ups* (ENERKEM, 2016).

Apesar de em parceria com a Universidade de Sherbrooke a empresa já ter testado sua tecnologia em laboratórios, o avanço para a sua comercialização necessitava de recursos financeiros, operacionais e mercadológicos que a empresa não possuía. Esse problema foi resolvido através de inúmeras parcerias realizadas com outras empresas e apoio do governo.

Entrada no E2G e principais parcerias

O primeiro passo da Enerkem para a comercialização de sua tecnologia foi a construção de sua planta piloto inaugurada em 2003. O projeto, que levou o nome de Sherbrooke Pilot Plant and Research Center, opera com relação muito próxima com a Universidade de Sherbrooke e tem como objetivo principal o teste de novas matérias-primas com uso da tecnologia da Enerkem (BACOVSKY, 2013). A construção da planta só foi possível graças ao apoio financeiro do Governo Canadense por meio da SDTC (SDTC, 2016). A planta tem capacidade de processar cerca 5 toneladas por dia e já comprovou que a tecnologia da Enerkem é capaz de processar mais de 25 tipos diferentes de matérias-primas (BACOVSKY, 2013).

Em 2007, a empresa anunciou a construção de sua primeira planta de demonstração, porém, antes de sua inauguração em 2009, alguns outros avanços foram realizadas pela Enerkem. Um deles foi a realização da parceria com a GreenFields Ethanol, uma das maiores produtoras de etanol do Canadá, em 2008. Dessa parceria, além de apoio financeiro, a GreenFields Ethanol se comprometeu a comprar o etanol produzido pela planta de demonstração (SEC, 2012). Surgiu também dessa parceria a Varneco, uma *joint venture* entre as duas empresas. A Varneco pretende inaugurar em 2016 sua primeira planta comercial de E2G que será anexada em uma planta de E1G da GreenFields Ethanol. O projeto contou com apoio do Governo de Quebec, que cedeu C\$ 18 milhões em *grants*, e do SDTC, que em 2013 investiu no projeto C\$ 734 mil e que pode elevar o financiamento para C\$ 38 milhões caso alguns marcos sejam atingidos (BIOFUELSDIGEST, 2015). Ainda em 2008, a Enerkem juntamente com a prefeitura da cidade de Edmonton, Alberta, Canadá, anunciaram o plano de construir a primeira planta comercial de E2G do Canadá, que foi inaugurada em 2014.

A planta demo da Enerkem, localizada em Westbury, Quebec, foi construída em anexo a uma serraria e tem capacidade anual de produção de E2G de 1,3 milhões de galões (\approx 4,8 milhões de litros). A matéria-prima utilizada é a serragem proveniente da reciclagem de postes de eletricidade. Entre 2009 e 2011, a unidade só produzia o gás de síntese, neste último ano ela começou a produzir o metanol e apenas em 2012 ela começou a produção de E2G (AEC, 2014).

Os avanços da Enerkem atraíram o interesse de outras grandes empresas provenientes de diferentes setores. Uma dessas empresas é a Waste Management que em 2010 investiu C\$ 53 milhões na Enerkem, tornando-se assim uma de suas principais acionistas (ENERKEM, 2016). A Waste Management é uma grande empresa norte americana que opera em diversos países, atuando na administração de aterros sanitário e

centros de reciclagem. A empresa também atua com a remoção de resíduos hospitalar e desenvolve soluções para tratamento de resíduos urbanos e industriais (BIOFUELSDIGEST, 2014). Outra grande empresa que passou a ser acionista da Enerkem, após investir cerca de C\$ 75,5 milhões, foi a Valero, empresa refinadora de petróleo e também grande produtora de E1G nos EUA (ENERKEM, 2016).

Além do suporte financeiro, a Enerkem possui com essas duas empresas acordos de licenciamentos de sua tecnologia. O acordo com Waste Management contempla a venda de sistemas usando a tecnologia da Enerkem em até seis *sites*, o que representaria uma capacidade de produção de E2G de algo em torno de 100 a 120 milhões de galões ano (entre 370 a 444 milhões de litros). Com a Valero, o acordo é para que a empresa use a tecnologia da Enerkem na construção de novas plantas comerciais, dedicadas ou em anexo a plantas de E1G da Valero (SEC, 2012). Em 2014, a AkzoNobel, empresa química holandesa, assinou contrato com a Enerkem para utilizar sua tecnologia na Europa para a produção de amônia e metanol (ENERKEM, 2016).

Desde 2008, outros importantes agentes que passaram a financiar a Enerkem foram as empresas de capital de risco, destaque merece ser dado ao ano de 2013, quando elas investiram C\$ 87 milhões na empresa (CANADA, 2016). Além de financiar, algumas empresas de capital de risco ainda compõem o quadro administrativo da Enerkem, como é o caso da presença dos diretores Joshua Ruch e Neil Suslak, que além de diretores da Enerkem são respectivamente *Chairman* da RHO Capitals e diretor da Braemar Energy Ventures, duas empresas de capital de risco (ENERKEM, 2016).

Entrada na fase de produção comercial

Em 2014, foi inaugurada a planta comercial da Enerkem em Edmonton, Alberta. A planta que usa como matéria-prima resíduos sólidos urbanos foi construída nas proximidades de um aterro da cidade (ADC, 2014). Contudo a planta ainda não produz E2G, e apenas em 2015 ela começou a produzir o metanol (ENERKEM, 2016). Além dos já citados parceiros, a Alberta Innovates, empresa governamental, investiu C\$ 20 milhões no projeto e administra a unidade juntamente com a Enerkem. O SDTC investiu na unidade C\$ 63 milhões dos C\$ 174 milhões que custou o projeto (SDTC, 2016).

O próximo importante passo da Enerkem foi sua expansão para os EUA. Nesse país, a empresa conseguiu o financiamento de U\$ 110 milhões para a construção de uma outra unidade de produção comercial de E2G (BIOFUELSDIGEST, 2015). A unidade seguirá o mesmo padrão da de Alberta e será construída próxima a um aterro sanitário da cidade

de Prontotoc, no Estado do Mississippi, e tem sua inauguração prevista apenas para 2020 (NREL, 2016).

Características da planta comercial: Enerkem Alberta Biofuels.

Matéria-prima: logística e custos

A planta da Enerkem utiliza como matéria-prima resíduos sólidos urbanos provenientes de um aterro sanitário da cidade de Edmonton, Alberta, Canadá. O responsável pelo fornecimento da matéria-prima é a prefeitura da cidade que fechou um contrato de 25 anos de fornecimento para a Enerkem (BACOVSKY, 2013). A consultoria Jacobs Consultancy (2013) estimou que o custo por tonelada de matéria-prima utilizada em cerca de -U\$ 75 por tonelada ou -U\$ 0,33 por litro de E2G. Esse custo negativo significa que a Enerkem recebe para processar a matéria-prima utilizada.

Não foi preciso desenvolver toda uma nova logística de abastecimento de matéria-prima, uma vez que a coleta de resíduos sólidos urbanos na cidade já era realizada. A dificuldade encontra-se na separação dos diferentes tipos de resíduos que chegam ao aterro. Nesse quesito, muito provavelmente, os conhecimentos da Waste Management foram determinantes para que a cadeia de abastecimento fosse completada. Cabe aqui ressaltar que no quadro administrativo da Enerkem constam alguns ex-funcionários da Waste Management, incluindo o vice-presidente da Enerkem, Tim Cesarek (ENERKEM, 2016).

Segundo a empresa, o processo de produção de sua fábrica tem a capacidade de reduzir em 90% todo o material que seria depositado no aterro, uma vez que do total de resíduos que chegam ao processo de seleção 20% são encaminhados para centros de reciclagem (metais e vidros), 40 % são vendidos no mercado como compostado (material orgânico utilizado como fertilizante) e 30% são efetivamente utilizados pela empresa para produção de bioquímicos. A capacidade de processamento diária da usina é de 350 toneladas e a anual de 100 mil toneladas (MILES, 2015).

Tecnologia: processos, custos de capital e custos de produção

A usina de Alberta, que custou cerca de U\$ 100 milhões, utiliza a tecnologia de gaseificação e foi construída segundo uma abordagem modular, isto é, as peças da usina são pré-fabricadas e instaladas no local. Os outros projetos da Enerkem, nos EUA e em

Quebec, em parceria com a GreenFields Ethanol, vão seguir o mesmo padrão que consiste em 28 peças estruturais e 15 módulos de processo (MILES, 2015).

A planta comercial da Enerkem em Alberta tem capacidade de produção de 10 milhões de galões (\approx 38 milhões de litros) por ano. A empresa não divulgou o seu custo de produção, entretanto a Jacobs Consultancy (2013) estimou que o custo por litro do E2G da empresa pode alcançar cerca de U\$ 0,38.

Como já foi dito, a Enerkem ainda não produziu E2G em sua planta comercial, entretanto os possíveis destinos de sua produção são o próprio Estado de Alberta, que possui mandato obrigatório de mistura de etanol na gasolina (REN, 2015), e a Valero, uma grande empresa de E1G e refinadora de petróleo, que nos EUA é obrigada a misturar E2G a sua gasolina produzida. Por fim, vale ressaltar que o E2G produzido pela a Enerkem tem a capacidade de reduzir entre 70-80% as emissões de GEE quando comparado com a gasolina (ENERKEM, 2009).

5.2.2 GRANBIO

Origens

A Granbio é uma *start-up* brasileira que atua no desenvolvimento de microrganismos, novos bioquímicos, novas variedades de vegetais e na produção do E2G. A empresa foi fundada em 2011 com o nome de Graalbio e dentre seus fundadores constam muitos ex diretores da Braskem, maior empresa petroquímica brasileira que pertence ao grupo Odebrecht.

Dentre as principais lideranças executivas da empresa, quatro atuavam na Braskem, incluindo o presidente e também um dos criadores da Granbio, Bernardo Gradin, e o vice presidente, Alan Hiltner. Segundo Gradin, em empresas grandes, como a Braskem, é muito difícil se reinventar sendo o foco das inovações em inovações incrementais. Em empresas menores, como a Granbio, há muito mais flexibilidade para adaptações às inovações radicais (FOLHADESÃO PAULO, 2014).

Principais parcerias

A empresa é uma das principais apostas do BNDES para que o Brasil se torne uma das referências no desenvolvimento da cadeia do E2G. Além dos financiamentos cedidos à Granbio via PAISS I e PAISS II, o banco passou a ser um dos principais investidores da empresa. Em 2013, o BNDESPar, setor do banco responsável pela administração das participações acionárias, investiu R\$ 600 milhões na empresa, passando a deter 15% da participação de capital da Granbio. O BNDES ainda possui uma cadeira no quadro administrativo da empresa (GRANBIO, 2013). O restante das participações pertencem à

GranInvestimentos, *holding* da família Gradin, também fundada em 2011 com o objetivo de desenvolver os negócios da família Gradin (GRANBIO, 2016).

Entrada na fase de produção comercial

A primeira planta comercial de E2G da empresa foi inaugurada em 2014 e segue a rota de hidrólise enzimática. A tecnologia de pré-tratamento utilizada é a da Beta Renewables. As enzimas são da Novozymes, e as leveduras geneticamente alterada da DSM. A matéria-prima utilizada é fornecida pelo grupo Carlos Lyra, tradicional grupo produtor de E1G no Nordeste do Brasil (GRANBIO, 2016). Entretanto a empresa também atua no desenvolvimento de inovações em toda a cadeia de produção do produto, desde novas variedades de cana-de-açúcar até novos bioprodutos.

Na área de desenvolvimento agrícola, a Granbio, através de sua subsidiária, a BioVertis, aposta no desenvolvimento da Cana Vertix, um tipo de cana energia, *energy crop* herbácea, que surgiu através do cruzamento de variedades comerciais de cana-de-açúcar com variedades ancestrais. Segundo a empresa, a Cana Vertix é 200% mais produtiva que a cana tradicional, isto é, seria capaz de produzir cerca de 250 toneladas por hectare. Outras vantagens da Cana Vertix são a possibilidade de poder ser colhida em qualquer época do ano, aumentar a vida útil do canavial e necessitar de menos água para irrigação (FOLHADESÃO PAULO, 2013; GRANBIO, 2016).

O projeto da cana energia é realizado em parceria com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o CTC e a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA). Em 2013, foi inaugurada uma estação experimental em Barra de São Miguel, Alagoas, de aproximadamente 60 hectares, para o desenvolvimento da cana energia. A estação contou com o financiamento de R\$ 10 milhões da FINEP (GRANBIO, 2013).

Em 2014, a Granbio teve quatro projetos aprovados pelo PAISS Agrícola, incluindo três envolvendo especificamente o desenvolvimento da cana energia, o que representou cerca de R\$ 345 milhões em financiamento. Os projetos aprovados foram o da BioCelere, outra subsidiária da Granbio, de desenvolvimento de melhoramentos genéticos da cana energia envolvendo transgenia, o de desenvolvimento de construção e avaliação de protótipos para plantio e outro de colheita da cana energia utilizando técnicas de agricultura de precisão. Esses projetos estão sendo desenvolvidos em parcerias com grandes empresas de maquinários agrícolas como a CNH e New Holland. O último projeto é o de desenvolvimento de melhores maneiras de colher a palha da cana (FINEP, 2014; MCTI, 2015).

Destaque merece ser dado às conquistas alcançadas pela Granbio na fase agrícola da produção do E2G. No que diz respeito à colheita da palha de cana, a empresa diz ter alcançado a capacidade de coleta superior a 360 mil toneladas/ano com um nível de pureza superior à 97%, isto é, com pouca presença de resíduos minerais. No tocante à cana energia, a empresa já possui uma fazenda de mais de mil hectares da cana energia. Entre 2015 e 2016, foram colhidos 200 hectares de cana energia que foram processados em uma planta de E1G mostrando bons resultados (NOVACANA, 2016).

Em 2013 a Granbio passou a ser proprietária de 25 % das ações da empresa norte americana American Process Inc (API) dando início a suas pesquisas no desenvolvimento de tecnologias de pré-tratamento. A API foi fundada pela engenheira química Theodora Retsina em 1995, inicialmente como uma empresa de consultoria para indústria de celulose. Todavia passou a dedicar-se ao desenvolvimento de eficientes maneiras de pré-tratamento com foco na produção de biocombustíveis (GRANBIO, 2013).

A Granbio possui um centro de pesquisa localizado em Campinas, São Paulo, onde desenvolveu uma nova variedade de levedura capaz de fermentar mais eficientemente os açúcares, tanto C5 quanto C6, derivados da biomassa de cana-de-açúcar. O projeto foi realizado em parceria com a Unicamp. A nova levedura já recebeu autorização da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), porém a Granbio ainda enfrenta dificuldades para a produzi-la em larga escala. Atualmente a empresa faz uso da levedura geneticamente alterada produzida pela DSM (NOVACANA, 2014).

Outra área de interesse da empresa é o desenvolvimento de novos bioquímicos como bio n-butanol destinado à produção de solventes e tintas. Com esse objetivo, a Granbio formou uma *joint venture*, a SGBio, junto com a Rhodia, empresa do grupo Solvay, um dos maiores grupos químicos da Bélgica, em 2014. Um dos principais movimentos da nova empresa foi a aquisição de ativos do Grupo Cobalt Technologies, empresa líder no desenvolvimento do n-butanol. A aquisição compreende banco de microrganismos e ativos de propriedade intelectual como patentes, marcas, processos e métodos (RHODIA, 2015).

Características da planta comercial: Bioflex 1

Matéria-prima: logística e custos

A planta comercial de E2G da Granbio, batizada de Bioflex 1, foi inaugurada em 2014 e foi construída em São Miguel dos Campos, no Estado de Alagoas, próxima a uma das usinas pertencentes ao Grupo Carlos Lyra, grupo fundado em 1951 e tradicional

produtor de açúcar e E1G. O grupo é o responsável pelo fornecimento da matéria-prima que abastece a Bioflex 1. Segundo a empresa de consultoria, Lux Research (2016), o custo por tonelada da palha da cana é de U\$ 40.

Tecnologia: processos, custos de capital e custos de produção

A planta, que utiliza a tecnologia de hidrólise enzimática, tem capacidade anual de processar 400 mil toneladas de biomassa da cana e de produzir 82 milhões de litros de etanol. A tecnologia de pré-tratamento foi licenciada pela Beta Renewables, as enzimas são fornecidas pela Novozymes e as leveduras pela DSM. A Lux Research (2016) estimou que o preço mínimo de venda, que considera o retorno sobre o capital investido, do E2G da Granbio é de U\$ 0,70 por litro. Os custos por litro da empresa giram em torno de U\$ 0,30.

A unidade custou cerca de R\$ 350 milhões (cerca de U\$ 190 milhões) e contou com expressivo financiamento do BNDES, R\$ 300 milhões, via PAISS I. Também foram investidos cerca de U\$ 75 milhões, juntamente com o Grupo Carlos Lyra, para a construção no sistema de cogeração de vapor e energia elétrica. Esse sistema será abastecido com bagaço, palha e lignina, esta última um resíduo da produção do E2G, e terá capacidade de cogeração de 135 mil MWh/ano (GRANBIO, 2016).

Em 2015, a empresa produziu apenas 4 milhões de litros do E2G, o que representa 4% da capacidade instalada. Esse desempenho baixo deve-se à dificuldade de operar eficientemente a fase de pré-tratamento. Entre 2014 e 2015, a Granbio teve que paralisar as atividades duas vezes para realizar adaptações necessárias nos equipamentos para se operar com a palha cana (NOVACANA, 2016). Devido à baixa produção, o E2G, em 2015, foi direcionado ao mercado local, contudo o foco da empresa é exportar o E2G para os EUA, principalmente para o Estado da Califórnia, pois são mercados que oferecem prêmios maiores ao combustível (NOVACANA, 2016).

5.2.3 ABENGOA

Origens

A Abengoa foi criada em 1941 por Javier Benjumea Puigcerver e José Manuel Abaurre Fernández-Pasalagua, dois engenheiros, com o objetivo inicial de vender medidores monofásicos de cinco ampères. Entretanto o negócio não deu certo e a empresa mudou seu foco de atuação para consultoria técnica e de engenharia (SEC, 2014). Em 1952, a Abengoa deixou de ser uma empresa de sociedade limitada e passou a ser de

sociedade anônima. Já a partir dos anos 60, ela começou seu processo de internacionalização avançando por outros países da Europa e Américas. Em 2014, a Abengoa já estava presente em 50 países (SEC, 2014).

As principais áreas de atuação da empresa são as atividades de engenharia, construção e concessões. Nessas áreas, a empresa opera fazendo consultorias de projetos, administrando concessões e fazendo manutenção/construção de barragens, linhas de transmissão, centrais termelétricas, usinas de etanol, usinas de dessalinização, fazendas de energia eólica e solar. Ao total, esses setores geraram em 2014 uma receita de mais de € 5 bilhões, o que representa quase 70% das receitas totais da Abengoa (SEC, 2014). Desses segmentos destaca-se a atuação da empresa na construção de grandes fazendas de geração de energia solar. No período entre 2010 e 2013, treze fazendas de 50 MW foram construídas na Espanha.

Nos EUA, por demanda da Arizona Public Service Company e da Pacific Gas and Electric Company, foram construídas duas plantas de 280 MW cada. Fora esses dois países, a Abengoa construiu diversas fazendas de energia solar na África e América Latina, sendo a maior delas a localizada em Ain Beni Mathar, Marrocos, de capacidade de 470 MW. Além da construção, a empresa também administra algumas dessas plantas. Em 2014, a venda de energia elétrica proveniente de energia solar gerou uma receita de € 335,2 milhões (SEC, 2014).

A Abengoa é uma grande construtora de linhas de transmissão e subestações. Entre o período de 2004 e 2014 foram construídos pela firma mais de 26 mil quilômetros de linhas e mais de 284 subestações de energia. A Abengoa também é responsável por administrar algumas linhas de transmissão. Na América Latina, por exemplo, são mais de 12 mil quilômetros sobre concessão da empresa, sendo que no Brasil, a Abengoa é a maior empresa privada a atuar na área (ABENGOA, 2014).

Entrada no E2G e principais parcerias

A Abengoa também possui um segmento de produção industrial, sendo os biocombustíveis o principal produto, com destaque para o E1G. Em 2014, a venda de biocombustíveis gerou receita de cerca de € 2,1 bilhões, quase 30% das receitas da Abengoa. O interesse pelos biocombustíveis iniciou-se na década de 90 com construção de sua primeira planta de E1G, na Espanha. Em seguida, em 2001, a Abengoa comprou a High Plains Corporation nos EUA, empresa que possuía três usinas de E1G. Outro passo importante foi a entrada no Brasil através da aquisição de duas usinas de E1G da Dedini Agro, em 2007, por R\$ 1,7 bilhões (SEC, 2014).

A produção de etanol pela Abengoa é realizada através de 15 usinas de E1G espalhadas por cinco países diferentes. Na Europa, a empresa é a maior produtora de etanol possuindo seis usinas com capacidade anual de produção de 1,2 bilhões de litros. Nos EUA, a empresa também possui seis usinas com capacidade anual de 1,5 bilhões de litros. Tanto na Europa quanto nos EUA, as principais matérias-primas utilizadas são, respectivamente, o trigo e o milho, adquiridas em sua maioria no mercado aberto. No Brasil, a produção é realizada através de três usinas, duas pertencentes a Abengoa, com capacidade anual de 235 milhões de litros, e uma outra apenas operada pela empresa. No caso brasileiro, a matéria-prima utilizada é a cana-de-açúcar que é fornecida por fazendeiros da região, principalmente através de contratos (SEC, 2014; ABENGOA, 2014).

Os principais esforços da empresa no desenvolvimento das tecnologias de segunda geração começaram a partir de 2003 com a criação da Abengoa Bioenergia Novas Tecnologias (ABNT), subsidiária da Abengoa que internalizou toda a atividade de P&D da empresa em biocombustíveis. A ABNT possui diversos laboratórios de pesquisa na Europa e nos EUA. Alguns desses laboratórios foram construídos em parcerias com universidades, sendo um dos principais o Loyola-Abengoa Research Center, construído em parceria com a Universidade de Loyola, dedicado ao estudo de fontes alternativas de energia (ABENGOABIOENERGY, 2014).

Em 2004, a Abengoa assinou uma série de contratos com a SunOpta, que ficou responsável por desenvolver sua tecnologia de explosão a vapor no pré-tratamento de palha de milho e trigo nos laboratórios da Abengoa (SUNOPTA, 2004). Em 2006, outra parceria foi firmada, desta vez com uma empresa de biotecnologia, a Dyadic. No acordo, adquiriu o direito de utilizar e modificar os organismos desenvolvidos pela empresa. Esses organismos são responsáveis pela produção das enzimas necessárias para a produção do E2G pela rota bioquímica (ABENGOA, 2014). Por se tratar de uma etapa essencial na produção do E2G, a Abengoa também lançou um programa de desenvolvimento da produção de enzimas em larga escala, que contou com o apoio da Antibioticos S.A, empresa farmacêutica da Espanha (ABENGOA, 2011). Como resultado dessas parcerias, tem-se a redução nos custos de produção das enzimas, que saíram de cerca de U\$ 3,15 o galão, em 2009, para U\$ 0,52, em 2013 (SANTOS, 2013).

A primeira planta piloto da Abengoa foi inaugurada em 2007 em Nebraska, EUA, e contou com o financiamento do DOE. Inicialmente a produção era realizada apenas com palha de milho, mas atualmente a unidade tem sido utilizada para testes com bagaço de

cana. A capacidade anual de produção de E2G é de 0,5 milhões de litros. Em 2009 foi a vez da inauguração de sua planta de demonstração, em Salamanca, na Espanha. A unidade contou com financiamento da Comissão Europeia e foi construída próximo a uma unidade de E1G da Abengoa. Atualmente a planta foi adaptada para produzir E2G com o uso de resíduos sólidos urbanos. A Capacidade anual de produção da planta é de 5 milhões de litros e utiliza 35 mil toneladas de biomassa por ano (BACOVSKY, 2012).

Entrada na fase de produção comercial

A sua primeira planta comercial de E2G foi inaugurada em 2014, no Kansas, EUA, e contou com substantivo apoio do governo do DOE, que concedeu cerca de U\$ 132 milhões em financiamento (SANTOS, 2013). Atualmente a Abengoa está construindo uma segunda planta comercial de E2G, desta vez no Brasil, no Estado de São Paulo. A Unidade será construída de maneira integrada com a Usina São Luiz, usina de E1G da Abengoa, localizada na cidade de Pirassununga. A construção da nova unidade contará com apoio de R\$ 309,6 milhões do BNDES (BNDES, 2014).

Apesar do grande apoio governamental em diversas regiões, o projeto de expansão da Abengoa, que se inicia nos anos 2000, foi em grande parte realizado através de financiamentos privados. Ao final de 2015, o total de dívida da empresa era de quase € 8,9 bilhões. A sinalização para o mercado financeiro de que a Abengoa estava passando por dificuldades financeiras aconteceu em novembro daquele ano, quando a Gonvarri Corporación, cancelou um plano de injetar € 350 milhões. Como resultado, as ações da Abengoa caíram drasticamente fazendo com que o valor de mercado da empresa chegasse a € 300 milhões (WALLSTREETJOURNAL, 2015). Outro agravante foi a queda na geração de caixa da empresa, principalmente em seu segmento de produção de biocombustíveis. De acordo com o balanço da empresa, apesar de as receitas se manterem no mesmo patamar com a venda de biocombustíveis, entre os anos de 2014 e 2015, o EBTIDA ³³entre esses dois anos caiu de € 271 milhões para € 40 milhões. No Brasil, desde 2013, a empresa tem tido prejuízos em suas operações com etanol (NOVACANA, 2015). Algumas das subsidiárias da Abengoa já entraram com pedidos de proteção contra a falência nos EUA, Europa e Brasil.

Para superar a crise, a empresa busca renegociar as dívidas com seus credores e se reestruturar. Segundo o plano de reestruturação da Abengoa, a empresa irá se concentrar no seu ramo de atividade principal, isto é, o de engenharia. No que tange as energias

³³Sigla para *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*, que significa Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização.

renováveis, a Abengoa irá se concentrar no ramo de energia solar e venderá, a médio prazo, a Abengoa Bioenergia, subsidiária da empresa que administra os ativos em biocombustíveis.

Nos EUA já foi anunciada a venda de 4 usinas de E1G da Abengoa: duas para a Green Plains e outras duas para a KAAP e BioUrja. A empresa espera receber com a venda cerca de U\$ 350 milhões. No Brasil, a Abengoa entrou em acordo com seus fornecedores de cana, com os quais a empresa está em dívida, e pretende moer na safra de 2016/2017 cerca de 6 milhões de toneladas de cana (ETHANOLPRODUCER, 2015; NOVACANA, 2016). A unidade de E2G comercial nos EUA encontra-se com as operações paradas, enquanto no Brasil a construção da usina continua avançando lentamente (NOVACANA, 2016).

Características da planta comercial: Abengoa Bioenergy Biomass of Kansas

Matéria-prima: logística e custos

A primeira planta comercial de E2G da Abengoa foi construída em Hugoton, no Estado do Kansas nos EUA. A unidade utiliza como matéria-prima palha de milho que é fornecida por produtores de milho da região. O abastecimento da unidade com a palha é feita pela Advanced Feedstocks of Kansas (AFK), que é uma *joint venture* formada pela Abengoa e pela Pacific AG. Além de abastecer a usina, a AFK também tem os objetivos de administrar os contratos com os fornecedores e investir em inovação para redução dos custos da matéria-prima (SANTOS, 2014). Segundo a Lux Research (2016), o custo da palha de milho para a unidade é de U\$ 90 por tonelada.

Tecnologia: processos, custos de capital e custos de produção

A planta tem capacidade anual de processamento de 350 mil toneladas, que gera cerca de 100 milhões de litros anuais de E2G. O custo de capital da usina foi estimado em U\$ 500 milhões (LUXRESEARCH, 2016). A unidade também é capaz de produzir 18 MW de bioeletricidade através da queima da lignina (SANTOS, 2014).

A tecnologia utilizada é a de hidrólise enzimática e foi desenvolvida internamente com o auxílio de outras empresas, como a SunOpta, Antibioticos S.A e Dyadic, Universidades, Principalmente a de Loyola e Sevilha.

O pré-tratamento que a empresa usa é realizado em duas etapas, o primeiro com a aplicação de ácidos diluídos, e o segundo com explosão a vapor. Em seguida, a

hemicelulose (C5) liberada é fermentada em um tanque à parte, enquanto a celulose segue para um outro tanque onde será hidrolisada e em seguida fermentada (CUNHA, 2013). Tanto as enzimas quanto as leveduras são produzidas pela Abengoa. As enzimas foram desenvolvidas em parceria com a Dyadic.

Segundo a Lux Research (2016), o custo de produção do E2G da Abengoa é de U\$ 0,54 por litro, valor muito próximo ao revelado pela empresa em Santos (2014), que foi de U\$ 0,58. Entretanto, quando considerados os retornos sobre o capital investido, o preço mínimo de venda do E2G da Abengoa se eleva bastante, chegando a U\$ 1,20 por litro. A empresa produziu em 2015 cerca de 1,89 milhões de litros de E2G e, desde dezembro de 2015, as atividades na usina de Hugoton estão paradas (LUXRESEARCH, 2016).

5.2.4 POET-DSM

Origens

Poet-DSM é uma *joint venture* formada entre a Poet, empresa norte americana e maior produtora mundial de E1G, e a Royal DSM, empresa holandesa originalmente do ramo da química que a partir dos anos 2000 se converteu em empresa de base tecnológica centrada na biotecnologia. A nova empresa foi formada em 2012 com o objetivo de produzir competitivamente o E2G, revelando assim a viabilidade de sua tecnologia, a qual pretende licenciar. Apesar da fundação recente, a empresa combina conhecimentos acumulados há muitos anos por ambas as empresas. E, no que tange a produção do E2G, tais conhecimentos são bem complementares.

A DSM surgiu como uma empresa estatal em 1902 e como uma grande mineradora, principalmente de carvão³⁴. Com o passar do tempo, a empresa começou a avançar para química e petroquímica e aos poucos foi deixando de ser uma mineradora, até que em 1973 encerrou suas atividades exploradoras (DSM, 2016).

A partir dos anos 80, ela começou a entrar na indústria farmacêutica e de biotecnologia, sendo seus primeiros passos a aquisição da Andeno, fornecedora de ingredientes para indústria farmacêutica, da Gist-Brocades, produtora de enzimas e leveduras. Em 2002, a empresa decidiu abandonar seus negócios relacionados à petroquímica e a focar exclusivamente no desenvolvimento de bioprodutos, energias renováveis e novos materiais (DSM, 2016).

A DSM só começou a dar mais atenção aos biocombustíveis, e em particular ao E2G, a partir de 2011, principalmente devido à possibilidade de expansão na venda de

³⁴ DSM é a abreviação de Dutch State Mines cuja tradução é: Minas do Estado Holandês

enzimas e leveduras, uns de seus principais produtos. Segundo a empresa, o mercado de enzimas, que por essa época girava em torno de € 1 bilhão, deveria crescer a taxas superiores a 5% ao ano, em grande parte devido à expansão dos biocombustíveis. Além dos esforços de desenvolvimento interno, a empresa, em 2011, adquiriu a C5 Yeast Company, uma empresa de biotecnologia dedicada ao desenvolvimento de leveduras capazes de fermentar açúcares C5. Em seguida, em 2012, a empresa expandiu seu negócio de enzimas adquirindo o segmento produtor e desenvolvedor de enzimas da Cargill, por € 85 milhões, e o mesmo segmento da Verenum por U\$ 37 milhões (DSM, 2011 e 2012). A DSM fornece enzimas e leveduras para a sua fábrica de E2G e para a Inbicon, empresa dinamarquesa produtora de E2G. Para a Granbio a DSM fornece apenas as leveduras (DSM, 2013).

A Poet é a maior produtora de E1G do mundo, possuindo atualmente 27 usinas de etanol. Ela atua de maneira integrada desde a produção do milho, principal matéria-prima utilizada em suas usinas, até a distribuição do etanol e demais subprodutos. Em 2015, a empresa produziu aproximadamente 1,7 bilhões de galões (\approx 6,2 bilhões de litros) de E1G (URBANCHUK, 2015).

A Poet é uma empresa de origem agrícola que foi fundada pela família Broin, em 1983, ano em que começou a produzir E1G em pequena escala. Em 1986, deu-se início a sua produção em escala comercial na sua planta localizada em Scotland, Dakota do Sul. A partir de 1990, com a aprovação no congresso de leis mais restritas para redução de emissões de GEE, a Poet deu início ao seu processo de expansão. Já em 1998 possuía 7 usinas de etanol, todas construídas pela própria empresa (POET, 2016).

Nesses quase dez anos de existência (até 1988), constam entre algumas de suas inovações a criação da Dakota Gold, a primeira mistura de DGS do mercado, e o *Broin Project X* (BPX), inovação de processo que permitiu a produção de E1G sem a necessidade do cozimento do amido, o que refletia em menores custos de produção e maior rendimento produtivo (POET, 2016). O desenvolvimento do BPX envolveu o uso de novas enzimas e representou o início do envolvimento da empresa com a biotecnologia.

Entrada no E2G e principais parcerias

A parceria entre a Poet e DSM foi realizada em 2012 com o nome de Project Liberty. Todavia o Project Liberty já vinha sendo desenvolvido desde 2007 através dos esforços da Poet, que ao iniciar o projeto contou com o financiamento do DOE que concedeu ao projeto financiamento no valor de U\$ 80 milhões a serem liberados conforme

o projeto fosse avançando, e o Estado de Iowa que garantiu mais U\$ 14, 75 milhões (ETHANOLPRODUCER, 2009). Em 2008, a planta piloto de E2G da Poet foi inaugurada em Scotland, Dakota do Sul, onde a empresa também possui um laboratório de P&D. A planta tem capacidade de produzir até 74 mil litros de E2G por ano e utiliza a tecnologia de hidrólise enzimática, desenvolvida pela empresa. As enzimas eram inicialmente fornecidas pela Novozymes e a matéria-prima utilizada é a palha-de-milho.

Outro importante passo realizado pela Poet foi a criação da Poet Biomass, subsidiária da empresa, em 2009, que possui a função de administrar a colheita e transporte de biomassa até a fábrica de E2G. Também é responsável pela administração de contratos com os fornecedores de matérias-primas e pelo desenvolvimento, junto a fazendeiros e outros parceiros, de maneiras mais eficientes de realizar a logística com a matéria-prima (ENERGYAGWIRED, 2009). Dentre esses parceiros há empresas fabricantes de maquinários, como a Vermeer Corp e New Holland e empresas dedicadas à logística com matérias-primas como a Pacific Ag (ETHANOLPRODUCER, 2009; PACIFICAG, 2016). Ainda em 2009 foram realizadas as primeiras colheitas experimentais dos resíduos, foram cerca de 6 mil hectares. As colheitas foram financiadas com *grants* do DOE, cerca de U\$ 6,85 milhões (ORY, 2009).

Entrada na fase de produção comercial

Com a entrada da DSM em 2012, a Poet-DSM, que ficou responsável em dar continuidade ao Project Liberty, que teve sua planta comercial inaugurada em 2014. A contribuição da DSM para o projeto é totalmente complementar aos conhecimentos aplicados pela Poet, uma vez que ela detém a tecnologia e conhecimentos necessários para produzir as leveduras e enzimas necessárias ao processo de produção do E2G.

Características da planta comercial: Project Liberty

Matéria-prima: logística e custos

A primeira planta comercial da Poet-DSM foi construída no Estado de Iowa, segunda planta comercial de E2G do Estado, utiliza como matéria-prima resíduos de milho, que é fornecida por fazendeiros da região. A palha é recolhida e levada até a planta do E2G pela Poet Biomass ou pelos próprios fazendeiros. O custo estimado por tonelada dos resíduos do milho é de U\$ 90 (LUXRESEARCH, 2016). Vale ressaltar que o processo de abastecimento da usina foi desenvolvido em parceria com diversas empresas, governos e com os próprios fazendeiros. A capacidade de processamento anual da unidade é de 285 mil toneladas (POET-DSM, 2016).

Tecnologia: processos, custos de capital e custos de produção

A capacidade anual de produção de E2G é de 95 milhões de litros, e a tecnologia utilizada é a de hidrólise enzimática. O pré-tratamento utiliza tecnologia desenvolvida pela Andritz, empresa de engenharia, e as enzimas e leveduras são fornecidas pela própria DSM. Em seu processo de hidrólise enzimática, a quebra da celulose ocorre separadamente em um próprio tanque, mas os açúcares, tanto o C5 quanto o C6, são fermentados em um mesmo reator (CUNHA, 2013). Vale destacar que a produção de enzimas é realizada na própria unidade que foi construída em anexo a uma unidade de E1G da Poet (CUNHA, 2013). A lignina liberada durante o processo é queimada e utilizada para gerar calor e bioeletricidade. A capacidade de geração de eletricidade é de 17 MW. O custo de capital da usina foi de U\$ 275 milhões. O preço mínimo estimado de venda do E2G por litro é de U\$ 0,80, sendo que o custo estimado foi de U\$ 0,53 por litro (LUXRESEARCH, 2016).

Não há informação de quanto foi produzido em 2015 pela Poet-DSM, mas estima-se que a produção foi de apenas 2,84 milhões de litros. Apesar da baixa produção em 2015, o presidente da Poet, Jeff Broin, afirmou que até o final de 2016 a empresa atingirá a plena capacidade produtiva (NOVACANA, 2016).

5.2.5 BETA RENEWABLES

Origens

A Beta Renewables é uma *joint venture* formada em 2011 entre a Biochemtex e a Texas Pacific Group (TPG) e, apesar de ser relativamente nova, foi a primeira empresa a inaugurar uma planta de produção comercial de E2G, na Itália, em 2013. Esse pioneirismo deve-se a anteriores esforços de pesquisa e desenvolvimento realizados pela Biochemtex, que desde 2006, ano também em que foi fundada, desenvolve sua tecnologia, via hidrólise enzimática (M&G, 2016).

A Biochemtex é uma subsidiária do Grupo Mossi Ghisolfi, grupo de origem italiana, pertencente à família Ghisolfi, cuja principal área de atuação é a de produção de petroquímicos, com destaque para a produção de PET. Esse produto é comercializado pela empresa desde sua fundação, em 1953, e do qual a firma é uma das maiores produtoras, com fábricas na Europa, no Brasil, no México e nos EUA. A partir de 2004, o Grupo Mossi Ghisolfi diversifica sua área de atuação e entra para o ramo de engenharia

e desenvolvimento de novos produtos químicos com a aquisição da Chemtex da Mitsubishi (M&G, 2016).

Entrada no E2G e principais parcerias

A Biochemtex origina-se da Chemtex e surgiu com o objetivo de se tornar uma empresa de engenharia, voltada para construção de plantas de bioquímicos e desenvolvimento de novas tecnologias que utilizem biomassa. Em 2006, a Biochemtex dá início ao processo de desenvolvimento de sua tecnologia de hidrólise enzimática, batizada de PROESA. O desenvolvimento da tecnologia contou com o apoio de diversas empresas e universidades, materializado sobre o nome de Consórcio BioLyfe, onde foram investidos cerca de U\$ 200 milhões, entre capital privado e governamental (BETARENEWABLES, 2014; EC, 2012).

O Consórcio Biolyfe contou com suporte financeiro da Comissão Europeia que através do 7º Framework, investiu € 8,6 milhões, e, com o NER300, investiu € 28,4 milhões na construção da planta comercial de E2G da Beta Renewables. Outro parceiro governamental foi o ENEA, laboratório nacional do governo italiano, que juntamente com a Novozymes desenvolveu o coquetel específico utilizado pela Beta Renewables, e que, em parceria com a Universidade de Lund, na Suécia, trabalharam para aumentar a eficiência da fermentação dos açúcares C5 e C6 (BIOLYFE, 2012; CHIARAMONTI, 2013). Outros parceiros do projeto são a Inbicon, que auxiliou no desenvolvimento da tecnologia de pré-tratamento, e a Agriconsulting, que auxiliou na criação da cadeia de abastecimento de matéria-prima (BIOLYFE, 2016).

A Beta Renewables foi criada durante esse processo, quando a TPG juntou-se à Biochemtex. A TPG é uma empresa de investimentos e sua contribuição para o desenvolvimento da PROESA restringiu-se ao campo financeiro. Por outro lado, a Novozymes, que apenas em 2012 passou a fazer parte da Beta Renewables, quando adquiriu 10 % das ações da empresa, destaca-se por auxiliar o desenvolvimento da tecnologia, assim como por fornecer as enzimas utilizadas (BETARENEWABLES, 2016).

Entrada na fase de produção comercial

A unidade de produção comercial da Beta Renewables foi inaugurada em 2013, porém testes com o uso da tecnologia PROESA foram realizados na planta piloto da Biochemtex localizada em Rivalta, Itália. A unidade, inaugurada em 2009, possui capacidade anual de processar 250 toneladas de biomassa e faz parte do Centro de P&D da Biochemtex, responsável pela análise de novas matérias-primas e desenvolvimento de

novos microrganismos e processos. Outro centro de P&D da empresa é o localizado em Bari, Itália, cujo foco atual é o desenvolvimento da tecnologia MOGHI, que será capaz de converter a lignina, resíduo proveniente da produção do E2G, em produtos químicos maior valor agregado como benzeno, tolueno e xileno (BIOCHEMTEX, 2016).

A Beta Renewables está construindo uma outra planta comercial nos EUA. O projeto, denominado Alpha Project, está sendo construído no Estado da Carolina do Norte e terá capacidade anual de produzir 75 milhões de litros de E2G a partir da utilização, principalmente, de *energy crops*. O projeto recebeu financiamento de U\$ 99 milhões do USDA. No Brasil, a Beta Renewables licenciou sua tecnologia para Granbio que inaugurou sua planta comercial em 2014. A Tecnologia PROESA também foi licenciada pela Fuyang Bioproject (*joint venture* formada entre Grupo Mossi Ghisolfi e o Grupo chinês Guozhen) e pela Energochemica, empresa química eslovaca (BETARENEWABLES, 2016).

Características da planta comercial: Projeto Crescentino

Matéria-prima: logística e custos

A unidade construída em Vercela, Itália, foi a primeira planta comercial a entrar em operação. Ela utiliza como matéria-prima principalmente a palha de trigo fornecida por produtores de trigo da região a um custo de aproximado de U\$ 75 (LUXRESEARCH, 2016). A unidade também utiliza a *Arundo Donax*, uma *energy crops*, e palha de arroz, ambas produzidas na mesma região (BETARENEWABLES, 2016). A entrega da matéria-prima é realizada pelos fornecedores com o apoio da Biochemtex Agro (BIOCHEMTEXAGRO, 2016).

Tecnologia: processos, custos de capital e custos de produção

Anualmente a planta da Beta Renewables tem capacidade de processar 270 mil toneladas de matéria-prima que são transformadas em 75 milhões de litros de E2G e 13 MW de bioenergia. A construção da fábrica ficou a cargo da Biochemtex que desenvolveu internamente o seu processo de pré-tratamento à explosão a vapor. O investimento foi de cerca de U\$ 200 milhões (BETARENEWABLES, 2016).

O conceito de produção utilizado é o de sacarificação e co-fermentação simultâneas, no qual após o pré-tratamento da biomassa, os açúcares liberados vão para um mesmo tanque onde enzimas e leveduras serão adicionadas, para que haja,

respectivamente, a hidrólise da celulose e a fermentação dos açúcares (CUNHA, 2013). As enzimas são fornecidas pela Novozymes e as leveduras, capazes de fermentar simultaneamente os açúcares C5 e C6, são fornecidos pela Lesaffre, empresa de biotecnologia especializada em leveduras (BETARENEWABLES, 2016).

A estimativa do custo por litro de E2G na unidade é de U\$ 0,52, superior aos U\$ 0,30 estimados para a Granbio, que usa a tecnologia licenciada da Beta Renewables, mas que utiliza matéria-prima mais barata e leveduras da DSM. O preço mínimo de venda estimado é de U\$ 0,87 por litro (LUXRESEARCH, 2016).

5.2.6 DUPONT

Origens

A Dupont foi fundada em 1802 e era originalmente uma empresa fabricante de pólvora e explosivos. Seu fundador, Eleuthère Irénéé du Pont, era um entusiasta sobre os estudos a respeito de explosivos e, inclusive, teve aulas com o famoso químico francês Antoine Lavoisier. Suas primeiras fábricas foram inauguradas em 1804, nos EUA, e o principal produto era uma nova variedade de pólvora que representava uma inovação na indústria do armamento, uma vez que era um produto superior à pólvora até então fabricada, e permitia que os EUA não incorressem em importações de insumos necessários da Inglaterra (DUPONT, 2016).

Em 1876, o inventor sueco Alfred Nobel inventou a dinamite, um explosivo três vezes mais eficiente do que a pólvora fabricada pela Dupont. Já em 1880, a Rapauno Chemical Company, *spin-off* da Dupont, mas que mais tarde foi adquirida por esta, começou a fabricar a dinamite. Foi também a partir dessa época que a Dupont começou a investir em munições para armamentos que não gerassem fumaça. O novo tipo de munição foi inicialmente usado para esportes de tiro mas em seguida, com a Primeira Guerra Mundial, dominou o mercado de munição militar (CHANDLER, 1999; DUPONT, 2016). No período da Primeira Guerra, a Dupont passou a investir e produzir etanol, uma vez que ele era um insumo necessário para a produção das munições, entretanto, até o final do período, a produção da Dupont era pouco diversificada e, por volta de 1914, 97% de suas vendas eram de explosivos e munições (CHANDLER, 1999).

Contudo, a Guerra fez com que a Dupont fosse uma das empresas de maior crescimento nos EUA e permitiu à empresa condições de iniciar seu processo de diversificação, caminhando para se transformar em uma empresa química. Um importante avanço foi a realização da parceria com a General Motors, em 1922, com o objetivo de desenvolver aditivos para a gasolina. O esforço conjunto culminou na criação do

tetraetilchumbo, aditivo para a gasolina. Posteriormente, desta vez contando com o apoio da Standard Oil, a Dupont deu início a produção em larga escala do produto (CHANDLER, 1999). Como foi visto anteriormente, a utilização do tetraetilchumbo, que dominou o mercado de aditivo para a gasolina, apresenta uma série de malefícios, inclusive à saúde humana, o que justifica em parte alguns dos incentivos à produção do etanol veicular.

Outra área de destaque que a empresa passou a atuar foi na de polímeros sintéticos, tintas e solventes. A opção por entrar na produção desses produtos deu-se após intensa pesquisa em quais materiais poderiam ser produzidos utilizando o excesso de capacidade ociosa encontrado nas fábricas da Dupont no período imediato ao pós-guerra. No caso dos tecidos sintéticos, cabe ressaltar que inicialmente, nos anos 20 e 30, a matéria-prima utilizada era a celulose. Para produção dos tecidos sintéticos, a Dupont formou uma *joint venture* com uma firma francesa, detentora da tecnologia, posteriormente a tecnologia passou a ser aplicada para a produção de filmes fotográficos, enquanto os tecidos sintéticos passaram a ser produzidos a partir de químicos com a introdução do *nylon* a partir de 1938 (CHANDLER, 1999; DUPONT, 2016). Já em 1939, apenas 10% das vendas da Dupont eram relativas aos explosivos (CHANDLER, 1939).

O processo de diversificação da Dupont continuou nos anos que se seguiram. A partir da década de 1960, a empresa dá seus primeiros passos para a entrada na indústria farmacêutica, sendo um dos marcos a aquisição da Endo Laboratories, empresa farmacêutica criada em 1920 (DUPONT, 2016). Outra área em que a empresa passou a atuar foi na produção de petróleo. A aquisição da Conoco, petroleira norte americana, fundada em 1875, foi o principal passo da Dupont na indústria do petróleo (DUPONT, 2016)

Na biotecnologia, os primeiros passos aconteceram na década de 1980, quando a Dupont investiu na Universidade de Harvard, dando suporte para pesquisa em genética molecular. Também foi nessa década que a Genencor, futuramente comprada pela Dupont, foi criada, através da *joint venture* entre Corning Glass e Genentech, com o objetivo de desenvolver e produzir enzimas para químicos e alimentos (HAMILTON, 1985).

Porém, apenas na década de 1990 que a empresa passou a atuar de forma mais ativa na chamada “ciências da vida”, o que engloba a indústria farmacêutica e a biotecnologia. No caso da primeira, o principal avanço foi a criação da *joint venture* com a Merk, uma das mais antigas empresas farmacêuticas dos EUA, em 1990, e sua posterior completa

aquisição em 1998. Na área da biotecnologia, em 1998, a Dupont adquiriu 20% das ações da Pioneer Hi-Bred e, em 1999, a adquiriu completamente. Com essa aquisição, não só a Dupont passou a ter acesso ao mercado global de sementes da Pioneer, o maior do mundo na época, como também às suas capacidades de P&D, principalmente em biotecnologia agrícola (WEST, 1998; DUPONT, 2016). É importante destacar que em 1998 a Dupont vendeu a Conoco, com o claro objetivo de se especializar nas “ciências da vida” (WEST, 1998).

Atualmente a Pioneer é a subsidiária mais importante da Dupont e atrai cerca de 55% de todo investimento em P&D da empresa. Ela também é a administradora do segmento de defensivos agrícolas, sementes, sementes geneticamente modificadas e fertilizantes responsável por 27 % do total das vendas da Dupont nos anos de 2014 e 2015 (SEC, 2015).

Entrada no E2G e principais parcerias

A maior participação da empresa no desenvolvimento do E2G começou em 2003, quando recebeu financiamento do DOE de cerca de U\$ 19 milhões para dar início ao projeto chamado Integrated Corn-Based Biorefinery (ICBR), cujo o objetivo era desenvolver toda a cadeia de produção do E2G com a utilização dos resíduos da produção do milho, utilizando a tecnologia de hidrólise enzimática. O projeto conta também com a participação da Deere Company, fabricante de máquinas e equipamentos agrícolas e do NREL (DUPONT, 2016).

Em 2009, a Dupont e a Danisco formaram a *joint venture* Dupont Danisco Cellulosic Ethanol (DDCE), com o objetivo de desenvolver comercialmente a produção do E2G. No mesmo ano inauguraram a sua primeira planta piloto em Vonore, no Estado do Tennessee. A unidade utiliza resíduos da plantação de milho e *switchgrass* e conta com o apoio da Universidade do Tennessee e do NREL para o desenvolvimento da cadeia de logística com a palha de milho e com o apoio da Genera Energy para o desenvolvimento de novas variedades de *switchgrass*. A capacidade anual de produção é de 250 mil litros (DRINNON, 2011; DAVIS, 2013). Em 2011, a Dupont adquiriu a Danisco, que era a proprietária da Genencor, por U\$ 5,8 bilhões (BLOOMERANG, 2011).

Com a compra da Danisco, o projeto da planta comercial de E2G passou a se chamar Dupont Cellulosic Ethanol (DCE). Em 2012 foi anunciado a construção da primeira planta comercial de E2G da Dupont no Estado de Iowa. Para a construção dela foi contratada a Fagen, empresa de engenharia especializada em construir plantas de etanol

e que também é uma das parceiras da Butamax, *joint venture* entre a Dupont e a BP, dedicada ao desenvolvimento do biobutanol (DUPONT, 2012). Ainda em 2012, a Dupont comprou da Verdezyne o direito de utilizar sua tecnologia de isomerase dos açúcares C5, alteração da estrutura do composto que permite posteriormente fermentação mais eficiente (CARLSBAD, 2012).

Em 2013, a Pioneer realizou uma série de parcerias com o intuito de fomentar seu ramo de melhoria genéticas das matérias-primas utilizadas para o E2G. Entre elas destaca-se a parceria com a Arcadia, empresa de biotecnologia, com o foco no desenvolvimento do sorgo sacarino, e da parceria com a Mendel Biotechnology, com foco na melhoria do milho (BIOFUELSDIGEST, 2013 e 2013). Ainda em 2013, o USDA, a Dupont e a Universidade de Iowa firmaram um acordo com o fim de desenvolver a cadeia de abastecimento da futura fábrica comercial de E2G da empresa. O acordo ficou conhecido como Stover Collection Project (SCP) (PROVINE, 2014).

Entrada na fase de produção comercial

A planta comercial foi inaugurada em 2014 em Nevada, Iowa. O projeto foi construído adjacente a uma planta de E1G da Lincolnway Energy, tradicional empresa de E1G. A planta recebeu financiamento estadual, cerca de U\$ 19 milhões, e do DOE, com cerca de \$ 50 milhões (DOE, 2014; BIOFUELSDIGEST, 2013). O SCP conseguiu a colaboração de quase 500 fazendeiros da região que em 2014 colheram cerca 54 mil hectares (PROVINE, 2014).

Outros importantes avanços foram o firmamento do contrato com a Quad County Corn Processor, pelo qual a Dupont ficou responsável pelo fornecimento das enzimas utilizadas na planta de demonstração de E2G da empresa, e a compra do segmento de enzimas da Dyadic, por U\$ 75 milhões (BIOFUELSDIGESTS, 2015 e 2016).

Características da planta comercial: DCE

Matéria-prima: logística e custos

Essa é a terceira planta comercial construída no Estado de Iowa que utiliza palha de milho como matéria-prima. A palha é fornecida por produtores locais, cerca de 500 fazendeiros fazem parte dos fornecedores, a um custo estimado de U\$ 90 por tonelada (LUXRESEARCH, 2016). A Dupont forneceu toda a assistência aos produtores rurais para entrega da biomassa (PROVINE, 2014).

Tecnologia: processos, custos de capital e custos de produção

A capacidade de processamento é de 375 mil toneladas de matéria-prima, e a capacidade produtiva é de aproximadamente 30 milhões de galões (110 milhões de litros), sendo a maior usina de E2G dos EUA (PROVINE, 2014). A unidade não produz bioenergia, apesar de utilizar a tecnologia de hidrólise enzimática. A lignina liberada em vez de queimada é processada e transformada em *pellets* e vendida a terceiros (ETHANOLPRODUCER, 2015). Um dos principais compradores dos *pellets* é a Lincolnway Energy, produtora de E1G que os utiliza para geração de calor e bioenergia (CUNHA, 2013).

A fábrica foi construída pela Fagen e nas adjacências de uma unidade de E1G, pertencente à Lincolnway Energy, com um custo de capital estimado em US\$ 200 milhões. A tecnologia de pré-tratamento, que foi desenvolvida internamente em parceria com universidades, destacadamente a Universidade do Tennessee, e empresas de engenharia, como a Fagen, utiliza ácidos diluídos. A concepção tecnológica é a de hidrólise seguida de co-fermentação dos açúcares, ou seja, após o pré-tratamento a celulose segue para um reator específico onde será hidrolisada. Os açúcares liberados após o pré-tratamento e a hidrólise seguem para um tanque em comum onde serão fermentados por uma mesma bactéria desenvolvida pela Dupont (CUNHA, 2013).

O custo estimado por litro de E2G é de US\$ 0,63, e o preço mínimo de venda estimado em US\$ 0,88 (LUXRESEARCH, 2016). A empresa, apesar de inaugurar a fábrica em 2014, oficializou o início da produção apenas em dezembro de 2015, sendo assim não há estimativa da produção para o ano de 2015

5.2.7 RAÍZEN

Origens

A Raízen foi fundada em 2011 através da parceria, via *joint venture*, entre a Cosan, tradicional empresa produtora de E1G do Brasil, e a Shell, gigante anglo-holandesa do ramo de petróleo e gás. A Raízen é atualmente uma das maiores empresas brasileiras atuando desde o plantio de cana até a distribuição de combustíveis. Ela distribuiu cerca de 25 bilhões de litros de combustíveis, possuindo cerca de cinco mil postos, e, através de suas 24 usinas de açúcar e etanol³⁵, é a maior produtora brasileira de etanol, açúcar e bioenergia (RAÍZEN, 2016).

³⁵ A capacidade produtiva da Raízen é de 2,1 bilhões de litros (RAÍZEN, 2016)

Essa liderança dentro do setor sucroenergético brasileiro deve-se aos 80 anos de experiência da Cosan na produção do açúcar e etanol. A empresa foi fundada em 1936 com a construção da Usina Costa Pinto em Piracicaba, São Paulo, pela família Ometto. A partir dos anos 80, a empresa iniciou seu processo de expansão, principalmente através da aquisição de novas usinas, com destaque para as usinas Santa Helena e São Francisco, em 1986, e as usinas da Família Resende Barbosa, em 2009, que também era proprietária da marca União de açúcar (MARCELINO, 2009).

Em 2008, a Cosan deu início ao seu processo de expansão vertical através da compra dos ativos da Esso Brasil, até então propriedade da Exxon Mobil, por cerca de U\$ 826 milhões. Na prática a Cosan passou a ter acesso a mais de 1500 postos de combustíveis. A Cosan também se esforçou em atrair executivos da Exxon, cerca de 85, para ajudar na modernização da gestão da empresa (EXAME, 2008), cujo marco aconteceu em 2009, quando ela deixou de ser uma empresa familiar, com a saída de Rubens Ometto da presidência, e passou a possuir uma gestão corporativa (MARCELINO, 2009).

O outro avanço da Cosan foi a formação da Raízen com a Shell, o que na prática consolidou a empresa como uma das maiores distribuidoras do Brasil. Assim a Cosan saltou de 1500 postos, sobre a bandeira ESSO, para mais de 5000 postos, agora sobre a bandeira Shell.

A Shell possui uma história mais antiga que a da Cosan, sendo que suas origens datam de 1833, quando Marcus Samuel decidiu importar conchas do Oriente para vendê-las na Inglaterra como enfeites domésticos. Como o transporte era feito por Marcus Samuel, aos poucos ele passou a exportar e importar outros produtos entre a Europa e o Oriente, entre eles o petróleo (SHELL, 2016). Apenas em 1897, a empresa de Marcus Samuel passou a se chamar Shell³⁶, em homenagem a origem da empresa.

A produção de petróleo pela empresa se iniciou em 1890, em algumas colônias da Inglaterra, entretanto maior atenção era dada ao segmento de transportes do produto. No setor de transporte, o principal avanço da Shell foi a inauguração do primeiro navio tanque, em 1892, batizado de Murex. A introdução dos navios tanques foi uma verdadeira revolução, uma vez que eles permitiam maiores economias de escala e menores custos frente ao transporte de petróleo por barris, como era realizado até então (SHELL, 2016).

³⁶ Shell significa concha em inglês

Em 1907, a Shell fundiu-se com a Royal Dutch Petroleum Company, empresa holandesa criada para explorar reservas de petróleo na Sumatra, formando a Royal Dutch Shell. A fusão criou uma gigante no ramo do petróleo, que atuava desde a produção até o refino e distribuição dos derivados de petróleo, valendo a ressalva que desde 1896 a Shell possuía refinarias (SHELL, 2016).

Os anos que se seguiram foram de grande expansão para empresa, principalmente durante e após a Primeira Guerra Mundial, quando a empresa tinha praticamente o monopólio da oferta de combustíveis para a Inglaterra. Atualmente a empresa é uma das maiores empresas privadas produtoras de petróleo e, em 2015, após a compra da BG, passou a ser a maior companhia privada produtora de gás natural (SHELL, 2015).

Entrada no E2G e principais parcerias

No que tange aos biocombustíveis, a empresa só passou a se dedicar a produção de E1G após a criação da Raízen, entretanto importantes investimentos foram realizados anteriormente nos estudos sobre as tecnologias de segunda geração. Em 2008, a Shell investiu na Choren, empresa alemã que desenvolveu tecnologia de gaseificação, entretanto, em 2008 a Shell desistiu da rota termoquímica e retirou seus investimentos da Choren.

A entrada da Shell no desenvolvimento da tecnologia de hidrólise enzimática deu-se a partir de 2002, quando passou a ser uma das sócias da Iogen. A Iogen, como foi visto, é uma *start-up* canadense que durante seu desenvolvimento construiu uma planta piloto e uma planta demo de E2G no Canadá. Apesar de ter inaugurado sua primeira planta em 1982, a Iogen existe desde 1975, quando seu fundador, o engenheiro Patrick Foody Sr, desenvolveu um novo processo de pré-tratamento de biomassa com explosão a vapor (IOGEN, 2016).

Em 1980, a Iogen passou a investir no desenvolvimento de enzimas e, em 1982, inaugurou sua primeira planta piloto. Em 1991, a Amoco, petroquímica, aliou-se à empresa e juntas passaram a testar novos tipos de matérias-primas, além dos resíduos florestais usados até então. Em 1995, a Amoco desistiu da parceria, mas foi substituída quatro anos mais tarde pela Petro Canadá, que financiou a construção da planta demonstração da Iogen, que utilizava as enzimas produzidas *on-site* (IOGEN, 2016).

Em 2002, a Shell investiu cerca de US\$ 46 milhões na Iogen tornando-se uma das principais acionistas e passou a comercializar a produção da planta demo da Iogen em Ottawa (ETHANOLPRODUCER, 2009). A partir de 2007 a Codexis passa auxiliar as empresas no desenvolvimento de novas variedades de enzimas. A Entrada da Codexis na

parceria deve-se aos investimentos realizados na empresa por parte da Shell (CODEXIS, 2009). A parceria com a Codexis estendeu-se até 2012 quando a Shell parou de investir na empresa (SAMUELS, 2012).

Entrada na fase de produção comercial

A Iogen ficou responsável por aplicar sua tecnologia de produção do E2G na planta comercial da Raízen, anunciada em 2012 e inaugurada em 2014. Além da tecnologia de pré-tratamento a Iogen ainda forneceria as enzimas e as leveduras necessárias (IOGEN, 2016). Todavia, em 2013, a Novozymes comprou, por U\$ 80 milhões, os ativos da Iogen relativos à produção de enzimas e passou a ser a fornecedora de enzimas da planta comercial, inaugurada em 2014 (RAÍZEN, 2016). A planta comercial da Raízen recebeu financiamento do BNDES e FINEP através do PAISS I. Os órgãos governamentais investiram em conjunto cerca de R\$ 207 milhões na unidade que foi construída em anexo à usina Costa Pinto (NOVACANA, 2013).

Em 2014, agora sobre o PAISS agrícola, a Raízen conseguiu financiamento de R\$ 4,5 milhões para o desenvolvimento do plantio de cana através de mudas pré-brotadas, processo capaz de reduzir significativamente o custo na produção de cana (NOVACANA, 2015). No que se refere ao desenvolvimento de matérias-primas vale ressaltar que a Raízen é uma das principais acionistas do CTC, laboratório brasileiro dedicado ao estudo de novas variedades de cana-de-açúcar.

Características da planta comercial: Usina Costa Pinto

Matéria-prima: logística e custos

Por ter sido construída em anexo a uma planta comercial de E1G de cana, a principal matéria-prima utilizada é o bagaço de cana. A Lux Research (2016) estimou o custo por tonelada do bagaço em U\$ 38. Por estar disponível no próprio local de produção, não há grandes necessidades de criação de cadeia de logística para o bagaço. O seu fornecimento é praticamente todo realizado pela própria empresa, entretanto há de se ressaltar que cerca de 50% da cana-de-açúcar utilizada pela Raízen é fornecida por terceiros (RAÍZEN, 2016).

Tecnologia: processos, custos de capital e custos de produção

A tecnologia utilizada é a de hidrólise enzimática e foi desenvolvida pela Iogen. No processo desenvolvido, após o pré-tratamento à explosão a vapor, a celulose e

hemicelulose seguem para reatores onde serão hidrolisadas. Os açúcares liberados encontram-se em um outro reator e são fermentados simultaneamente, tanto os C5 quanto os C6 (CUNHA, 2013). As enzimas são fornecidas pela Novozymes e as leveduras são fornecidas pela Iogen (NOVACANA, 2015). A planta tem capacidade produtiva de E2G de 40 milhões de litros por ano e o custo de capital para construção da unidade foi de US\$ 100 milhões. Através da queima da lignina a planta também é capaz de gerar 7 MW (LUXRESEARCH, 2016).

O custo de produção por litro de E2G estimado é de US\$ 0,26, com preço mínimo de venda estimado em US\$ 0,57 (LUXRESEARCH, 2016). A Raízen apresenta o menor custo devido ao menor preço na matéria-prima utilizada e o baixo custo de capital da unidade produtiva. Em 2015, a empresa projetou produzir 9,84 milhões de litros de E2G, entretanto a Lux Research (2016) estima que apenas 1 milhão de litros tenham sido produzidos.

5.3 MODELOS DE NEGÓCIOS

5.3.1 Proposição de valor

Como já foi salientado, tanto o E1G quanto o E2G são a mesma substância e, conseqüentemente, possuem as mesmas utilidades. Entretanto, devido a maneira como é produzido, o E2G é capaz de reduzir drasticamente as emissões de GEE se comparado com o E1G e, sobretudo, se comparado à gasolina. Dessa maneira, todas as empresas estudadas apresentam a capacidade de o E2G reduzir as emissões de GEE como o principal diferencial do produto.

Como as empresas produzem o E2G a partir de diferentes matérias-primas, a capacidade de redução de GEE do E2G de cada firma é diferente. Entretanto, em todos os casos, o E2G é considerado um biocombustível avançado.

Outra semelhança é que todas as empresas pretendem comercializar sua produção em mercados protegidos para o E2G. Principalmente nos EUA, com destaque para o Estado da Califórnia, e Europa. Esses mercados, como visto anteriormente, possuem mandatos de uso obrigatório do E2G, como é o caso dos EUA, e maiores prêmios para sua compra, como é caso da Europa.

Como foi possível observar na subseção anterior, a Abengoa, a Poet-DSM, a Dupont, a Beta Renewables e a Enerkem pretendem tornar-se licenciadoras das tecnologias de produção de E2G. Na verdade, para muitas dessas empresas, é muito mais interessante tornarem-se licenciadoras de tecnologias do que grandes empresas

produtoras de E2G. Olhando por essa ótica do licenciamento, a empresa que apresenta uma proposta de valor mais distinta é a Enerkem.

A tecnologia desenvolvida pela Enerkem segue a rota termoquímica e, conseqüentemente, a característica mais relevante da matéria-prima para que ela seja processada é a baixa umidade. Sendo assim, a tecnologia desenvolvida pela empresa permite em tese a utilização de uma vasta variedade de matérias-primas. No caso das tecnologias de hidrólise enzimática, tanto o pré-tratamento quanto o coquetel enzimático são desenvolvidos levando em consideração diversas características da matéria-prima a ser utilizada.

Um dos principais mercados para a tecnologia da Enerkem são as empresas responsáveis por administrar aterros sanitários. Neste segmento de mercado, a Enerkem afirma que o uso de sua tecnologia permite aumentar o tempo de vida do aterro, uma vez que reduz em cerca de 90% a quantidade de material depositado nele. Assim, uma outra proposição de valor da empresa seria a sua capacidade de solucionar o problema de disposição dos resíduos urbanos, um grave problema social e ambiental em muitas regiões do mundo.

O principal mercado para as outras empresas são produtores de E1G, que, ao atrelarem plantas de E2G às suas de E1G, conseguem expandir a produção de etanol sem a necessidade de expansão de lavouras. Outros mercados são as grandes empresas agrícolas que podem, além de diversificar a produção, gerar valor com a utilização de resíduos agrícolas, antes descartados.

5.3.2 Criação de valor

Percebe-se que entre as empresas estudadas há grande diversidade de perfis, isto é, há empresas de diferentes nacionalidades, originárias de outros setores, de tamanhos diversos e com recursos distintos. Conseqüentemente essa variedade leva a diferentes formas de criação de valor. Distinguem-se aqui os papéis das empresas incumbentes, das emergentes e das estabelecidas entrantes.

Empresas incumbentes

Entre os casos estudados, há duas empresas estabelecidas incumbentes, a Poet, por meio da *joint venture* Poet-DSM, e a Cosan, pela *joint venture* Raízen, respectivamente as maiores produtoras de E1G dos EUA e do Brasil. No caso do E1G, essas firmas atuam de forma integrada, isto é, desde a produção da matéria-prima até a produção do etanol. Outros insumos necessários são adquiridos no mercado.

No caso da Raízen, quando ela foi fundada, todo o setor responsável pela produção de etanol da Cosan passou a ser administrado por ela. A produção do E2G, continuou a ser realizada de forma integrada, sendo a própria empresa a principal fornecedora de matérias-primas. A unidade de produção de E2G foi construída em anexo a uma unidade de E1G da empresa e, como a produção de E2G utiliza o bagaço da cana, não houve necessidade de criação de uma nova cadeia de abastecimento de matérias-primas, uma vez que se encontram disponíveis no local de produção.

No caso da Poet, os negócios de E1G mantiveram-se sem alteração, ficando a cargo da *joint venture* Poet-DSM apenas as atividades de produção do E2G e o licenciamento da tecnologia desenvolvida. Apesar de a Poet-DSM ter construído sua planta comercial de E2G em anexo a uma planta de E1G da Poet, houve a necessidade de se construir toda uma nova cadeia de abastecimento de matéria-prima, uma vez que a palha de milho, matéria-prima utilizada pela *joint venture*, encontra-se espalhada nos campos após a lavoura do milho.

A logística da coleta e transporte da palha de milho foi desenvolvida em parcerias com diversas outras empresas, como a Pacific Ag e a Poet Biomass, universidades e, ainda, contando com substancial apoio financeiro do governo norte americano. Um dos objetivos da Poet é o de ser grande produtora de E2G, e possui planos para expandir sua produção através da anexação de outras plantas de E2G a suas plantas tradicionais. Nessas situações, a formação da Poet Biomass, subsidiária da Poet, representa uma tentativa de manter a atuação integrada na produção do E2G.

Apesar de as duas empresas, Raízen e Poet, possuírem recursos e capacidades que as fizeram ser grandes produtoras de matérias-primas e transportadoras de tais, elas não possuíam os conhecimentos ligados às tecnologias de produção do E2G. Esses conhecimentos foram adquiridos principalmente a partir de parcerias com empresa de biotecnologia, visto que as novas variedades de enzimas e leveduras não são acessíveis no mercado livre.

No caso da Raízen, a sua parceira é a Iogen, empresa emergente. Na parceria realizada, a Iogen ficou responsável por instalar sua tecnologia de pré-tratamento assim como fornecer as leveduras. As enzimas ficaram a cargo da Novozymes.

A Poet, antes de fundar a *joint venture* com a DSM, deu seus primeiros passos no desenvolvimento interno da tecnologia de segunda geração, o que não houve na Cosan. Contudo a parceria com a DSM fez o projeto avançar muito mais rápido, já que DSM possuía todo o conhecimento necessário para a produção de enzimas e leveduras

geneticamente modificadas. Sendo assim a função da DSM é fornecer tanto as leveduras quanto as enzimas.

No caso das tecnologias de pré-tratamento, vale lembrar que a Iogen foi fundada a partir da criação de um novo método de pré-tratamento, o que a fez ser a responsável por tal segmento na planta da Raízen. No caso da Poet-DSM, nenhuma das duas empresas possuía os conhecimentos necessários para tanto, por isso contrataram a Andritz, empresa de engenharia.

Duas constatações merecem ser feitas. A primeira é que, para a Iogen, a união com a Raízen é de extrema importância para sua manutenção dentro da indústria do etanol. Praticamente a Raízen é a sua única cliente e o seu processo de crescimento depende muito do avanço da produção de E2G da empresa. A segunda, no caso da DSM, que é uma empresa estabelecida, a formação da Poet-DSM tem a função de comprovar a viabilidade tecnológica de seu processo, a fim de que haja a expansão da produção de E2G e, conseqüentemente, o aumento das vendas de suas enzimas e leveduras. Assim, a desistência de qualquer um dos parceiros, apesar de causar prejuízos, não ameaçaria a existência das empresas.

Por fim, mesmo as empresas possuindo capacidade de financiamento próprio, o apoio governamental, principalmente para a construção das fábricas de E2G, foi fundamental para redução dos riscos dos projetos

Empresas estabelecidas novas entrantes

Entre as empresas estudadas há quatro empresas estabelecidas que se apresentam como novas entrantes no E2G: duas empresas de background em química que têm desenvolvido estratégias consistentes em biotecnologia, a Dupont e a DSM, e duas de engenharia, a Abengoa e Biochemtex. Em todos os casos, a justificativa para entrar na produção do E2G deve-se a suas capacidades relacionadas ao desenvolvimento das *atividades de núcleo tecnológico*.

No caso da DSM e da Dupont, o principal potencial que elas viram no desenvolvimento da produção do E2G é a conseqüente expansão do mercado de enzimas e leveduras, que estão incluídos entre seus principais produtos. Além disso, a superação das dificuldades na produção em larga escala do E2G representa também a superação das dificuldades em liberar os açúcares presente no material lignocelulósico de maneira eficiente. O acesso barato aos açúcares representa uma grande janela de oportunidade para as empresas envolvidas com biotecnologia visto que elas também estão investindo no desenvolvimento de novos bioprodutos com a utilização destes mesmo açúcares.

Exemplos de outros bioprodutos que essas empresas estão desenvolvendo são o biobutanol, no caso da Dupont em parceria com a BP, e do ácido succínico, no caso da DSM em parceria com a Roquette (DSM, 2016).

Entretanto as duas empresas optaram em entrar na indústria de maneiras diferentes. O caso da DSM já foi mencionado, mas vale ressaltar que ela optou em realizar parcerias com outras empresas que possuíam os conhecimentos complementares necessários. Os recursos relacionados à fase agrícola foram conseguidos junto a Poet, e os conhecimentos necessários para o pré-tratamento foram adquiridos junto a Andritz.

A Dupont, por outro lado, esforçou-se desde o início em desenvolver internamente a sua tecnologia de pré-tratamento. Contudo, como em quase todos os casos estudados, esse desenvolvimento interno contou com apoio de outras empresas e universidades. O mesmo vale para as enzimas e as bactérias utilizadas.

As etapas relacionadas à fase agrícola não foram internalizadas pela empresa. Em vez disso, conseguiu acordos com os fazendeiros locais, que ficaram responsáveis pelo fornecimento das matérias-primas, e contratou empresas especializadas em realizar a colheita e o transporte das matérias-primas. Como essa é ainda uma etapa em desenvolvimento, a Dupont encabeça os projetos de desenvolvimento, dialogando com os fornecedores e demais empresas. Não há o interesse da empresa em tornar-se grande produtora de matérias-primas, entretanto, a empresa pretende fornecer o seu *know-how* adquirido no caso da cadeia de logística aos fornecedores de matérias-primas e a quem licenciar sua tecnologia de produção. Cabe ressaltar que a DSM, em virtude da parceria com a Poet, acaba por atuar diretamente nesse segmento.

As duas empresas possuem posições relevantes no atual mercado de enzimas. Como foi visto em capítulo anterior, tanto a Dupont quanto a DSM figuram entre as três maiores empresas fornecedoras de enzimas. A não entrada dessas empresas na produção do E2G representaria uma futura perda de posição, uma vez que a tendência é de que o crescimento da demanda por enzimas seja puxado pelo aumento da produção do E2G.

As outras duas empresas, a Abengoa e a Biochemtex, são originárias do ramo da engenharia, mas apresentam muitas diferenças entre si. A Abengoa atua de maneira mais diversificada que a Biochemtex, sendo inclusive uma grande produtora de E1G. Entretanto, este trabalho optou em não a classificar como empresa incumbente, por apresentar características díspares em relação às demais incumbentes, principalmente o fato de ela construtora de usinas de E1G, inclusive para terceiros, e não atuar de forma

integrada. Sua entrada no ramo dos biocombustíveis deu-se em decorrência de uma estratégia de transformação da Abengoa em uma empresa de energia.

Assim como as empresas incumbentes, a Abengoa buscou parcerias para o desenvolvimento tanto das enzimas quanto das leveduras. No caso das enzimas, a empresa licenciou a tecnologia da Dyadic. No acordo é permitido à Abengoa produzir e modificar as enzimas. Tanto no caso do pré-tratamento quanto no caso das leveduras, o desenvolvimento foi realizado internamente, sobretudo com apoio de universidades.

Na fase agrícola, a empresa buscou parcerias com os fazendeiros locais e juntamente com a Pacífica Ag desenvolveu os canais de logística.

A Biochemtex é uma empresa recente e surgiu com o objetivo de ser o braço do grupo químico M&G a atuar com biomassa. Apesar de ser uma empresa nova, não pode ser considerada uma empresa emergente, uma vez que é uma subsidiária da Chemtex, empresa de engenharia, também do Grupo M&G.

Como era de se esperar, o maior avanço realizado pela empresa foi o desenvolvimento da tecnologia de pré-tratamento da biomassa. No que tange as enzimas e leveduras, essas são fornecidas respectivamente pela Novozymes e Lesaffre, duas empresas de biotecnologia.

A Biochemtex foi descrita no lugar da Beta Renewables, pois esta última é a *joint venture* formada com o grupo TPG que, por ser uma empresa de investimentos, não acrescenta conhecimentos produtivos.

As duas empresas pretendem se tornar grandes empresas licenciadoras e oferecem pacotes de serviços completos, desde a construção das fábricas até o auxílio com a logística com matérias-primas. Vale lembrar que a Biochemtex criou a Biochemtex Agro, subsidiária voltada para a logística com matérias-primas, e a Abengoa criou a AFK, com o mesmo objetivo.

No que concerne ao financiamento, todas as empresas estudadas nesta subseção receberam apoio financeiro de diversos órgãos governamentais.

Empresas emergentes

As empresas emergentes estudadas foram a Enerkem e a Granbio, entretanto a Iogen também merece destaque devido a sua participação junto a Raízen. Como foi apontado em Hamilton (1990), essas empresas surgem durante o início do processo de transição tecnológica e, geralmente, buscam comercializar alguma inovação tecnológica produzida por elas.

Os casos da Iogen e da Enerkem são mais semelhantes entre si, uma vez que ambas desenvolveram internamente suas tecnologias de produção de E2G e, através da busca de parceiros, traçaram o caminho até a etapa de produção comercial³⁷. A Granbio começou sua atuação na indústria diretamente através da construção de uma planta comercial de E2G, para depois começar a desenvolver suas inovações, cujo foco é muito mais o desenvolvimento de novas variedades de vegetais, microrganismos e bioquímicos do que necessariamente as tecnologias de produção de etanol.

A Enerkem, desde a sua criação, mantém relações com universidades, principalmente a Universidade de Sherbrooke, onde compartilham uma planta piloto. Essa etapa permitiu a demonstração da viabilidade da tecnologia da empresa de forma a atrair grandes empresas interessadas em financiar o desenvolvimento dessa tecnologia. A mais importante dessas empresas é a Greenfield Ethanol, que não só virou acionista da empresa, como formou uma *joint venture* com ela. A Valero e a Waste Managements também foram muito importantes, tanto no financiamento quanto na troca de conhecimentos produtivos. Vale ressaltar que as duas adquiriram licenças para utilização das tecnologias da Enerkem.

A planta comercial da empresa é operada em parceria com a Alberta Innovates e não foi preciso construir cadeia de logística com matérias-primas, uma vez que a empresa construiu a fábrica próxima ao aterro sanitário de administração da cidade de Edmonton.

O caminho seguido pela Granbio é muito peculiar, dado que a justificativa de entrada da empresa na indústria não se deu por ter desenvolvido internamente alguma etapa do núcleo tecnológico ou por já possuir algum ativo complementar. Sua entrada deveu-se muito mais a uma ideia inovadora de explorar os potenciais que a indústria brasileira de etanol e de outros produtos baseados em biomassa possuem, principalmente através do uso da cana-de-açúcar. Assim, o caso da Granbio assemelha-se com os casos da DSM e Dupont, isto é, a busca ao acesso de açúcares baratos como oportunidade de desenvolvimento de novos bioprodutos.

Ao optar por entrar na indústria, a empresa logo iniciou suas pesquisas com novas variedades de cana e anunciou a construção de sua planta comercial. Apesar de ser uma *start-up*, a empresa possui recursos financeiros advindos da *holding* GranInvestimentos, e contou com amplo suporte do BNDES, um de seus acionistas. Assim, com recursos financeiros e a flexibilidade de escolher entre diferentes licenciadores de tecnologias e

³⁷ Há de se destacar que foram parceiros de natureza diferentes que as levaram a traçar trajetórias diferentes.

fornecedores de insumos, a empresa escolheu o Grupo Carlos Lyra como fornecedor de matérias-primas, a Beta Renewables como licenciadora da tecnologia de pré-tratamento, a Novozymes como fornecedora de enzimas e a DSM como fornecedora de leveduras.

Entretanto a Granbio não deve ser vista apenas como um agente dedicado à combinação de competências de diversas origens. Na verdade, a Granbio investe no desenvolvimento de toda a cadeia produtiva, desde as matérias-primas, destacadamente a cana energia, contando com apoio CTC e do Grupo Carlos Lyra. Destaque-se o desenvolvimento de metodologias de colheita e transporte de palha de cana e cana energia, com apoio de empresas agrícolas. Existem ainda esforços no desenvolvimento de tecnologias de pré-tratamento, com apoio da API e em novos microrganismos, com apoio de universidades e laboratórios.

Durante todo o processo de crescimento das duas empresas, o financiamento de outras empresas e órgãos governamentais foi essencial. No caso da Enerkem, consta o apoio de, além dos já citados, empresas de capital de risco, do governo do Canadá, principalmente através do SDTC, e, quando se expandiu para os EUA, do DOE e do USDA. No caso da Granbio, os principais financiadores foram agências do governo, como o BNDES e a FINEP.

5.3.2 Captura de valor

Uma fonte de captura de valor comum a todas as empresas é a possibilidade de comercialização do E2G em mercados onde há a obrigatoriedade ou outros incentivos para o uso do E2G. Consequentemente é possível comercializar o E2G a um preço mais elevado que o E1G e que remunere os investimentos realizados pelas empresas.

Outra fonte de captura de valor, entretanto apenas observável em médio prazo, é a possibilidade de venda do E2G a um custo inferior ao custo do E1G. Como o etanol é considerado uma *commodity*, seu preço de venda é determinado pelas condições de mercado, isto é, os produtores não possuem condição de determinar o preço de seu produto. Como a expectativa é que, no médio prazo, com os ganhos de aprendizado e escala, a produção de E2G seja mais barata que a produção do E1G (MILANEZ *et al.*, 2015)³⁸, as empresas que comercializarem o E2G irão obter uma margem de lucro superior àquelas que comercializam o E1G.

³⁸ Milanez *et al* (2015) concluíram que em virtude do avanço da redução dos custos das enzimas e equipamentos aliado ao uso de matérias-primas mais baratas e com grandes potenciais de ganho de produtividade o E2G pode ser mais competitivo que o E1G e próximo do patamar de preço de barril de petróleo a U\$ 44.

É interessante notar que a primeira fonte de captura de valor, que é “artificialmente” criada, serve de incentivo para que as empresas continuem a investir na expansão da produção do E2G até que a segunda fonte de captura se estabeleça. Essas foram as fontes de captura de valor existentes para as empresas interessadas em comercializar o E2G, entretanto, como se observará a seguir, outras fontes de captura de valor existem e essas são derivadas dos diferentes tipos de recursos que as diferentes empresas possuem.

Empresas incumbentes

Tanto a Poet quanto a Raízen são grandes empresas ligadas ao agronegócio, e o avanço da produção de E2G e os maiores ganhos envolvendo logística com os resíduos agrícolas causariam a valorização dos resíduos agrícolas produzidos por elas, que antes não possuíam valor de venda.

O bagaço da cana e a palha da cana já possuíam valor dado seu uso na geração de calor e eletricidade. Entretanto é inegável que o aumento da produção do E2G valorizaria mais ainda os resíduos da cana.³⁹

Também será possível lucrar com a venda de serviços referentes ao apoio logístico dessas matérias-primas. Ambas as firmas possuem acesso a muitos produtores rurais e estão construindo competências em logística com a biomassa, capacidades que poucas empresas ainda possuem.

Empresas estabelecidas novas entrantes

Entre as novas entrantes é consenso que o objetivo principal é o licenciamento tecnológico. Entretanto há diferenças entre os serviços complementares que essas empresas pretendem oferecer.

No caso das empresas de engenharia, os serviços auxiliares que elas fornecem são os de construção das fábricas, venda de serviços de apoio à logística e manutenção de equipamentos.

No caso das empresas detentoras de conhecimentos de biotecnologia, o objetivo principal é a venda de insumos necessários, principalmente as enzimas e os microrganismos capazes de fermentar os diferentes açúcares. Além disso, tanto a DSM quanto a Dupont atuam no desenvolvimento de novas variedades de vegetais, inclusive aqueles ricos em biomassa.

Empresas emergentes

³⁹ O bagaço de cana tem praticamente custo zero, entretanto, a maioria das usinas já o utilizam para a produção de energia elétrica. Assim, caso haja também a produção do E2G, o destino do bagaço depende de qual opção será mais vantajosa, E2G ou bioeletricidade (DANTAS, 2013).

A Enerkem que desenvolveu toda a tecnologia e procedimentos de produção do E2G, tem no licenciamento de sua tecnologia sua principal fonte de captura de valor. A fim de evitar a imitação, a empresa ao licenciar sua tecnologia é a responsável pela implementação da fábrica. Como foi observado, a empresa adotou uma abordagem modular, onde peças pré-montadas são transferidas até o local onde o E2G será produzido. Dessa maneira há menos possibilidades de imitação.

A Granbio possui além do objetivo de se tornar grande produtora de E2G tornar-se comercializadora de outros bioquímicos derivados da biomassa. Com isso o crescimento da produção do E2G é essencial para demonstrar a viabilidade das tecnologias de segunda geração.

Outra área onde a empresa pretende atuar é na comercialização de novas variedades de vegetais ricos em biomassa e leveduras geneticamente alteradas com o fim de se produzir E2G e outros bioquímicos. Assim sendo a expansão da produção de etanol representa a possibilidade de crescimento das vendas desses outros produtos.

Entre as empresas emergentes estudadas, não foi possível identificar semelhanças quanto às possibilidades de captura de valor, visto que, apesar de serem duas *start-ups*, as duas empresas são de áreas de atuação distintas e seguiram rotas tecnológicas bem diferentes.

5.4 CONCLUSÕES

As tabelas 9 a 15 apresentam resumidamente os MN de cada uma das empresas aqui estudadas. Percebe-se que entre eles a principal diferença está na forma como as empresas se organizam para criar valor. Dois motivos levam a isso. O primeiro é que por se tratar de uma inovação de processo, o produto final, o etanol, continua o mesmo, de maneira que a diferenciação na questão de proposição de valor só existe entre as empresas que pretendem licenciar suas tecnologias inovadoras.

O segundo motivo deve-se à existência de grandes diferenças entre os tipos de recursos e conhecimentos possuídos pelas diferentes firmas. Foi visto que as empresas incumbentes, aquelas que já atuavam na produção do E1G, buscaram principalmente parcerias com empresas de biotecnologias, pois aquelas já possuíam capacidade de desenvolver as etapas agrícolas necessárias.

Por outro lado, as *starts-ups*, durante seu desenvolvimento, buscaram principalmente parceiros que financiassem seus novos avanços e contribuíssem com algum conhecimento relacionado à comercialização e/ou produção em larga escala. O caso da Enerkem e da Iogen, é mais característico das emergentes, visto que as duas

operam suas plantas comerciais de E2G com auxílio de outros agentes e receberam vultosos investimentos do governo e outras empresas.

As novas entrantes aqui estudadas justificaram sua entrada na indústria do etanol e no desenvolvimento das tecnologias de segunda geração por possuírem conhecimentos ligados a alguma etapa essencial da produção do E2G. Ainda o principal objetivo delas não é serem grandes produtoras de etanol, mas sim licenciar as tecnologias e venderem serviços complementares.

Tabela 9- Modelo de Negócio da Enerkem

EMPRESA	CRIAÇÃO DE VALOR			PROPOSIÇÃO DE VALOR		CAPTURA DE VALOR
	Etapa	Produção do E2G	Desenvolvimento Tecnológico (parceiros)	E2G	Licenciamento de tecnologia	
Enerkem	Matéria-prima	Cidade de Edmonton	—	O produto é ambientalmente e socialmente superior ao E1G e à gasolina	<ul style="list-style-type: none"> -Permite a utilização de uma ampla variedade de matérias-primas. -Quando aplicada em aterros, permite aumento do tempo de vida destes. -Quando anexada em plantas de E1G, permite a ampliação da produção de etanol sem necessidade do aumento da área plantada. -Por ser capaz de processar resíduos, produtores rurais e outras empresas, ao fazerem uso da tecnologia ,valorizam os seus resíduos produzidos 	<ul style="list-style-type: none"> -Venda do E2G em mercados que o valorizem mais. -Perspectiva de produzir E2G mais barato que o E1G. -Licenciamento tecnológico. -Construção de fábricas.
	Logística com matérias-primas	Cidade de Edmonton ; Enerkem	Waste Management			
	Tecnologia	Enerkem	Universidade de Sherbrooke; Alberta Innovates; Greenfields Ethanol			
	Outros bioprodutos	Metanol,S yngas, amônia	Akzonobel, Valero			
	Financiamento	Valero, WM, SDTC, Quebec, RHO capitals; Braemar energy; Greenfields Ethanol				

Fonte: Elaboração própria com dados citados ao longo do texto

Tabela 10- Modelo de Negócio da Granbio

EMPRESA	CRIAÇÃO DE VALOR			PROPOSIÇÃO DE VALOR		CAPTURA DE VALOR
	Etapa	Produção do E2G	Desenvolvimento Tecnológico (parceiros)	E2G	Licenciamento de tecnologia	
Granbio	Matéria-prima	Grupo Carlos Lyra	Biovertis; IAC; RIDESA; Biocelere; CTC	O produto é ambientalmente e socialmente superior ao E1G e à gasolina	_____	<ul style="list-style-type: none"> -Venda do E2G em mercados que o valorizem mais. -Perspectiva de produzir E2G mais barato que o E1G. -Venda de novas variedades de cana. -Venda de leveduras geneticamente modificadas.
	Logística com matérias-primas	Granbio	CNH; New Holland			
	Pré-tratamento	Beta Renewables	API			
	Enzimas	Novozymes	_____			
	Leveduras	DSM	Unicamp; Biocelere			
	Outros bioprodutos	Biobutanol	Rhodia; Cobalt			
	Financiamento	BNDES; FINEP; GranInvestimentos				

Fonte: Elaboração própria com dados citados ao longo do texto

Tabela 11- Modelo de Negócio da Poet-DSM

EMPRESA	CRIAÇÃO DE VALOR			PROPOSIÇÃO DE VALOR		CAPTURA DE VALOR
	Etapa	Produção do E2G	Desenvolvimento Tecnológico (parceiros)	E2G	Licenciamento de tecnologia	
Poet-DSM	Matéria-prima	Fazendeiros locais	DSM	O produto é ambientalmente e socialmente superior ao E1G e à gasolina	<p>-Quando anexada em plantas de E1G, permite a ampliação da produção de etanol sem necessidade do aumento da área plantada.</p> <p>-Por ser capaz de processar resíduos, produtores rurais e outras empresas, ao fazerem uso da tecnologia valorizam os seus resíduos produzidos</p>	<p>-Venda do E2G em mercados que o valorizem mais.</p> <p>-Perspectiva de produzir E2G mais barato que o E1G.</p> <p>-Licenciamento tecnológico.</p> <p><i>DSM:</i></p> <p>-Venda de novas variedades de matérias-primas.</p> <p>-Venda de leveduras geneticamente modificadas.</p> <p>-Venda de enzimas</p> <p><i>Poet:</i></p> <p>-Valorização dos resíduos agrícolas</p> <p>-Venda de serviços de logística</p>
	Logística com matérias-primas	Poet; Poet Biomass; Pacific Ag	Projeto Bales			
	Pré-tratamento	Andritz	Poet;Andritz			
	Enzimas	DSM	DSM; Cargill; Verenium			
	Leveduras	DSM	DSM; C5 yeast company			
	Outro bioprodutos	ácido succínico	Roquette			
	Financiamento	DOE; USDA				

Fonte: Elaboração própria com dados citados ao longo do texto

Tabela 12- Modelo de Negócio da Raízen

EMPRESA	CRIAÇÃO DE VALOR			PROPOSIÇÃO DE VALOR		CAPTURA DE VALOR
	Etapa	Produção do E2G	Desenvolvimento Tecnológico (parceiros)	E2G	Licenciamento de tecnologia	
Raízen	Matéria-prima	Raízen; Fazendeiros locais	Raízen; CTC	O produto é ambientalmente e socialmente superior ao E1G e à gasolina	_____	<ul style="list-style-type: none"> -Venda do E2G em mercados que o valorizem mais. -Perspectiva de produzir E2G mais barato que o E1G. -Valorização dos resíduos agrícolas -Venda de serviços de logística
	Logística com matérias-primas	Raízen	Raízen			
	Pré-tratamento	Iogen	Iogen			
	Enzimas	Novozymes	_____			
	Leveduras	Iogen	Iogen			
	Financiamento	FINEP; BNDES; Shell; Cosan				

Fonte: Elaboração própria com dados citados ao longo do texto

Tabela 13- Modelo de Negócio da Dupont

EMPRESA	CRIAÇÃO DE VALOR			PROPOSIÇÃO DE VALOR		CAPTURA DE VALOR
	Etapa	Produção do E2G	Desenvolvimento Tecnológico (parceiros)	E2G	Licenciamento de tecnologia	
Dupont	Matéria-prima	Fazendeiros locais	Pioneer; Arcadia	O produto é ambientalmente e socialmente superior ao E1G e à gasolina	<p>-Quando anexada em plantas de E1G, permite a ampliação da produção de etanol sem necessidade do aumento da área plantada.</p> <p>-Por ser capaz de processar resíduos, produtores rurais e outras empresas, ao fazerem uso da tecnologia valorizam os seus resíduos produzidos</p>	<p>-Venda do E2G em mercados que o valorizem mais.</p> <p>-Perspectiva de produzir E2G mais barato que o E1G.</p> <p>-Venda de novas variedades de matérias-primas.</p> <p>-Venda de leveduras geneticamente modificadas.</p> <p>-Venda de enzimas</p> <p>-Venda de serviços de logística</p>
	Logística com matérias-primas	Genera Energy; Pacific Ag; Dupont	Deere company, Genera energy; Universidade de Iowa; Pacific Ag; Universidade do Tennessee; NREL			
	Pré-tratamento	Dupont	Fagen; NREL Danisco; Dyadic Verdezyne;			
	Enzimas	Dupont				
	Leveduras	Dupont				
	Outros bioprodutos	Biobutanol	BP			
	Financiamento	Dupont; DOE; USDA				

Fonte: Elaboração própria com dados citados ao longo do texto

Tabela 14- Modelo de Negócio da Abengoa

EMPRESA	CRIAÇÃO DE VALOR			PROPOSIÇÃO DE VALOR		CAPTURA DE VALOR
	Etapa	Produção do E2G	Desenvolvimento Tecnológico (parceiros)	E2G	Licenciamento de tecnologia	
Abengoa	Matéria-prima	Fazendeiros locais	—	O produto é ambientalmente e socialmente superior ao E1G e à gasolina	<p>-Quando anexada em plantas de E1G, permite a ampliação da produção de etanol sem necessidade do aumento da área plantada.</p> <p>-Por ser capaz de processar resíduos, produtores rurais e outras empresas, ao fazerem uso da tecnologia valorizam os seus resíduos produzidos</p>	<p>-Venda do E2G em mercados que o valorizem mais.</p> <p>-Perspectiva de produzir E2G mais barato que o E1G.</p> <p>-Licenciamento tecnológico.</p> <p>-Venda de serviços auxiliares: logística manutenção.</p> <p>-Construção de fábricas.</p>
	Logística com matérias-primas	AFK	Pacific Ag			
	Pré-tratamento	Abengoa	ABNT; Universidade de Loyola; Universidade de sevilha;Sunopta; Dyadic. Antibióticos SA			
	Enzimas	Dyadic				
	Leveduras	Abengoa				
Financiamento	DOE; Comissão europeia; BNDES; FINEP; USDA					

Fonte: Elaboração própria com dados citados ao longo do texto

Tabela 15- Modelo de Negócio da Beta Renewables

EMPRESA	CRIAÇÃO DE VALOR			PROPOSIÇÃO DE VALOR		CAPTURA DE VALOR
	Etapa	Produção do E2G	Desenvolvimento Tecnológico (parceiros)	E2G	Licenciamento de tecnologia	
Beta Renewables	Fornecedor de matéria-prima	Fazendeiros locais	—	O produto é ambientalmente e socialmente superior ao E1G e à gasolina	<p>-Quando anexada em plantas de E1G, permite a ampliação da produção de etanol sem necessidade do aumento da área plantada.</p> <p>-Por ser capaz de processar resíduos, produtores rurais e outras empresas, ao fazerem uso da tecnologia valorizam os seus resíduos produzidos</p>	<p>-Venda do E2G em mercados que o valorizem mais.</p> <p>-Perspectiva de produzir E2G mais barato que o E1G.</p> <p>-Licenciamento tecnológico.</p> <p>-Venda de serviços auxiliares: logística manutenção.</p> <p>-Construção de fábricas.</p>
	Logística com matérias-primas	Biochemtex Agro	Agriconsulting; Biochemtex agro			
	Pré-tratamento	Beta Renewables	ENEA, Novozymes; Lund university; Inbicon			
	Enzimas	Novozymes				
	Leveduras	Lasaffre	—			
	Outros bioprodutos	benzeno, tolueno, xileno				
	Financiamento	TGP; Comissão europeia; Novozymes; USDA; DOE				

Fonte: Elaboração própria com dados citados ao longo do texto

Também foi possível perceber que as empresas estabelecidas incumbentes tendem realmente manter sua lógica dominante, mesmo quando há a introdução de uma tecnologia radical. Nos casos da Raízen e a Poet, elas se esforçaram em manter a estrutura verticalmente integrada, externalizando apenas as aquisições de enzimas e leveduras. No caso das outras empresas estabelecidas não é possível fazer uma comparação com os dados aqui discutidos, mas é de se esperar que nesses casos também não haja muitas alterações significativas, principalmente no caso das empresas de engenharia, que, caso se olhe pela ótica do licenciamento, parece que há apenas uma diversificação de produto.

Por fim, algumas tendências podem ser observadas. No caso do Brasil, parece ser consenso que a produção de E2G irá se desenvolver inicialmente com o uso dos resíduos da cana-de-açúcar, e, caso haja plantação de *energy crops*, estas serão de cana energia ou sorgo sacarino, recursos que também podem ser utilizados em plantas de E1G. Outra constatação é a tendência de anexação de usinas de E2G a usinas de E1G, pois assim há redução dos custos de capital e há a facilidade de se usar o bagaço da cana, que apresenta os menores custos entre os resíduos agrícolas.

Nos EUA, a construção das plantas em anexo a antigas de E1G também parece ser uma tendência. Entretanto a matéria-prima utilizada nas plantas comerciais são os resíduos da colheita do milho. Essa preferência deve-se ao fato de serem os EUA o maior produtor de milho, logo de resíduos de milho. Ainda, a anexação de plantas de E2G a usinas de E1G reduz os custos de transporte visto que elas estão localizadas perto das plantações de milho.

As *energy crops* ainda não foram usadas nas plantas comerciais, entretanto diversas empresas aqui estudadas estão desenvolvendo seus projetos de desenvolvimento de novas variedades e de plantações. Como foi destacado no capítulo 3, as *energy crops* necessitam de um maior comprometimento dos seus produtores, e, como a produção do E2G em larga escala ainda não foi alcançada, dificilmente os produtores das *energy crops* conseguiriam outros mercados para seus produtos. Entretanto o uso de *energy crops* poderá permitir ganhos de produtividade, como fica evidente no caso da cana energia da Granbio. Assim, caso as tecnologias de segunda geração comprovem sua viabilidade em operação em larga escala é esperado que haja maior participação do uso das *energy crops*.

Outra tendência é a opção pelo uso das rotas bioquímicas, seis das sete plantas estudadas usam a tecnologia de hidrólise enzimática. Essa tendência explica-se pelo grande interesse das empresas em biotecnologia em expandirem seus mercados de outros

produtos e pelo forte apoio dos governos a essa rota, que para eles apresenta muito mais possibilidade de ganhos de produtividade que as rotas termoquímicas.

Entretanto, mesmo que a maioria das empresas siga a tecnologia de hidrólise enzimática, há particularidades nas formas de aplicação. Vale relembrar que há diversas maneiras de se realizar o pré-tratamento, que as empresas usam abordagens diferentes e que há o desenvolvimento de coquetéis enzimáticos e leveduras específicas para cada tipo de matéria-prima. Assim não é possível afirmar que um *design* dominante surgiu.

Por fim, há de se valorizar o importante papel que o apoio governamental teve no processo que levou a construção das plantas comerciais e no desenvolvimento dos mercados protegidos para o E2G.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

A substituição dos combustíveis de origem fóssil, por qualquer outro que seja, no setor de transportes, necessita de uma complexa reestruturação que atinge aspectos sociais e econômicos, como regulação, infraestrutura, padrões de consumo, instituições etc. Essa reestruturação torna o processo de transição energética mais custoso e, em certos casos, impossível sem amplo apoio por parte dos governos.

O etanol, pelo menos desde a década de 1970, tem sido uma das principais opções para substituir os combustíveis de origem fóssil no setor de transportes e, durante todo esse período, sua produção só foi possível graças ao apoio governamental. Em um primeiro momento, esse apoio se justificava dada a capacidade do etanol em reduzir a dependência energética dos países importadores de petróleo. Os principais países a apoiarem o etanol com esse objetivo foram os EUA e o Brasil. Os governos desses dois países fizeram uso de diversos meios de incentivos como isenções fiscais, controle de preços, financiamentos especiais, *grants* e imposição de mandatos de mistura obrigatória de etanol. Como resultado, conseguiram estabelecer em seus países uma indústria de etanol.

O estabelecimento dessa indústria foi feito com base no uso de tecnologias de primeira geração, cujas bases tecnológicas já eram conhecidas e acessíveis. E também, por fazer uso de vegetais ricos em açúcares facilmente extraídos, como o milho e a cana-de-açúcar, a indústria pôde contar com grandes fontes de matérias-primas já bem estruturadas. Os EUA e o Brasil são respectivamente os maiores produtores mundiais de milho e de cana-de-açúcar.

Entretanto, em um segundo momento, os incentivos ao uso do etanol passaram a ser mais influenciados por questões de cunho ambiental e, com a perspectiva de maior participação do etanol na matriz energética mundial para os próximos anos, as tecnologias de segunda geração começaram a ser mais incentivadas.

O interesse pelas tecnologias de segunda geração deve-se à sua capacidade de produzir etanol com menores quantidades de GEE emitidos, utilizar matérias-primas que não competem com alimentos e permitir aumento da produção de etanol sem a necessidade de expansão de plantações, uma vez que resíduos agrícolas, florestais, urbanos e industriais podem ser utilizados para se produzir o etanol. Assim, a expansão da produção de etanol a partir do uso das tecnologias de segunda geração livraria a

indústria do etanol das acusações de impactar no aumento dos preços dos alimentos, causar o desmatamento e de não reduzir as emissões de GEE.

Contudo, como foi possível observar no capítulo três, a maneira como o E2G é produzido diferencia-se muito da forma como a indústria se estruturou. Uma maior difusão das tecnologias de segunda geração deverá ter características de um processo de transição tecnológica dado o grau de reestruturação em que a indústria do etanol incorrerá.

Uma das principais mudanças concerne as adaptações necessárias para que a nova base de matérias-primas possa ser usada. Cada tipo de matéria-prima utilizada para a produção do E2G necessita de uma cadeia de logística específica e, para a fase industrial, combinações tecnológicas mais eficientes. Cabe ressaltar aqui que essas especificidades são características de qualquer indústria que utilize biomassa como insumos. Considerando apenas a produção do E1G, é possível perceber que há diferenças na maneira como ele é produzido a depender do tipo de matéria-prima.

Todavia a indústria do etanol utiliza basicamente dois tipos de matérias-primas, a cana, no Brasil, e o milho, nos EUA, de forma que, nos dois países, a forma como esses recursos são colhidos, transportados, processados e transformados em E1G é bem estabelecida e homogênea. Porém, para a produção do E2G, que apenas recentemente começou a sua produção em escala comercial, ainda estão sendo testadas muitas diferentes variedades de matérias-primas, de forma que as cadeias específicas para cada uma ainda estão sendo desenvolvidas. É interessante notar que por estar em um estágio inicial de desenvolvimento, algumas novas empresas surgiram ou passaram a atuar especificamente no desenvolvimento dos novos tipos de matérias-primas e/ou na logística delas.

Além dos novos tipos de matérias-primas, a maior complexidade das tecnologias de segunda geração é um outro fator estruturante da indústria. Primeiro, como já foi destacado, é preciso adaptar a usina de E2G à matéria-prima que será utilizada. Segundo, as tecnologias de segunda geração envolvem conhecimentos e recursos que não são difundidos, isto é, poucas empresas os detêm, e, geralmente, essas empresas não fazem parte da indústria tradicional do etanol.

Com isso, no caso da produção do E2G, o acesso aos conhecimentos tecnológicos e custos de capital superiores acabam sendo a principal barreira à entrada. Dessa forma, as novas empresas que passaram a atuar na produção do E2G possuem recursos e

capacidades diferentes daqueles encontrados nas tradicionais empresas produtoras de E1G. Além disso, essas empresas são “baseadas em ciência” e buscam diferenciar-se das demais empresas através de inovações, o que confere maior dinamismo tecnológico à indústria do etanol.

É interessante notar que a cadeia de produção do E2G possui diversas etapas que requerem conhecimentos distintos. Conseqüentemente existe a necessidade de desenvolvimento de novas capacidades nessas etapas. Como nem todas as empresas interessadas em produzir o E2G possuem todos os recursos e conhecimentos necessários, acabam por buscá-los através de diferentes tipos de parcerias. Evidencia-se que há um elevado número de parcerias, sendo esse um dos principais condicionantes para a existência de várias maneiras de como as firmas se organizam para produzir o E2G e, conseqüentemente, pela existência de variados modelos de negócios.

A proposição de valor para o E2G é semelhante entre as empresas, sendo seu principal diferencial a capacidade de reduzir as emissões de GEE no setor de transportes. Contudo algumas empresas possuem também o interesse em serem licenciadoras de tecnologias. Nesses casos é possível destacar algumas diferenças entre a proposição de valor das empresas.

Por fim, a captura de valor também varia entre as empresas, principalmente entre aquelas que anseiam se tornar grandes produtores de E2G ou aquelas que pretendem se tornar licenciadoras tecnológicas.

Além de comparar os diferentes modelos de negócios das primeiras empresas com plantas comerciais de E2G, é possível discutir, a partir desses modelos, a própria evolução do processo de transição tecnológica na indústria do etanol.

A principal conclusão é que a transição tecnológica na indústria do etanol está em um estágio inicial do processo. Primeiro, há atuando na produção do E2G variados perfis de empresas. Encontram-se atuando em conjunto empresas emergentes, novas entrantes e incumbentes. Além de especificamente a produção do E2G, nos demais estágios da cadeia produtiva, também há a ocorrência da mesma variedade de perfis de empresas.

Segundo, apesar de haver uma preferência pela rota de produção bioquímica, principalmente pela tecnologia de hidrólise enzimática, não há ainda um padrão dominante ou uma tecnologia capacitadora. Como foi possível observar no capítulo 5, as

empresas que produzem o E2G, via hidrólise enzimática, utilizam abordagens diferentes, optam por diferentes processos de pré-tratamento, utilizam diferentes coquetéis enzimáticos, produzem ou não as enzimas *on-site*, utilizam diferentes microrganismos para fermentar os açúcares.

Terceiro, apesar de as empresas optarem por utilizar principalmente resíduos agrícolas como insumos, a fase de produção industrial revelou que a logística para a utilização desses materiais ainda precisa ser mais desenvolvida. Como as empresas ainda estão testando outras matérias-primas, como as *energy crops*, novos métodos de logística ainda precisam ser desenvolvidos e testados. Isto é, mesmo que já se tenham construídos plantas comerciais de E2G, esforços de pesquisa e desenvolvimento ainda precisam ser feitos para que a produção do E2G atinja escalas estáveis de operação.

Um quarto ponto, que deriva dos pontos anteriores e da urgência em se realizar a introdução de combustíveis renováveis na matriz energética, é o apoio de políticas públicas. Como ainda as empresas estão em fase de testes com diferentes matérias-primas e ainda buscando as melhores tecnologias, a produção do E2G torna-se mais cara que a do E1G. Assim, o apoio do governo torna-se essencial para que se crie um nicho tecnológico, isto é, um ambiente propício, no qual as empresas consigam testar e desenvolver suas novas matérias-primas, metodologias com as matérias-primas e tecnologias.

Como foi possível observar nos modelos de negócio, o governo não só está presente criando políticas de incentivo ao consumo do E2G mas também é financiador de todas as empresas aqui estudadas e ainda é parceiro delas em diversas etapas do desenvolvimento das novas tecnologias.

Por se encontrar em estágio inicial de um processo de transição tecnológica, é impossível prever quais os rumos que a evolução da indústria tomará. Todavia, a partir do que foi desenvolvido neste trabalho, é possível encontrar algumas tendências.

A primeira delas é a de que o avanço das tecnologias de segunda geração não implicaria o fim da produção do E1G, pois, como foi visto, a maioria das empresas construíram suas plantas de E2G em anexo a usinas de E1G. Ainda, um dos principais mercados para as empresas licenciadoras de tecnologias de E2G são empresas produtoras de E1G.

A integração de plantas de E2G também pode vir a ocorrer junto a outras atividades hoje não relacionadas ao etanol, tais como unidades de papel e celulose, petroquímicas, siderúrgicas e unidades de disposição de tratamento de resíduos urbanos. Assim, a produção do E2G tende a ser mais descentralizada geograficamente que a produção do E1G.

Outra tendência é a maior utilização das *energy crops* como fonte de matérias-primas para a produção do E2G. Mesmo que as primeiras plantas comerciais de E2G utilizam principalmente resíduos agrícolas é interessante notar que a maioria das empresas que as controlam investem em alguma variedade de *energy crops*. Também é possível observar pelo capítulo 3 e pela tabela A.3 que há grande quantidade de diferentes tipos de empresas atuando especificamente no desenvolvimento das *energy crops*. O uso dessas matérias-primas deve avançar assim que as dificuldades iniciais, principalmente na cadeia de logística e no pré-tratamento, forem superadas.

Uma maior utilização de culturas dedicadas à produção do E2G poderia sustentar a discussão do impacto da produção do etanol nos preços dos alimentos e no desmatamento. Mas vale ressaltar que, mesmo que essas discussões persistam, serão menos intensas, uma vez que as *energy crops* são mais produtivas (em relação à produção de biomassa), podem ser plantadas em áreas menos férteis e, aquelas de crescimento rápido, podem ser plantadas nas entressafras.

Também é interessante notar que há a tendência da produção do E2G ser significativa em mais países do que apenas nos EUA e no Brasil. Merece destaque a China, que atualmente está construindo grandes usinas de E2G e foca muito no desenvolvimento interno da tecnologia.

Por fim, é preciso destacar que conforme as tecnologias de segunda geração forem superando as atuais dificuldades, provavelmente muitas novas dificuldades surgirão. O surgimento de novas dificuldades é um aspecto natural em processos de transição tecnológica, principalmente em suas fases iniciais. Nesse sentido, o contínuo estímulo à produção do E2G tem uma importante contribuição a dar a toda a economia baseada em biomassa.

As tecnologias de segunda geração não são exclusivas para a produção do E2G, na verdade, o que as caracterizam como de segunda geração é a possibilidade de se extrair açúcares do material lignocelulósico presente na biomassa vegetal. Uma vez liberados,

esses açúcares podem ser transformados em uma grande variedade de bioprodutos, além do E2G. Entretanto, diferentemente do E2G, o incentivo à maioria desses outros bioprodutos ainda é reduzido, uma vez que não é estimulado pela necessidade de se realizar a transição energética no setor de transportes.

Todavia a superação das dificuldades em produzir o E2G em larga escala também pode ser entendida como a superação das dificuldades de se extrair os açúcares fermentáveis do material lignocelulósico de maneira competitiva. Com a possibilidade de utilizar integralmente a biomassa, a oferta de açúcares aumentará significativamente. Como o açúcar é a base para a produção de vasta variedades de bioquímicos, entre eles o E2G, bioquímicos e biomateriais, como os bioplásticos, toda a economia baseada em biomassa se beneficia das conquistas do E2G.

Não à toa que muitas empresas, inclusive algumas estudadas nesse trabalho, enxergam no avanço da produção do E2G uma grande oportunidade para o desenvolvimento de novos bioprodutos. Assim, principalmente as empresas que possuem conhecimentos em biotecnologia estão investindo no desenvolvimento de novos bioprodutos.

A natureza qualitativa deste trabalho pode representar uma limitação para esta dissertação. O trabalho dedicou-se extensamente à descrição da evolução da indústria do etanol, desde seus primórdios até os dias atuais. Essa longa descrição da história da indústria foi necessária para a construção dos quadros comparativos presentes no decorrer do texto, uma vez que eles são fruto da interpretação do autor sobre a história que foi contada.

Contudo, principalmente nos capítulos 2 e 3, teria sido possível, para parte das variáveis observadas, como concentração industrial, heterogeneidade produtiva e expectativas de ganhos de produtividade, a utilização de métodos quantitativos. A utilização de métodos quantitativos poderia permitir uma maior objetividade na interpretação dos resultados alcançados.

A descrição dos modelos de negócios teria sido enriquecida ainda com a realização de entrevistas com representantes das empresas. As entrevistas não apenas permitiram um maior distanciamento da visão do autor como também permitiria uma validação dos modelos propostos pelos interlocutores da indústria.

Ainda, entrevistas mais abrangentes, que envolvessem agentes do governo, representantes das empresas, outros agentes da indústria e sociedade, permitiriam uma análise mais completa e interessante do atual estágio do processo de transição tecnológica na indústria do etanol. Também, através dessas entrevistas, seria possível a aplicação de métodos de previsão, como o Método Delphi, para as tendências da evolução da indústria.

Por fim, também é importante ressaltar que ao limitar este estudo apenas à indústria do etanol, interessantes discussões acerca de toda economia baseada em biomassa foram deixadas de lado. Como foi possível observar no final do trabalho, a produção do E2G é apenas uma das variadas possibilidades que a economia baseada em biomassa cria. As limitações apontadas são assim possibilidades de aprimoramento deste estudo e também caminhos possíveis para novos estudos explorando as transições tecnológicas, em particular envolvendo a indústria baseada em biomassa e a bioeconomia.

REFERÊNCIAS

ABENGOA. **Abengoa Bioenergy Corporation - Portales**. 2016. Disponível em: <http://www.abengoabioenergy.com/web/pt/acerca_de/oficinas_e_instalaciones/bioetanol/eeuu/portales/index.html>. Acesso em: 13 ago. 2016.

ABENGOA. **Abengoa Bioenergy New Technologies (ABNT) commences commercial scale pre-production of enzymes**. 2011. Disponível em: <<http://www.abengoa.com/htmlsites/boletines/en/febrero2011/bioenergy.html>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

ABENGOA. **Annual Report 2014**. 2014. Disponível em: <http://annualreport.abengoa.com/en/wp-content/uploads/2014_Volume1_AR.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

ABENGOA. **Site oficial**. 2016. Disponível em: <<http://www.abengoabrasil.com/web/pt/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

ABERNATHY, W J.; UTTERBACK, J, M. Patterns of industrial innovation. **Technology review**, v. 64, n. 7, p. 254-228, 1978.

AMIT, R.; ZOTT, C. Value creation in e-business. **Strategic management journal**, v. 22, n. 6-7, p. 493-520, 2001.

ANFAVEA. **Séries temporais**. 2016. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelasnovos.html>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

BACCARIN *et al.* Concentração e integração vertical do setor sucroalcooleiro do Brasil, entre 2000 e 2007. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.3, mar. 2009

BACOVSKY, D *et al.* Status of advanced biofuel facilities in 2012: A report to IEA Bioenergy Task 39. Paris. **IEA Bioenergy**. 2013.

BASTOS, V.D. Etanol, Alcoolquímica e Biorrefinarias. **BNDES Setorial**, n. 25, pg 5-38, Rio de Janeiro, 2007.

BENNETT, S. J.; PEARSON, P. JG. From petrochemical complexes to biorefineries? The past and prospective co-evolution of liquid fuels and chemicals production in the UK. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 9, p. 1120-1139, 2009.

BERKHOUT, F. *et al.* Socio-technological regimes and transition contexts. **System innovation and the transition to sustainability: theory, evidence and policy**. Edward Elgar, Cheltenham, v. 44, n. 106, p. 48-75, 2004.

BETARENEWABLES. **Site oficial**. Disponível em: <<http://www.betarenewables.com/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

BETARENEWABLES. **Projetos / Alpha**. 2016. Disponível em: <<http://www.betarenewables.com/projects/3/alpha>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BIOCHEMTEX. **Sustainable Chemistry / MOGHI**. 2016. Disponível em: <<http://www.biochemtex.com/sustainable-chemistry/moghi>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BIOLYFE. **Biolyfe Project**. 2012. Disponível em: <http://www.biolyfe.eu/images/stories/Biolyfe_summary.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BIOLYFE. **The BIOLYFE consortium**. 2016. Disponível em: <<http://www.biolyfe.eu/contact.html>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

BIODIESELBR. **ProÁlcool - História da indústria sucroalcooeira**. 2006. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-industria-sucroalcooeira.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Beta Renewables: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide**. 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/01/15/beta-renewables-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Ceres: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide**. 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/02/22/ceres-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Coskata: Biofuels Digest's 2014 5-Minute Guide**. 2014. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/03/25/coskata-biofuels-digests-2014-5-minute-guide/>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **DuPont Pioneer and Mendel Biotechnology collaborating to improve water use efficiency and photosynthesis in corn**. 2013. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2013/03/12/dupont-pioneer-and-mendel-biotechnology-collaborating-to-improve-water-use-efficiency-and-photosynthesis-in-corn/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **DuPont, Quad County Corn Processors ink big cellulosic biofuels enzyme pact**. 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/10/18/dupont-quad-county-corn-processors-ink-big-cellulosic-biofuels-enzyme-pact/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **DuPont's \$75M acquisition of Dyadic's industrial biotechnology business closes**. 2016. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2016/01/03/duponts-75m-acquisition-of-dyadics-industrial-biotechnology-business-closes/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Enerkem: Alberta's municipal waste to fuels juggernaut, in pictures**. 2014. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2014/10/22/enerkem-albertas-municipal-waste-to-fuels-juggernaut-in-pictures/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Enerkem: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide.** 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/01/14/enerkem-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Fiberight: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide.** 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/05/06/fiberight-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Genera Energy: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide.** 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/04/02/genera-energy-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Pacific Ag: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide.** 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/06/06/pacific-ag-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Petrobras: Biofuels Digest's 5-Minute Guide.** 2012. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2012/11/08/petrobras-biofuels-digests-5-minute-guide/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Shell, Cosan close \$12B JV – Iogen, Codexis holdings transferred to Raizen.** 2011. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2011/06/03/shell-cosan-close-12b-jv-io-gen-codexis-holdings-transferred-to-raizen/>>. Acesso em: 17 jul. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **Waste Management: Biofuels Digest's 2014 5-Minute Guide. 2014.** Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2014/04/06/waste-management-biofuels-digests-2014-5-minute-guide/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BIOFUELSDIGEST. **ZeaChen: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide.** 2015. Disponível em: <<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/03/02/zeachem-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

BLOOMBERG. **DuPont Acquires Enzyme Maker Danisco for \$5.8 Billion.** 2011. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/news/articles/2011-01-10/dupont-to-acquire-danisco-for-6-3-billion>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BNB. **A Evolução da Produção de Etanol no Brasil, no Período de 1975 a 2009.** Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/projwebren/Exec/artigoRenPDF.aspx?cd_artigo_ren=1342>. Acesso em: 14 dez. 2015.

BNDES. **BNDES aprova R\$ 592,1 mi para quatro projetos inovadores do setor sucroenergético.** 2014. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Noticias/2014/Todas/20141218_setor_sucroenergetico.html>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BOMTEMPO, J. V. **O Futuro dos Biocombustíveis VIII: Os Contrastes das Estratégias das Grandes Empresas de Petróleo e o Futuro da Bioeconomia.** 2013 Blog infopetro. Disponível em: <<http://infopetro.wordpress.com/2011/07/04/o-futuro-dosbiocombustiveis-viii-os-contrastes-das-estrategias-das-grandes-empresas-de-petroleo-e-ofuturo-da-bioeconomia/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

BOMTEMPO, J. V. **O futuro dos biocombustíveis X: as duas corridas do açúcar.** 2011. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2011/11/21/o-futuro-dos-biocombustiveis-x-as-duas-corridas-do-acucar/>>. Acesso em: 13 ago. 2016

BOMTEMPO, J.V. **O futuro dos biocombustíveis XIII: a matéria-prima como fator estruturante da indústria.** 2012. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2012/07/30/o-futuro-dos-biocombustiveis-xiii-a-materia-prima-como-fator-estruturante-da-industria/>>. Acesso em: 13 ago. 2016

BOMTEMPO, J. V. **O Futuro dos Biocombustíveis XVI: Perfis de Empresas e as Diferentes perspectivas em Relação a Bioeconomia.** 2013 Blog infopetro. Disponível em:<<http://infopetro.wordpress.com/2013/04/08/o-futuro-dos-biocombustiveis-xvi-perfis-deempresas-e-as-diferentes-perspectivas-em-relacao-a-bioeconomia/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

BOHNSACK, R. *et al.* Ans. Business models for sustainable technologies: Exploring business model evolution in the case of electric vehicles. **Research Policy**, v. 43, n. 2, p. 284-300, 2014.

BONSUCRO. **Um guia para Bonsucro.** 2013. Disponível em: <http://bonsucro.com/site/wp-content/uploads/2013/02/PT_A-Guide-to-Bonsucro-FINAL_DEC2013.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.

BRAEMAR. **Enerkem Raises C\$50 Million in Latest Financing Round.** 2013. Disponível em: <http://www.braemarenergy.com/news/pr/2013/enerkem_round_0620.html>. Acesso em: 20 jun. 2016.

CARLSBAD, C. **Verdezyne's Xylose Isomerase Technology Acquired by DuPont Industrial Biosciences.** 2012. Disponível em: <<http://www.businesswire.com/news/home/20121217005243/en/Verdezyne's-Xylose-Isomerase-Technology-Acquired-DuPont-Industrial>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

CERES. **Ceres 10k-Report.** 2013. Disponível em: <<http://investor.ceres.net/secfiling.cfm?filingID=1144204-13-64338>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

CHEMREC. **Energy Agency grants Chemrec SEK 100 million for world's first renewable DME plant.** 2008. Disponível em: <[http://www.chemrec.se/admin/UploadFile.aspx?path=/UserUploadFiles/BioDME press release 080404.pdf](http://www.chemrec.se/admin/UploadFile.aspx?path=/UserUploadFiles/BioDME%20press%20release%20080404.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2016.

CHESBROUGH, H. The era of open innovation. **MIT Sloan Management Review**, n.44, v.3, p. 35–41, 2003.

CHESBROUGH, H. e ROSENBLOOM, R. S. The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. **Industrial and corporate change**, v. 11, n. 3, p. 529-555, 2002.

CHIARAMONTI, David.
[Http://www.biolyfe.eu/images/stories/newsletters/Chiaramonti.pdf](http://www.biolyfe.eu/images/stories/newsletters/Chiaramonti.pdf). 2013. Disponível em: <<http://www.biolyfe.eu/images/stories/newsletters/Chiaramonti.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

CHOVAU, S. *et al.* Critical analysis of techno-economic estimates for the production cost of lignocellulosic bio-ethanol. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 307-321, 2013.

CODEXIS. **Shell And Codexis Deepen Collaboration To Speed Arrival Of Next Generation Biofuel**. 2009. Disponível em: <http://ir.codexis.com/phoenix.zhtml?c=208899&p=irol-newsArticle_pf&ID=1379336>. Acesso em: 12 jul. 2016.

CTBE. **Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos**. 2016. Disponível em: <<http://ctbe.cnpem.br/pt-br/instalacoes-ct/instalacoes-abertas/planta-piloto/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

CTC. **Mecanização deve alcançar 97% dos canaviais no Centro-Sul em 2015**. 2015. Disponível em: <<https://www.NOVACANA.com/n/cana/safra/ctc-mecanizacao-97-canaviais-210515/>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

DAVIS, Joel. Hopes for Vonore biofuel refinery remain elusive. 2013. Disponível em: <http://www.thedailytimes.com/news/hopes-for-vonore-biofuel-refinery-remain-elusive/article_042e0b4c-9553-5a8c-a81a-dfa2c159063d.html>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DEMIL B.; LECOCQ X. Business Model Evolution: In Search of Dynamic Consistency, **Long Range Planning**, 43, p. 227-246, 2010.

DOE. **BALES Project**. 2015. Disponível em: <http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/04/f21/terrestrial_feedstocks_comer_123106.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2016.

DOE. **Current State of the U.S. Ethanol Industry**. 2010. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f14/current_state_of_the_us_ethanol_industry.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.

DOE. **DuPont's Cellulosic Ethanol Grand Opening Marks a Milestone for the Advanced Biofuels Industry**. 2015. Disponível em:

<<http://www.energy.gov/eere/articles/dupont-s-cellulosic-ethanol-grand-opening-marks-milestone-advanced-biofuels-industry>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DOE. **Renewable Fuel Standard**. 2016. Disponível em: <<http://www.afdc.energy.gov/laws/RFS>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

DOE. **The Report of the Alcohol Fuels Policy Review**. 1979

DONGENERGY. **History**. 2016. Disponível em: <<http://www.dongenergy.com/en/about-us/dong-energy-in-brief/history>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

DRINNON, D. **Biomass to Energy in Tennessee**. 2011. Disponível em: <[http://energy.ky.gov/biofuels/Bioenergy Symposium 2011/Drinnon_Louisville.pdf](http://energy.ky.gov/biofuels/Bioenergy_Symposium_2011/Drinnon_Louisville.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DUPONT. **DuPont Engages Fagen on its Way to Commercializing Cellulosic Biofuels**. 2012. Disponível em: <<http://www.dupont.com/products-and-services/industrial-biotechnology/press-releases/fagen.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DUPONT. **History**. 2016. Disponível em: <<http://www.dupont.com/corporate-functions/our-company/dupont-history.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DUPONT. **Processing**. 2016. Disponível em: <http://www2.dupont.com/Renewably_Sourced_Materials/en_US/proc-biofuels.html>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DSM. **Commercializing Biosuccinium™ sustainable succinic acid**. 2016. Disponível em: <<http://www.dsm.com/corporate/about/business-entities/dsm-biobased-productsandservices/reverdia.html>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

DSM. **DSM acquires food enzymes business and key technology from Verenium**. 2012. Disponível em: <<http://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2012/03/04-12-dsm-acquires-food-enzymes-business-and-key-technology-from-verenium.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DSM. **DSM proves cellulosic bio-ethanol fermentation on industrial scale with 40% higher yield**. 2013. Disponível em: <<http://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2013/12/2013-12-04-dsm-proves-cellulosic-bio-ethanol-fermentation-on-industrial-scale-with-40-percent-higher-yield.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DSM. **DSM strengthens yeast technology leadership for 2G biofuels**. 2011. Disponível em: <<http://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2011/06/45-11-dsm-strengthens-yeast-technology-leadership-for-2g-biofuels.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DSM. **History**. 2016. Disponível em: <<http://www.dsm.com/corporate/about/our-company/dsm-history.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

DYADIC. **Next Generation Enzymes**. 2014. Disponível em:<<http://dyadic.com/wp-content/uploads/2014/07/Next-Generation-Enzymes.pdf>>. Acesso em 25 mar. 2016.

EC. **ENERGY.2008.3.2.2 - Bioethanol production from lignocellulosics**. 2014. Disponível em: <http://cordis.europa.eu/programme/rcn/13973_en.html>. Acesso em: 12 jul. 2016

EC. **From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals**. 2015. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EC_Sugar_Platform_final_report.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2016.

EC. **Land use change**. 2016. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/land-use-change>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

EC. **Renewable Energy Directive**. 2009. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

EDMONTON. **Factsheet - Edmonton Waste-to-Biofuels Initiative**. 2014. Disponível em: <http://www.edmonton.ca/programs_services/documents/PDF/Fact_Sheet_June_2014.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2016.

EGGERT, H. e GREAKER, M. Promoting second generation biofuels: does the first generation pave the road?. **Energies**, v. 7, n. 7, p. 4430-4445, 2014.

EIA. **Annual Energy Outlook 2015**. 2015. Disponível em: <[http://205.254.135.7/forecasts/aeo/pdf/0383\(2015\).pdf](http://205.254.135.7/forecasts/aeo/pdf/0383(2015).pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2016.

EIA. **E85 Deployment**. 2013. Disponível em: <<https://www.eia.gov/biofuels/workshop/presentations/2013/pdf/presentation-05-032013.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

EMBRAPA. **Recuperação de Pastagens Degradadas**. 2015. Disponível em: <http://agrosustentavel.com.br/downloads/recuperacao_de_pastagens_degradadas.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2015

EMBRAPA. **O impacto do uso da terra na sustentabilidade dos biocombustíveis**. 2014. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95502/1/Doc-347.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

ENERGYAGWIRED. **POET Announces POET Biomass**. 2009. Disponível em: <<http://energy.agwired.com/2009/06/17/poet-announces-poet-biomass/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

ENERKEM. **Site oficial.** Disponível em: <<http://enerkem.com/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

ENERKEM. **Waste as an Unconventional Feedstock for Renewable Fuels and Chemicals.** 2014. Disponível em: <http://dpw.lacounty.gov/epd/ConversionTechnology/Download/Enerkem_LA.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

EPA. **Program Overview for Renewable Fuel Standard Program.** 2016. Disponível em: <<http://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/program-overview-renewable-fuel-standard-program>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

EPA. **Renewable Fuel Standard.** 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

ETHANOLPRODUCER. **A Quiet Giant.** 2008. Disponível em: <<http://www.ETHANOLPRODUCER.com/articles/4151/a-quiet-giant>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

ETHANOLPRODUCER. **Arcadia Biosciences, DuPont Pioneer collaborate on sorghum.** 2016. Disponível em: <<http://ETHANOLPRODUCER.com/articles/10498/arcadia-biosciences-dupont-pioneer-collaborate-on-sorghum>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

ETHANOLPRODUCER. **Ending the Enzyme Enigma.** 2011. Disponível em: <<http://www.ethanolproducer.com/articles/7782/ending-the-enzyme-enigma>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

ETHANOLPRODUCER. **Fired Up By Lignin.** 2015. Disponível em: <<http://www.ethanolproducer.com/articles/12006/fired-up-undefinedby-lignin>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

ETHANOLPRODUCER. **Lallemand acquires Mascoma's yeast development business.** 2014. Disponível em: <<http://www.ethanolproducer.com/articles/11614/lallemand-acquires-mascomas-yeast-development-business>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

ETHANOLPRODUCER. **Poet, Iowa partner to produce cellulosic ethanol.** 2009. Disponível em: <<http://ethanolproducer.com/articles/5474/poet-iowa-partner-to-produce-cellulosic-ethanol/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

ETHANOLPRODUCER. **Shell, Iogen announce availability of cellulosic E10, use of fuel at Le Mans Race.** 2009. Disponível em: <<http://www.ethanolproducer.com/articles/5761/shell-iogen-announce-availability-of-cellulosic-e10-use-of-fuel-at-le-mans-race>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

EXAME. **EUA põem fim aos subsídios do etanol depois de mais de 3 décadas.** 2011. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/noticias/eua-poe-fim-aos-subsidios-do-etanol-depois-de-mais-de-3-decadas>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

E2. **ADVANCED BIOFUEL MARKET REPORT 2014.** 2015. Disponível em: <<https://members.e2.org/ext/doc/E2AdvancedBiofuelMarketReport2014.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

FARGIONE, J *et al.* **Land clearing and the biofuel carbon debt.** *Science* 2008, 319, 1235–1238.

FINEP. **Edital de Seleção Pública Conjunta BNDES/Fidep de Apoio à inovação Tecnológica Agrícola no Setor Sucroenergético- PAISS Agrícola– 02/2014.** 2014. Disponível em: <<http://download.finep.gov.br/chamadas/paiss/resultados/ResultadoFinal.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

FISHER, D. **Biofuels: Fueling growth and innovation in Canada.** 2013. Disponível em: <<http://biotechnologyfocus.ca/biofuels-fueling-growth-and-innovation-in-canada/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

FOLHA DE SÃO PAULO. **'Quando o país der certo, estaremos 5 anos à frente', diz criador da Granbio.** Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/pais-certo-frente-granbio-240214/>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

FUELS INSTITUTE. **A Market Performance Analysis and Forecast.** 2014. Disponível em: <http://fuelsinstitute.org/ResearchArticles/E85_AMarketPerformanceAnalysisForecast.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.

FTC. **2015 Report on Ethanol Market Concentration.** 2015. Disponível em: <<https://www.ftc.gov/system/files/documents/reports/report-congress-ethanol-market-concentration/2014ethanolreport.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

G1. **Mistura de etanol na gasolina sobe hoje.** 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/03/mistura-de-etanol-na-gasolina-sobe-hoje.html>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

GEELS, F. W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. **Research policy**, v. 33, n. 6, p. 897-920, 2004.

GEELS, F. W. *Technological transitions and System Innovations, A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis.* **Elgar Publishing Limited, Massachusetts, USA**, 2005.

GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, v.31, p. 1257-1274, 2002.

GOVERNMENT OF CANADA. **SME Research and Statistics**. 2016. Disponível em: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/061.nsf/eng/h_02881.html#point0>. Acesso em: 20 jun. 2016.

GRANBIO. **BNDESpar invests R\$ 600 million in GraalBio**. 2013. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/en/wp-content/uploads/sites/2/2015/04/Release-GraalBio-BNDES-ingles.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

GRANBIO. **GranBio entrega estação que vai atender a primeira fábrica de etanol 2G do país**. 2016. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/blog/granbio-entrega-estacao-que-vai-atender-a-primeira-fabrica-de-etanol-2g-do-pais/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

GRENNFUELS. **Industry Map**. 2016. Disponível em: <<http://greenfuels.org/industry/industry-map/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

GSI. **BIOFUELS – AT WHAT COST?: Government support for ethanol and biodiesel in Canada**. 2009. Disponível em: <https://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/Canadian_biofuels_May_2011.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2016.

GSI. **BIOFUELS - AT WHAT COST ?: Government support for ethanol and biodiesel in China**. 2008. Disponível em: <https://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/China_Biofuels_Subsidies.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.

HAMILTON, W. F. Corporate strategies for managing emerging technologies. **Technology in Society**, v. 7, n. 2-3, p. 197-212, 1985.

HAMILTON, W. F. The dynamics of technology and strategy. **European Journal of Operational Research**, v. 47, n. 2, p. 141-152, 1990.

IEA. **CO2 emissions from fuel combustion-highlights**. 2015. Disponível em: //www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsTrends.pdf. Cited July, 2015.

IEA. **Energy Policies of IEA Countries 2015 Review Canada**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesCanada2015Review.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

IEA. **Technology Roadmap: Biofuels for Transport**. 2011. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap_web.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2016.

IEA. **World Energy outlook**. 2015

JACOBS CONSULTANCY. **Identification of Opportunities for the Production of Bio-Products from Waste Bio-Mass in Alberta**. 2013.

KEMP, R.; ROTMANS, J. The Management of the Co-evolution of Technological, Environmental and Social Systems, paper for the conference Towards Environmental Innovation Systems, Eibsee, p. 27-29, 2001

KHANNA *et al.* Sustainability of food, energy and environment with biofuels. *Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.* 2009, 4, 1–8.

KOPLow, D. N. Biofuels--at what Cost?: Government Support for Ethanol and Biodiesel in the United States. **International Institute for Sustainable Development**, 2006.

KOVARIK, B. **History of Biofuels**: Chapter One,. 2013. Disponível em: <<http://www.environmentalhistory.org/billkovarik/about-bk/research/cabi/>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

KUPFER, D. e HASENCLEVER, L. **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil**. 2013.

LANZATECH. **Facilities**. 2016. Disponível em: <<http://www.lanzatech.com/facilities/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

LAPOLA, D.M. *et al.* Indirect Land-Use Changes Can Overcome Carbon Savings from Biofuels in Brazil. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 2010, 107, 3388–3393

LI, S. e CHAN-HALBRENDT, C. Ethanol production in (the) People’s Republic of China: potential and technologies. **Applied Energy**, v. 86, p. S162-S169, 2009.

MAGRETTA, J. Why Business Models Matter, **Havard Business Review**, p 1-9, 2002.

MALERBA, F. ; ORSENIGO, L. Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities. **Industrial and corporate change**, v. 6, n. 1, p. 83-118, 1997.

MANZATTO, C. V. *et al.* Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. **Embrapa Solos**. Documentos, 2009.

MCTI. **Ministro destaca pioneirismo de Alagoas no aproveitamento da cana**. 2015. Disponível em: <http://www.mcti.gov.br/pagina-noticia/-/asset_publisher/IqV53KMvD5rY/content/ministro-destaca-pioneirismo-de-alagoas-no-aproveitamento-da-cana;jsessionid=F3010B7F84FBA4389D9881077F7600FD?redirect=/noticia/-/asset_publisher/epbV0pr6eIS0/content/professor-da-ufv-e-ministro-dialogam-sobre-geracao-de-energia-por-meio-da-biomassa-da-madeira;jsessionid=EF2CD5ED24A538338FEABEB9409BA5D2?p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_564233524_tag=biomassa&>. Acesso em: 20 jun. 2016.

MELÉNDEZ, J *et al.* **A Literature Review of Biomass Feedstocks for a Biorefinery. Integrated Biorefineries: Design, Analysis, and Optimization**, p. 433, 2012.

M&G. **Group history.** 2016. Disponível em: <<http://www.gruppomg.com/en/about/group-history>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

MILES, A. **Enerkem biorefineries: setting a new global standard in biofuels, chemicals and waste management.** 2015. Disponível em: <http://iswa2015.org/assets/files/downloads/01_miles__alex.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

MILANEZ, A. Y. *et al.* De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 41, 2015.

MILANEZ, A. Y. *et al.* O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDES Setorial**, n. 35, mar. 2012, p. 277-302, 2012.

MME. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2014.** 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energética+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

NASS, L. L. *et al.* Biofuels in Brazil: An Overview. **Crop Science**, 2228-2237. 2007

NELSON, R. R.; WINTER, G. 1982. **An evolutionary theory of economic change.** 2005.

NGUYEN, H. **Production and policy.** Disponível em: <<https://biowesleyan.wordpress.com/first-generation-biofuels/ethanol/corn-based-ethanol-in-the-u-s/policy/>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

NREL. 2015 Survey of Non-Starch Ethanol and Renewable Hydrocarbon Biofuels Producers. 2016. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65519.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

NOGUEIRA, L. A. H. *et al.* Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. **BNDES**, Rio de Janeiro, v. 316, 2008.

NOVACANA. **A experiência da Raízen no sistema de mudas pré-brotadas.** Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/plantio/experiencia-raizen-sistema-mudas-pre-brotadas-030215/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

NOVACANA. **BNDES financiará 1ª unidade integrada de etanol de segunda geração do mundo.** 2013. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/industria/investimento/bndes-financiara-1-unidade-integrada-etanol-2g-130913/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

NOVACANA. **Cana-energia, a revolução sucroenergética está começando.** 2015. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/variedades/especial-cana-energia-revolucao-sucroenergetica-201015/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

NOVACANA. **Como as usinas brasileiras serão afetadas pelas mudanças em discussão na Califórnia.** 2015. Disponível em: <<https://www.NOVACANA.com/n/etanol/mercado/exportacao/usinas-brasileiras-afetadas-mudancas-discussao-california-190815/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

NOVACANA. **Com muitos desafios, cana-energia avança no Brasil.** 2016. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/variedades/desafios-cana-energia-avanca-brasil-220316/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

NOVACANA. **Com prejuízo de R\$ 38,8 milhões, usina de E2G da Granbio amplia perdas em 2015.** 2016. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/prejuizo-r-38-8-milhoes-usina-e2g-granbio-amplia-perdas-2015-030516/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

NOVACANA. **Depois da ‘arrancada’, usina de E2G da Poet-DSM parte para ‘fase de aceleração’.** 2016. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/depois-arrancada-usina-e2g-poet-dsm-fase-aceleracao-060516/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

NOVACANA. **Expectativa X realidade: o avanço das mudas pré-brotadas nos canaviais do Brasil.** 2016. Disponível em: <<https://www.NOVACANA.com/n/cana/plantio/expectativa-realidade-avanco-mudas-pre-brotadas-canaviais-brasil-250216/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

NOVACANA. **Futuro brilhante do etanol celulósico está ameaçado.** 2016. Disponível em: <<https://www.NOVACANA.com/n/etanol/2-geracao-celulose/futuro-brilhante-etanol-celulosico-ameacado-010316/>>. Acesso em: 03 maio 2016.

NOVACANA. **GranBio terá primeira levedura transgênica brasileira para etanol celulósico.** 2014. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-levedura-transgenica-etanol-segunda-geracao-021214/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

NOVACANA. **GranBio, um ano depois: a evolução da primeira usina de etanol celulósico do Brasil.** 2015. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-ano-evolucao-primeira-usina-etanol-celulosico-brasil-101115/>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

NOVACANA. **Seis grupos tradicionais recebem aval do BNDES para inovar nos canaviais.** 2014. Disponível em: <<https://www.NOVACANA.com/n/industria/investimento/grupos-tradicionais-recebem-aval-bndes-inovar-170714/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

NOVACANA. **Projeto de usina de etanol celulósico da Petrobras está parado e sem previsão para recomeçar.** 2015. Disponível em: <<https://www.NOVACANA.com/n/etanol/2-geracao-celulose/projeto-usina-etanol-celulosico-pbio-parado-270315/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

NOVACANA. **Mitsui dá adeus ao setor sucroenergético em venda de US\$ 200 milhões.** 2015. Disponível em:

<<https://www.NOVACANA.com/n/industria/usinas/mitsui-adeus-setor-sucroenergetico-venda-031215/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

NOVACANA. **Unidade Lajedão.** 2016. Disponível em:

<<https://www.novacana.com/usinas-brasil/nordeste/bahia/unidade-lajedao/>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

NOVOZYMES. **The Novozymes Report 2013.** 2014. Disponível em:

<<http://www.novozymes.com/en/investor/financial-reports/documents/the-novozymes-report-2013.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

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

NYKO, D. *et al.* A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?. **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p 399-442, 2013.

OLIVEIRA, P. V. e ALMEIDA, E. **Impactos Recentes da Política de Controle Indireto dos Preços de Gasolina, Diesel e GLP na Petrobras.** 2014. Disponível em:

<<http://www.gee.ie.ufrj.br/index.php/get-artigo/480-impactos-recentes-da-politica-de-controle-indireto-dos-precos-de-gasolina-diesel-e-glp-na-petrobras-2?highlight=WyJ2YXJnYXMiXQ==>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

ODEBRETCH. **Site oficial.** 2016. Disponível em:

<<http://www.odebrehtagroindustrial.com/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

PEREIRA, F. *et al.* **Programas de subvenção às atividades de Pdi:** uma comparação em biocombustíveis no Brasil, eua e europa. 2015. Disponível em: <<http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/rbi/article/view/1122/751>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

OROSKI, F. **MODELOS DE NEGÓCIO E TRANSIÇÃO DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS::** o caso dos bioplásticos. 2013. Disponível em:

<<http://tpqb.eq.ufrj.br/download/modelos-de-negocio-e-transicao-de-sistemas-tecnologicos.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2016.

ORY, L. **POET receives \$6.85 million.** 2009. Disponível em:

<<http://www.messengernews.net/page/content.detail/id/518901.html?nav=5010>>.

Acesso em: 12 jul. 2016.

PACIFIC AG. **Developing a Corn Stover Supply Chain with DuPont.** 2016.

Disponível em: <<http://www.pacificag.com/default-blog/developing-a-corn-stover-supply-chain-with-dupont>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

PERTUSIER, R. R. **Sobre a eficácia da OPEP como cartel e de suas metas como parâmetros de referência para os preços do petróleo.** 2004. Tese de Doutorado.

Dissertação de Mestrado), Almeida, EF (orientador), Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PENROSE, Edith T. *The theory of the growth of the firm*. **New York: Sharpe**, 1959.

POET. **History**. 2016. Disponível em: <<http://www.poet.com/history>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

POSSAS, M. L. Elementos para uma integração micro-macrodinâmica na teoria do desenvolvimento econômico. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 1, n. 1 jan/jun, p. 123-150, 2009.

PROVINE, W. **DuPont's Journey to Build a Global Cellulosic BioFuel Business Enterprise**. 2014. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/provine_biomass_2014.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.

REN. **Renewables 2015: Global Status Report**. 2015. Disponível em: <<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

RFA. **Ethanol Biorefinery Locations**. 2016. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/resources/biorefinery-locations/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

RFA. **Renewable Fuel Standard**. 2016. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/policy/regulations/renewable-fuel-standard/>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

RHODIA. **SGBio realiza compra estratégica de ativos de tecnologia da Cobalt**. 2015. Disponível em: <http://www.rhodia.com.br/pt/imprensa/press_releases/SGBio-realiza-compra-estrategica-14-10-2015.html>. Acesso em: 20 jun. 2016.

RIP, A. ; KEMP, R. **Technological change**. Battelle Press, 1998.

RODRIGUES, R. **Em 1927, o primeiro grande empreendimento brasileiro em álcool combustível**. 2000. Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20080319112800/http://www.aondevamos.eng.br/boletins/edicao07.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

ROTHMAN, H. *et al.* *Energy from alcohol: the Brazilian experience*. **University Press of Kentucky**, 1983.

SAMUELS, D. **Codexis lays off 133, hires new CFO**. 2012. Disponível em: <<http://www.bizjournals.com/sanjose/news/2012/09/04/codexis-lays-off-133-hires-new-cfo.html>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

SANTOS, G. **2014 DOE Biomass Program Integrated Biorefinery Project Comprehensive Project Review**. 2014. Disponível em:

<http://energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/santos-leon_biomass_2014.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SANTOS, G. **Integrated Biorefineries: How the Advanced Bioindustry is Reshaping American Energy.** 2013. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f15/b13_santos_ap-2.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SCHMITZ, A. *et al.* The economics of alternative energy sources and globalization. **Bentham Science Publishers**, 2011.

SCHENPF, Randy. Cellulosic ethanol: Feedstocks, conversion technologies, economics, and policy options. **Asia Pacific Journal of Life Sciences**, v. 5, n. 3, p. 171, 2011.

SCHUMPETER, J.. Creative destruction. **Capitalism, socialism and democracy**, p. 82-5, 1942.

SDTC. **Enerkem Alberta Biofuels Project.** 2016. Disponível em: <<https://www.sdtc.ca/en/portfolio/projects/enerkem-alberta-biofuels-project>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SDTC. **Valorization of Municipal Solid Residues via Sorting, Gasification and Conversion to Energy Products.** 2016. Disponível em: <<https://www.sdtc.ca/en/portfolio/projects/valorization-municipal-solid-residues-sorting-gasification-and-conversion-energy>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SEC. **Abengoa Annual Report 2014.** 2014. Disponível em: <http://www.abengoa.com/export/sites/abengoa_corp/resources/pdf/en/gobierno_corporativo/hr_y_otras_comunicaciones_cnmv/hechos_relevantes/2014/20140319_hr_en.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SEC. **Dupont Annual Report 2015.** 2015. Disponível em: <http://s2.q4cdn.com/752917794/files/doc_financials/2015/annual/DD-12.31.2015-10K-FINAL-FILED.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.

SEC. **Enerkem Annual Report 2012.** 2012. Disponível em: <<http://www.nasdaq.com/markets/ipo/filing.ashx?filingid=8110665>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SDTC. **Lignol.** 2016. Disponível em: <<https://www.sdtc.ca/en/organizations/lignol-innovations-ltd>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

SHELL. **OUR BEGINNINGS.** 2016. Disponível em: <<http://www.shell.com/about-us/who-we-are/our-beginnings.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

SIMS *et al.* An overview of second generation biofuel technologies. **Bioresource technology**, v. 101, n. 6, p. 1570-1580, 2010.

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

SORIANO *et al.* EU research and innovation (R&I) in renewable energies: The role of the strategic energy technology plan (SET-Plan). **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3582-3590, 2011.

SPERLING, Daniel. New transportation fuels: a strategic approach to technological change. **Univ of California Press**, 1990.

SUNOPTA. **SunOpta Signs Contracts to Apply Steam Explosion Technology to the Production of Ethanol**. 2004. Disponível em: <<http://investor.sunopta.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=287102>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

TEECE D. J. Business Models, Business Strategy and Innovation, **Long Range Planning**, v.43, p- 172-194, 2010.

TEECE, D. J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. **Strategic management journal**, v. 28, n. 13, p. 1319-1350, 2007.

TEECE, D.J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. **Research Policy**, v. 15, 6, p. 285-305, 1986.

TOLAN, J. S. Iogen's process for producing ethanol from cellulosic biomass. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 3, n. 4, p. 339-345, 2002.

UNCTAD. **Second Generation Biofuels Market: state of play, trade and developing country perspectives**. 2016. Disponível em: <http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2015d8_en.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2016.

UNCTAD. **The state of biofuel market**. 2014. Disponível em: <http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2013d8_en.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2016.

UNICA. **Histórico de produção**. 2016. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

USDA. **Canada Biofuels Annual Report**. 2015. Disponível em: <[http://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Biofuels Annual_Ottawa_Canada_8-19-2015.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Ottawa_Canada_8-19-2015.pdf)>. Acesso em: 22 mar. 2016.

USDA. **EU Biofuels Annual 2015**. 2015. Disponível em: <[http://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Biofuels Annual_The Hague_EU-28_7-15-2015.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_7-15-2015.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2016.

USDA. **The 2002 Farm Bill: Provisions and Economic Implications**. 2002. Disponível em: <http://www.ers.usda.gov/media/264043/ap022_4_.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.

USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. 2016. Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

YACOBUCCI, B. “Fuel Ethanol: Background and Public Policy Issues.” Report No. RL30369. **Washington, DC: Congressional Research Service**, 17 December 2004

YINBO *et al.* Studies on cellulosic ethanol production for sustainable supply of liquid fuel in China. **Biotechnology journal**, v. 1, n. 11, p. 1235-1240, 2006.

SHELLER, W. A. **Testing of a 10% ethanol-90% gasoline mixture for automotive fuel**. United Nations Industrial Development Organization, New York, NY, 1979.

WEST, J. “E.I Du Pont de Nemours an Company (A)”. **Harvard Business School**. 1998.

XAVIER, M. R. **The Brazilian Sugarcane Ethanol Experience**. Washington, DC: Competitive Enterprise Institute. 2007.

ZEACHEM. **Project Development**. 2016. Disponível em: <<http://www.zeachem.com/project-development/>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

ZOTT *et al.* The business model: recent developments and future research. **Journal of management**, v. 37, n. 4, p. 1019-1042, 2011.

ANEXO

Box A.1- Avanço do etanol na China

Na China, os primeiros esforços com E2G datam de 1958, ano em que a URSS construiu uma unidade de produção do E2G em Heilongjiang. A unidade operava com resíduos florestais e produzia o etanol através da hidrólise ácida. A produção em Heilongjiang estendeu-se até 1990 quando toda a floresta nas proximidades da usina foi desmatada (YINBO *et al.*, 2006). A partir dessa data os esforços seguintes se concentraram em universidades como o caso das universidades Nanjing Forest e Zhejiang que na década de 90, com o foco em biotecnologia, passaram a desenvolver tecnologias de hidrólise enzimática (YINBO *et al.*, 2006).

Entretanto, o grande salto para o etanol na China começou em 2000 quando o governo chinês, através do lançamento do 10ºFive-Year Plan (FYP) (2000-2005), plano elaborado de cinco em cinco anos que estipula metas a serem alcançadas em diversas áreas econômicas, sociais e ambientais. No caso, uma novidade do 10º FYP, foi a proposta do estabelecimento de uma indústria do etanol nacional cujo objetivo era gerar maior renda agrícola, reduzir a enorme dependência energética chinesa e reduzir as emissões de GEE (LI e CHAN-HALBRENDT, 2009).

Em 2001, a primeira planta de produção de E1G foi inaugurada na Província de Henan, ocasião em que também foi estabelecido mandatos obrigatórios de E10 em três cidades da Província. A medida que a expansão da produção de etanol crescia também crescia o número de províncias com obrigatoriedade do E10 (GSI, 2008). Atualmente nove províncias possuem mandatos obrigatórios do E10 e, desde 2000, subsídios na ordem dos US\$100 milhões por ano foram oferecidos à produção de etanol e estima-se que em 2022 esse valor passe a ser de \$ 616 milhões de dólares (UNCTAD, 2016; GSI, 2008).

A China conta com a peculiaridade de que quase todas as unidades de produção de etanol são estatais e que apenas a Sinopec e a CNPC, petroleiras estatais, compram e misturam o etanol (GSI, 2008).

No 11º FYP seguinte os incentivos com base em subsídios e mandatos obrigatórios continuaram, entretanto, devido à elevação do preço do milho e a ameaça da falta de abastecimento desse produto, a construção de novas plantas de E1G a base de milho foi restringida pelo governo que passou a incentivar o E1G derivado de batata doce, mandioca e de sorgo sacarino, vegetais capazes de crescer em áreas pouco férteis, e a produção de E2G (GSI, 2008).

A primeira unidade piloto de E2G foi inaugurada em 2005 na East China University of Science and Technology. Em seguida, as estatais COFCO e Jilin Fuel Ethanol inauguraram as suas respectivamente em 2006 e 2008 (UNCTAD, 2016).

Empresas internacionais podem produzir etanol na China, desde que atuem na China através de uma *joint venture* com alguma empresa chinesa (GSI, 2008). Como é o caso da LanzaTech e Baosteel, siderúrgica, que inauguram uma planta de demonstração de E2G em Shanghai, em 2012, que utiliza gases residuais da produção de aço (UNCTAD, 2016).

Outros exemplo é a *joint venture* entre a Beta Renewables e o grupo chinês Guozhen, produtor de bebidas, que pretendem inaugurar no final de 2016 a maior unidade produtora de E2G do mundo, com capacidade de produção de 235 milhões de litros por ano (UNCTAD, 2016).

A China hoje ocupa a terceira posição mundial na produção de etanol⁴⁰, em 2015 foram produzidos 3 bilhões de litros, e a segunda posição em capacidade produtiva de E2G, em 2015 foi de 340 milhões de litros por ano (RFA, 2016; UNCTAD, 2016). A peculiaridade da China frente aos demais países é a grande participação de empresas estatais, os preços controlados dos combustíveis controlados e a construção de novas unidades é regulada pelo governo, sendo que a entrada de empresas internacionais é restrita (GSI, 2008).

Box A.2- Avanço do etanol no Canadá

No Canadá os primeiros esforços de tentativa da construção de uma indústria de etanol aconteceram ao fim da década de 70 em decorrência das Crises do Petróleo. A

⁴⁰ A Europa produziu mais que a China, porém, considerando apenas países a China ocupa a terceira posição.

primeira unidade de produção comercial de etanol (E1G) foi inaugurada apenas em 1981, pela Husky Energy, e utilizava o trigo como matéria-prima. Até a década de 90 essa foi a única planta de etanol comercial, responsável por abastecer cerca de 250 postos de combustíveis que vendiam E5 (GSI, 2009).

A expansão da produção de etanol foi desestimulada pela queda do preço do petróleo. Por isso a segunda planta comercial de etanol só foi inaugurada em 1990, também a base de trigo. A primeira unidade a utilizar o milho como insumo surgiu em 1997, e pertence a Greenfields Ethanol (GSI, 2009). Atualmente a empresa é a maior produtora do Canadá possuindo 4 unidades de produção de E1G e participa de uma *joint venture*, a Vanerco, com a Enerkem, que planeja produzir E2G a partir de resíduos florestais e urbanos.

Diferente do que ocorre nos outros países, o Canadá não possui dependência energética de petróleo importado. Ele possui atualmente a terceira maior reserva provada de petróleo e a maior parte de sua produção é exportada, principalmente para os EUA (IEA, 2016)⁴¹. Por isso o apoio que se observa pelo governo canadense pelo estímulo ao etanol dá-se muito mais por questões relacionadas ao meio ambiente e avanços tecnológicos. Por essas questões o governo lançou em 1994 o National Biomass Ethanol Program (NBEP), que autorizou a utilização de C\$ 140 milhões para empréstimos de contingência⁴² para construção de unidades de etanol (GSI, 2009).

Em 2000 o Governo Federal lançou o Action Plan 2000 on Climate Change, cujo objetivo era reduzir as emissões de GEE do país estabelecida pelo Protocolo de Kyoto. O plano incluía o Future Fuel Initiative (FFI) que tinha como meta alcançar a produção anual de 750 milhões de litros⁴³, para atender a mistura obrigatória E10 em pelo menos 25% de toda gasolina utilizada no Canadá. Para atender o FFI, em 2003, foi anunciado o Ethanol Expansion Program (EEP) que ofertou cerca de C\$ 107 milhões em empréstimos condicionais a 11 projetos de plantas de etanol (CSI, 2009).

⁴¹ Em 2015, as reservas provadas de petróleo do Canadá eram de 173 bilhões de barris. Em 2014 o Canadá foi o 15º maior exportador de petróleo (IEA, 2016)

⁴² O pagamento dos empréstimos está condicionado a condições do mercado

⁴³ Meta alcançada em 2008, onde foram produzidos 960 milhões de litros de etanol (USDA, 2015).

Os empréstimos condicionais do EEP eram com base na capacidade de cada projeto em reduzir as emissões de GEE. Assim, plantas que fossem capazes de reduzir mais as emissões recebiam mais financiamento. Além disso, as empresas só precisavam pagar os empréstimos após três anos do início operacional da planta e, após esse período, em caso de lucros, deveriam pagar 20% desses. Caso contrário, isto é, não tenha obtido lucro, a empresa não precisava pagar o empréstimo. Isso valia a penas para os sete primeiros anos (GSI, 2009).

O apoio na construção de nova capacidade produtiva continuou durante os anos 2000 com o lançamento do EcoAgriculture Biofuels Capital Initiative (ecoABC). Programa contemplava outros biocombustíveis e disponibilizou um total de C\$ 200 milhões que deveriam ser investidos entre os anos de 2007 e 2011. Entre algumas condições para o financiamento estava a necessidade de que as novas plantas produzam do mínimo 5 milhões de litros por ano. O ecoABC financiou três novas plantas de produção de etanol aumentando a capacidade produtiva do Canadá em 375 milhões de litros por ano (CSI, 2009).

As mencionadas políticas canadenses acabaram por estimular muito mais a produção do E1G do que E2G. Entretanto o apoio governamental no avanço deste último também sempre esteve presente.

O suporte ao desenvolvimento do E2G por parte do governo data da década de 80. Por exemplo, a planta Piloto da Iogen, inaugurada em 1982 teve aproximadamente metade dos seus custos financiados por instituições governamentais como National Research Council Canada (NRC), Natural Resources Canada (NRCan), e Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC). O investimento total entre meados dos anos 80 e meados dos 90 na empresas chegaram a quase C\$ 20 milhões. O apoio à Iogen continuou durante a construção de sua segunda planta piloto em 1997, mais C\$ 18 milhões foram investido por instituições públicas (CSI, 2009). Universidades canadenses também passaram a pesquisar tecnologias de segunda geração. A British Columbia, que juntamente com a Syntec Biofuel Research desenvolveu, em 2001, um avançado processo de gaseificação (CSI, 2009).

Em 2007 a Sustainable Development Technology Canada (SDTC), uma organização sem fins lucrativos do governo do Canadá, criou o NextGen Biofuels Fund,

um fundo de investimento para biocombustíveis celulósicos de cerca de C\$ 500 milhões. Os investimentos do fundo deveriam contemplar unidades em escala de demonstração e que sejam a primeira do tipo. O SDTC não poderia gastar mais de C\$ 200 milhões por projeto. O SDTC investiu na Vanerco, citada anteriormente, além do NextGen Biofuels Fund, o SDTC também utilizou recursos do SD Tech Fund (CSI, 2012 e Fisher, 2013). O SDTC, ainda foi responsável pelo financiamento de outras duas plantas de E2G, a planta piloto da Lignol Innovations, inaugurada em 2009, e a planta de demonstração da mesma empresa, em 2015 (SDTC, 2016).

Destaque merece ser dado ao apoio por parte das províncias. Alberta, uma das províncias que investe em biocombustíveis, através da Alberta Innovates, laboratório pertencente à província, investiu U\$ 29 milhões na Enerkem para construção da planta comercial de produção de biocombustíveis com a utilização de resíduos sólidos urbanos. Além do financiamento a Alberta Innovates contribui com apoio técnico e administrativo (BIOFUELSDIGEST, 2014). Quebec destaca-se por aplicar um mandato de mistura de E2G à gasolina de 5%, o governo provincial também é responsável por financiamentos a unidades produtivas, investiu U\$ 18 milhões em *grants* e U\$ 9 milhões em empréstimos na Varneco (USDA, 2015; BIOFUELSDIGEST, 2014).

Atualmente o Canadá é o quarto maior produtor de etanol, em 2015 produziu 1,6 bilhões de litros (RFA, 2016), através de 20 usinas (GREENFUELS, 2016). Em relação ao E2G o país ocupa a terceira posição em capacidade produtiva, 303 bilhões de litros por ano (UNCTAD, 2016).

Box A.3- Avanço do etanol na Europa

Na União Europeia (UE), as principais políticas de fomento aos biocombustíveis com o fim de redução das emissões de GEE começaram nos anos 2000. Em 2003, entrou em vigor a Directive 2003/30/EC, a Biofuel Directive. Ela requeria que os Estados Membros da UE estimulassem o uso de biocombustíveis no setor de transporte estipulando metas para a utilização destes. As metas que foram estabelecidas pelo Biofuel Directive foram 2% do uso de biocombustíveis no setor de transportes até 2005 e 5,75% até 2010. A política não foi eficiente, principalmente por se tratarem de metas indicativas (não obrigatórias) (UNCTAD, 2014). Em paralelo a Biofuel Directive, a Comissão

Europeia (EC), através da Directive 2003/96/EC, estimulou que os estados membros aplicassem parcial ou total isenções fiscais as energias renováveis, incluindo os biocombustíveis. As isenções deveriam primeiro passar pelo crivo da EC, de maneira a se evitar distorções de mercado (UNCTAD, 2014).

Em 2009, após longas discussões iniciadas desde 2007, foi aprovada a Renewable Energy Directive (RED). A nova diretiva estabelecia a meta de 20% do uso de renováveis nas matrizes energéticas dos Estados Membros em 2020. Para o setor de transportes ficou estabelecido uso de 10% de fontes renováveis (NYKO *ET AL.*, 2010). A RED determinou que os Estado Membros enviassem até 2010 seus planos com de como atingir as metas determinadas. Muitos países atrasaram o envio dos planos, mas em 2014 todos planos já haviam sido enviados e na análise feita pela EC, em 2020, a matriz energética da UE contaria com 20,7% de renováveis(UNCTAD, 2014).

Os biocombustíveis estimulados pela RED possuem elevada exigência quanto aos seus critérios de sustentabilidade. Apesar de inicialmente permitir a utilização de biocombustíveis que reduzam as emissões de GEE em 35% a partir de 2017 essa exigência passa para 50% e de 2018 passa para 60% (EC, 2009). A elevada exigência se atribuiu ao cálculo utilizado na RED para estipular as reduções de emissões, principalmente quanto ao uso indireto da terra. Em 2012 o EC divulgou sua metodologia de cálculo de uso indireto da terra causado pela utilização das diferentes matérias-primas para a produção de biocombustíveis. O objetivo era guiar os países na transição do suporte dos biocombustíveis de primeira geração para os de segunda geração.

Em 2013 a EC apresentou o primeiro relatório analisando o progresso nos Estados Membros em atingir as metas afirmadas. Para esse ano constataram que metade dos países alcançaram pelo menos o uso de 5% de fontes renováveis no setor de transporte. Em 2015 um segundo relatório de acompanhamento foi publicado, nesse, concluiu-se que os Estados Membros estão caminhando bem para alcançar a meta estipulada de 20% de energias renováveis na matriz energética, contudo, para a meta de 10% no setor de transporte há maiores dificuldades (USDA, 2015).

O segundo relatório revelou que a participação de renováveis na matriz energética europeia chegou a 15% em 2013 e que 26 países membros foram bem-sucedidos na perseguição da meta. No setor de transporte, em 2013, a participação das

renováveis foi de apenas 5,4%. O alcance da meta no setor é dificultado pela elevada exigência nos critérios de sustentabilidade para o uso de biocombustíveis que acaba por limitar o avanço dos biocombustíveis de primeira geração (USDA, 2015).

Em 2015 novas regras foram adicionadas ao RED, entre as principais destacam-se a de limitar a expansão do uso de biocombustíveis de primeira geração a apenas 7% do total usado no setor de transporte, introduziu uma meta indicativa de mistura de biocombustível avançado de 0,5% e obrigou os fornecedores de biocombustíveis a apresentar o nível de emissões de GEE causado pela mudança no uso da terra (EC, 2016).

No que diz respeito ao incentivo à inovação e comercialização das novas tecnologias a EC formulou em 2007 o Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan). O SET-Plan assemelha-se ao MYPP dos EUA, isto é, identifica nas novas tecnologias aquelas que possuem maior potencial de entrar no mercado e as estimula. Ele aborda dois horizontes, o de médio prazo, até 2020, e o de longo prazo, até 2050, onde haveria a completa descarbonização na UE (Soriano e Mulatero, 2011). Dentro do SET-Plan há o European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI), iniciativa que tem como objetivo canalizar os atores e recursos necessários para reforçar os investimentos em P&D nessa área. Os investimentos são orientados por objetivos mensuráveis em termos de redução de custos, melhor desempenho e redução de GEE (NYKO *ET AL.*, 2010). O orçamento estimado é de €8 bilhões para serem investidos ao longo de 10 anos no suporte de 15 a 20 projetos (USDA, 2015).

Apesar de na Europa o principal biocombustível consumido, e por tanto, o que atrai mais investimentos ser o biodiesel, importantes avanços foram feitos no desenvolvimento da produção do E2G.

A principal empresa a produzir o E2G na Europa é a BetaRenewables, que inaugurou a primeira planta de produção comercial em 2013. A unidade, instalada na Itália, produz o E2G com a utilização de resíduos agrícolas e contou com o financiamento da quase U\$ 40 milhões de diversas instituições europeias (BIOFUELSDIGEST, 2015).

A Inbicon é uma empresa dinamarquesa cujas origens datam da década de 90, quando, sobre o nome de Elsan, a empresa produzia bioenergia. Em 2003 ela inaugurou sua primeira unidade piloto de produção de E2G. Em 2006 houve uma grande fusão entre 6 empresas de energia na Dinamarca, incluindo a Elsan, que acarretou na criação da Dong Energy. A nova empresa optou por criar uma subsidiária dedicada ao desenvolvimento

do E2G, surgiu assim a Inbicon em 2007. A Empresa produz E2G através da hidrólise enzimática e possui mais duas plantas pilotos e uma de demonstração (Dong Energy, 2016).

A Europa em 2015 foi a terceira região, depois dos EUA e do Brasil, que mais produzir etanol. Foram produzidos aproximadamente 5,1 bilhões de litros (RFA, 2016). Os principais países produtores na Europa são a França, Alemanha e Hungria e Reino Unido (USDA, 2015). Em relação ao E2G a União Europeia ocupa a quarta posição em capacidade instalada (gráfico 7) com capacidade instalada de 130 milhões de litros por ano.

Tabela A.1 - Mandatos obrigatórios de etanol pelo mundo

País	Mandato de mistura
Angola	E10
Argentina	E12
Austrália	Estados: E6 em New South Wales; E5 em Queensland
Bélgica	E4
Brasil	E27
Canadá	Nacional: E5 Provincial: E5 em Alberta; E5 em British Columbia; E8.5 em Manitoba; E5 em Ontario; E7.5 em Saskatchewan
China	E10 em nove províncias
Colômbia	E8
Costa Rica	E7
Etiópia	E10
Guatemala	E5
Índia	E5
Indonésia	E3
Itália	0.6% biocombustíveis avançados até 2018; 1% até 2022
Jamaica	E10
Moçambique	E10 entre 2012-2015; E15 entre 2016-2020; E20 a partir 2021
Panamá	E10
Paraguai	E25
Peru	E7,8
Filipinas	E10
África do Sul	E5
Sudão	E5
Tailândia	E5
Turquia	E2
Ucrânia	E5; E7 a partir de 2017
EUA	Nacional: RFS2 requer 136 bilhões de litros de biocombustíveis misturados anualmente com combustíveis fósseis até 2022. O RFS em 2013 foi reduzido 49.21 bilhões de litros. Estadual: E10 no Hawaii; E2 em Louisiana; E20 em Minnesota; E10 em Missouri e Montana; E10 em Oregon; E2 em Washington.
Uruguai	E5

Vietnam	E5
Zimbábue	E5; E10 e E15 sem data especificada

Fonte: REN (2015)

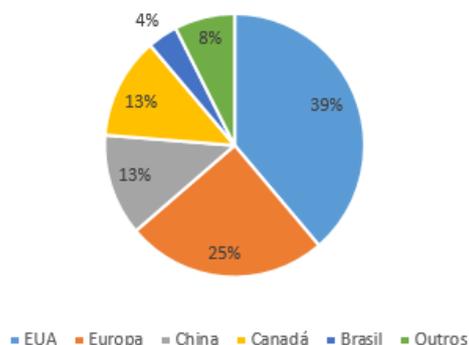
Tabela A.2- Plantas piloto de demo de E2G

Empresa	País	Matéria-prima	Tecnologia	Ano de inauguração
Plantas piloto				
Iogen	Canadá	Lasca de madeira	Bioquímico	1982
Iogen	Canadá	Palha de trigo	Bioquímico	1993
Masada/TVA	EUA	Madeira	Bioquímico	1993
NREL/DOE	EUA	Palha de milho	Bioquímico	1994
Arkenol	EUA	Variadas	Bioquímico	1995
Bioengineering Resources	EUA	Coníferas e casca	Termoquímico	1998
NREL/DOE	EUA	Palha de milho	Bioquímico	2001
Pearson Technologies	EUA	Palha de arroz e resíduos florestais	Termoquímico	2001
NEDO	Japão	Lasca de madeira	Bioquímico	2002
Dedini	Brasil	Bagaço de cana	Bioquímico	2002
Ineos	EUA	Variadas	Termoquímico	2003
Inbicon	Dinamarca	Palha de milho	Bioquímico	2003
Enerkem	Canadá	Resíduos sólidos Urbanos	Termoquímico	2003
SEKAB/EPAB	Suécia	Serragem	Bioquímico	2004
PureVision	EUA	Palha de milho, bagaço e energy crop	Bioquímico	2004
Universal Entech	EUA	Resíduos urbano	Bioquímico	2004
Inbicon	Dinamarca	Palha de milho	Bioquímico	2005
Energy & Chemical Department of East China University of Science and Technology	China	Resíduos florestais	Bioquímico	2005
Cofco zhaodong	China	Palha de milho	Bioquímico	2006
Abengoa	EUA	Palha de milho	Bioquímico	2007
Petrobras	Brasil	Bagaço de cana	Bioquímico	2007
Aemetis	EUA	Variadas	CBP	2008
Biogasol	Dinamarca	Palha de trigo e Cana do reino	Bioquímico	2008
Poet	EUA	Palha de milho	Bioquímico	2008
LanzaTech	Nova Zelândia	Gases	Híbrido	2008
Bioethanol Japan	Japão	Serragem	Bioquímico	2008
Lignol Innovations Ltd.	Canadá	Serragem	Bioquímico	2009
Lignol	Canadá	Variados	Bioquímico	2009
BetaRenewables	Itália	Variadas	Bioquímico	2009
Universidade de Alborg	Dinamarca	Palha de trigo	Bioquímico	2009
Universidade Estadual de Iowa	EUA	Variadas	Bioquímico	2009
Butalco	Alemanha	Variadas	Bioquímico	2009
State University	EUA	Grãos e oliaginosenas	Termoquímico	2009
CTBE	Brasil	Bagaço e palha da cana	Bioquímico	2010
Weyland AS	Noruega	Variadas	Bioquímico	2010

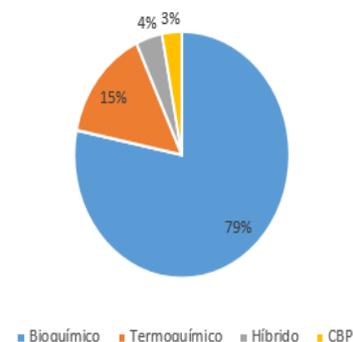
Universidade de Queensland	Austrália	Bagaço e outros	Bioquímico	2010
PROCETHOL 2G	França	Variadas	Bioquímico	2011
ICM Inc	EUA	Sorgo/Palha de milho	Bioquímico	2011
NEDO	Japão	Serragem	Bioquímico	2011
BetaRenewables	Itália	Variadas	Bioquímico	2012
Fiberigth	EUA	Resíduos urbanos	Bioquímico	2012
Edeniq	EUA	Palha de milho e bagaço de cana	Bioquímico	2012
Plantas de demonstração				
Borregaard AS	Noruega	Licor negro	Bioquímico	1938
Iogen	Canadá	Palha de cevada	Bioquímico	2004
SP/EPAP Biorefinery	Suécia	Variadas	Termoquímico	2004
Jilin Fuel Alcohol - Jilin 2	China	Resíduos do milho e sorgo	Bioquímico	2006
Shandong Zesheng Biotech Co.	China	Palhas	Bioquímico	2006
ClearFuels Technology	EUA	Bagaço e resíduos de madeira	Termoquímico	2007
Mascoma	EUA	Variadas	CBP	2008
Chempolis LTD	Finlândia	Variadas	Bioquímico	2008
Abengoa	Espanha	Palha de trigo e cevada	Bioquímico	2008
Blue Sugars Corp.	EUA	Bagaço de cana e outros	Bioquímico	2008
Jilin Fuel Alcohol - Jilin 1	China	Resíduos de milho e sorgo	Bioquímico	2008
TMO Renewables	Inglaterra	Resíduos urbanos	Bioquímico	2008
Gulf Coast Energy	EUA	Resíduos florestais	Termoquímico	2008
Fulcrum	EUA	Resíduos urbanos	Termoquímico	2009
BP biofuels	EUA	Energy crops	Bioquímico	2009
Inbicon	Dinamarca	Palha de trigo	Bioquímico	2009
Enerkem	Canadá	Resíduos urbanos	Termoquímico	2009
Henan Tianguan Group	China	Palha de milho e trigo	Bioquímico	2009
Anhui BBCA Biochemical	China	Resíduos do milho	Bioquímico	2009
Dupont	EUA	Palha de milho/Energy crops	Bioquímico	2010
Blue Fire	EUA	Variadas	Bioquímica	2010
Wood Land	Canadá	Serragem	Termoquímico	2011
Summit Natural Energy	EUA	Resíduos urbanos	-	2011
Clariant	Alemanha	Resíduos agrícolas	Bioquímico	2012
American Process	EUA	Madeiras de lei/Bagaço	Bioquímico	2012
Borregaard AS	Noruega	Variadas	Bioquímico	2012
Tembec Chemical Group	Canadá	Licor de sulfito	Termoquímico	2012
LanzaTech	China	Gases	Híbrido	2012
LanzaTech	China	Gases	Híbrido	2012
Zechem	EUA	Álamo	Híbrido	2012
Longlive Bio-technology Co. Ltd. -	China	Resíduos do milho	Bioquímico	2012
American Process	EUA	Madeiras de lei/Bagaço	Bioquímico	2013
Fiberigth	EUA	Resíduos urbanos	Bioquímico	2013
Biogasol	Dinamarca	Variadas	Bioquímico	2013

Quad County	EUA	Palha de milho	Bioquímico	2014
Sekab	Polônia	Palha de milho e trigo	Bioquímico	2014
LanzaTech	EUA	Gases	Híbrido	2014
Praj Industries	Índia	Resíduos da cana e milho	Bioquímico	2014
Lignol	Canadá	Coníferas	Bioquímico	2015

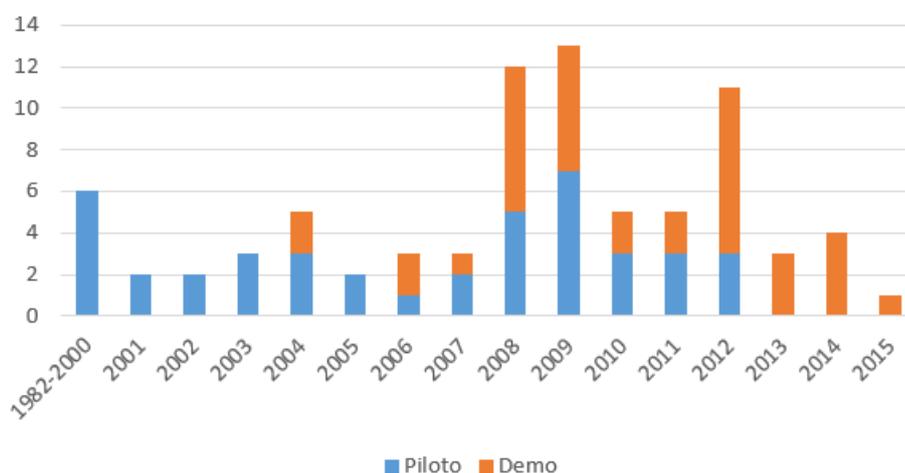
Localização das plantas



Rotas tecnológicas usadas nas plantas



Número de plantas inauguradas por ano



Fonte: BACOVSKY (2013); UNCTAD (2016); ADC (2014); CUNHA (2013); SOLOMON (2007)

Tabela A.3- Empresas envolvidas no desenvolvimento de matérias-primas e logística⁴⁴

Empresa	País de origem	Perfil	Atuação com matérias-primas	Principais parceiros	Ano de fundação
Solazyme. Obs: a empresa está mudando o nome para TerraVia.	EUA	Start-up de biotecnologia.	A empresa desenvolveu uma tecnologia onde microalgas selecionadas são alimentadas por diferentes tipos de açúcares e os transformam em Bio-	Chevron, Roquette, marinha dos EUA, governo dos EUA, Bunge	2003

⁴⁴ As empresas selecionadas na tabela fazem parte do *ranking* de 2015 das 35 *hottest companies* envolvidas no desenvolvimento de matérias-primas e/ou fornecimento de matérias-primas realizado pelo site Biofuels Digest. As empresas estão organizadas de acordo com a classificação delas no *ranking*.

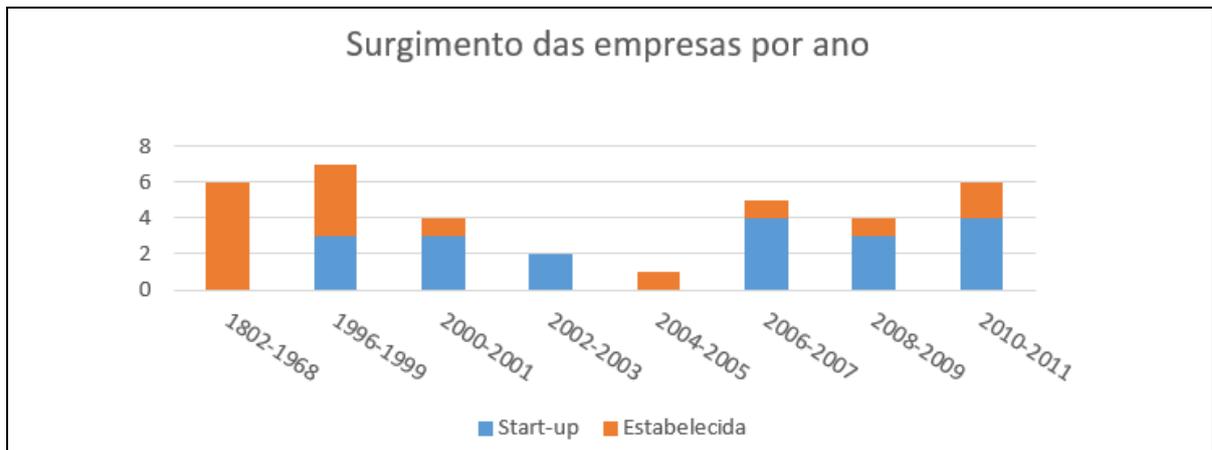
			óleo, que em seguida pode ser transformado em outros produtos.		
Dupont	EUA	Empresa estabelecida do ramo da química e biotecnologia	Desenvolve e comercializa novas variedades de vegetais, fertilizantes e defensivos agrícolas. Também busca desenvolver soluções de logística com matérias-primas.	Danisco, Genencor e Pioneer (compradas pela Dupont). BP, Pacific Ag, governo dos EUA, Nextsteppe.	1802
Poet Biomass	EUA	Subsidiária da POET	A empresa atua junto aos fazendeiros mais universidades para desenvolver formas mais eficientes de logística com matérias-primas. Opera junto com a Poet-DSM.	POET e DSM.	2006
Renewable Energy Group (REG)	EUA	Empresa estabelecida dentro da indústria de biocombustíveis	A empresa atua de forma integrada na produção de biocombustíveis. Ela vende serviços de para terceiros no que tange a produção e logística com gorduras vegetais e animais		1996
Algenol	EUA	<i>Start-up</i> de biotecnologia	Desenvolveu uma tecnologia que utiliza algas geneticamente modificadas para a produção do E2G. Está construindo uma planta comercial de E2G	NREL, Biofields, universidades, governo dos EUA	2006
NextSteppe	EUA	<i>Start-up</i> dedicada ao desenvolvimento da cadeia de abastecimento de matérias-primas para refinarias	Vendedor de sementes mas que também oferece serviços para o desenvolvimento da cadeia de abastecimento de seus produtos. Principal produto da empresa é o sorgo sacarino, uma <i>energy crop</i> . Desenvolveu o sorgo Palo Alto, sorgo com maior teor de biomassa.	Dupont, empresas de capital de risco	2010
Syngenta	EUA	Empresa estabelecida. Originária da fusão entre uma empresa química e outra do agronegócio	Desenvolveu uma variedade de milho específico para o uso do milho. Esta variedade produz a amilase automaticamente ao ser colhida		2000
Genera Energy	EUA	<i>Start-up</i> dedicada ao desenvolvimento da cadeia de abastecimento de matérias-primas para biorrefinarias	Desenvolve diversas variedades de <i>energy crops</i> e juntamente com fazendeiros e produtores de E2G desenvolve projetos para cadeias de abastecimento eficiente	Universiade do Tenesse, governo dos EUA, PrecisionHawk	2008

Waste Management	EUA	Empresa estabelecida. Dedicada na administração de lixões municipais e logística com resíduos.	A empresa desenvolve novas soluções para lidar com o resíduos urbano, hospitalar e industrial. Também é uma grande produtora de bioenergia através da queima do lixo. Desenvolve logística com lixo urbano para a geração de biocombustíveis	Enerkem, Fulcrum, Genomatica, Harvest Power, Agilyx, InEnTec, Agnion and Renmatix.	1968
Chromatin	EUA	<i>Start-up</i> de biotecnologia dedicada ao desenvolvimento e venda de sementes modificadas	Desenvolve principalmente novas variedades de sorgo sacarino.	Empresas de capital de risco, GE Capital, BP, Monsanto	2001
Pacific Ag	EUA	Empresa estabelecida. Dedicada à logística com matérias-primas	Atua na cadeia de logística com matéria-primas. Desenvolve cadeias de abastecimento específicas a cada empresa	Dupont, Governo dos EUA.	1998
Sapphire Energy	EUA	<i>Start-up</i> de biotecnologia	Desenvolve plataformas de produção de algas em larga escala com para a geração de bioenergia, alimentos e bioquímicos.	Empresas de capital de risco, Monsanto,	2007
BioProcess Algae	EUA	<i>Joint-venture</i> entre Clarcor, BioHoldings, Ltd. e Green Plains (produtora de etanol)	A empresa desenvolveu tecnologia onde constrói biorreatores anexos à unidades industriais, como uma planta de etanol, e utiliza os resíduos gerados, como o CO ₂ , para a produção de algas. Estas servem de insumos para biocombustíveis, bioquímicos e alimento.	Governo dos EUA	2008
Ceres	EUA	<i>Start-up</i> de biotecnologia.	Desenvolve novas variedades de <i>energy crops</i> e também auxilia os produtores na plantação, colheita e transporte. Principal produto é o Sorgo sacarino.	Monsanto, Raízen,	1996
Cellana	EUA	<i>Joint-venture</i> entre a Shell e a HR Biopetroleum	Desenvolve plataformas de produção de algas em larga escala com para a geração de bioenergia, alimentos e bioquímicos.	Neste Oil, Governo dos EUA, ATP, Universidades	2004
Raízen	Brasil	<i>Joint-venture</i> entre Shell e Cosan.	Atua no desenvolvimento de maneira mais eficientes de se realizar o plantio, colheita e	Governo do Brasil, CTC, CTBE.	2011

			transporte da cana-de-açúcar. É a maior empresa processadora de cana do mundo		
New Energy Farms	UK	<i>Start-up</i> dedicada ao desenvolvimento da cadeia de abastecimento de matérias-primas para biorefinarias	Desenvolve diversas variedades de <i>energy crops</i> e juntamente com fazendeiros e produtores de E2G desenvolve projetos para cadeias de abastecimento eficiente. Destaque para a produção de <i>mischantus</i>	Universidades, Global Change Solutions,	2009
Bunge	EUA	Empresa estabelecida. Dedicada ao agronegócio.	Bunge desenvolve novas variedades de vegetais, fertilizantes e defensivos agrícolas. Produz diferentes tipos de vegetais mundo a fora. Desenvolve melhores e mais eficientes cadeias de abastecimentos com matérias-primas.	Solazyme,	1818
Monsanto	EUA	Empresa estabelecida. Dedicada à biotecnologia	A empresa comercializa sementes, desenvolve novas variedades de vegetais, herbicidas, fertilizantes, defensivos agrícolas	Ceres, Sapphire Energy, Chromatin, Cana Vialis	1901
UPM	Finlândia	Empresa estabelecida. Do ramo da celulose	A empresa opera de forma integrada em diferentes ramos, como o de biocombustíveis e produção de papel. Por ter conhecimento em manejo florestal tornou-se também uma fornecedora de recursos florestais para biorrefinarias.	Renmatix, Comissão Europeia, Universidades	1996
Agrisoma	Canadá	<i>Start-up</i> de biotecnologia agrícola	Desenvolveu uma oleaginosa capaz de crescer em terras menos férteis, com maior teor de óleo e não é utilizada como alimento. Ela ainda pode ser colhida com maquinários utilizados em outras culturas Excelente para a produção de biocombustíveis.	PGF Biofuels, Genome Prairie, SDTC, Universidades, Governos do Canadá e EUA.	2001
ArborGen	EUA	Empresa estabelecida. Empresa de base biotecnológica dedicada ao desenvolvimento florestal.	A empresa é líder na produção de mudas para empresas de base florestal. Aplica biotecnologia para o desenvolvimento de variedades mais produtivas. Também vende serviços de gestão florestal.	Surgiu como <i>joint-venture</i> formada entre Monsanto, International Paper, Westvaco e Rubicon	1999

Yulex	EUA	<i>Start-up</i>	Atua no desenvolvimento do guaiúle, um arbusto fonte de látex. A empresa desenvolve melhores variedade do guaiúle e maneiras mais eficientes de plantá-lo. O objetivo final é desenvolver fonte abundante de látex para abastecer fabricas de borracha.	Cooper Tire, Universidades, Ansel HealthCare, Versalis e governo dos EUA.	2000
SGB	EUA	<i>Start-up</i> de biotecnologia agrícola	Empresa aplica biotecnologia para o desenvolvimento de sementes híbridas de jatropha, uma espécie de mamona. A empresa também atua com guaiúle.	Bunge, empresas de capital de risco, Life Technologies, BREL e governo dos EUA.	2007
Muradel	Austrália	<i>Start-up</i> de produção de biocombustíveis	Desenvolveu plataforma capaz de utilizar algas e resíduos urbanos em biocombustíveis	Universidades e governo da Austrália.	2010
MyBiomass	Malásia	<i>Joint venture</i> entre Malaysian Industry-Government Group for High Technology (MIGHT) com a Felda Global Ventures e Sime Darby	A empresa surgiu com o objetivo de desenvolver bioquímicos de alto valor a partir do uso do óleo de palma. A Empresa atua também na produção do óleo de palma	Universidades e laboratórios da Malásia.	2011
Dow Agro Sciences	EUA	Empresa estabelecida do ramo da química e bioquímica	É subsidiária da DOW, uma das maiores empresas químicas do mundo. Atua desenvolvendo novas variedades de vegetais, herbicidas, fungicidas etc.		1950's
Forest Concepts	EUA	<i>Start-up</i> de logística com matérias-primas	A empresa desenvolve maquinários, principalmente lâminas, capazes de processar diferentes variedades de <i>energy crops</i> . Desenvolve metodologias de logística também.	DOE e USDA	1998
PanArudus	EUA	<i>Start-up</i> de biotecnologia	Atua no desenvolvimento do guaiúle, um arbusto fonte de látex. A empresa desenvolve melhores variedade do guaiúle e maneiras mais eficientes de plantá-lo. O objetivo final é desenvolver fonte abundante de látex para abastecer fabricas de borracha.	USDA, Cooper Tire, Arizona State University.	2010
Bayer	Alemanha	Empresa estabelecida da química	Assim como a DOW, a Bayer possui um braço		1863

			no setor agrícola. Ela atua desenvolvendo novas variedades de vegetais, herbicidas, fungicidas etc																
Republic Services	EUA	Empresa estabelecida. Dedicada na administração de lixões municipais e logística com resíduos.	A empresa desenvolve novas soluções para lidar com o lixo urbano, hospitalar e industrial. Também é uma grande produtora de bioenergia através da queima do lixo. Desenvolve logística com lixo urbano para a geração de biocombustíveis		1998														
Heliae	USA	<i>Start-up</i> que surgiu com o objetivo de desenvolver o uso de algas como matéria-prima	A empresa oferece a venda de sistemas completos para a produção de algas. Que podem ser construídos <i>in-site</i> .	Clarecastle Group, Salim Group, Agri Investments Pte Ltd	2008														
Matrix Genetics	USA	<i>Start-up</i> de biotecnologia com foco em algas	A empresa atua desenvolvendo variedades mais produtivas de algas	Avista	2007														
Akermin	USA	<i>Start-up</i> com foco no aproveitamento do CO ₂ .	Desenvolve soluções para melhorar a captura de CO ₂ . A empresa utiliza uma abordagem multidisciplinar, o que inclui a utilização de enzimas, para realizar a captura do gás.	NETL, BioGenerator, Saint Louis University, Chrysalix Energy, Arsenal Venture Partners e Prolog Ventures	2003														
Repreve Renewables	USA	<i>Start-up</i> com foco no desenvolvimento de <i>energy crops</i>	A empresa desenvolve, principalmente, o <i>mischantus</i> . Atua também o comercializando, e auxiliando no desenvolvimento da cadeia de logística	Universidade de Illinois, Universidade de Iowa,	2010														
<p>Participação por região</p> <table border="1"> <caption>Participação por região</caption> <thead> <tr> <th>Região</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EUA</td> <td>80%</td> </tr> <tr> <td>Europa</td> <td>9%</td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td>11%</td> </tr> </tbody> </table>			Região	Porcentagem	EUA	80%	Europa	9%	Outros	11%	<p>Participação por perfil de empresa</p> <table border="1"> <caption>Participação por perfil de empresa</caption> <thead> <tr> <th>Perfil de empresa</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>start-ups</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>Estabelecidas</td> <td>49%</td> </tr> </tbody> </table>			Perfil de empresa	Porcentagem	start-ups	51%	Estabelecidas	49%
Região	Porcentagem																		
EUA	80%																		
Europa	9%																		
Outros	11%																		
Perfil de empresa	Porcentagem																		
start-ups	51%																		
Estabelecidas	49%																		



Fonte: sites das empresas; Site Biofuels Digest

