

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO USO DO
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR VISANDO A
PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO
NO BRASIL**

**Autor: Jéssica Guimarães Lopes
Orientador: Prof^a Dr^a Andréia Alves Costa**

**Brasília, DF
2017**



JÉSSICA GUIMARÃES LOPES

**TÍTULO: PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO USO DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO NO
BRASIL**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Andréia Alves Costa

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Guimarães Lopes, Jéssica.

Título da Monografia: Prospecção Tecnológica do Uso do Bagaço de Cana-de-Açúcar Visando a Produção de Etanol de Segunda Geração no Brasil. Jéssica Guimarães Lopes. Brasília: UnB, 2017. 103 p.65: il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Dra. Andréia Alves
Costa.

1. Prospecção. 2. Etanol 3.Cana-de-Açúcar I. Costa, Andréia. II.
Prospecção Tecnológica do Uso do Bagaço de Cana-de-Açúcar
Visando a Produção de Etanol de Segunda Geração no Brasil.

CDU Classificação

- A ficha catalográfica oficial deverá ser solicitada à Biblioteca pelo aluno após a apresentação.



**REGULAMENTO E NORMA PARA REDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE PROJETOS
DE GRADUAÇÃO FACULDADE DO GAMA - FGA**

Jéssica Guimarães Lopes

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 27/11/2017) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. (Prof^a Dr^a): Andréia Alves Costa, FGA/ UnB
Orientador

Prof. (Prof^a Dr^a): Maria Hosana Conceição, FCE / UnB
Membro Convidado

Prof. (Prof^a Dr^a): Patricia Regina Sobral Braga, FGA/ UnB
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

RESUMO

A produção de etanol de segunda geração é um estudo de grande interesse por parte dos setores envolvidos. Um dos principais motivos é a possibilidade de um aumento na produção de etanol sem a necessidade de um aumento na área plantada, produzindo um combustível com baixa emissão de gases de efeito estufa, contribuindo ainda mais para diversificação da matriz energética. Dessa forma há a necessidade de se produzir de forma competitiva este etanol de segunda geração, já que suas tecnologias ainda são muito caras e pouco desenvolvidas. Visando compreender a dinâmica deste mercado, uma prospecção tecnológica será utilizada nesse trabalho para realizar um monitoramento tecnológico do processo de obtenção de etanol de segunda geração, baseando-se em documentos de patentes e informações de mercado para criar um cenário futuro. A metodologia escolhida permitiu a avaliação da distribuição de patentes ao longo do tempo e a identificação dos principais atores no setor, além da utilização da análise de mercado para entender a real situação do etanol no Brasil. Assim, foi verificado que a produção de etanol de segunda geração encontra dificuldades nas etapas de hidrólise enzimática e pré-tratamento, que demandam investimentos em tecnologia. O desenvolvimento dessas duas etapas deverá contribuir para a expansão da produção de etanol de segunda geração.

Palavras-chave: Bagaço de cana-de-açúcar, etanol, segunda geração, prospecção tecnológica, patentes.

ABSTRACT

The production of second generation ethanol is a study of great interest for the sectors involved. One of the main reasons is the possibility of an increase in the ethanol production without the need of an increase in the planted area, producing a fuel with a low emission of greenhouse gases, contributing even more to the diversification of the energy matrix. Therefore, there is a need to produce this second-generation ethanol in a competitive way, since its technologies are still very expensive and underdeveloped. In order to understand the dynamics of this market, a technological forecasting will be used in this work to carry out a technological monitoring of the process of obtaining second generation ethanol, based on patent documents and market information to create a future scenario. The methodology chosen allowed the evaluation of patent distribution over time and the identification of the main actors in the sector, as well as the use of market analysis to understand the real situation of ethanol in Brazil. Thus, it was verified that the production of second-generation ethanol encounters difficulties in the enzymatic hydrolysis and pretreatment stages, which require investments in technology. The development of these two steps should contribute to the expansion of second generation ethanol production.

Keywords: Sugar cane bagasse, ethanol, second generation, technology prospecting, patents.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Volume importação líquida de gasolina, diesel e querosene (bilhões de litros/ano) . .	7
Figura 2. Importações mensais de etanol	8
Figura 3. Número de novas unidades produtoras de etanol	9
Figura 4. Produção de etanol no Brasil (anidro e hidratado).....	10
Figura 5. Energia elétrica excedente de cana-de-açúcar ofertada no SIN, em GW h por ano .	11
Figura 6. Principais instrumentos regulatórios de etanol anidro e hidratado no Brasil, a partir do PROÁLCOOL.	16
Figura 7. Composição do bagaço de cana-de-açúcar	18
Figura 8. Estrutura da molécula de celulose.....	20
Figura 9. Estrutura de alguns açúcares presentes na molécula de hemicelulose	21
Figura 10. Estrutura Geral da lignina	22
Figura 11. Processo de produção de Etanol 2G	24
Figura 12. Efeitos do pré-tratamento no material lignocelulósico	24
Figura 13. Processo de produção de etanol 2G a partir da tecnologia	26
Figura 14. Metodologias para prospecção tecnológica	29
Figura 15. Metodologias para prospecção tecnológica	30
Figura 16. Distribuição dos resultados obtidos com os termos de busca selecionados por ano (anos prioritários).	36
Figura 17. Distribuição dos resultados obtidos com os termos de busca selecionados por país de origem (país de publicação).	37
Figura 18. Distribuição dos resultados obtidos com os termos de busca selecionados por país de origem (país prioritário).....	39
Figura 19. Relação dos principais depositantes de pedidos de patente.	40
Figura 20. Estágio atual dos documentos de patentes pesquisados a partir dos termos de busca selecionados.....	41
Figura 21. Distribuição das principais CIPs dos documentos de patente pesquisados a partir dos termos de busca selecionados.	41
Figura 22. Conteúdo principal das famílias de patentes.....	42

LISTA DE SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social.
CBIO – Crédito de Descarbonização de Biocombustíveis.
CIDE – Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico.
CIMA – Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool.
CIP – Classificação Internacional de Patentes.
CNP – Conselho Nacional do Petróleo.
CNPE – Conselho Nacional de Política Energética.
COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social.
COP – Conferência das Partes
CRE – Certificado de Redução de Emissões.
CTBE – Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol.
EPO – European Patent Office.
EUROSTAT – Gabinete de Estatísticas da União Europeia.
GEE – Gases de Efeito Estufa.
IAA – Instituto do Açúcar e do Alcool.
iNDC – Intended Nationally Determined Contribution.
INPI – Instituto da Propriedade Industrial.
ISO – Organização Internacional de Normalização.
IRENA – International Renewable Energy Agency.
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços.
MME – Ministério de Minas e Energia.
OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico.
OEPM – Oficina Espanhola de Patentes e Marcas.
OMPI – Organização Mundial da Propriedade Intelectual.
USPTO – Escritório Americano de Marcas e Patentes.
SIN – Sistema Interligado Nacional.
UNIDO – United Nations Industrial Development Organization.
PIS – Programa de Integração Social.
PPDP – Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos
PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE SIGLAS	viii
SUMÁRIO	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Cenário Brasileiro	4
3.1.1 Conferência das Partes e Acordo de Paris	4
3.1.2 RenovaBio.....	4
3.1.3 Cenário Brasileiro de Combustíveis.....	6
3.1.4 Etanol no Brasil	9
3.2 Legislação Referente ao Etanol	13
3.3 Bagaçõ de Cana-de-Açúcar	17
3.4 Processo para Obtenção do Etanol 2G	22
3.5 Prospecção Tecnológica	28
3.6 Inovação e Sistema de Patentes	31
3.6.1 Brasil – INPI.....	32
3.6.2 União Europeia – ESPACENET	33
3.6.3 América Latina e Espanha – LATIPAT	33
3.6.4 Estados Unidos – USPTO	33
4. METODOLOGIA	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6. ANÁLISE DO MERCADO	44
7. CONCLUSÃO	48
8. Bibliografia	50
Anexo I	<u>56</u>

1. INTRODUÇÃO

O mercado energético e as condições ambientais atuais do mundo estão mudando a percepção da utilização de combustíveis fósseis em diversas áreas e setores energéticos. Essa realidade orienta a diversificação da matriz energética brasileira através do uso de fontes renováveis de energia e a inclusão da eficiência energética nos diversos processos. O petróleo ainda permanecerá por alguns anos como fonte predominante de energia, mas o incremento iniciado pelas fontes limpas de produção de energia terá seu espaço para desenvolvimento.

Através desse pensamento o Brasil vem investindo em novos meios de produzir energia, bem como os combustíveis utilizados em veículos. O uso intensivo de biocombustíveis líquidos no Brasil teve seu início em 1927, passando pelo seu ápice em 1975 após o primeiro choque do petróleo, quando o Programa Nacional do Alcool – Proálcool desenvolveu estudos para a expansão da produção e uso de etanol combustível a partir da cana-de-açúcar [1].

A partir da cana-de-açúcar pode-se produzir o etanol de primeira geração, chamado etanol 1G, que tem como matéria-prima o caldo da cana-de-açúcar; e o etanol de segunda geração, chamado etanol 2G, que tem como matéria-prima um material lignocelulósico, o bagaço da cana-de-açúcar. O produto final será o mesmo com as mesmas especificações. O que os distingue é o processo de obtenção deste combustível [2].

Com o crescente aumento na demanda por combustíveis, principalmente os chamados “limpos”, o etanol tem um campo de expansão bem grande a ser percorrido. Para tal é necessária a expansão de sua produção através das tecnologias existentes para a produção de etanol 1G, e novas tecnologias para o etanol 2G. Essa necessidade representa na realidade uma nova alternativa para uso energético da biomassa, levando a vantagens tanto ambientais, quanto sociais e econômicas, por ser produzido a partir de resíduos de origem vegetal.

A combinação das rotas de primeira e segunda geração na produção de etanol permitirá obter uma maior quantidade de combustível sem aumentar o volume de matéria-prima cultivada. Para que isso ocorra, há a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias que contribuam para a sustentabilidade ambiental, social e econômica, sendo primordial para a qualidade da energia e segurança energética.

O Brasil é um país privilegiado por ter em sua matriz energética a maior contribuição de fontes renováveis na oferta interna de energia [2]. Essa vantagem faz com que o país

possa crescer economicamente através de uma economia com baixa emissão de gases de efeito estufa. Por possuir um clima favorável e terras agricultáveis disponíveis em grande quantidade, o Brasil detém vantagens frente a outros países para a produção de energia a partir da produção agrícola, garantindo que o plantio de culturas com fins energéticos não entre em competição com a produção de alimentos [1]. Para que isso ocorra é necessária a elaboração de estratégias que explorem o potencial existente no país.

Através da prospecção tecnológica é possível analisar informações passadas e atuais para a elaboração de cenários futuros, os quais possam determinar prioridades para investimentos em pesquisa e desenvolvimento, que favoreçam a compreensão e gerenciamento do risco associado à inovação tecnológica [3]. Além disso, o estudo proposto tende a promover a melhoria da competitividade de produtos, processos e serviços, entre outras vantagens.

Este estudo de prospecção pretende subsidiar decisões futuras para os atores do setor energético, buscando mapear o caminho do desenvolvimento tecnológico do uso do bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração no Brasil. Este mapeamento foi feito a partir da análise de base de dados de documentos de patentes encontrados nos escritórios de proteção industrial e em informações de mercado.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar as perspectivas do uso do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração através da técnica de análise de patentes e análise de informações de mercado para identificar as barreiras tecnológicas existentes na etapa de produção.

2.2 Específicos

- Realizar um trabalho de prospecção tecnológica do uso de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração no Brasil.
- Esclarecer as vantagens competitivas do bagaço de cana-de-açúcar em relação à outros tipos de matéria-prima.
- Identificar oportunidades para o uso do etanol de segunda geração no setor energético brasileiro.
- Mapear onde os investimentos devem ser realizados para tornar o etanol de segunda geração competitivo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cenário Brasileiro

3.1.1 Conferência das Partes e Acordo de Paris

A Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática – COP21, discutiu em sua 21ª edição, realizada em 30 de dezembro de 2015, em Paris, o acordo universal que definiu medidas para reduzir os efeitos das mudanças climáticas, o chamado Acordo de Paris. O compromisso global busca manter o aumento da temperatura média global em menos de 2 °C, e envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C. A adesão brasileira foi aprovada pelo Senado Federal em 11 de Agosto de 2016 [4].

Cada país que aderiu ao programa formalizou o acordo com uma Contribuição Nacionalmente Determinada (*Intended Nationally Determined Contribution*, iNDC), que é o documento que registra os principais compromissos e contribuições de cada país. Esta contribuição é pretendida no sentido de poder ser ajustada, se necessário, antes da ratificação ou aceitação do Acordo [5]. O Brasil assumiu a responsabilidade de expandir em 18% a participação de bioenergia na matriz energética brasileira até 2030. A bioenergia é definida como qualquer produto derivado de biomassa, seja sólido, líquido ou gasoso, que pode ser aproveitado para geração de energia [6]. Logo, há a necessidade da expansão tanto dos biocombustíveis como a geração de energia elétrica oriunda da biomassa.

Para aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira é necessária a expansão do consumo de biocombustíveis, aumentar a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentar a parcela de biodiesel na mistura do diesel.

Em relação às emissões de gases de efeito estufa, o Brasil pretende comprometer-se a reduzir em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025, e 43% abaixo dos níveis de 2005 até 2030 [4].

Para atingir estas metas é necessária a produção conjunta de etanol 1G e 2G. Sabe-se que essa expansão do etanol 2G contribuirá significativamente para atingir o objetivo de expansão da bioenergia na matriz energética brasileira [5].

3.1.2 RenovaBio

O potencial brasileiro na produção de biocombustíveis é notório, mas para que esse potencial se materialize é necessário que sejam criadas condições para uma retomada do

interesse dos agentes no seu aproveitamento. O reconhecimento dos biocombustíveis pode trazer a retomada dos investimentos privados nesse setor.

O reconhecimento do papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira é o objetivo da política de Estado RenovaBio, com relação à contribuição destes para a segurança energética, promovendo sua adequada produção e uso, através de medidas que assegurem a previsibilidade, bem como para a mitigação de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor de combustíveis [7].

Essa Política Nacional de Biocombustíveis vem para contribuir com o cumprimento das metas do Acordo de Paris, promovendo a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, sempre com o foco na regularidade do abastecimento, e assegurando a previsibilidade para o mercado de combustíveis induzindo assim, ganho de eficiência energética e a redução de GEE.

Esta política será aplicada através de mecanismos de mercado que visem reconhecer o papel de cada combustível para a redução de emissões. Pode-se identificar dois instrumentos principais. O primeiro é o estabelecimento de metas nacionais de redução de emissões no setor de combustíveis, e estas serão desdobradas em metas individuais, anualmente, para as distribuidoras de combustíveis. O segundo é a certificação da produção de biocombustíveis, onde cada produtor terá uma nota. Essa nota refletirá a contribuição individual de cada agente produtor para a mitigação de certa quantidade de GEE em relação ao substituto fóssil [8].

Esse mecanismo será aplicado através da criação do Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis - CBIO, um ativo financeiro emitido pelo produtor de biocombustíveis que poderá ser negociado em bolsa com os distribuidores. Estes distribuidores de combustíveis cumprirão a meta de redução de GEE através da compra destes ativos. Assim, o RenovaBio propõe a certificação por avaliação do ciclo de vida, uma metodologia padronizada pelas normas ISO 14040 e 14044 e empregada em diversas normativas internacionais. As regras estão dispostas na 'Nota Explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis' [8].

As propostas deste programa devem sempre embasar a busca por competitividade na produção, comercialização e no uso dos biocombustíveis, estabelecendo concorrência entre os próprios biocombustíveis em relação aos combustíveis fósseis visando a segurança do abastecimento e à proteção dos interesses dos consumidores quanto a preço, qualidade e oferta [2].

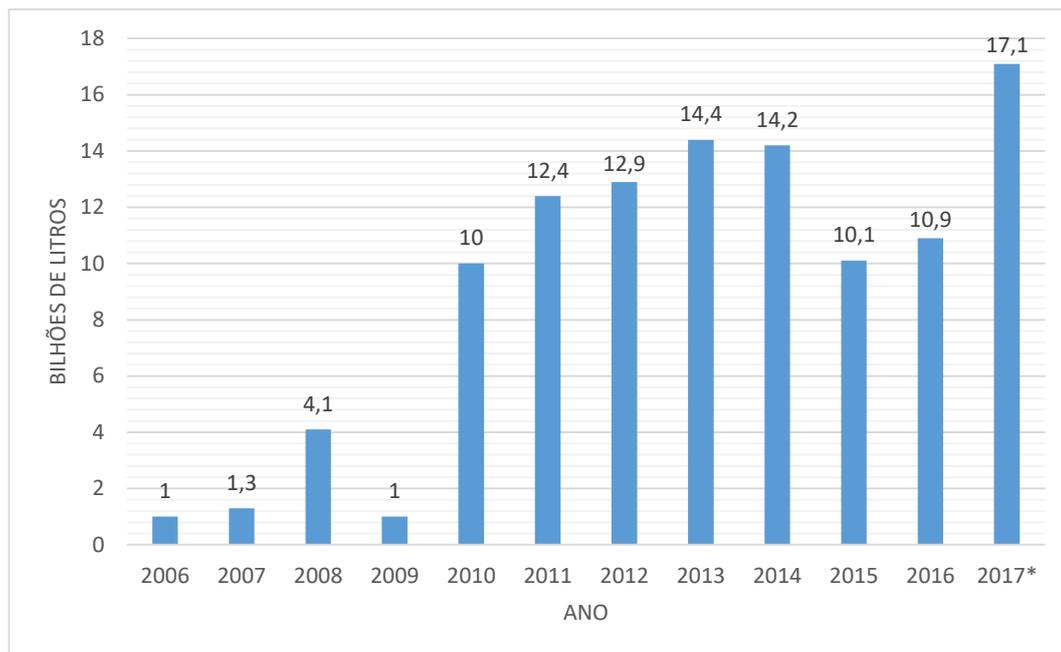
Após adoção da medida legal, será necessária a elaboração de atos regulatórios que necessitam de um tempo rápido de início e conclusão para que possa fornecer efeitos positivos no investimento e também na geração de empregos. Há uma urgência no estabelecimento da Política Nacional de Biocombustíveis com regras claras e previsíveis para os agentes econômicos do setor, revertendo a estagnação do segmento que poderá sofrer risco de desabastecimento de combustíveis nos próximos anos [8].

O Brasil tem grande reconhecimento na produção de etanol e biodiesel de acordo com os métodos tradicionais. Porém há a necessidade da expansão dessa produção. Nesse contexto o etanol 2G se mostra essencial, já que sua produção se dá através do resíduo que não é utilizado no etanol 1G, aumentando assim o rendimento do processo como um todo. A expansão dessa produção depende da estipulação de uma meta crível e executável, com o apoio de instrumentos modernos de precificação e de alocação de risco. No caso do etanol, mercados futuros com liquidez e incentivos devem ser incorporados à novas tecnologias que permitam o seu melhor desenvolvimento [7].

A expansão dos biocombustíveis além de contribuir com a diminuição das emissões de gases de efeito estufa também garante a regularidade do abastecimento de combustíveis. O mercado de combustíveis cresceu a níveis expressivos na última década, e a retomada do desenvolvimento econômico e social ressalta a importância da contribuição dos biocombustíveis para a segurança do abastecimento [9]. O cenário brasileiro atual de combustíveis explicita os motivos que baseiam esta urgência.

3.1.3 Cenário Brasileiro de Combustíveis

A oferta de combustíveis no Brasil é baseada na importação. Essa dependência cresceu principalmente a partir de 2010 quando superou mais de 10 bilhões de litros anuais de importação líquida, 90% maior que em 2009 de acordo com a Figura 1, atingindo 14,3 bilhões de litros em 2013 [10].



* Taxa de crescimento considerada de janeiro a maio de 2017.

Figura 1. Volume importação líquida de gasolina, diesel e querosene (bilhões de litros/ano). Adaptada da referência [10].

Essa dependência externa demonstra que o estado está transferindo seus recursos para outros países, deixando de gerar produto e renda no país. Um fato a ser considerado é que entre 2011 e 2016 o gasto com importações foi da ordem de US\$ 70 bilhões [8]. Com este valor seria possível a construção de aproximadamente 130 novas usinas de etanol, onde o investimento estimado por planta é de US\$ 400 milhões, incluindo a capacidade de produção de açúcar e cogeração de energia elétrica a partir dos resíduos [8].

Para que o Brasil possa se tornar independente, e consiga prover seu mercado interno com produção própria, é necessária a retomada de investimentos na produção de biocombustíveis. Porém a falta de uma política pública específica que dê previsibilidade ao investidor desestimula o mercado a expandir investimentos produtivos, sendo esta desenvolvida através do RenovaBio.

Em relação ao etanol, seu volume nacional está diminuindo e conseqüentemente há um aumento de importações, onde no ano de 2017 o Brasil importará mais etanol do que exporta. A evolução das importações pode ser vista na Figura 2.

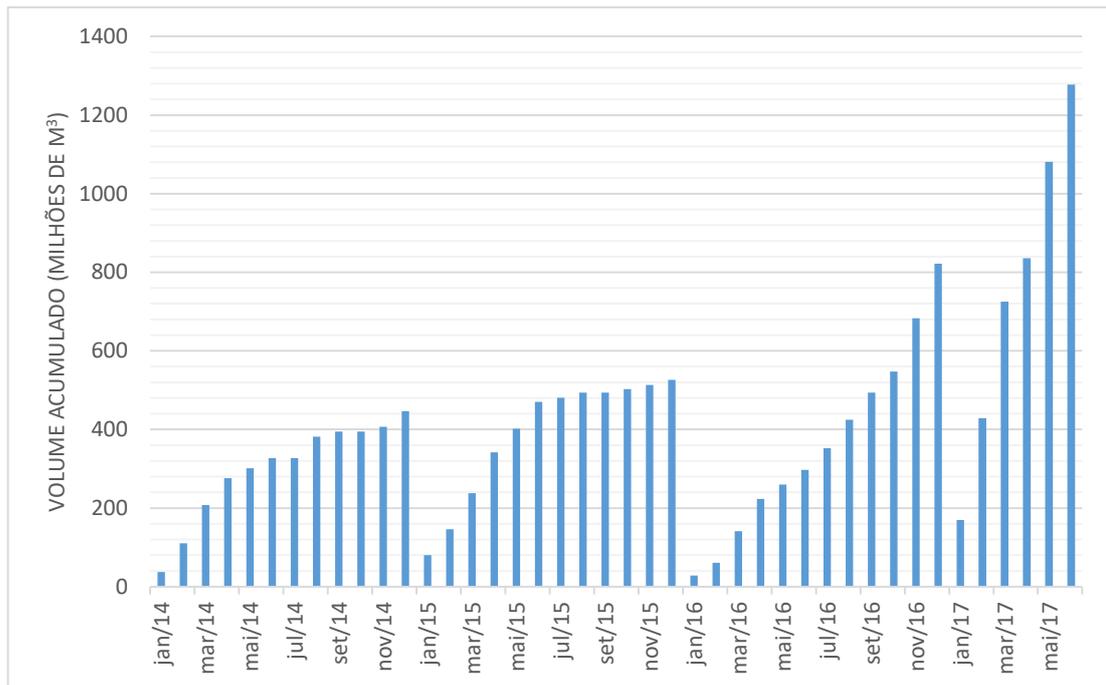


Figura 2. Importações mensais de etanol. Adaptada da referência [10].

Este fato está ligado à estagnação do setor de etanol que ocorreu devido aos subsídios promovidos à gasolina e sua consequente queda de preço, afetando os investimentos em renovação dos canaviais, comprometendo assim a produtividade dos próximos anos.

Outro fator importante foi o aumento nos custos de produção da cana-de-açúcar devido à introdução da mecanização na colheita e plantio. Estes fatores explicitados prejudicaram a produção atual e a produtividade das próximas safras, deixando o setor sem o incremento nos investimentos em capacidade produtiva comprometendo a oferta de etanol. A Figura 3 mostra o número de novas unidades produtoras de etanol, que demonstra a estagnação do setor [10].

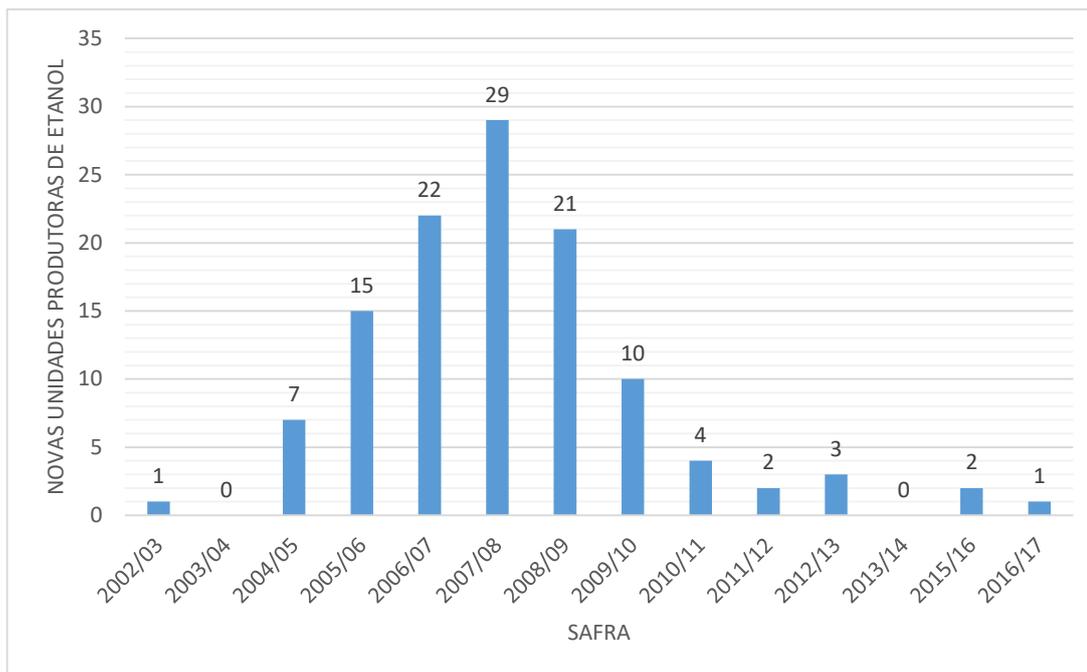


Figura 3. Número de novas unidades produtoras de etanol. Adaptada da referência [10].

Para os próximos anos, é esperada a retomada do crescimento econômico, que afetará o aumento da demanda interna por combustíveis. Será necessário então o aumento substancial da produção de etanol 1G, aliado ao etanol 2G, e um aumento de capacidade de refino do petróleo para produção de gasolina A, para garantir a continuidade do abastecimento.

Dessa forma, a reversão da estagnação do setor é fundamental para a segurança do abastecimento de biocombustíveis, que está sendo ameaçada por importações crescentes sem contrapartida do aumento da produção nacional de combustível. Com a expansão da produção do etanol, bem como de outros biocombustíveis, as metas assumidas pelo Brasil para reduzir as emissões de GEE também serão cumpridas, ajudando tanto a suprir o abastecimento, como para prover benefícios ambientais, econômicos e sociais.

3.1.4 Etanol no Brasil

O Brasil detém experiência na produção de biocombustíveis, principalmente na área de etanol 1G. Além de possuir condições climáticas favoráveis, possui extensa área agrícola, suficiente para o plantio de culturas com fins energéticos de forma a não afetar a produção de alimentos [2].

A matéria-prima utilizada para produção do etanol brasileiro é a cana-de-açúcar. Desde 2006 a produção de etanol evoluiu de 17,76 bilhões de litros para 27,2 bilhões de litros registrados na safra 2016/17, que pode ser visualizado na Figura 4 [9].

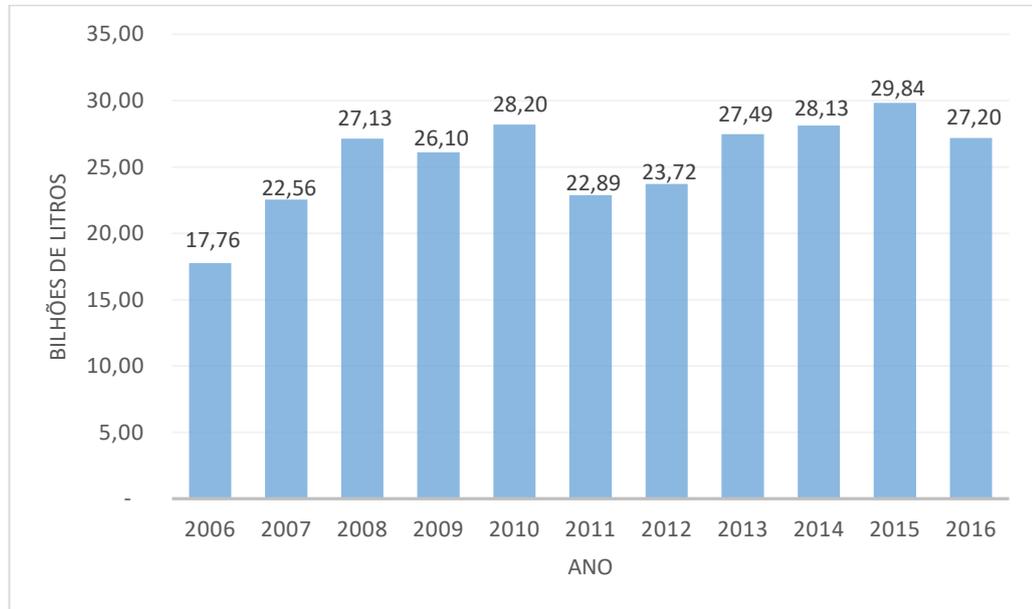


Figura 4. Produção de etanol no Brasil (anidro e hidratado). Adaptada da referência [9].

O setor de açúcar e etanol é autossuficiente em energia, e o excedente gerado de energia elétrica é disponibilizado no Sistema Interligado de Energia (SIN). Em 2016 a biomassa de cana ofereceu quase 24 mil GWh com crescimento de quase 6% em relação a 2015. Com esta energia foi possível abastecer mais de 12 milhões de residências durante todo o ano, evitando ainda a emissão de 10 milhões de toneladas de CO₂ para a atmosfera, conforme mostrado na Figura 5 [9].

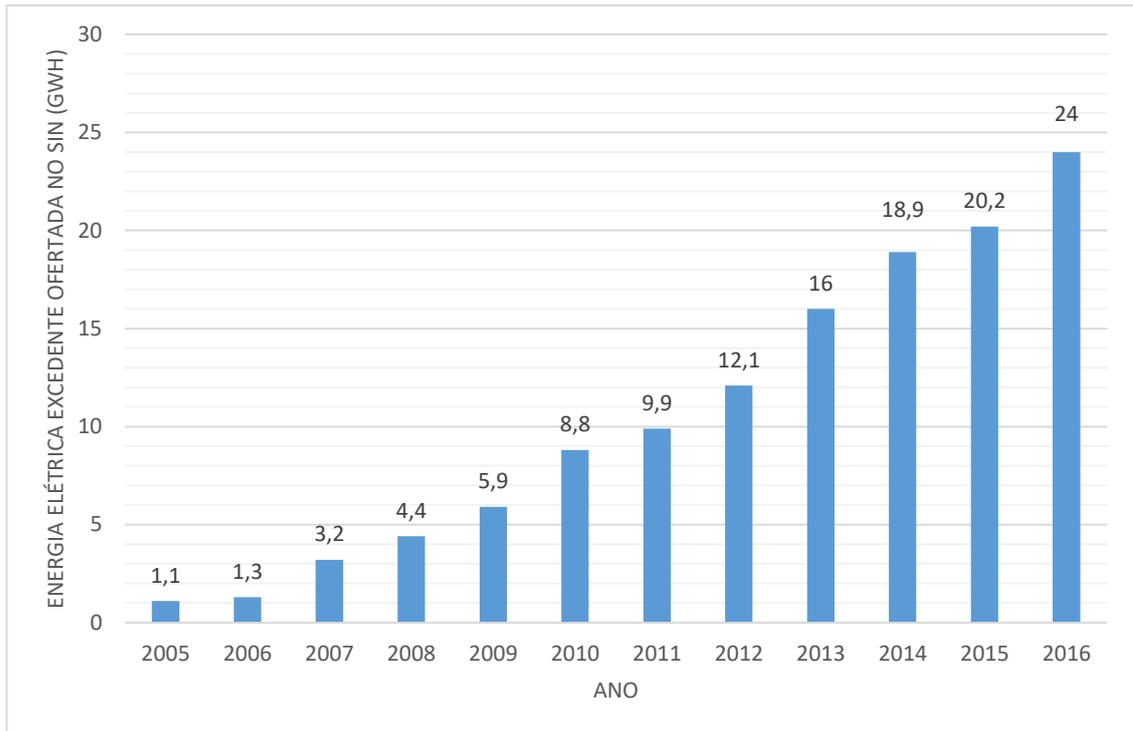


Figura 5. Energia elétrica excedente de cana-de-açúcar ofertada no SIN, em GW h por ano. Adaptada da referência [9].

Devido à grande produção a partir da cana-de-açúcar, o Brasil atingiu a posição de maior produtor e exportador mundial de açúcar, e de segundo maior produtor e consumidor de etanol. A participação do etanol no consumo de combustível em motores do ciclo Otto, em gasolina equivalente, tem variado entre 30,3% e 45,0% nos últimos anos. Para comparação, nos Estados Unidos, atualmente o maior produtor de etanol do mundo, o percentual de substituição é de 9,98% [9].

O setor sucroenergético é responsável por cerca de 1,12 milhão de empregos diretos e mais de 2 milhões de empregos indiretos. Este mercado movimenta o comércio e a indústria locais, gerando polos de desenvolvimento regional. O etanol gera 152 vezes mais empregos por unidade de energia do que o combustível de origem fóssil [10].

O etanol anidro, que é adicionado à gasolina, e o etanol hidratado, utilizado direto em motores de combustão interna, têm alta octanagem, sendo que quanto maior a octanagem, maior a capacidade da mistura ar-combustível suportar elevadas taxas de compressão, que elevam a eficiência energética do uso do combustível. A octanagem é um indicador da capacidade do combustível não entrar em ignição antes do aparecimento da centelha em motores do ciclo Otto [8].

Estudos indicam que a tecnologia disponível atualmente permite, caso sejam oferecidos os devidos incentivos para a sua aplicação, a geração de até 12,9 mil litros de

etanol hidratado equivalente por hectare, e que no futuro, o limite possível seja de mais de 24 mil litros por hectare [10].

Alcançar níveis mais elevados de produtividade está relacionado ao desenvolvimento e à utilização de variedades mais produtivas e resistentes à seca, ao uso integral da energia da cana para a produção de etanol, a novas técnicas de plantio e multiplicação, e a um controle mais eficaz de pragas e doenças. O aumento de produtividade levará certamente a uma significativa redução dos custos de produção [11].

Atualmente, o etanol 2G está sendo produzido por duas empresas brasileiras: a Granbio e Raízen. A biomassa de cana é a mais promissora, pelo volume e pelo menor custo de transporte da celulose em relação às demais fontes de biomassa, pela natureza da produção de cana próxima às usinas. É estimado que será necessário aumentar a oferta de etanol em 25 bilhões de litros, entre até 2030, para suprir o aumento de demanda de combustíveis do ciclo Otto e projeta que a produção deverá alcançar um volume de 54 bilhões de litros em 2030, dos quais 2,5 bilhões de litros virão do etanol 2G [10].

O desenvolvimento de uma indústria de biocombustíveis 2G é o primeiro passo para a implantação da bioeconomia avançada no Brasil, que deverá necessariamente atravessar estas etapas para atingir sua plenitude: solução dos gargalos tecnológicos remanescentes, desenvolvimento e consolidação do mercado, e expansão [10]. Na fase inicial, de resolução de barreiras técnicas, demandará investimentos adicionais nas plantas já existentes e incentivos à implantação de novas plantas que possam desenvolver alternativas tecnológicas que demonstrem factibilidade tecnológica e industrial no Brasil.

O principal desafio no desenvolvimento da produção de etanol no Brasil se dá pela necessidade de altos investimentos. O Ministério do Meio Ambiente prevê R\$ 161 bilhões, entre 2020 e 2030, para modernização e expansão da indústria sucroenergética. Porém, esta indústria se encontra em um momento delicado, com a produção estagnada e alto índice de endividamento de suas empresas [5].

Para a produção em larga escala do etanol 2G ainda são necessários desenvolvimentos nas tecnologias utilizadas no processo de produção. Nesse contexto, a prospecção tecnológica é uma ferramenta fundamental para mapear estratégias de ação para este mercado tão promissor de biocombustível no Brasil. A partir dela será possível traçar a relevância da pesquisa envolvendo etanol 2G nas principais bases de proteção industrial. Esta ferramenta é utilizada para o diagnóstico do estado da arte de determinadas tecnologias, para visualização dos principais detentores das técnicas e inovações vanguardistas, as quais

configuram um importante meio para ajudar na determinação de políticas de ciência e tecnologia em várias esferas de governo.

3.2 Legislação Referente ao Etanol

A legislação brasileira desenha a história do etanol no Brasil, determinante para a ascensão, queda e o posterior salto de produção e investimento que o combustível sofreu com o tempo.

Um marco nesta história foi o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que colocou o etanol como um combustível promissor e essencial na matriz energética nacional, apto a receber investimentos para suprir a carência dos combustíveis derivados de fonte não renovável. Isto ocorreu devido à primeira crise do petróleo em 1960, uma resposta brasileira à constante dependência ao petróleo que estava instaurado naquele meio de século [1]. Esses fatos culminaram em uma crise econômica e em uma grande mudança política, que obrigaram o país a repensar todos os seus projetos. O Proálcool veio para diversificar a forma que o Brasil tinha de obter novos combustíveis, e retirar o país da dependência do petróleo importado e pago em dólar.

A Lei do Petróleo de 1997 criou a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que são importantes mecanismos reguladores e consultores da política energética brasileira [12]. A ANP é o órgão regulador das atividades que integram a indústria do petróleo e gás natural e a dos biocombustíveis no Brasil, de acordo com o Decreto nº 2.455 de 1998 [13].

É importante se familiarizar com o início da regulamentação do etanol desde a criação do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), órgão com representação de Ministérios, comerciantes, estados brasileiros, produtores e bancos, através do Decreto nº 22.789, de 1º de junho de 1933 [14]. Anos depois, em 1938, o governo através do Decreto nº 737, tornou obrigatória a mistura de álcool anidro à gasolina, em porcentagens estipuladas em comum acordo pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP) e IAA. Até este ano o álcool era apenas adicionado à gasolina importada [15].

Com o constante interesse no setor sucroalcooleiro, o governo declarou a indústria representante deste setor de interesse nacional e estabeleceu assim preços mínimos ao produto, deliberado pelo Decreto-Lei 4.722 de 1942 [16].

Até este momento o etanol era utilizado apenas como mistura à gasolina. A sua produção e consumo estava regulada pela União de acordo com o artigo 8º da Constituição

Federal de 1969, onde estava previsto de acordo com o artigo 163, que o Estado podia estipular leis federais que intervissem na produção de etanol, por motivo de segurança nacional, e organização do setor, caso a livre iniciativa pudesse atrapalhar o crescimento econômico [17].

Em 14 de novembro de 1975, pelo Decreto nº 76.593, instituiu-se o Proálcool “visando ao atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos”, explicitado no artigo 1º. A lei também concedeu ao Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) a responsabilidade de formular as especificações sobre o álcool [18]. Como uma das consequências do Programa, foi lançado em julho de 1979 o primeiro carro 100% a álcool produzido no Brasil, o Fiat 147 [19]. A formulação da política e diretrizes do programa foi realizada através do Conselho Nacional do Alcool, criado em 1979, que também passou a definir a quantidade da produção anual de álcool [20].

Outros decretos contribuíram para a consolidação do álcool no mercado durante a década de 80. No ano de 1988 criou-se uma nova Constituição Federal, e entrou em vigor a livre iniciativa e concorrência. Assim o Estado atuaria na fiscalização, incentivo e planejamento da atividade econômica, mas se afastaria da intervenção sobre o ciclo econômico do álcool para possuir uma função predominantemente indicativa em relação à economia do produto [21].

Em 1990 o IAA foi extinto, de acordo com o Decreto nº 99.288, que transferiu as atribuições do Instituto de Açúcar e Alcool para a Secretaria do Desenvolvimento Regional da Presidência da República [22]. No mesmo ano foi revista a matriz energética nacional que incluía o álcool como combustível. A volta do Ministério de Minas e Energia (MME) em 1992, extinto anos antes, estabeleceu um Departamento Nacional de Combustíveis como parte do ministério [23].

A preocupação com as emissões de poluentes advindos de veículos automotivos levou o governo a sancionar a Lei nº 8.723 de 1993, que dispôs sobre o prazo dado às fábricas para produzirem veículos dentro dos limites de emissão dos poluentes estipulados. Esta lei ainda estabeleceu o percentual de 22% de etanol anidro adicionado à gasolina em todo o país [24].

No final do século, em 1997, a Lei nº 9.478 em que ficou conhecida como a Lei do Petróleo, foi um grande marco da regulamentação dos combustíveis no Brasil. No ano posterior, a mistura de etanol anidro à gasolina foi modificada para 24% [25]. Essa porcentagem sempre esteve em constante mudança, já em 2000 caiu para 20% com o Decreto nº 3.552 e aumentou para 22% com o Decreto nº 3.824 de 2001 [22, 23]. A resolução do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA) nº 35 trouxe o percentual de volta

para 20% e subiu no ano seguinte para 25%, de acordo com a Resolução CIMA nº 37 [26] [27]. Com a resolução do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) Nº 7, o percentual da mistura etanol anidro à gasolina voltou a ser 20% durante o trimestre de fevereiro, março e abril, e logo depois voltou a ser 25% [28]. Em 2011, com a Portaria MAPA nº 678, abaixou o percentual para 20% [29].

A evolução da porcentagem de etanol anidro obrigatoriamente adicionado à gasolina A está apresentada na Figura 6, assim como a data de início do Proálcool e uma posterior fase deste programa, que possibilitou a produção de etanol hidratado.

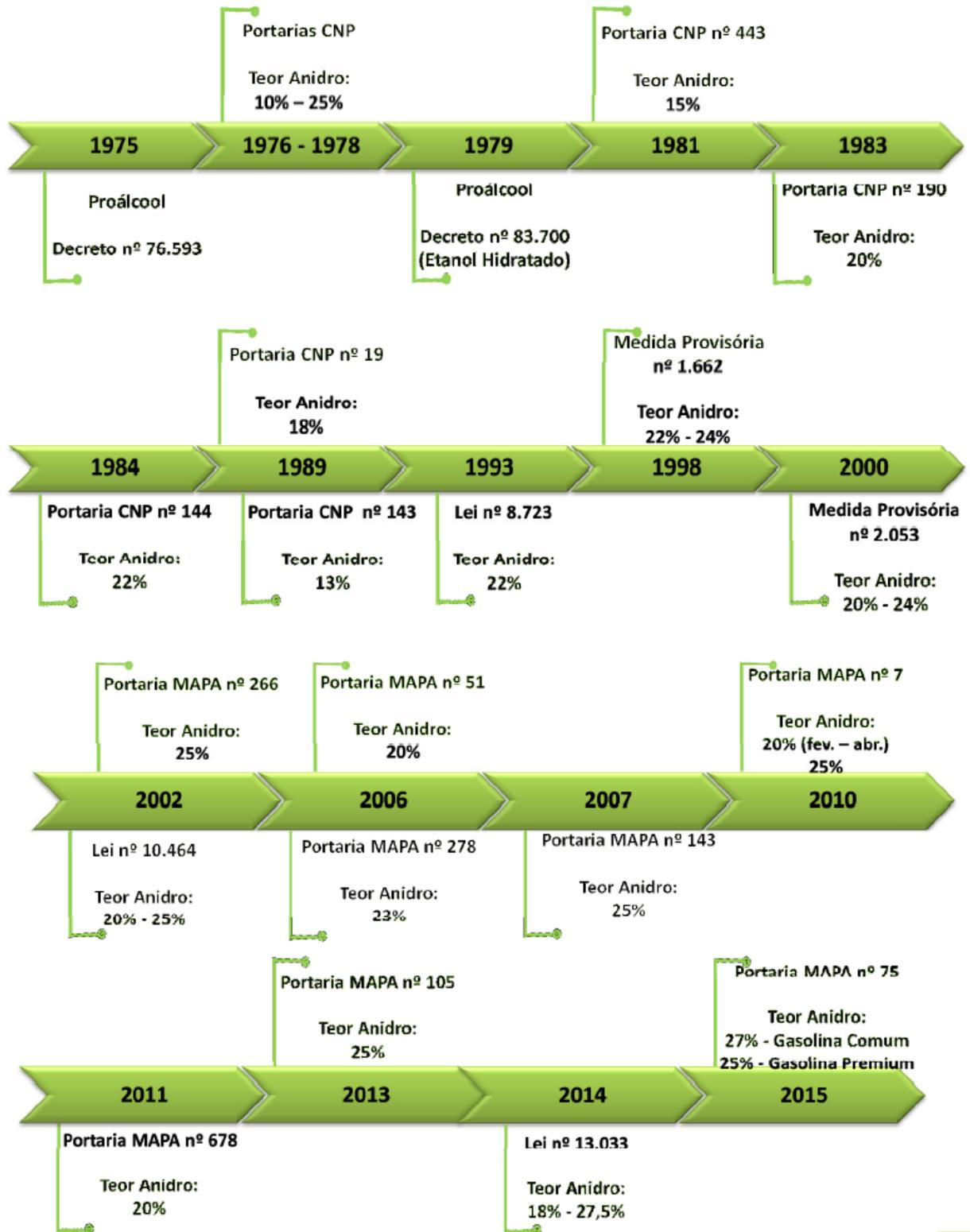


Figura 6. Principais instrumentos regulatórios de etanol anidro e hidratado no Brasil, a partir do Proálcool [6].

Já com relação às especificações, a ANP por meio da resolução n° 36 apresentou as definições do Álcool Etílico Anidro Combustível e do álcool Etílico Hidratado Combustível, que foram modificadas em 2011 pela resolução ANP n° 7, a qual apresenta as especificações do etanol seguidas atualmente [30].

A ANP também estabeleceu regras para o cadastramento de fornecedores, distribuidores e importadores de álcool combustível, no qual todos os agentes tiveram que se cadastrar junto à ANP para comercialização do combustível, e isto se deu com a resolução ANP n° 5 de 2006 [30]. Em 2012, dispôs na Resolução ANP n° 26, os requisitos para a atividade de produção de etanol, abrangendo a construção, ampliação de capacidade, modificação e operação de Planta Produtora de Etanol [31].

Para aumentar a porcentagem de etanol no combustível é necessária uma maior produção desse combustível. A produção a partir do bagaço de cana-de-açúcar (etanol 2G) é uma alternativa para viabilizar esta adição, bem como o uso direto de etanol anidro como combustível. A composição do produto final é idêntica à do etanol 1G, diferenciando-se apenas pela matéria-prima utilizada no processo produtivo.

3.3 Bagaço de Cana-de-Açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar é uma biomassa. A Agência Internacional de Energia Renovável (*International Renewable Energy Agency*, IRENA) define biomassa como material de origem biológica, derivado de organismos vivos ou recentemente vivos. De acordo com a sua origem pode ser florestal (madeira), agrícola (soja, arroz, cana-de-açúcar) ou vinda de rejeitos urbanos industriais (sólidos ou líquidos). O bagaço da cana é caracterizado então como uma biomassa agrícola, que é obtida pelo processamento dos resíduos dessa cultura [32].

Este bagaço pode ser utilizado tanto para produção de energia elétrica quanto para produção de etanol 2G, um biocombustível de grande interesse. Do ponto de vista elétrico, esta biomassa alimenta as caldeiras para produção de energia elétrica para a própria usina de cana-de-açúcar ou para regiões vizinhas, além de gerar um vapor que alimenta toda a planta industrial. Já em relação à produção do biocombustível, o bagaço, e até mesmo a palha, são utilizados como insumos [33].

Para usinas sucroalcooleiras esta é uma ótima oportunidade, já que a cana-de-açúcar irá ser aproveitada quase que em sua totalidade, uma vez que todos os processos podem ser

feitos no mesmo local. As vantagens de produzir mais etanol com a mesma área plantada é, sem dúvida, de grande interesse econômico.

O processo se inicia com o cultivo e posterior colheita da cana, que então é levada do campo para a indústria. Em seguida é feita a pesagem e a análise química, para quantificar a quantidade de açúcar contida. Ao chegar à mesa alimentadora, a cana é direcionada para a moagem, onde o bagaço é separado do caldo. O bagaço vai para a caldeira para ser queimado e gerar energia, ou é encaminhado para o pré-tratamento e posterior produção de etanol 2G. Já o caldo é direcionado para tratamento e produção de etanol 1G.

O bagaço da cana-de-açúcar é um material lignocelulósico, cuja estrutura é composta de celulose, hemicelulose e lignina. Os polissacarídeos celulose e hemicelulose correspondem a cerca de 70% da massa seca, contando com lignina para uni-los através de ligações covalentes e de hidrogênio. Em menores proporções, e dependendo da origem do vegetal, também podem ser encontrados resinas, ácidos graxos, fenóis, taninos, compostos nitrogenados e sais minerais, principalmente, de cálcio, potássio e magnésio [34]. Estes compostos possuem uma estrutura rígida e ordenada, dificultando o acesso das enzimas ao substrato, sendo necessária uma etapa de pré-tratamento antes da hidrólise. A Figura 7 expõe a composição deste material.

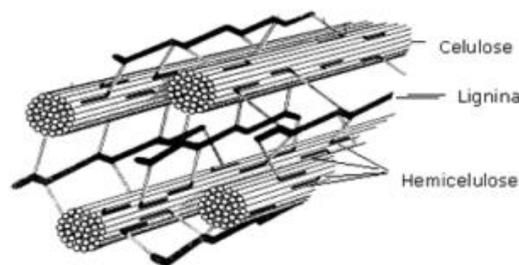


Figura 7. Composição do bagaço de cana-de-açúcar [34].

A composição e a estrutura da biomassa devem ser analisadas, pois influenciam no rendimento dos processos de hidrólise e fermentação. A Tabela 1 traz a variação da composição química básica de algumas biomassas lignocelulósicas.

Tabela 1. Composição química percentual de alguns materiais lignocelulósicos [34].

Material Lignocelulósico	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina(%)
Farelo de cevada	23	32,7	24,4
Sabugo de milho	31,7	34,7	20,3
Folhas de milho	37,6	34,5	12,6
Bagaço de cana	40,2	26,4	25,2
Palha de arroz	43,5	22	17,2
Palha de trigo	33,8	31,8	20,1
Palha de sorgo	34	44	20
Casca de aveia	30,5	28,6	23,1
Eucalyptus grandis	40,2	15,7	26,9
Eucalyptus globulus	46,3	17,1	22,9

O bagaço é considerado então uma das principais biomassas lignocelulósicas que podem ser utilizadas para a conversão em bioprodutos, como o etanol 2G, pois possui alta concentração de carboidratos, baixo conteúdo relativo de lignina, é de fácil utilização e tem baixo custo de transporte e armazenagem, além de já vir processado das moendas e estar disponível em grandes quantidades [35].

Assim, quanto maior a porcentagem de celulose na composição da biomassa, melhor será o rendimento final de etanol 2G, já que haverá mais açúcar disponível para ser fermentado após a hidrólise. É importante destacar as particularidades de cada componente da biomassa presente no bagaço de cana-de-açúcar. A seguir há a descrição desses componentes principais: celulose, hemicelulose e lignina.

- Celulose

A celulose é um polímero linear que contém β -D-glicoses unidas por ligações glicosídicas β -1,4 carbono-carbono; por ligações de hidrogênio intramoleculares, ou seja, ligações entre unidades de glicose da mesma molécula; e por ligações intermoleculares, ou seja, entre unidades de glicose de moléculas adjacentes [36]. A estrutura da molécula de celulose pode ser vista na Figura 8.

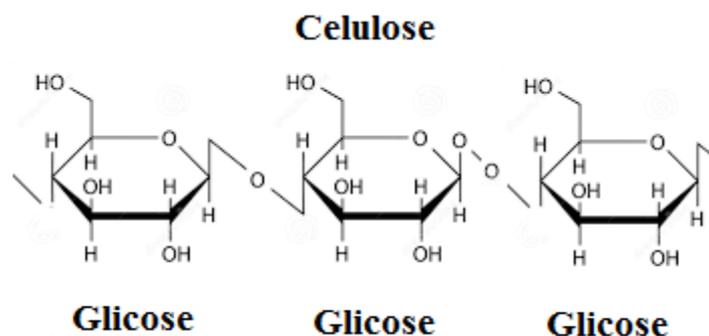


Figura 8. Estrutura da molécula de celulose [36].

A celulose corresponde a aproximadamente 40% de toda a reserva de carbono disponível no vegetal. Seu conteúdo pode variar de 20 a 99%, e está presente em todos os vegetais [37].

Existem duas propriedades importantes para a classificação das celuloses: o grau de polimerização e o índice de cristalinidade. O primeiro diz respeito à frequência de ligações glicosídicas disponíveis para a ação das celulasas e pode ser definido baseando-se no número médio de monômeros e no peso molecular do polímero. Já o índice de cristalinidade relaciona-se à reatividade do substrato. Tais características, juntamente com a lignina, resultam em uma macromolécula altamente resistente à hidrólise. Já a celulose amorfa, que tem maior área superficial, é mais suscetível à hidrólise enzimática do que a forma cristalina [38].

- Hemicelulose

Hemicelulose é um polissacarídeo heterogêneo de baixa massa molecular, composto por um ou mais tipos de açúcares, com 5 ou 6 átomos de carbono, contendo grupos substituintes acetil e metil. Normalmente é classificada de acordo com sua composição [39]. A variedade de ligações e de ramificações, assim como a presença de diferentes unidades monoméricas, contribui para a complexidade da estrutura hemicelulósica e suas diferentes conformações [40]. As estruturas de alguns açúcares presentes na molécula de hemicelulose podem ser vistas na Figura 9.

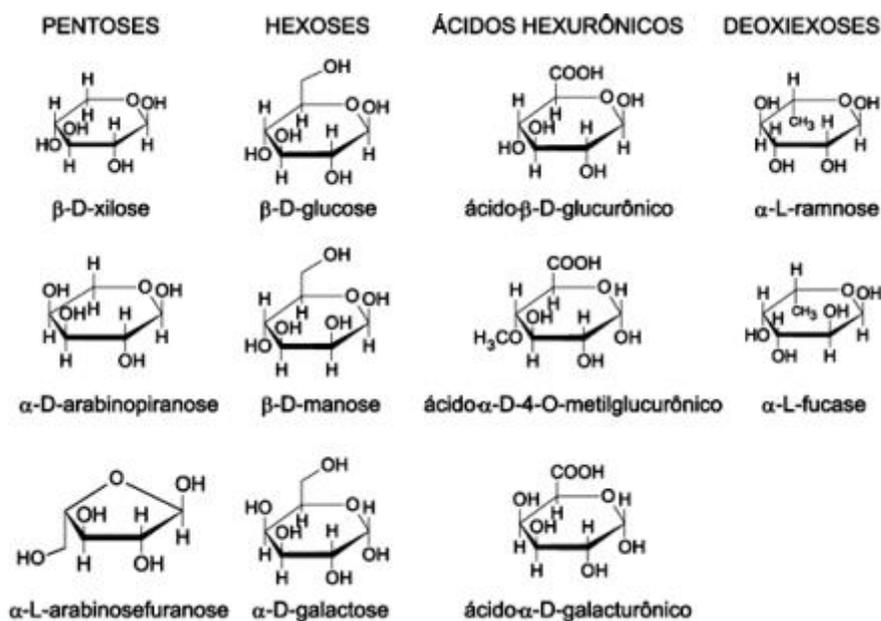


Figura 9. Estruturas de alguns açúcares presentes na molécula de hemicelulose [40].

A hemicelulose apresenta baixa massa molecular e não contém regiões cristalinas, diferente da celulose. Assim, a hemicelulose se torna mais suscetível à hidrólise ácida sob condições reacionais mais brandas. O problema do processo se encontra na fermentação das pentoses, que ainda está em desenvolvimento para se igualar às tecnologias já existentes envolvendo a fermentação da glicose [41].

Para um melhor aproveitamento da biomassa é interessante esclarecer as diferenças entre celulose e hemicelulose. Isto ajuda na escolha da melhor rota de processamento da biomassa em questão, e assim um melhor rendimento na produção do produto desejado, que no caso é o etanol 2G.

- Lignina

A lignina é um polímero natural, amorfo, hidrofóbico, e com estrutura tridimensional altamente ramificada. A força de adesão entre as fibras de celulose e a lignina é ampliada pela existência de ligações covalentes entre suas cadeias e os constituintes da celulose e da hemicelulose [42]. É o terceiro componente principal da parede celular vegetal, correspondendo de 20 a 30% em peso. A estrutura da lignina pode ser vista na Figura 10.

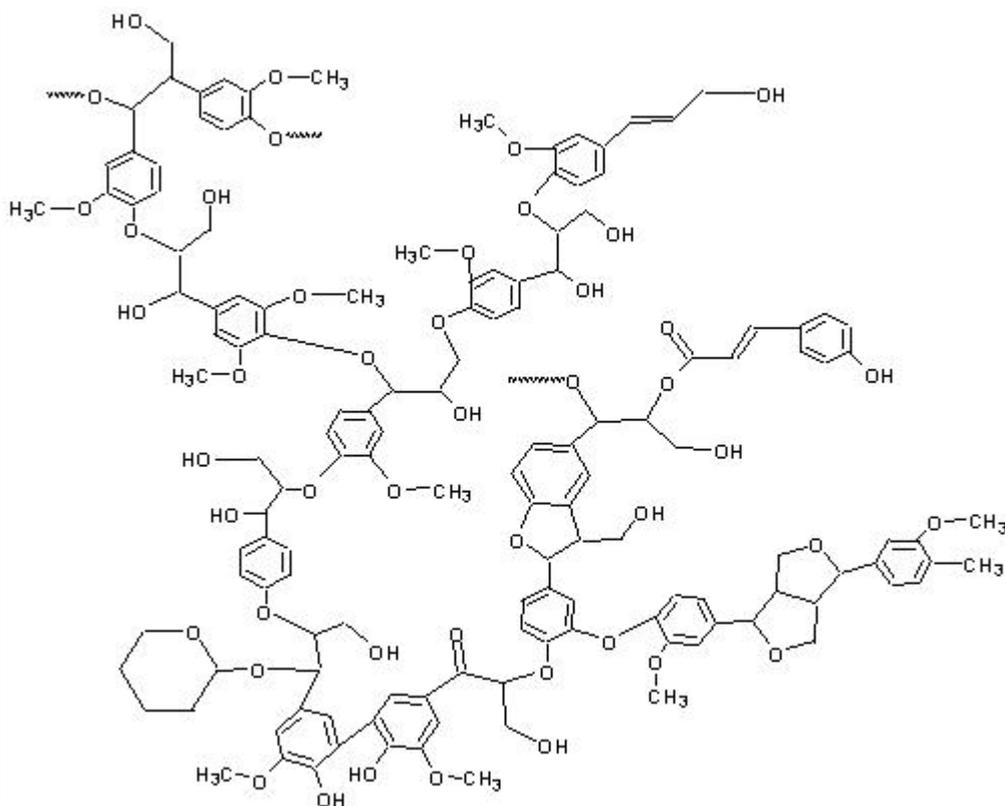


Figura 10. Estrutura Geral da lignina [42].

Esta tem como principais funções o transporte de água, nutrientes e metabólitos; a resistência mecânica dos vegetais e a proteção dos tecidos contra o ataque de patógenos e/ou pragas [35].

A dificuldade do acesso à celulose e hemicelulose se dá pela presença da lignina. Para que as enzimas possam ter acesso aos açúcares, e que ocorra a despolimerização da cadeia, é necessária a redução do conteúdo dos monômeros presentes na lignina, a qual de fato é uma barreira [38].

A lignina é o maior depósito de estruturas químicas aromáticas, constituindo em uma fonte potencial de valiosos insumos para a indústria química. Apesar disso, o foco atual está centrado em seu uso como fonte de energia, garantindo autossuficiência para os processos. Caso haja um excedente de energia gerado pela sua conversão, este pode ser exportado para regiões vizinhas através do sistema de distribuição de energia elétrica [38].

3.4 Processo para Obtenção do Etanol 2G

O MME define etanol como “uma substância química com fórmula molecular C₂H₆O, produzida especialmente via fermentação de açúcares. É um biocombustível utilizado em

motores de combustão interna com ignição por centelha (Ciclo Otto) em substituição especialmente à gasolina e em contraponto a outros combustíveis fósseis” [43]. Já a Resolução nº 23 de 2010 da ANP, define etanol como:

“I - Álcool etílico combustível ou etanol combustível: combustível destinado ao uso em motores de combustão interna de ignição por centelha e que possui como principal componente o etanol, especificado sob as formas de álcool etílico anidro combustível ou etanol anidro combustível e álcool etílico hidratado combustível ou etanol hidratado combustível e produzido por agente cadastrado ou importado por empresa autorizada, de acordo com regulamentação da ANP, utilizado em ensaios de avaliação de consumo de combustível e emissões veiculares para homologação de veículos automotores [44].

São duas as formas de utilização do produto: na forma de etanol anidro, como componente de mistura na formação da gasolina C; ou como etanol hidratado, comercializado em todo o país como um combustível principal.

O etanol, basicamente, é obtido pela fermentação de açúcares contidos no “caldo” de cana-de-açúcar com uso de leveduras. Este é o conhecido processo de primeira geração. Esta matéria-prima agrícola (o extrato da cana, ou o “caldo”) têm moléculas relativamente curtas, que podem facilmente ser metabolizadas por leveduras [45].

Já os açúcares contidos no bagaço de cana-de-açúcar são compostos por moléculas longas de polissacarídeos não metabolizáveis por leveduras. A celulose e a hemicelulose são envolvidas por uma matriz de lignina, a qual impede o acesso das leveduras à esses açúcares fermentáveis. Dessa forma, estes são os dois problemas que necessitam de tecnologias viáveis, que não são encontrados no processo de obtenção de etanol 1G: separar a lignina da celulose e hemicelulose, e em seguida reduzir estes polissacarídeos a açúcares simples [45].

O etanol celulósico ou 2G utiliza como matéria-prima o bagaço da cana-de-açúcar, formada por celulose, hemicelulose e lignina. Essa biomassa passa por um processo de pré-tratamento, o qual aumenta significativamente a eficiência dos processos de hidrólise e de fermentação, onde leveduras realizam a quebra dos açúcares para a obtenção do etanol. A hidrólise é necessária para extrair todos os açúcares fermentáveis para um maior rendimento. Assim, esta é considerada a parte do processo com maior necessidade de inovação e desenvolvimento tecnológico para obter vias hidrolíticas eficientes, viabilizando a produção de etanol 2G [46].

O processo de obtenção de etanol 2G, realizado através da hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos, consiste basicamente das etapas descritas na Figura 11.

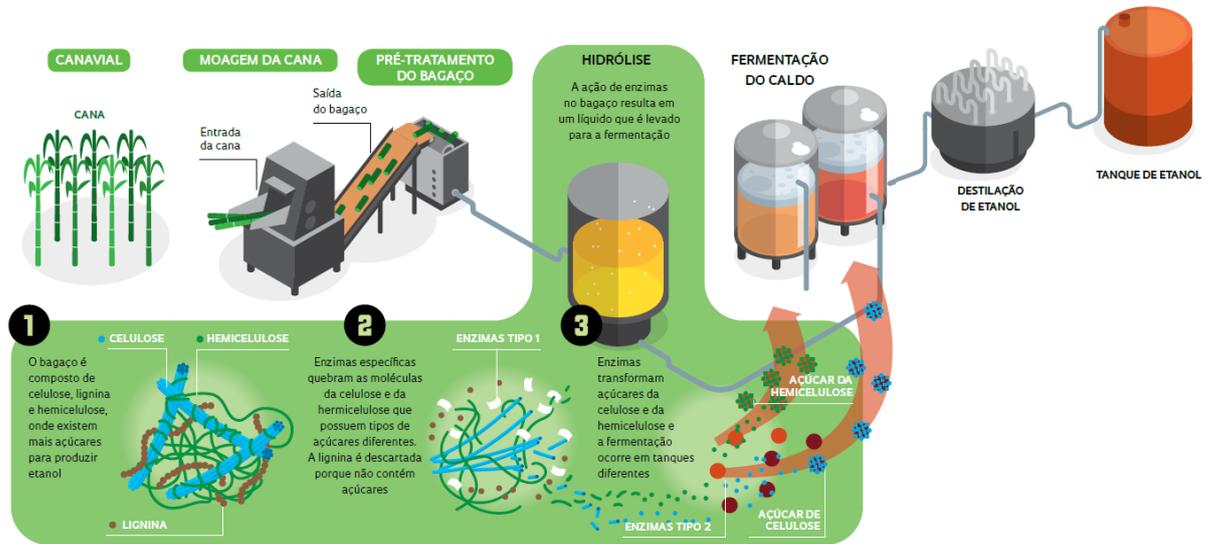


Figura 11. Processo de produção de Etanol 2G [47].

O pré-tratamento visa aumentar a área de contato da biomassa com os agentes que provocarão a hidrólise das moléculas, elevando a porosidade dos materiais e reduzindo a cristalinidade da celulose; utilizando para esta etapa um processo para a retirada da lignina que está envolvendo a celulose e a hemicelulose [47]. A Figura 12 representa os efeitos deste pré-tratamento no material lignocelulósico.

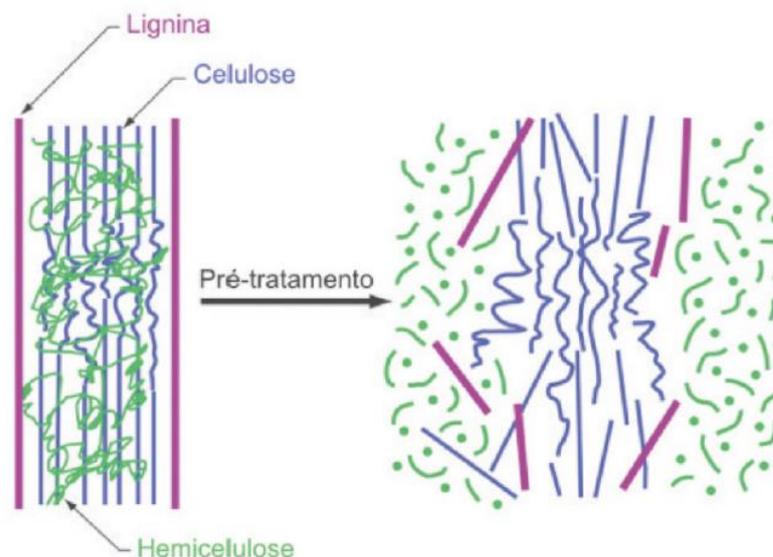


Figura 12. Efeitos do pré-tratamento no material lignocelulósico [48].

A lignina é um grande impedimento para o sucesso do ataque à celulose. Sua retirada é fundamental porque pode interferir diretamente no produto final obtido da etapa de pré-tratamento, que irá para as outras etapas do processo. Quanto maior a eficiência na remoção da lignina melhor será a obtenção do etanol [48].

A próxima etapa do processo de produção de etanol 2G é a hidrólise enzimática. A conversão da celulose à glicose, enzimaticamente, é catalisada por um grupo de enzimas denominadas celulasas, as quais rompem as ligações glicosídicas das microfibrilas de celulose, resultando na liberação de oligossacarídeos, celobiose e glicose [49].

A hidrólise enzimática se destaca frente às rotas químicas no processo de produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar. As conversões enzimáticas aparecem como promissoras, em termos de custo global, em virtude da possibilidade de atingir rendimentos glicosídicos próximos ao teórico, além do fato de se poder contar com as técnicas modernas de microbiologia e engenharia genética, com vistas à otimização das etapas do processo integrado. O grande desafio consiste em tornar o processo enzimático viável, de modo que a produção de etanol a partir da biomassa lignocelulósica possa tornar-se competitiva com as demais rotas de produção de biocombustíveis em larga escala [49].

Duas usinas brasileiras aplicam o processo de obtenção de etanol 2G no Brasil: Granbio e Raízen. Essas empresas são pioneiras no desenvolvimento da produção de etanol 2G, e adotam processos semelhantes, mas cada uma com sua tecnologia desenvolvida separadamente. Ambas tecnologias são protegidas por patentes.

A Granbio é uma empresa brasileira de tecnologia industrial que produz etanol 1G e 2G, além de bioquímicos. Devido ao modelo inovador de negócios, a companhia é a única do setor que atua do começo ao fim da cadeia produtiva - da matéria-prima à distribuição do produto final, integrando tecnologias próprias e de parceiros [50].

Em setembro de 2014 entrou em operação a primeira planta em escala comercial de etanol celulósico do Hemisfério Sul: a Bioflex 1. Esta planta está localizada em Alagoas, encontra-se em funcionamento, e apresenta capacidade para produzir 82 milhões de litros do biocombustível por ano. A Granbio converte palha e bagaço de cana em etanol 2G, utilizando a tecnologia de pré-tratamento Proesa®, licenciada pela Beta Renewables para a Bioflex 1. O processo foi ilustrado na Figura 13 [51].

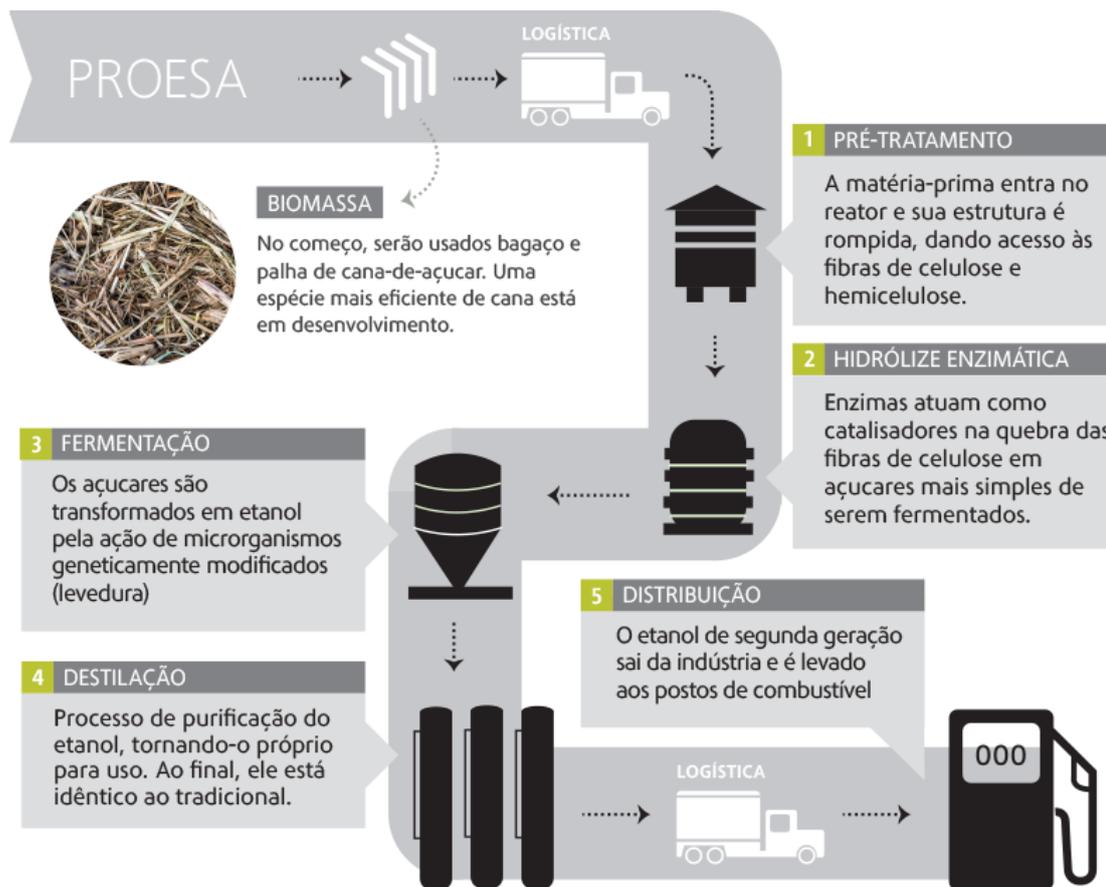


Figura 13. Processo de produção de etanol 2G a partir da tecnologia [51].

A Proesa® permite a utilização de açúcares presentes em biomassas lignocelulósicas a fim de se obter combustíveis e outros produtos químicos, cujo uso reduz a emissão de gases causadores do efeito estufa, a custos competitivos comparados com os combustíveis de origem fóssil (petróleo e gás natural). Esta tecnologia é protegida por 26 famílias de patentes, 14 das quais são públicas [52].

Neste processo, a biomassa é submetida a pressões e temperaturas elevadas, e assim a celulose e a hemicelulose se separam da lignina, abrindo caminho para a etapa de hidrólise enzimática. À partir dessa etapa, os polissacarídeos são tratados com enzimas que liberam os açúcares simples, posteriormente fermentados pela levedura em etanol. A lignina, junto com o biogás derivado dos processos, é recuperada para ser utilizada na caldeira que gera energia e calor [52].

Durante o pré-tratamento, separam-se os três elementos básicos do bagaço, ou seja, a lignina, a celulose e a hemicelulose. Na etapa da hidrólise enzimática há a redução da viscosidade que prepara o substrato para a sucessiva sacarificação simultânea da celulose e hemicelulose, e a co-fermentação dos resultantes açúcares simples C5 e C6 em etanol. A tecnologia Proesa™ combina um processo de hidrólise enzimática com a fermentação [52].

O biocatalisador que permite a hidrólise enzimática de açúcares complexos a açúcares monoméricos fermentáveis foi desenvolvido pela Novozymes, líder mundial no setor das enzimas. O processo é mais rápido comparado com outras abordagens de hidrólise enzimática, ligeiramente ácido, livre de álcalis e com resíduos de produção modestos. Os parâmetros são adaptáveis, garantindo assim flexibilidade no fluxo de saída dos açúcares C5 e C6 e na lignina, que pode ser utilizada para a produção de intermediários químicos [52].

A Empresa Raízen é a junção de parte dos negócios da Shell e da Cosan, uma das maiores empresas do Brasil, com investimentos em setores estratégicos como agronegócio, distribuição de combustíveis e de gás natural, lubrificantes e logística [53]. É considerada a principal fabricante de etanol de cana-de-açúcar do país e a maior exportadora de açúcar de cana no mercado internacional. Utiliza um processo totalmente integrado do setor sucroenergético, com atuação em todas as etapas: cultivo da cana, produção de açúcar e etanol, logística interna e de exportação, distribuição e comercialização [54].

A primeira planta entrou em funcionamento em novembro de 2014 para produção de etanol em escala comercial. Localizada no interior de São Paulo, a Raízen investiu R\$ 237 milhões em pesquisa, desenvolvimento e infraestrutura, com capacidade de produção de 40 milhões de etanol a mais por ano. A empresa Iogen Energy desenvolveu a tecnologia de processamento da biomassa para a produção do etanol celulósico, sendo a própria Raízen uma das acionistas desta empresa em parceria com a Iogen Corporation [54].

O processo de obtenção do etanol é similar ao utilizado pela GranBio, onde há um pré-tratamento em que as fibras são desestruturadas e então transformadas em açúcares solúveis por meio da hidrólise enzimática. Há também a utilização de enzimas específicas para fabricação do etanol 2G desenvolvida pela empresa dinamarquesa Novozymes [55].

Outro ponto interessante que a empresa Raízen expôs em relação a sua produção é que ainda na fase do pré-tratamento há o problema de mecanização na entrada do bagaço no equipamento utilizado. Isso porque o setor sucroenergético, devido sua longa experiência industrial com papel e celulose, considerou que a biomassa do etanol 2G seguiria o mesmo método da produção da biomassa do papel.

As características da biomassa do etanol 2G, com relação ao bagaço e à palha, é que estas mostraram-se muito diferentes da madeira da produção do papel, e exige muitas modificações industriais. Essas modificações levaram a um aumento de custo significativo dos primeiros projetos e diversas paralisações de operação.

Assim, a produção de etanol 2G inicia-se com a recepção da cana-de-açúcar na fábrica e com a separação dos diferentes tipos de fibras (do caule e da palha da cana). Na

sequência, esses materiais são picados e processados separadamente, em um processo denominado de hidrólise. A hidrólise da celulose é uma das tecnologias de produção de etanol 2G. A celulose é hidrolisada em reatores bioquímicos, onde ocorre a quebra da estrutura molecular do bagaço da cana-de-açúcar (celulose) em açúcares simples e solúveis, passíveis de se transformarem em etanol pela ação de microrganismos na etapa de fermentação. Por fim, o mosto resultante da hidrólise é fermentado e destilado tradicionalmente.

Logo após a síntese do processo, é fácil verificar que são três os gargalos tecnológicos encontrados na indústria de produção de etanol 2G: separar a lignina da celulose e da hemicelulose; reduzir estes polissacarídeos em açúcares simples; e ainda na fase de pré-tratamento, encontrar um método tecnológico para suprir o problema na mecanização.

3.5 Prospecção Tecnológica

A aplicação de métodos prospectivos vem sendo introduzida no desenvolvimento de novas perspectivas sobre o setor energético, capaz assim de tornar mais precisa e eficaz a formulação de estratégias no atual momento que trará um futuro mais desejável, ajudando nas tomadas de decisão em diversos níveis. A visão de prospecção tecnológica conecta o tradicional planejamento com a constante mutação da realidade, onde turbulências e descontinuidades políticas e econômicas estão agindo sobre o sistema [56]. O ponto que é necessário explicitar, da prospecção tecnológica, é que ela não vem para prever o futuro, mas auxiliar em tomadas de decisões que assim podem afetar o futuro, contando com toda a complexidade que o sistema está exposto. Têm-se a ideia então de “futuros múltiplos e incertos”. Pode-se interpretar como o futuro sendo uma interação entre tendências históricas e eventos hipotéticos [57].

Em termos gerais, os estudos de prospecção podem ser definidos como *“qualquer exploração do que deve acontecer e do que nós devemos querer que venha a acontecer”* ou como *“o estudo do futuro para o desenvolvimento de uma atitude estratégica para a criação de um futuro desejável”* [3]. Especificamente, a prospecção tecnológica pode ser definida como *“um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo”* [57].

As metodologias de prospecção tecnológica são diversas, e são utilizadas por diferentes autores ao redor do mundo. Sabe-se que quanto mais métodos forem utilizados de forma simultânea, melhor será o resultado da prospecção, porque vários fatores serão analisados e

considerados, tornando o estudo mais abrangente. As metodologias podem ser classificadas em três grupos principais, ilustradas na Figura 14 [58] .



Figura 14. Metodologias para prospecção tecnológica. Adaptada da referência [58].

Não há um método melhor que o outro, mas sim o que se adapta melhor ao estudo proposto. Há ainda uma subdivisão dentro destas metodologias, sendo estas: monitoramento e sistema de inteligência, análise de tendências, opinião de especialistas, construção de cenários e métodos computacionais/ferramentas analíticas. Pode-se observar que cada método citado apresenta vantagens e desvantagens, as quais estão descritas na Figura 15.

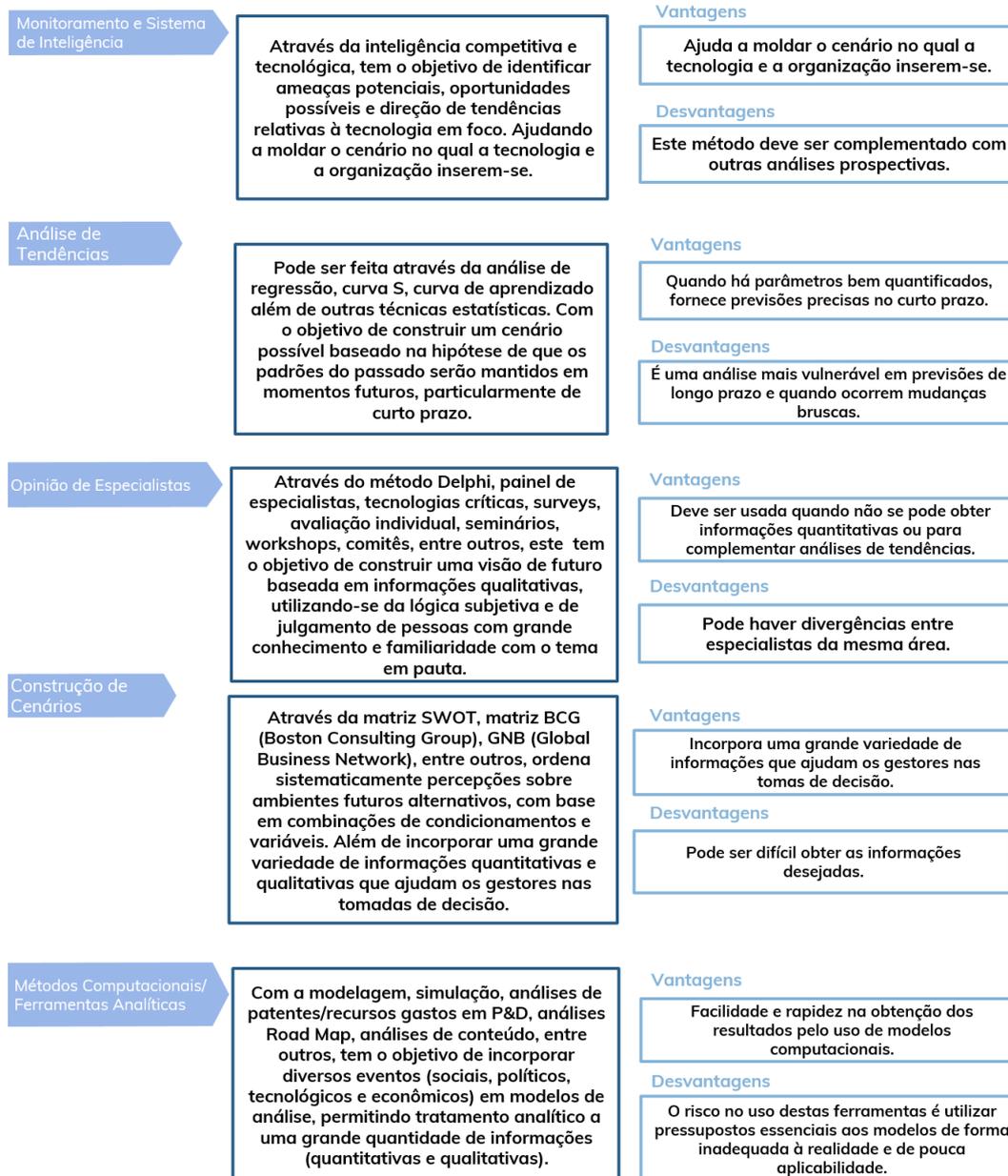


Figura 15. Metodologias para prospecção tecnológica. Adaptada da referência [58].

A prospecção deve ser realizada em um ciclo de etapas que consiste na definição da estratégia da prospecção, levantamento de dados, procedimentos de análise, conclusões e recomendações. A estratégia a ser definida visa determinar de fato o que precisa ser respondido antes da busca por informações, onde são determinados os objetivos, o escopo da prospecção e a definição da metodologia e ferramentas a serem utilizadas.

Para execução destas metodologias existem técnicas mais específicas e uma infinidade de fontes de informações disponíveis para consultas. Os fatores que devem ser considerados são a cobertura da base de dados a ser utilizada para que supra a demanda por

informação, custo e o tipo de análise. Pode-se retirar como informação o número de pedidos de residentes, que reflete a atividade tecnológica do país; o número de pedidos de não-residentes, que traduz o interesse pelo mercado; e o número de pedidos em mercados estrangeiros, que traz o interesse de uma firma em mercados externos.

Toda informação utilizada no estudo prospectivo tem que vir de fonte confiável. Sendo assim, o sistema de propriedade intelectual, na área de patentes, é um recurso valioso uma vez que este sistema alimenta uma base de dados que vem crescendo significativamente nas últimas décadas, em função da crescente importância das patentes na economia [56].

O planejamento prospectivo no mundo é bastante difundido, principalmente nos Estados Unidos e Japão, que contam com diversos organismos oficiais de pesquisa, além de empresas de consultoria dedicadas exclusivamente a esta área. Um bom exemplo da eficácia da prospecção se deu com a Shell, que em 1969 realizou um estudo que detectou um possível choque do petróleo e iniciou a exploração de petróleo no Mar do Norte antes das demais concorrentes, o que a fez conquistar o segundo lugar do mundo no ranking de sua categoria [59].

Dada sua importância, a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (*United Nations Industrial Development Organization*, UNIDO) investiu no incentivo de programas de prospecção tecnológica em nível mundial [3]. Entretanto no Brasil esta área ainda está se desenvolvendo, mas com experiências significativas. O Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) desenvolveu o Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial, que conseguiu elaborar em 2002 e 2003 estudos prospectivos para quatro cadeias produtivas brasileiras: construção civil, têxteis, madeira e móveis e plásticos [59].

Os estudos prospectivos ajudam a diminuir as incertezas e os riscos do futuro, sendo uma ferramenta analítica que lida com o cenário de constantes transformações nos âmbitos social, econômico e ambiental, além da rápida evolução do conhecimento [58]. Sendo assim, colaboram para um entendimento do que é necessário ser feito no presente para orientar a escolha das melhores oportunidades futuras.

3.6 Inovação e Sistema de Patentes

A inovação é a evolução da invenção, quando se tem uma descoberta que gera um ganho de capital e pode ser efetivamente introduzida no mercado [60]. Sua importância,

sendo uma fonte de informação, se dá pelos documentos publicados referentes ao tema foco, desde os mais importantes até os que não serão úteis.

Segundo o Manual de Oslo, uma referência mundial sobre inovação desenvolvido conjuntamente pelo Gabinete de Estatísticas da União Europeia (EUROSTAT) e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a patente é um direito legal de propriedade sobre uma invenção, garantido pelos escritórios de patentes nacionais. Uma patente confere a seu detentor direitos exclusivos (durante um certo período) para explorar a invenção patenteada [3].

O sistema de patentes garante que a tecnologia utilizada e suas informações tenham qualidade, viabilizando posteriores estudos na área requerida, ou até mesmo estudos tecnológicos como deste trabalho. E o mais importante, deixa o acesso a esta tecnologia bem mais acessível a quem queira usufruir.

As patentes têm um formato universal e seguem uma legislação bem definida, onde a empresa (ou pessoa) descreve tudo que se pretende proteger. Estão divididas pela Classificação Internacional de Patentes (CIP), mais abrangente sistema de classificação de tecnologia [61].

É possível identificar tecnologias emergentes, ou seja, ver o que está sendo publicado de mais novo, através da análise da documentação de patentes. Isso pode levar alguém a prever novos produtos e assim direcionar suas atividades, tanto do ponto de vista de uma empresa quanto de um laboratório de pesquisa. Estatísticas de patentes são cada vez mais utilizadas como indicadores do resultado das atividades de pesquisa [60].

A maioria das patentes está em uma base de acesso gratuito a documentos em vários países, sendo as principais plataformas indicadas a seguir.

3.6.1 Brasil – INPI

No Brasil, o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) detém o controle de todas as patentes nacionais, sendo uma instituição federal vinculada ao Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). É responsável assim por aperfeiçoar, disseminar e gerir o sistema brasileiro de concessão e garantia de direitos de propriedade intelectual para a indústria [62]. É possível acessar a base de patentes pelo sistema de *Busca Web* disponível no site do instituto. A busca se dá através de palavras-chave seguindo a CIP.

3.6.2 União Europeia – ESPACENET

A plataforma mais utilizada é a do Escritório Europeu de Patentes (*European Patent Office*, EPO), a ESPACENET, que dá acesso a patentes publicadas em mais de 70 países. Esta contém mais de 90 milhões de documentos de diferentes países. A sua base de dados é mantida pela EPO. As patentes podem ser acessadas no site, inclusive os pedidos depositados no Brasil [63].

3.6.3 América Latina e Espanha – LATIPAT

O LATIPAT é a base de dados com informações dos países da América Latina e da Espanha, a qual utiliza a plataforma ESPACENET. Os documentos disponibilizados são um resultado de patentes da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), Oficina Espanhola de Patentes e Marcas (OEPM), Escritório Europeu de Patentes (EPO) e todos os outros 18 Institutos de Patentes da América Latina [63]. A LATIPAT é um projeto de cooperação entre a OEPM, a OMPI e o EPO, com a colaboração de inúmeros escritórios de propriedade intelectual nos países latino-americanos [64].

3.6.4 Estados Unidos – USPTO

A base de dados do Escritório Americano de Marcas e Patentes (*United States Patent and Trademark Office*, USPTO) disponibiliza as patentes concedidas nos Estados Unidos desde 1976. O usuário pode escolher a observação apenas da folha de rosto do documento de patente, ou então sua visualização completa. Observando os resultados de cada busca, é possível ter informação dos titulares das patentes, assim como seus relatórios descritivos, os exemplos, as reivindicações, entre outras informações [63].

Os documentos relativos às patentes são a mais completa base de pesquisa, sendo que 70% das informações tecnológicas contidas nestes documentos não estão disponíveis em outros meios de busca. A única limitação que existe na busca de patentes é o período de sigilo. Todo e qualquer pedido depositado em um instituto de patentes pode levar até 18 meses para ser publicado [63].

4. METODOLOGIA

A metodologia de prospecção tecnológica escolhida neste trabalho foi baseado na análise de patentes, que consiste no uso desses documentos para monitorar a performance tecnológica do assunto em interesse, identificando tecnologias emergentes para previsão de novos produtos, novos mercados e (ou) novas fontes de licenciamento, aliada a uma análise de informações de mercado que permite obter um panorama histórico do etanol no Brasil.

O sistema de busca e análise de patentes *Orbit® Intelligence* foi utilizado neste trabalho para a pesquisa de patentes relacionadas ao bagaço de cana-de-açúcar visando a produção de etanol 2G. A base de dados deste sistema de busca é da FAMPAT, que cobre publicações de patentes que são diariamente atualizadas, com mais de 54 milhões de famílias de patentes e mais de 100 milhões de documentos, com cobertura mundial incluindo o INPI, onde estão os documentos de patentes registrados no Brasil. Este trabalho considerou a busca entre os anos de 1997 e 2016.

A pesquisa avançada foi realizada por meio das seguintes palavras chave: “hidrólise”, “enzima”, “etanol”, “bagaço” e “produção”, através da combinação destas palavras em inglês com o termo “*hydrolysis and enzym and ethanol and bagasse and production*”. Em seguida foi realizada a análise dos dados dos documentos de patentes, os quais foram avaliados dentro de quatro perspectivas: (1) ano de publicação, (2) países com primeiro depósito; (3) principais depositantes e (4) domínio tecnológico.

Anteriormente, antes de conseguir a melhor combinação de palavras chave, foram realizadas duas buscas onde as palavras chave puderam ser escolhidas de forma a abranger o tema de interesse. Recuperou-se 2508 famílias de patentes na primeira busca e 1189 na segunda busca.

Tabela 2. Tentativas de busca no software *Orbit*.

Busca	Palavras Chave
1	“Hydrolysis” and “enzym” and “etanol”
2	“Hydrolysis” and “enzym” and “etanol” and “bagasse”

Em seguida, um tratamento estatístico dos dados foi realizado utilizando a ferramenta *analyze*, disponível no software *Orbit® Intelligence*, permitindo o cruzamento de dados como depositantes, inventores, agentes, citações, classificações, distribuição geográfica, cobertura temporal, dados de análise semântica, dentre outros. Posteriormente foi realizada

uma análise preliminar, consolidando e apresentando as informações recuperadas sobre tendências do patenteamento da produção de etanol a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Foi realizada, posteriormente, uma busca no site do CTBE por patentes relacionadas ao etanol de segunda geração como forma de abranger todas as patentes relacionadas à este tema no Brasil.

Aliado à busca de patentes foi realizado o levantamento de dados relevantes ao setor de etanol brasileiro, à partir de informações sobre o mercado e o desenvolvimento de pesquisas na área, visando entender a dinâmica do setor para obter uma visão de futuro para o etanol 2G.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia estabelecida, foram recuperadas 200 famílias de patentes com o termo de pesquisa escolhido, distribuídas em escritórios de patentes em mais de 5 países, entre 1997 e 2016. A produção de etanol 2G pode ser considerada recente, por ter sua primeira publicação em 1997. A Figura 16 traz a distribuição dos resultados encontrados com os termos de busca por ano.

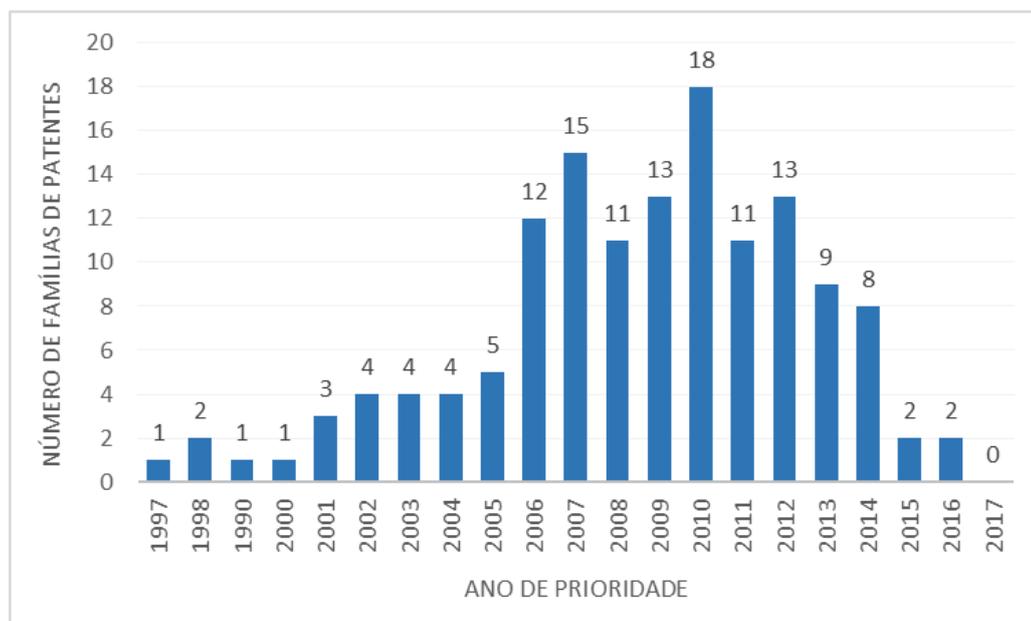


Figura 16. Distribuição dos resultados obtidos com o termo de busca selecionado por ano (anos prioritários). Adaptado de [65].

Os anos com maior concentração de depósitos no mundo para o termo de busca em questão estão entre 2006 e 2013, coincidindo com o período de expansão recente da produção sucroenergética canavieira no Brasil. Nota-se que com a expansão da produção houve uma busca no desenvolvimento de tecnologias capazes de aproveitar o resíduo e transformá-lo em um combustível renovável e que tem uma boa eficiência: o etanol 2G.

Dentre as 39 famílias de patentes depositadas no Brasil, observadas na Figura 17, duas chamam a atenção por ter como nacionalidade principal firmas ou pesquisadores brasileiros. Os documentos de patente foram disponibilizados ao público tornando-se, conseqüentemente, parte do estado da técnica.

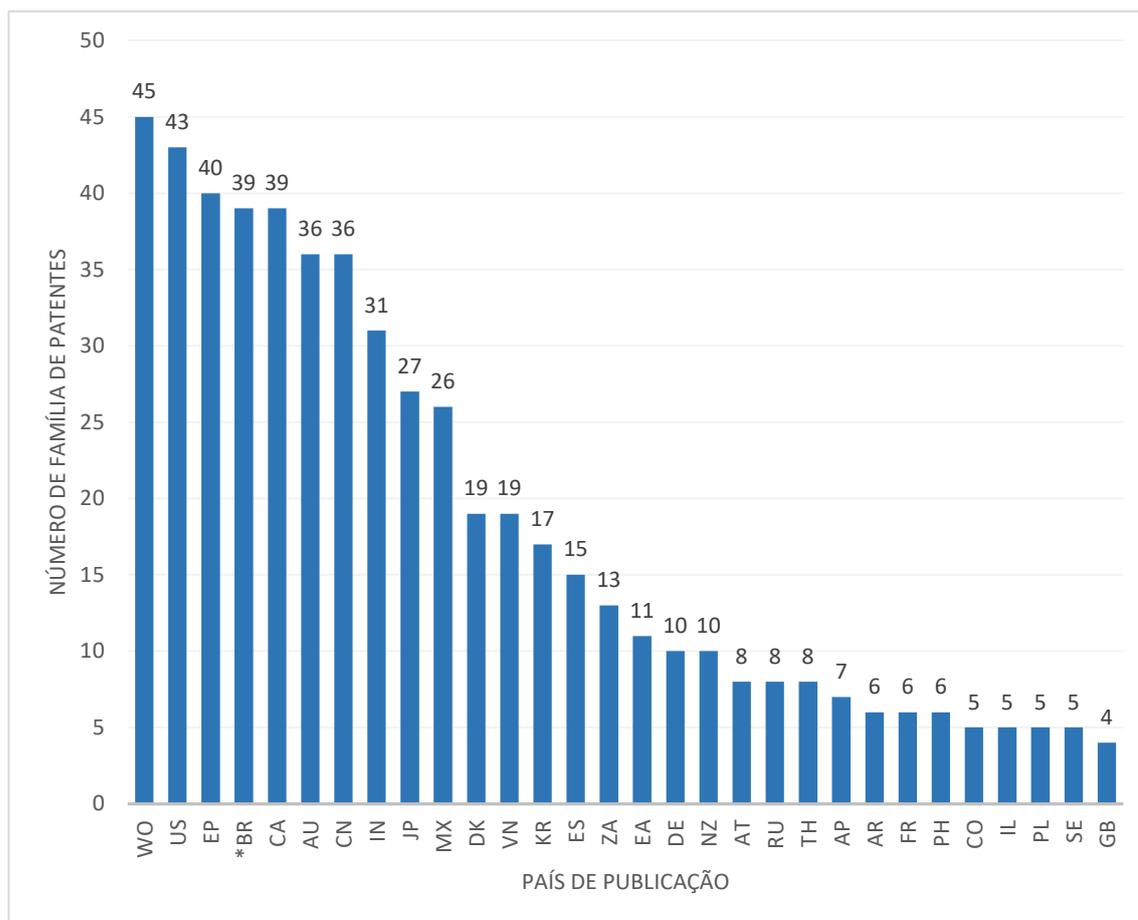


Figura 17. Distribuição dos resultados obtidos com o termo de busca selecionado por país de origem (país de publicação). Adaptado de [65].

A Petrobras foi uma depositante, apresentando o documento BRP0605017-A, com data de depósito de 30/11/2006 e de publicação 15/07/2008, cujo título é: “*Processo para a produção fermentativa de etanol a partir de material lignocelulósico sólido compreendendo um passo de tratamento de um material lignocelulósico sólido com solução alcalina para remover a lignina*”. Refere-se a um processo para a obtenção de etanol combustível, utilizando resíduos agrícolas e agroindustriais, compostos de lenhocelulose, e especialmente bagaço de cana-de-açúcar. Estes resíduos têm um conteúdo significativo de carboidratos sob a forma de polissacarídeos (celulose e hemicelulose), que podem ser hidrolisados por processos químicos e enzimáticos. A fração de hemicelulose é submetida à hidrólise suave com ácido sulfúrico e o material sólido desta hidrólise é submetido a um processo de sacarificação (hidrólise enzimática) com fermentação alcoólica rápida simultânea em condições que permitem um aumento significativo na conversão para o álcool, em grande quantidade e em tempo reduzido.

O outro documento BRPI0801763, com data de depósito 25/04/2008 e de publicação 28/01/2009, é propriedade da Evonik Industries, uma empresa multinacional com sede na

Alemanha. O título do documento é “*Processo para a hidrólise enzimática de lignocelulose quimicamente pré-tratada*”, e refere-se à preparação do hidrolisado contendo açúcar a partir de materiais lignocelulósicos que compreende um pré-tratamento do bagaço, com um composto químico específico na presença de água, o qual disponibiliza os açúcares para fermentação, e facilita assim a obtenção do etanol 2G. Esses documentos representam marcos do processo de produção desse combustível utilizando o bagaço de cana-de-açúcar.

Este depósito da Evonik Industries indica uma preocupação da empresa multinacional em proteger essa tecnologia no Brasil, visando a exploração desse mercado e protegendo sua invenção no mercado nacional.

O processo de produção de etanol 2G envolve duas etapas anteriores à fermentação dos açúcares: o pré-tratamento e a hidrólise enzimática. A escolha de uma tecnologia eficiente de pré-tratamento é essencial para a viabilidade econômica do etanol celulósico, uma vez que essa etapa afeta o rendimento de todas as etapas subsequentes.

As tecnologias mais utilizadas como pré-tratamento são processos químicos, como hidrólises ácidas e/ou básicas, e físico-químicos, como a explosão a vapor. As empresas com projetos de etanol 2G têm enfrentado dificuldades além do esperado nessa etapa, ao passar da escala piloto para a industrial. Uma das principais fontes de problemas está no teor acima do previsto de impurezas minerais (terra, areia e pedras), que chega junto com a matéria-prima na usina, provocando danos em estruturas como válvulas, bombas e tubulações, além de corrosão nos equipamentos, devido à alta pressão e temperatura do processo [11]. Entre as soluções encontradas estão o revestimento das estruturas com material cerâmico e a pré-lavagem da biomassa.

Outra fonte de complicações está nos equipamentos utilizadas para tratar a biomassa. As empresas acreditaram que seria possível utilizar o maquinário inicialmente criado para a indústria de papel e celulose, mas a matéria-prima é diferente e exigiu esforços para que se fizessem as adaptações necessárias. Com tantos entraves, as etapas de hidrólise e fermentação também tiveram a sua continuidade comprometida. Os tempos de reação estão acima do desejado, enquanto os rendimentos estão abaixo do esperado [11].

As tecnologias utilizadas nas empresas brasileiras de etanol lignocelulósico, GranBio e Raízen, são fornecidas por empresas de outros países, que demonstram ter mais patentes depositadas que o Brasil, assim como um desenvolvimento maior em pesquisas nessa área. São cinco as empresas em operação no mundo, sendo elas a Poet-DSM (Iowa, Estados Unidos), a Beta Renewables (Crescentino, Itália), DuPont (Iowa, Estados Unidos), e as empresas brasileiras Granbio e Raízen. Uma das vantagens para as empresas brasileiras, é

em relação aos custos, já que os insumos são mais baratos para a produção de etanol lignocelulósico (bagaço e a palha da cana-de-açúcar).

As outras nacionalidades das famílias de patentes podem ser visualizadas na Figura 18. Essa apresenta apenas os autores principais, excluindo as co-titularidades. É importante frisar que com a distribuição das nacionalidades dos depositantes não é possível identificar em quais países há maior desenvolvimento de pesquisas com etanol 2G, pois os participantes que atuam neste mercado têm centros de pesquisa em países distintos.

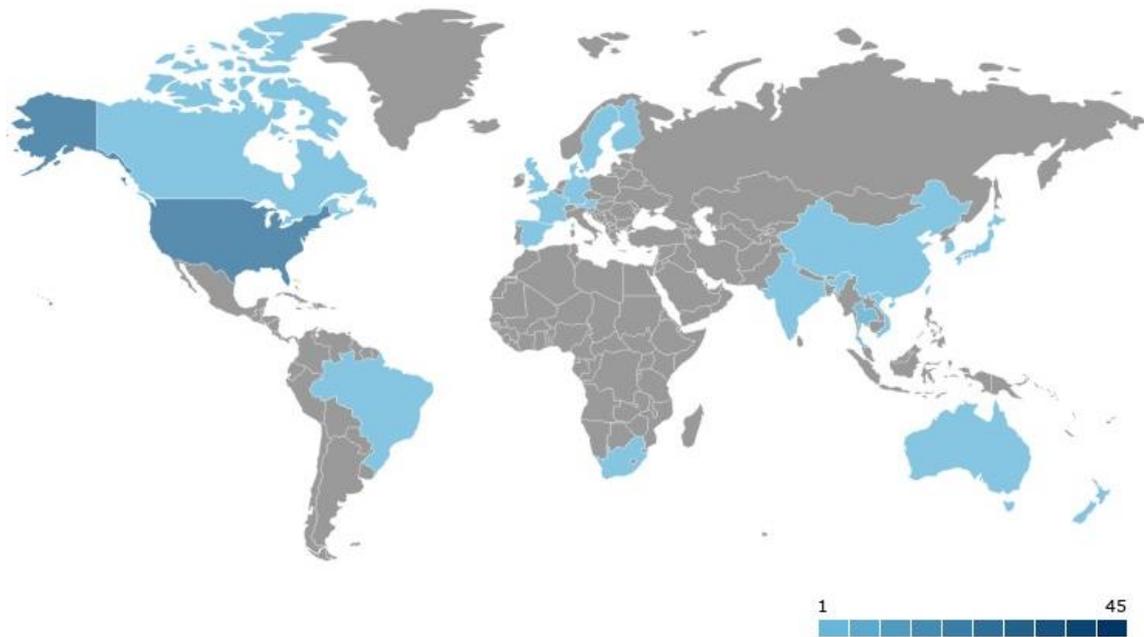


Figura 18. Distribuição dos resultados obtidos com os termo de busca selecionado por país de origem (país prioritário). Adaptado de [65].

A informação tecnológica presente em um documento de patente permite observar, com maior exatidão, os países com desenvolvimento tecnológico mais expressivo em um determinado setor. Este é identificado como o “país de prioridade” desse documento, o qual representa o local onde foi efetuado o primeiro depósito de patente para a referida tecnologia no mundo. Os países ainda depositam suas patentes em outros com o objetivo de proteção destas patentes à nível mundial, impedindo assim que terceiros utilizem suas inovações sem que haja um acordo ou a prévia autorização dos inventores das patentes para sua utilização.

Nesse contexto, a Petrobras apresentou um depósito de patente tendo como “país de prioridade” o Brasil. Essa informação, de certa forma, coloca o Brasil como um mercado de destaque na produção de etanol 2G no mundo.

A Figura 19 traz a autoria das patentes, sendo que a maioria vem de empresas em frente às universidades, sendo estas últimas responsáveis pelo desenvolvimento de pesquisas e não por serem depositantes expressivos de patentes na área.

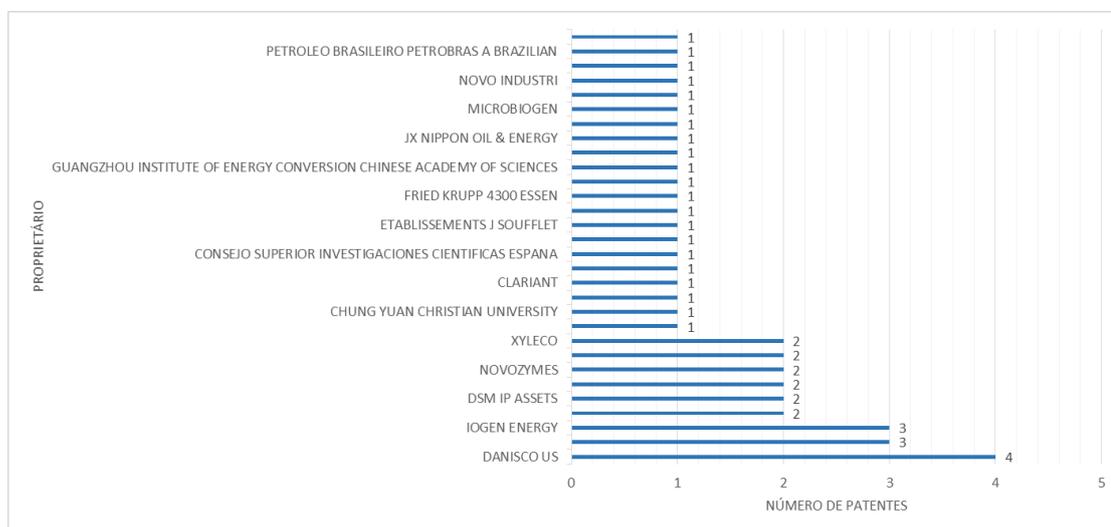


Figura 19. Relação dos principais depositantes de pedidos de patente. Adaptado de [65].

A Figura 20 descreve a situação atual dos documentos pesquisados. Cada publicação recebe um código de identificação, que corresponde à decisão dada a um determinado pedido de patente em uma determinada data. Com esse código é possível identificar o status do documento como sendo: “pedido pendente”; “pedido expirado”; “pedido prescrito” e “patente concedida”.

Com relação ao documento de titularidade brasileira constatado na pesquisa, cuja principal depositante é a Petrobras, o status encontra-se com classificação “patente concedida”.



Figura 20. Estágio atual dos documentos de patentes pesquisados a partir do termo de busca selecionado. Adaptado de [65].

A Figura 21, refere-se às principais classes de pedidos de patentes selecionadas na etapa de busca, segundo a CIP. A CIP, também chamada de IPC (*International Patent Classification*), estabelece um sistema hierárquico de símbolos para a classificação de Patentes de Invenção e de Modelo de Utilidade de acordo com as diferentes áreas tecnológicas, tornando a busca pelas patentes mais direta uma vez que se pode selecionar a área tecnológica em que se deseja fazer a busca [60].

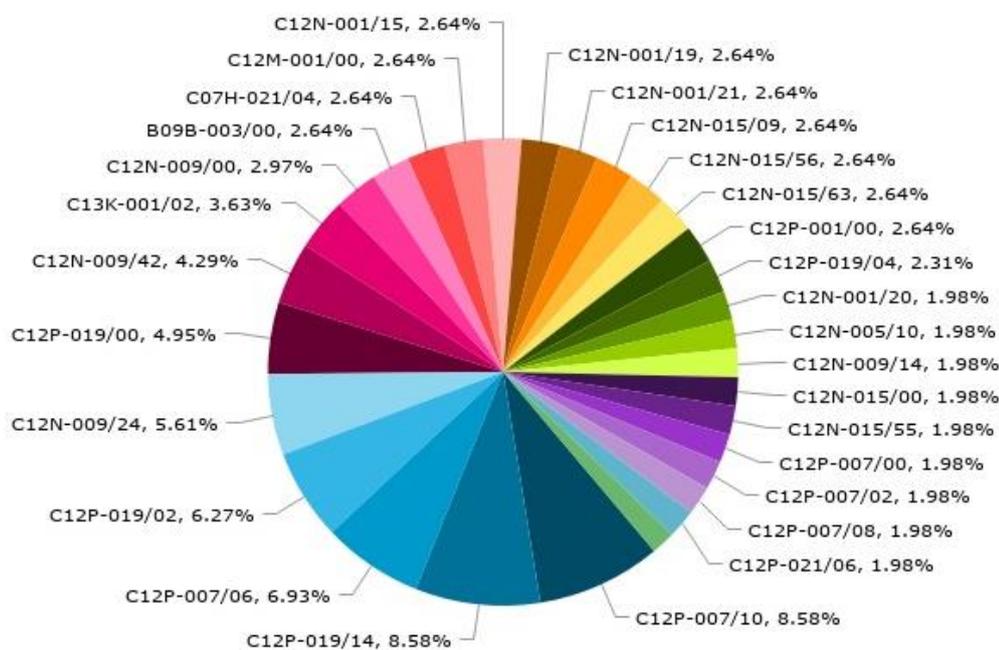


Figura 21. Distribuição das principais CIPs dos documentos de patente pesquisados a partir do termo de busca selecionado. Adaptado de [65].

Os documentos de titularidade brasileira, levantados na pesquisa, estão classificados como C12P e C12R. A classificação C12P é referente à fermentação ou procedimentos de utilização de enzimas para composto químico desejado ou composição, ou para separar isômeros ópticos de uma mistura racêmica [61]. Já a classificação C12R é referente à levedura a *Saccharomydes Cerevisiae*. Ambos documentos estão relacionados às etapas de hidrólise e fermentação dos açúcares para a produção do etanol 2G, as quais são fundamentais no processo de obtenção desse combustível.

Uma análise da Figura 22 mostra o conteúdo principal das famílias de patentes relacionadas neste trabalho, que segue a lógica da CIP. A maior participação, de acordo com o foco de estudo realizado neste trabalho, está nos temas relacionados a enzimas (*enzyme*),

bagago de cana-de-açúcar (*sugar cane bagasse*), hidrólise enzimática (*enzymatic hydrolysis*) e produção de etanol (*ethanol production*), e pré-tratamento (*pretreatment*).

Enzyme⁽⁴³⁾ | Corn stover⁽³⁰⁾ | Wheat straw⁽²⁹⁾ | Ethyl alcohol⁽²⁹⁾ | Fermentable sugar⁽²⁸⁾ | Sugar cane bagasse⁽²⁸⁾ | Rice straw⁽²⁷⁾ | Fermentation⁽²⁷⁾ | Bagasse⁽²⁶⁾ | Enzymatic hydrolysis⁽²⁶⁾ | Lignin⁽²⁵⁾ | Biomass⁽²⁵⁾ | Hemicellulose⁽²⁴⁾ | Cellulase⁽²⁴⁾ | Glucose⁽²⁴⁾ | Centrifugation⁽²⁴⁾ | Hydrolysis⁽²³⁾ | Polysaccharide⁽²³⁾ | Switch grass⁽²²⁾ | Cellulase enzyme⁽²¹⁾ | Xylose⁽²¹⁾ | Arabinose⁽²¹⁾ | Galactose⁽²¹⁾ | Enzyme activity⁽²¹⁾ | Microorganism⁽²⁰⁾ | Ethyl alcohol production⁽¹⁹⁾ | Simultaneous saccharization⁽¹⁸⁾ | Lignocellulosic biomass⁽¹⁸⁾ | Ethanol production⁽¹⁸⁾ | Trichoderma reesei⁽¹⁸⁾ | Enzyme degradation⁽¹⁸⁾ | Oligosaccharide⁽¹⁸⁾ | Sugar⁽¹⁸⁾ | Pretreatment⁽¹⁸⁾ | Endoglucanase⁽¹⁷⁾ | Steam explosion⁽¹⁷⁾ | Lignocellulose⁽¹⁷⁾ | Aspergillus niger⁽¹⁷⁾ | Fermentation product⁽¹⁷⁾ | Monosaccharide⁽¹⁷⁾ | Yeast extract⁽¹⁷⁾ | Agricultural residue⁽¹⁶⁾ | Saccharization⁽¹⁶⁾ | Fermentation medium⁽¹⁶⁾ | Cellobiohydrolase⁽¹⁶⁾ | Cellulose hydrolysis⁽¹⁶⁾ | Corn fiber⁽¹⁴⁾ | Hydroxymethylfurfural⁽¹⁴⁾ | Lignocellulosic material⁽¹⁴⁾ | Enzyme mixture⁽¹⁴⁾ | Cellobiose⁽¹⁴⁾ | Enzyme concentration⁽¹⁴⁾ | Mannose⁽¹⁴⁾ | Monomeric sugar⁽¹³⁾ | Hemicellulose hydrolysis⁽¹³⁾ | Barley straw⁽¹³⁾ | Switchgrass⁽¹³⁾ | Glucosidase⁽¹³⁾ | Agricultural waste⁽¹³⁾ | Microorganism fermentation⁽¹³⁾ | Hardwood⁽¹³⁾ | Microbial fermentation⁽¹³⁾ | Cellulose enzymatic hydrolysis⁽¹²⁾ | Pretreated biomass⁽¹²⁾ | Lignocellulosic feedstock⁽¹²⁾ | Glucosidase activity⁽¹²⁾ | Sugar fermentation⁽¹²⁾ | Ethanol concentration⁽¹²⁾ | Hemicellulase⁽¹²⁾ | Xylanase⁽¹²⁾ | Xylosidase⁽¹¹⁾ | Sugar beet pulp⁽¹¹⁾ | Enzymatic saccharization⁽¹⁰⁾ | Bioethanol production⁽¹⁰⁾ | Cellulose conversion⁽¹⁰⁾ |

Figura 22. Conteúdo principal das famílias de patentes. Adaptado de [65].

A leitura da Figura 22 é realizada através das cores e tamanhos de letras dos assuntos, onde o número de famílias de patentes está entre parêntesis. Observa-se que realmente houve uma grande preocupação em se desenvolver tecnologias que cobrissem os gargalos relacionados à fase de hidrólise enzimática para a produção de etanol 2G, com 26 famílias de patentes, e pré-tratamento, com 18 famílias de patentes. Os outros conteúdos também têm relação com estas etapas, sendo que estes são mais específicos, como por exemplo o aparecimento de diferentes tipos de enzimas que foram estudadas para viabilizar a produção.

Complementarmente, através de pesquisas realizadas no site do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), foram encontradas mais 10 patentes relacionadas ao etanol 2G, até o ano de 2017. Dentre essas, 5 são relacionadas à etapa de hidrólise enzimática e 1 ao pré-tratamento, sendo que as outras 4 abordam temas sobre o processo de mecanização e colheita, microorganismos e fermentação. As patentes foram listadas no Anexo I.

O possível motivo destas patentes não terem sido visualizadas no software Orbit deve-se à combinação das palavras chaves utilizadas nesse trabalho, que podem não ter compreendido o conteúdo presente nas patentes do CTBE.

O CTBE desenvolve pesquisas com foco em tornar viável a produção de etanol 2G, através do desenvolvimento de tecnologias que desenvolvam significativamente o setor de produção de bioenergia, tanto na área agrícola, quanto na industrial. Muitas dessas tecnologias estão disponíveis a empresas e instituições interessadas em licenciá-las e dar prosseguimento ao desenvolvimento da tecnologia disponibilizando-a à sociedade em forma de processos, produtos ou serviços [66]. Através das 10 patentes encontradas é possível

observar que o laboratório visa acelerar o processo de desenvolvimento desse produto e do respectivo processo.

O laboratório conta ainda com uma planta piloto para verificar e demonstrar, em escala semi-industrial, robustez e estabilidade de rotas tecnológicas de produção de etanol e outros compostos derivados de biomassa. A Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP) está equipada para validar indicadores tecno-econômicos e de sustentabilidade de processos que obtiveram sucesso na escala de bancada [67].

Através desta planta piloto é possível prever os gargalos e otimizar os processos, o que ajuda no desenvolvimento de novas tecnologias que possam atender às necessidades de produção. Estes estudos visam tornar viável tecnológica e economicamente a produção de etanol 2G no Brasil.

6. ANÁLISE DO MERCADO

O etanol teve seu desenvolvimento no mercado brasileiro a partir da entrada dos veículos flex-fuel em 2003 levando a um investimento alto na ampliação da capacidade produtiva do setor sucroenergético. O número de novas usinas passou de 8 para 34 no período entre 2005 e 2008, sendo que depois do auge da entrada de novos empreendimentos no setor, em 2008, a crise internacional afetou todo o mercado de etanol e fez o cenário de crescimento mudar [11].

Nesse momento havia um endividamento pelos elevados investimentos no setor, e uma restrição ao crédito impedia o desenvolvimento do mesmo. Culminou ainda com o período em que o Brasil tinha a intenção de aumentar a exportação de etanol, mas os Estados Unidos e União Europeia passaram a incentivar a produção interna de biocombustíveis com legislação específica e ainda estabelecerem barreiras tarifárias e não tarifárias à entrada do etanol em seus mercados [68].

Enquanto o Brasil foi fortemente afetado pela crise, em 2009, não só o investimento em novas usinas caiu, como o setor passou a conviver com o fechamento de muitas unidades. Com isso, em 2010, a importação de petróleo cresceu no Brasil pois a oferta interna de combustíveis era inferior a demanda do setor de transporte [6]. Este foi o período de estagnação do setor de etanol, devido ainda aos subsídios promovidos à gasolina e sua consequente queda de preço, sendo difícil para o etanol competir com essas condições. Até os investimentos em renovação do canavial comprometeram a produtividade dos anos seguintes. Os investimentos em tecnologia e a adoção de novas variedades de cana, como a cana energia¹, também foram reduzidos.

Neste período o setor sucroenergético brasileiro também atraiu investimentos estrangeiros. Apesar da crise, este movimento de entrada do capital externo está relacionado à então consolidação do uso do etanol como a melhor fonte alternativa à gasolina, apresentando forte tendência à sua aceitação no mercado internacional a partir da abertura de novos mercados como os da União Europeia e Estados Unidos, que investiram pesado na sua produção interna anteriormente [68].

Este interesse dos países, em entrar com seu capital no setor sucroenergético brasileiro foi devido às estimativas favoráveis de consolidação de um mercado internacional para o

¹ “A cana-energia é uma variedade desenvolvida a partir do cruzamento de espécies ancestrais e híbridos comerciais de cana-de-açúcar. O resultado é uma cana mais robusta, com maior teor de fibra e potencial produtivo, ideal para fabricação de biocombustíveis e bioquímicos de segunda geração e para geração e/ou cogeração de energia elétrica. [79]”

etanol, à demanda de combustíveis do ciclo Otto em expansão, bem como a entrada de novas rotas de produção (como o etanol 2G) [68]. Outro fator que atraiu o capital externo foi a alta competitividade que o etanol brasileiro tem frente às demais matérias-primas utilizadas em outros países. O etanol de cana-de-açúcar tem elevada produtividade o que garante um produto competitivo e atrativo para sua comercialização no mercado internacional e ainda contribui para a mitigação dos GEE produzidos no setor de transportes [69].

Ainda assim, no ano de 2012 muitas usinas foram fechadas, porém essa quantidade foi caindo e passou-se a ter, também, a reativação de algumas unidades. Com isso, em 2013, a produção voltou a crescer, como resultado de algumas decisões governamentais e ao investimento do capital estrangeiro no setor, que foram importantes para dar um sinal positivo à indústria, como a desoneração do PIS/COFINS incidentes sobre a venda do etanol, fazendo este ser competitivo frente à gasolina [11].

Em setembro e novembro de 2014 as primeiras plantas em escala comercial de etanol 2G no Brasil, das empresas Raízen e Granbio, entraram em funcionamento. Com os entraves tecnológicos advindos do processo de produção nas etapas de hidrólise enzimática e pré-tratamento, o Brasil teve pouco desenvolvimento na área de etanol 2G devido aos elevados custos de produção, que não os tornava viável. Neste período o maior entrave era a produção das enzimas para o processo de hidrólise enzimática que representavam o custo mais alto do processo, que a despeito de pesquisas conduzidas em território nacional, ainda são importadas de uma empresa dinamarquesa. Mesmo assim, as duas empresas conseguiram contribuir para a produção de etanol para o mercado brasileiro.

Na safra 2015/16, a produção do biocombustível alcançou um novo pico, de 30,5 bilhões de litros, o maior volume já produzido no país. Diversas ações contribuíram para essa retomada de crescimento, entre elas a elevação do percentual de etanol anidro na gasolina (de 25% para 27%), o retorno da cobrança da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) sobre a gasolina e a manutenção da alíquota zero do PIS/COFINS para o etanol, enquanto subia a alíquota para a gasolina [11]. Além disso, em 2015, os preços da gasolina deixaram de sofrer intervenção do governo, que manteve tais preços artificialmente baixos desde 2011, com o objetivo de conter a inflação [68]. Assim, houve melhora das margens e o setor pôde recompor parcialmente suas finanças.

Após este ápice na produção de etanol, o Brasil sofreu com mais um crise no setor sucroenergético. Era esperada a construção de novas usinas e um forte investimento na produção de etanol, mas o setor está passando por um período de ajustes onde o mais importante é o equacionamento de sua situação financeira, em que as usinas estão

endividadas e primeiro precisam se reestabelecer para depois buscar por um crescimento [70]. Este alto endividamento também trouxe reflexos negativos para a manutenção e para a renovação de canavial, desenvolvimento e inserção de novas variedades, afetando os parâmetros de produtividade e rendimento da indústria [11]. Assim, são necessárias ações para melhoria dos fatores de produção, as quais propiciam redução dos custos e aumento de margem, influenciando para que a usina tenha estabilidade financeira.

Em relação ao etanol 2G, as usinas registraram poucos avanços nos anos de 2016 e 2017, e ainda se esforçam para tentar levar a taxa de utilização de suas unidades para níveis acima de 10% [71]. A tecnologia da etapa de hidrólise enzimática já está mais desenvolvida e apresenta bons resultados para obtenção das pentoses e hexoses, gerando mais açúcar por tonelada de biomassa, mas ainda aguarda uma solução nacional. Já para a fase de pré-tratamento, ainda não foi possível encontrar uma solução viável para os problemas com o desenho e mecânica dos equipamentos responsáveis por separar a lignina, hemicelulose e celulose sem prejudicar a estrutura das mesmas [72].

A capacidade de produção das duas usinas voltadas à produção de etanol 2G é de pouco mais de 100 milhões de litros por ano [71]. Estas apresentam produção descontínua e estão em fase de aprendizado de produção, utilizando equipamentos ainda pouco eficientes e processos que ainda apresentam problemas que estão sendo identificados para assim viabilizar a produção de etanol 2G ao nível de compará-lo ao menos com o preço do etanol 1G. O custo estimado de produção do etanol 2G, calculado pelos pesquisadores em julho de 2014, gira em torno de R\$ 1,50 por litro, enquanto o custo de etanol de primeira geração é de, aproximadamente, R\$ 1,15 [73].

Segundo o estudo feito pelos pesquisadores do CTBE a pedido do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), estes projetaram que até 2025 o custo do etanol 2G poderá cair para R\$ 0,75 por litro, podendo chegar, até 2030, a R\$ 0,52, calculou o pesquisador, sendo a previsão em que a tecnologia se tornaria economicamente viável no Brasil [73], se tornando assim mais competitivo em relação ao etanol 1G e até mesmo à gasolina.

A Raízen pretende construir mais sete plantas de etanol 2G até 2024. A expectativa, somada com a produção do etanol 1G, é produzir 1 bilhão de litros dos biocombustíveis por ano. A GranBio, por sua vez, apostou no cultivo em escala comercial de uma nova variedade de cana-de-açúcar, a cana energia, que apresenta uma característica mais robusta, com maior teor de fibra e potencial produtivo, uma vez que a cana energia, consegue uma produtividade

de 2 a 3 vezes maior que a cana de açúcar e com a metade do custo de produção por tonelada [74].

As perspectivas de crescimento do setor, considerando o panorama apresentado, focando na retomada dos investimentos e no aumento da produção de etanol, terá como direcionadores os seguintes marcos:

- O cenário de oportunidades criados pelos compromissos assumidos na COP 21;
- A nova proposta regulatória voltada para a promoção dos biocombustíveis – RenovaBio;
- O desenvolvimento de tecnologias com foco em aumento de produtividade, trazendo maior competitividade do setor;
- A necessidade de garantia de abastecimento de combustíveis do ciclo Otto no médio prazo;
- E por fim, a necessidade do aprimoramento de motores à combustão para serem mais eficientes com o uso de etanol, além da possibilidade tecnológica de desenvolvimento de motores híbridos flex e motores elétricos à célula de combustível com hidrogênio proveniente do etanol.

7. CONCLUSÃO

O trabalho de prospecção tecnológica do uso de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol 2G no Brasil permitiu verificar o cenário atual deste mercado. Percebe-se que esta pesquisa foi uma importante ferramenta para o diagnóstico do estado da arte de determinadas tecnologias, principalmente para visualização dos principais detentores das técnicas e inovações, que configuram um importante meio para ajudar na determinação de políticas de ciência e tecnologia em várias esferas de governo.

O levantamento dos documentos de famílias de patentes estudados permitiu apontar aspectos importantes sobre as iniciativas de pesquisa e desenvolvimento na área em questão. A tecnologia de produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar é recente em todo o mundo, tendo seu desenvolvimento se tornado mais expressivo somente nos últimos 20 anos. Esta tecnologia permeia diversos campos científicos e tecnológicos, e neles interfere, em função da alta complexidade tecnológica envolvida. À partir da metodologia aplicada, foram encontradas apenas 2 patentes no software *Orbit Intelligence* e posteriormente 6 patentes produzidas pelo CTBE, que se referem às duas principais etapas de produção de etanol 2G no Brasil: pré-tratamento e hidrólise enzimática.

Além do levantamento de patentes, foi realizada uma análise de informações de mercado, que mostrou a relevância do etanol no cenário brasileiro desde 2003. Observou-se que o mercado de etanol não teve um desenvolvimento contínuo, passando por crises que ainda afetam essa atividade industrial. Atualmente, o setor sucroenergético vem passando por uma recessão, decorrente do seu elevado endividamento, da queda de produtividade, do aumento de custos e da perda de competitividade do etanol perante a gasolina, agravada ainda pelo contexto global de restrição ao crédito e de preços baixos do petróleo.

Para que o setor de biocombustíveis possa crescer há a necessidade de ações governamentais capazes de garantir maior previsibilidade para que se consiga destravar os investimentos. Com isso deve-se estabelecer, primeiramente, um arcabouço regulatório que traga segurança e confiabilidade ao investidor, compreendendo também mecanismos que propiciem a estruturação do mercado de biocombustíveis e a promoção da competitividade destes em relação aos fósseis.

A COP21 e o programa RenovaBio ajudarão no aumento da competitividade do etanol frente à gasolina. Nesse sentido, o biocombustível terá papel fundamental na redução do déficit de combustíveis derivados de petróleo projetado pela ANP. Nesse contexto, tanto o etanol 1G quanto o 2G contribuirão para o fornecimento de combustível no setor energético

brasileiro, garantindo ainda o cumprimento do Acordo de Paris em relação às metas climáticas globais. Dado o conteúdo inovador dessas ações, COP21 e RenovaBio, será necessário um período de transição e adaptação para que os novos mecanismos sejam compreendidos e assimilados pelo mercado.

Observou-se que o etanol produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar apresenta vantagens competitivas frente à outras culturas por ter maiores quantidades de açúcares disponíveis para fermentação. Além disso, tem como base uma indústria que detêm as tecnologias de produção de etanol 1G de maneira consolidada e um mercado, que apesar de encontrar-se em crise, está preparado para sua futura expansão de produção.

Assim, a produção de etanol 2G no Brasil poderá contribuir para aumentar a oferta desse biocombustível. No entanto, isto só ocorrerá a partir do desenvolvimento tecnológico de duas etapas principais, que apresentam os maiores obstáculos no processo.

- O primeiro obstáculo está relacionado à hidrólise enzimática, a qual utiliza enzimas importadas, que encarecem o processo. A partir do desenvolvimento e produção de novas enzimas no Brasil, esta etapa apresentará um custo reduzido.
- O segundo entrave é o pré-tratamento, que apresenta um problema de mecanização. A escolha do melhor método para que as fibras sejam retiradas individualmente sem sofrer danos é o objetivo principal que deve ser buscado nessa etapa.

Conclui-se assim que estes são os processos que demandam maiores investimentos para tornar o etanol 2G um combustível economicamente viável no Brasil.

8. Bibliografia

1. ANDRADE, E. T. D. Programa do Proalcool e o Etanol no Brasil. **ENGEVISTA**, v. 11, n. 2, p. 127-136, Dezembro 2009.
2. EPE, E. D. P. E. Renovabio: Biocombustíveis 2030. **Nota Técnica: Papel dos biocombustíveis na matriz**, Rio de Janeiro, Fevereiro 2017.
3. OCDE. **Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação**. FINEP. [S.l.]: OCDE e EUROSTAT. 2005.
4. REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada, 2016.
5. MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Contribuição Nacionalmente Determinada. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/comunicacao/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>>. Acesso em: 29 Maio 2017.
6. EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis. Brasil: [s.n.], 2015.
7. MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **RenovaBio: Síntese de Sugestões Encaminhadas ao RenovaBio**, 2016.
8. MME. **RenovaBio: Nota Técnica Explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis**, Brasília, DF., 2017.
9. MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **RenovaBio: Diretrizes. Proposta Submetida à Consulta Pública.**, 2016.
10. MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **RenovaBio: Justificativas**, 2016.
11. VARGAS, F. G. Biocombustíveis. **Cadernos FGV**, v. 8, Agosto 2017.
12. PALÁCIO DO PLANALTO. Legislação Brasileira: Lei nº 9.478, de 6 de Agosto de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
13. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Entidades Vinculadas e Afins**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/entidades-vinculadas-e-afins/anp>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
14. PALÁCIO DO PLANALTO. Legislação Brasileira: Decreto nº 22.789, de 1º de Junho de 1933. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d22789.htm>. Acesso em: 2017 Maio 2017.
15. CÂMARA DOS DEPUTADOS. Decreto nº 737, de 23 de Setembro de 1938. Disponível em. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-737-23-setembro-1938-350748-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
16. CÂMARA DOS DEPUTADOS. Decreto-Lei 4.722, de 22 de Setembro de 1942. Disponível em. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1940-1949/decreto-lei-4722-22-setembro-1942-414753-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
17. PALÁCIO DO PLANALTO. Legislação Brasileira: Constituição da república Federativa do Brasil de 1967. Disponível em:

- <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao67emc69.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 1 CÂMARA DOS DEPUTADOS. Decreto nº 76.593, de 14 de Novembro de 1975.
8. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 1 CORREIA, E. L. **A Retomada do Uso de Álcool Combustível no Brasil**. Juiz de Fora, MG: Mestrado em Economia Aplicada FEA/UFJF.
- 2 CÂMARA DOS DEPUTADOS. Decreto nº 83.700, de 5 de Julho de 1979. Disponível em. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-83700-5-julho-1979-433063-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 2 PALÁCIO DO PLANALTO. Constituição da república Federativa do Brasil de 1988.
1. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/acervo/constituicao-federal>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 2 PALÁCIO DO PLANALTO. Decreto nº 99.288, de 6 de Junho de 1990. Disponível em: 2. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D99288.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 2 PALÁCIO DO PLANALTO. Decreto nº 207, de 23 de Abril de 1992. Disponível em: 3. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D0507.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 2 PALÁCIO DO PLANALTO. Lei nº 8.723 de 28 de Outubro de 1993. Disponível em: 4. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8723.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 2 PALÁCIO DO PLANALTO. Lei nº 9.478 de 6 de Agosto de 1997. Disponível em: 5. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 2 CIMA, CONSELHO NACIONAL INTERMINISTERIAL DO AÇÚCAR E DO
6. ÁLCOOL. Resolução CIMA nº 35, de 22 de Fevereiro de 2006.
- 2 CIMA, CONSELHO NACIONAL INTERMINISTERIAL DO AÇÚCAR E DO
7. ÁLCOOL. Resolução CIMA nº 37, de 22 de Fevereiro de 2006.
- 2 MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.
8. Legislação: Resolução MAPA nº 7. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/semntes-e-mudas/legislacao>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 2 MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.
9. Legislação: Portaria MAPA nº 678. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/semntes-e-mudas/legislacao>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 3 ANP, AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E
0. BIOCOMBUSTÍVEIS. Legislação Federal: Resolução ANP nº 5 de 2006. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 3 ANP, AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E
1. BIOCOMBUSTÍVEIS. Legislação Federal: Resolução ANP nº 26 de 2006. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 3 IRENA. Innovation Outlook: Advanced Liquid Biofuels. **International Renewable**
2. **Energy Agency**, 2016.

- 3 ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**, 3. Brasília, DF, n. 1, p. 153, 2002.
- 3 FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood and Cellulosic Chemistry. Nova Iorque, EUA: [s.n.], 4. 1991. p. 189-200.
- 3 OGATA, B. H. Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes 5. genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias, Piracicaba, SP., 2013.
- 3 ARANTES, V.; SADDLER, J. N. Access to Cellulose Limits the Efficiency of Enzymatic 6. Hydrolysis: The Role of Amorphogenesis. In: _____ **Biotechnology for Biofuels**. 4. ed. [S.l.]: [s.n.], v. 3, 2010.
- 3 D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: _____ 7. **Celulose e Papel, Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica**. 2. ed. Brasil: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, v. 1, 2009. Cap. 3, p. 45-106.
- 3 PEREIRA JR, N.; COUTO, M. A. P. G.; SANTANNA, L. M. M. Biomass of 8. lignocellulosic composition for fuel ethanol production and the context of biorefinery. In: JANEIRO, U. **Series on Biotechnology**. Rio de Janeiro: Amiga Digital, v. 2, 2008. p. 45.
- 3 AGUIAR, C. L.; MENEZES, T. J. B. **Conversão enzimática do bagaço de cana-de- 9. açúcar**. 26. ed. [S.l.]: Biotecnologia e Ciência e Desenvolvimento, 2002.
- 4 KOOTSTRA, A. M. J. et al.). **Optimization of the dilute maleic acid pretreatment of 0. wheat straw**. 31. ed. [S.l.]: Biotechnology for Biofuels, v. 2, 2009.
- 4 SUN, Y.; CHENG, J. J. Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for 1. ethanol production. In: _____ **Bioresource Technology**. [S.l.]: [s.n.], v. 96, 2005. p. 1599-1606.
- 4 LEMOS, J. L. S. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e 2. Bioquímicos. In: _____ **Estudo da produção de xilanases por *Aspergillus awamori* em bagaço de cana. Tese de Doutorado**. [S.l.]: Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- 4 MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Etanol. Disponível em: 3. <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/etanol>>. Acesso em: 20 Maio 2017.
- 4 ANP, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E 4. BIOCOMBUSTÍVEIS. Legislação Federal: Resolução ANP nº 23 de 6 de Julho de 2010. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2010/julho/ranp%2023%20-%202010.xml?f=templates&fn=document-frameset.htm>. Acesso em: 22 Maio 2017.
- 4 BETA RENEWABLES. O que é Proesa. Disponível em: 5. <<http://www.betarenewables.com/pt/proesa/o-que-e-proesa>>. Acesso em: 25 Julho 2017.
- 4 WILLATS, W. G. T. et al. Pectin: cell biology and prospects for functional analysis. In: 6. _____ **Plant Molecular Biology**. [S.l.]: [s.n.], 2001. p. 9-27.
- 4 MCMILLAN, J. D. Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production. Washington, 7. DC: American Chemical Society, 1994. p. 411-437.
- 4 SANTOS, D. S. et al. Ethanol production from sugarcane bagasse by *Zymomonas mobilis* 8. using Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) Process. In: _____ **Applied Biotechnology and Biotechnology**. [S.l.]: [s.n.], v. 161, 2010. p. 93-105.
- 4 PALÁCIO DO PLANALTO. Legislação Brasileira: Lei nº 9.478, de 6 de Agosto de 1997. 9. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm>. Acesso em: 20 Maio 2017.

- 5 GRANBIO. Quem Somos. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/quem-0.somos>>. Acesso em: 25 Junho 2017.
- 5 GRANBIO. Bioflex I. Disponível em:
1. <<http://www.granbio.com.br/conteudos/biocombustiveis>>. Acesso em: 25 Junho 2017.
- 5 BETA RENEWABLES. A Pesquisa Científica. Disponível em:
2. <<http://www.betarenewables.com/pt/proesa/a-pesquisa-cientifica>>. Acesso em: 25 Junho 2017.
- 5 COSAN. Quem Somos. Disponível em: <<http://cosan.com.br/pt-br/cosan/quem-somos>>.
3. Acesso em: 25 Junho 2017.
- 5 RAÍZEN. Perfil da Empresa. Disponível em: <<http://www.raizen.com.br/perfil-da-empresa-0>>. Acesso em: 25 Junho 2017.
- 5 RAÍZEN. Etanol de Segunda Geração. Disponível em:
5. <<http://www.raizen.com.br/energia-do-futuro-tecnologia-em-energia-renovavel/etanol-de-segunda-geracao>>. Acesso em: 25 Junho 2017.
- 5 CRISTO, P. N. Prospectiva Estratégica: Instrumento para a construção do futuro e para a
6. elaboração de políticas Públicas. Lisboa, Portugal: VII Congresso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, 2002.
- 5 MAYERHOFF, D. V. L. Uma Análise Sobre os Estudos do Prospecção Tecnológica.
7. **Cadernos de Prospecção**, Brasil, v. 1, n. 1, p. 7-9, 2008.
- 5 PIRES TEIXEIRA, L. **Prospecção Tecnológica: importância métodos e experiências da**
8. Embrapa Cerrados. Embrapa Cerrados. Planaltinda, DF: [s.n.]. 2013.
- 5 LIMA, S.M.V; CASTRO, A.M.G. **Curso de Capacitação de equipes para estudos**
9. **prospectivos de cadeias produtivas industriais**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Serviços. Brasília, DF: [s.n.]. 2001.
- 6 EMERICK, M. C.; MONTENEGRO, K. B. M.; DEGRAVE, W. **Novas Tecnologias**
0. **na genética humana: avanços e impactos para a saúde**. GESTEC-Nit. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.]. 2007.
- 6 ESPACENET. Classificação Internacional de Patentes (CIP). Disponível em:
1. <https://worldwide.espacenet.com/help?locale=pt_LP&topic=ipc&method=handleHelpTopic>. Acesso em: Outubro 2017.
- 6 INPI. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Disponível em:
2. <<http://www.inpi.gov.br/sobre/estrutura>>. Acesso em: 11 Maio 2017.
- 6 INPI. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Base de Patentes Online**. Disponível
3. em: <<http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/informacao/bases-de-patentes-online>>. Acesso em: 11 Maio 2017.
- 6 OFICINA Española de Patentes y Marcas. **LATIPAT**. Disponível em:
4. <<http://lp.espacenet.com/>>. Acesso em: Outubro 2017.
- 6 ORBIT Intelligence. Disponível em: <<https://www.orbit.com/>>.
5.
- 6 CTBE. Portfólio de Tecnologias (Patentes). **CTBE**. Disponível em:
6. <<http://ctbe.cnpm.br/inovacao/portifolio-tecnologias/#tab-id-1>>. Acesso em: Outubro 2017.
- 6 CTBE. Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos. **CTBE**. Disponível em:
7. <<http://ctbe.cnpm.br/planta-piloto/>>. Acesso em: Outubro 2017.

- 6 GARCIA, J. R.; LIMA, D. A. L. L.; VIEIRA, A. C. P. A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro: panorama e perspectivas. **SciELO**, Paraná, 2015.
- 6 MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. Anuário Estatístico da Agroenergia: 2012. 9. **MAPA**, Brasília, DF., 2013.
- 7 MING, C. Ameaças ao etanol. **Nova Cana**, 2017. Disponível em:
0. <<https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/celso-ming-ameacas-etanol-200717/>>. Acesso em: Outubro 2017.
- 7 CANA, N. Etanol celulósico na encruzilhada: gargalos continuam e usinas atingem, em média, apenas 7% da capacidade. **Nova Cana**, 2017. Disponível em:
<<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-celulosico-encruzilhada-gargalos-usinas-7-capacidade-310517/>>. Acesso em: Outubro 2017.
- 7 HILTNER, A. Evolução e perspectivas para o etanol de segunda geração. **Nova Cana**, 2017. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/eventos/evolucao-e-perspectivas-para-o-etanol-de-segunda-geracao/>>. Acesso em: Outubro 2017.
- 7 FAPESP. Etanol de segunda geração poderá ser economicamente viável a partir de 2025, 2017. Disponível em:
<http://agencia.fapesp.br/etanol_de_segunda_geracao_podera_ser_economicamente_viavel_a_partir_de_2025/26272/>. Acesso em: Outubro 2017.
- 7 EMY, R. Etanol de segunda geração deve custar 80% do preço do combustível de cana. 4. **Farming**, 2017. Disponível em: <<http://sfagro.uol.com.br/etanol-de-segunda-geracao-deve-custar-80-do-preco-do-combustivel-de-cana/>>. Acesso em: Outubro 2017.
- 7 PALÁCIO DO PLANALTO. Decreto nº 3.552, de 4 de Agosto de 2000. Disponível em:
5. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3552.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 7 PALÁCIO DO PLANALTO. Decreto nº 3.824, de 29 de Maio de 2001. Disponível em:
6. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D3824.htm>. Acesso em: 19 Maio 2017.
- 7 NOVA CANA. Uma revolução chamada RenovaBio: desafios e perspectivas para usinas, distribuidoras e governo. Disponível em:
<<https://www.novacana.com/n/etanol/politica/revolucao-chamada-renovabio-desafios-perspectivas-para-usinas-distribuidoras-governo-080517/>>. Acesso em: 29 Maio 2017.
- 7 CANA, N. Conab divulga dados finais de 2016/17 e 1º levantamento da safra 2017/18 de cana-de-açúcar. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/safra/conab-dados-finais-2016-17-levantamento-safra-2017-18-cana-de-acucar-180417/>>. Acesso em: Outubro 2017.
- 7 GRANBIO. O que é Cana-Energia. Disponível em:
9. <<http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia/>>. Acesso em: Novembro 2017.

Anexo I

Patentes CTBE [66].

Título	Número	Data	Resumo
Composição enzimática para hidrólise de material lignocelulósico em presença de lignina.	BR 10 2015 017256-7	20/jul/15	Coquetéis enzimáticos para a hidrólise de materiais lignocelulósicos podem ter sua atividade aumentada com a adição de uma nova enzima prospectada no CTBE. Em combinação com um coquetel de celulasas, notou-se um aumento na liberação de açúcares redutores totais a partir de bagaço de cana-de-açúcar explodido a vapor (BEX) sem a retirada da lignina.
Módulo de colheita com rolo tombador levantador	BR 10 2014 030175-5	02/dez/14	O Módulo de colheita com rolo tombador levantador é adaptado à colheita de colmos mais grossos, tais como os da cana-de-açúcar. Estes muitas vezes se encontram dispostos em diferentes orientações, desde eretos a inclinados e altamente emaranhados. Além de permitir a colheita das canas sem quebras ou arrancamento de touceiras, este módulo é leve e permite menor arraste de impurezas junto com o material colhido.
Processo e sistema de produção microbiana de lipídeos	BR 10 2013 033410-3	26/dez/13	Processo e sistema desenvolvidos empregam um microrganismo que utiliza uma fonte renovável de carbono barata para a produção de elevado teor de lipídeos, aplicáveis nas produções de alimentos, nutracêuticos e biodiesel. Esse microrganismo, ao contrário do que se tem no mercado atualmente, pode crescer e acumular lipídeos em boas quantidades, por meio de uma fonte mais complexa de carbono, em relação às normalmente empregadas.
Coquetel Enzimático de Trichoderma	BR 102013029947-2	21/nov/13	O coquetel enzimático de Trichoderma suplementado com enzimas acessórias possui atividade superior aos encontrados comercialmente. Ele contempla uma vasta gama de enzimas pertencentes a diferentes classes enzimáticas, essenciais para degradação de açúcares poliméricos. Com isso, pode-se diminuir os custos do processo de hidrólise enzimática da biomassa para produção de etanol de 2ª geração e outros produtos químicos.

Complexo enzimático de <i>Penicillium echinulatum</i>	BR 10 2012 026872-8	18/out/13	Tecnologia permite a obtenção de um complexo enzimático de <i>Penicillium echinulatum</i> com o máximo aproveitamento da fonte de carbono, provocando o mínimo de efeitos deletérios ao microrganismo e resultando em maior produtividade. É relevante na sacarificação da biomassa para a obtenção de etanol de 2ª geração e outros produtos químicos.
Enzima bifuncional para a produção de xilose	BR102013018051-3	15/jul/13	Tecnologia relevante à realização da hidrólise de hemicelulose para a produção de etanol de 2ª geração. Propicia atividade xilanásica e xilosidásica em uma única construção e ausência do efeito de repolimerização dos açúcares, aumentando o rendimento da produção de xilose.
Monitoramento da fermentação alcoólica em tempo real	BR 10 2013 006864-0	25/mar/13	Fibras ópticas são utilizadas para monitorar a taxa de consumo de açúcares em tempo real, o que determina o instante ideal para o término da fermentação alcoólica nas dornas (batelada ou contínuo) e reduz os custos do processo. Sem monitoramento, a interrupção da reação pode ocorrer antes ou depois do consumo total dos açúcares. O rendimento de etanol é menor quando os açúcares não são totalmente consumidos. Já no caso de encerramento tardio da fermentação, é despendido um tempo maior do que o necessário, elevando os custos de produção.
Pré-tratamento de bagaço de cana com UHTST	PI 102013006389-4	18/mar/13	Um processo mais limpo e promissor utilizado na produção de bioetanol. A tecnologia permite o pré-tratamento do bagaço e a hidrólise da celulose e da hemicelulose com água líquida super aquecida em reatores contínuos UHTST (Ultra High Temperature Short Time).
Lançador de colmo e palha de cana	BR 10 2013 005854-8	12/mar/13	O lançador de colmo e palha de cana-de-açúcar pica e separa, ainda no campo, a palha do restante da planta. Isso possibilita o transporte dessa fração da biomassa para a indústria sucroenergética e a consequente produção de combustível e eletricidade. Ele possui um dispositivo eficiente de arremesso da cana colhida, capaz de separar a palha sem causar danos consideráveis aos colmos. Tal feito melhora a qualidade da matéria-prima, aumenta a densidade da carga transportada, diminui os custos com combustível e amplia o rendimento de etanol produzido.

Enzima bifuncional para a produção de xilose	BR102013018051-3	15/jul/13	Tecnologia relevante à realização da hidrólise de hemicelulose para a produção de etanol de 2ª geração. Propicia atividade xilanásica e xilosidásica em uma única construção e ausência do efeito de repolimerização dos açúcares, aumentando o rendimento da produção de xilose.
--	------------------	-----------	---