



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola de Química
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos



Mariane de Poli

Roadmap Tecnológico da Produção de Etanol de Segunda Geração a Partir do Bagaço e da
Palha da Cana-de-Açúcar

Orientadora:

Suzana Borschiver, DSc.

Rio de Janeiro

2019

Mariane de Poli

***ROADMAP TECNOLÓGICO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA
GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO E DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR***

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Processos Químicos e Bioquímicos,
Escola de Química, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte
dos requisitos necessários à obtenção
do título de Mestre em Ciências.

Orientadora:

Suzana Borschiver, DSc.

Rio de Janeiro, 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

PP766r Poli, Mariane de
 Roadmap Tecnológico da Produção de Etanol de
Segunda Geração a Partir do Bagaço e da Palha da Cana
de-Açúcar / Mariane de Poli. -- Rio de Janeiro,
2019.
 226 f.

 Orientador: Suzana Borschiver.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Processos Químicos e
Bioquímicos, 2019.

 1. Etanol 2G. 2. Roadmap tecnológico. 3. Palha.
4. Bagaço. 5. Cana-de-açúcar. I. Borschiver, Suzana,
orient. II. Título.

Mariane de Poli

**ROADMAP TECNOLÓGICO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA
GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO E DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada em

Suzana Borschiver, D.Sc., EQ/UFRJ
(orientadora, presidente da banca)

Maria Alice Zarur Coelho, D.Sc., EQ/UFRJ

Mariana Rubim de Pinho Accioli Doria, D.Sc., SENAI

“A persistência é o caminho do êxito”.

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha mãe, Terêsa de Poli, pelo apoio em todas as fases da minha vida até aqui, sem sua força e carinho eu não teria me tornado a pessoa que sou hoje.

A meu pai, Arnaldo de Poli, por todas as oportunidades oferecidas e a minha família, de forma geral, que sempre constituiu minha base de ensinamentos e apoio.

Ao meu namorado Vitor Souza pelo carinho e, principalmente, por ter me incentivado durante essa etapa sem nunca ter deixado que eu desistisse do objetivo de me tornar Mestre.

A minha orientadora, Suzana Borschiver, por todo o tempo dedicado, pela compreensão, competência e paciência de sempre que resultou na produção deste trabalho. E também por todo conhecimento e experiência compartilhados.

A todos os mestres que contribuíram para minha formação acadêmica até o momento e cujos conhecimentos levarei para o resto da vida. Em especial gostaria de agradecer ao professor Geraldo Ferreira por todo aprendizado compartilhado durante minha graduação na UFF.

À Escola de Química da UFRJ, pela oportunidade de obter o título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Aos membros da banca, Professora Maria Alice Zarur Coelho, Mariana Rubim de Pinho Accioli Doria e Professora Suzana Borschiver pelas contribuições adicionadas ao trabalho.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma tenham contribuído para a conclusão desta dissertação.

RESUMO

DE POLI, Mariane. **ROADMAP TECNOLÓGICO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO E DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR**. Orientadora: Suzana Borschiver. Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (MSc).

O bagaço da cana-de-açúcar utilizado para produzir o etanol de segunda geração costuma ser queimado para a cogeração de energia nas biorrefinarias, enquanto a palha era queimada ainda na lavoura. Com a proibição das queimadas, no Brasil, a palha precisa de uma nova destinação e o bagaço também pode ser aproveitado de forma mais rentável, surgindo assim a janela de oportunidade para produção do etanol de segunda geração. A presente dissertação tem como objetivo fornecer, por meio da elaboração de um *Roadmap* Tecnológico, o mapeamento do desenvolvimento tecnológico da produção de etanol de segunda geração oriundo da cana-de-açúcar em horizonte temporal definido. A definição de *Roadmap* tecnológico adotada é um método que auxilia no planejamento estratégico, considerando-se para tal as camadas mercado, produto e tecnologia de forma integrada ao longo do tempo. A evolução das tendências tecnológicas são identificadas a partir da análise de documentos obtidos nas pesquisas de artigos científicos, mídia especializada e patentes depositadas e concedidas. As informações oriundas destas pesquisas foram analisadas e organizadas sob diferentes perspectivas, como ano de publicação, nacionalidade, autoria e foco do documento. São apresentados todos os procedimentos empregados para a definição dos *drivers* identificados nos documentos, que em seguida foram utilizados para a caracterização das tendências tecnológicas e mercadológicas e para a elaboração do *Roadmap* Tecnológico. O estudo identificou a concepção de múltiplas parcerias entre atores especializados em áreas diversas do setor sucroalcooleiro, com o objetivo de agregar competências e desenvolver novas tecnologias (Shell e Cosan, BP e Bunge, GranBio e Novozymes). Concluiu-se também que a integração dos processos de primeira e segunda geração para a viabilização comercial e barateamento do custo do etanol oriundo do bagaço da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: etanol 2G, *Roadmap* tecnológico, palha, bagaço, cana-de-açúcar

ABSTRACT

DE POLI, Mariane. **TECHNOLOGY ROADMAP FOR BIOETHANOL PRODUCTION FROM SUGARCANE BAGASSE AND STRAW**. Supervisor: Suzana Borschiver. Abstract of Master Thesis presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (MSc.).

Sugarcane bagasse used to produce second-generation ethanol is often burnt for energy cogeneration in biorefineries, while straw is left in the fields to be burned down. With the prohibition of straw's burning in Brazil, it needs a new destination and bagasse can also be used more profitably, thus opening an opportunity window for the production of second generation ethanol. This dissertation aims to provide, through the elaboration of a Technological *Roadmap*, the mapping of the technological development of the sugarcane 2G ethanol's production in a defined time horizon. The technological *Roadmap* definition is a method that assists in strategic planning, considering the market, product and technology layers in an integrated way over time. The evolution of technological trends are identified from the analysis of documents obtained in the research of scientific articles, specialized media and patents filed and granted. The information from these researches was analyzed and organized from different documents perspectives, such as year of publication, nationality, authorship and focus. All the procedures used to define the drivers identified in the documents are presented, which were then used to characterize the technological and market trends and to elaborate the Technological *Roadmap*. The study identified the conception of multiple partnerships between players specialized in areas unrelated to the sugar and alcohol sector, with the objective of adding competences and developing new technologies (Shell and Cosan, BP and Bunge, GranBio and Novozymes). It was also concluded that the integration of first and second generation processes for commercial viability and cost reduction of ethanol from sugarcane bagasse

Keywords: ethanol 2G, technology *Roadmap*, straw, bagasse, sugarcane

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Localização das usinas de etanol no Brasil.....	14
Figura 3.2 - Evolução da produção de etanol brasileiro total.....	15
Figura 3.3 - Fluxograma do Mercado de Álcool.....	16
Figura 3.4 - Partes da planta da cana-de-açúcar.....	19
Figura 3.5 - Fluxograma resumido de uma destilaria produtora de etanol de primeira geração.	20
Figura 4.1 –Representação gráfico de um TRM genérico.....	25
Figura 4.2 – Classificação dos <i>Roadmaps</i> Tecnológicos segundo Phaal et al.	26
Figura 4.3 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento de Produtos.....	27
Figura 4.4 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento de Serviços e Capacidades Organizacionais.	28
Figura 4.5 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento Estratégico.....	28
Figura 4.6 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento de Longo Prazo.	29
Figura 4.7 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento do Conhecimento.	29
Figura 4.8 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento de Programas/ Projetos.	30
Figura 4.9 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento de Processos.	30
Figura 4.10 – <i>Roadmap</i> Tecnológico – Planejamento Integrado.	31
Figura 4.11 – Exemplos dos diferentes formatos de <i>Roadmaps</i> Tecnológicos: a) Camadas Múltiplas, b) Barra, c) Tabela, d) Gráfico, e) Figura, f) Fluxograma.....	32
Figura 4.12 – <i>Roadmap</i> genérico e as abordagens <i>market pull</i> e <i>technology push</i>	35
Figura 4.13 – Organização da metodologia para elaboração do <i>Roadmap</i> tecnológico.....	36
Figura 5.1 - Fluxograma das etapas para utilização do bagaço da cana-de-açúcar e produção de etanol 2G.....	41
Figura 5.2 - Representação da estrutura celular da biomassa lignocelulósica.....	43
Figura 5.3 – Representação esquemática de como o processo de pré-tratamento modifica a	

biomassa lignocelulósica.	45
Figura 5.4 – Esquema das etapas necessárias após a hidrólise ácida.	53
Figura 5.5 – Fluxograma da configuração SHF.	58
Figura 5.6 – Fluxograma representando a configuração SSF,.....	59
Figura 6.1 – Países de origem dos <i>players</i> atuantes no estágio atual.	64
Figura 6.2 – Análise Meso do estágio atual.	65
Figura 6.3 – Evolução temporal das patentes concedidas - período de 2014 a jun/2019.....	70
Figura 6.4 – Países de origem das patentes concedidas no período de 2014 a jun/2019.	71
Figura 6.5 – Tipos de instituições com patentes concedidas, entre 2014 a jun/2019.....	72
Figura 6.6 – Análise Meso das patentes concedidas.	73
Figura 6.7 – Evolução temporal dos pedidos de patentes - período de 2014 a jun/2019.	77
Figura 6.8 – Países de origem das patentes solicitadas no período de 2014 a jun/2019.	77
Figura 6.9 – Tipos de instituições que solicitaram as patentes, entre 2014 a jun/2019.....	78
Figura 6.10 – Análise Meso dos pedidos de patentes.....	79
Figura 6.11 – Evolução temporal dos artigos científicos publicados - período de 2014 a jun/2019.....	83
Figura 6.12 – Países de origem dos artigos científicos publicados de 2014 a jun/2019.	84
Figura 6.13 – Tipos de instituições que publicaram artigos científicos, entre 2014 e jun/2019.	85
Figura 6.14 – Análise Meso dos artigos científicos.	87
Figura 7.1 – <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.	92
Figura 7.2 – Estágio atual do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	93
Figura 7.3 – Curto prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	97
Figura 7.4 – Médio prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	102

Figura 7.5 – Longo prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	108
Figura 8.1– <i>Clusters</i> do Estágio Atual do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	119
Figura 8.2– <i>Clusters</i> do Curto Prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	122
Figura 8.3 – <i>Clusters</i> do Médio Prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	124
Figura 8.4 – <i>Clusters</i> do Longo Prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Número de destilarias e produção brasileira anual de etanol anos 1933, 1939 e 1941.	10
Tabela 3.2- Licenciamento de veículos leves novos no Brasil, por tipo de combustível, de 2003 a 2018.	17
Tabela 5.1 – Percentual de composição das biomassas lignocelulósicas palha e bagaço da cana-de-açúcar.	42
Tabela 6.1 – Análise Micro do estágio atual.	67
Tabela 6.2 – Análise Micro das patentes concedidas.	74
Tabela 6.3 – Análise Micro das patentes solicitadas.	80
Tabela 6.4 – Análise Micro dos artigos científicos.	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Métodos de prospecção tecnológica, vantagens e desvantagens.	23
Quadro 4.2 - As quatro partes da estrutura do <i>Roadmap</i>	33
Quadro 5.1 - Resumo dos tipos de pré-tratamento, suas características, vantagens e desvantagens.....	46
Quadro 5.2 - Espécies de levedura que produzem etanol como principal produto de fermentação.	57
Quadro 6.1 – Taxonomias Meso e Micro.	63
Quadro 7.1 – Estágio Atual do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.	95
Quadro 7.2 – Curto prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	99
Quadro 7.3 – Médio prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	104
Quadro 7.4 – Longo prazo do <i>Roadmap</i> Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.....	110
Quadro A. 1 – Artigos:	158
Quadro A. 2 - Patentes Solicitadas:	172
Quadro A. 3 – Patentes Concedidas:	180
Quadro B. 1 - Logomarcas dos Centros de Pesquisa	186
Quadro B. 2 - Logomarcas das Empresas e Resumo	187
Quadro B. 3 - Logomarcas das Universidades	191

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1G	Primeira Geração
2G	Segunda Geração
AFEX	Ammonia Fiber Explosion
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ARP	Ammonia Recycled Percolation
BCG	Boston Consulting Group
BG	BETA-glicosidase
CBH	celobiohidrolase
CBP	Consolidated Bioprocess
CEO	Chief Executive Officer
CIP	Classificação Internacional de Patente
CTBE	Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
EG	endoglucanase
EIA	Agência Internacional de Energia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GM	General Motors
HMF	Hidroximetilfurfural
IAA	Instituto do Açúcar e Alcool
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OPEP	Organização dos Países Produtores e Exportadores de Petróleo
PD&I	pesquisa, desenvolvimento e inovação
PMGCA	Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar
Proálcool	Programa Nacional do Alcool
RFS	Renewable Fuel Standard
TRM	<i>Roadmap</i> Tecnológico
SHF	Separate Hydrolysis and Fermentation
SNA	Sociedade Nacional de Agricultura
SSF	Simultaneous Saccharification and Fermentation
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UFV	Universidade Federal de Viçosa
USP	Universidade de São Paulo
USPTO	United States Patent and Trademark Office
WIPO	World Intellectual Property Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ESTRUTURA DA PESQUISA	4
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. OBJETIVO GERAL	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. CONTEXTUALIZAÇÃO	7
3.1. HISTÓRICO DE EVOLUÇÃO DO ETANOL	7
3.2. BRASIL E O PROÁLCOOL	8
3.3. PANORAMA ATUAL DO ETANOL	12
3.3.1. PANORAMA NOS ESTADOS UNIDOS	12
3.3.2. PANORAMA NO BRASIL	13
3.4. A CANA-DE-AÇÚCAR E O ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO	18
4. O MÉTODO TECHNOLOGY <i>ROADMAP</i>	22
4.1. CONCEITOS E TIPOS DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA	22
4.2. CONCEITO DE <i>ROADMAP</i> TECNOLÓGICO.....	24
4.3. TIPOS E FORMATOS DE <i>ROADMAPS</i>	25
4.4. ESTRUTURA DOS <i>ROADMAPS</i>	33
4.5. METODOLOGIA ADOTADA PARA A ELABORAÇÃO DO <i>ROADMAP</i> TECNOLÓGICO	36
5. FASE PRÉ- PROSPECTIVA: ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO.....	40
5.1. A BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA.....	42
5.2. PRÉ-TRATAMENTO	44
5.2.1. Pré-tratamentos físicos:	47
5.2.2. Pré-tratamento ácido	47

5.23.	Pré-tratamento alcalino	47
5.24.	ARP (<i>Ammonia Recycled Percolation</i>).....	48
5.25.	Organosolv	48
5.26.	Ozonólise.....	49
5.27.	Pré-tratamento Microbiológico	50
5.28.	Explosão a vapor	50
5.29.	AFEX (<i>Ammonia Fiber/ Freeze Explosion/ Expansion</i>).....	51
5.3.	HIDRÓLISE DA BIOMASSA	52
5.3.1.	HIDRÓLISE ENZIMÁTICA	54
5.4.	FERMENTAÇÃO DA BIOMASSA	55
5.4.1.	MICROORGANISMOS UTILIZADOS NA FERMENTAÇÃO.....	56
5.4.2.	ESTRATÉGIAS DE FERMENTAÇÃO.....	57
	• Hidrólise e Fermentação Separadas (SHF):	58
	• Fermentação e Sacarificação Simultâneas (SSF)	59
	• Sacarificação e Co-Fermentação Simultâneas (SSCF)	60
	• Bioprocesso Consolidado (CPB).....	60
6.	FASE PROSPECTIVA:	61
6.1.	METODOLOGIA DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA:	61
6.2.	DEFINIÇÃO DAS TAXONOMIAS:	62
6.1.	DOCUMENTOS REFERENTES AO ESTÁGIO ATUAL:	63
6.1.1.	Análise Macro:	64
6.1.2.	Análise Meso:.....	65
6.1.3.	Análise Micro	66
6.2.	PATENTES CONCEDIDAS:.....	68
6.2.1.	Análise Macro:	70
6.2.2.	Análise Meso:.....	73
6.2.3.	Análise Micro	74

6.3.	PATENTES SOLICITADAS:	76
63.1.	Análise Macro:	76
63.2.	Análise Meso:.....	79
63.3.	Análise Micro	80
6.4.	ARTIGOS CIENTÍFICOS:.....	82
64.1.	Análise Macro:	83
64.2.	Análise Meso:.....	86
64.3.	Análise Micro	88
7.	CONSTRUÇÃO DO <i>ROADMAP</i> TECNOLÓGICO:	91
7.1.	ESTÁGIO ATUAL	93
7.2.	CURTO PRAZO	96
7.3.	MÉDIO PRAZO	101
7.4.	LONGO PRAZO	107
8.	ANÁLISE ESTRATÉGICA DO <i>ROADMAP</i> TECNOLÓGICO	114
8.1.	ANÁLISE HORIZONTAL.....	114
8.1.1.	<i>DRIVER</i> “PRÉ-TRATAMENTO”	114
8.1.2.	<i>DRIVER</i> “INSUMOS DO PROCESSO”	115
8.1.3.	<i>DRIVER</i> “PROCESSO”	116
8.1.4.	<i>DRIVER</i> “PÓS-TRATAMENTO”	118
8.1.5.	<i>DRIVER</i> “OTIMIZAÇÃO / AVALIAÇÃO”	118
8.2.	ANÁLISE VERTICAL.....	119
8.2.1.	ESTÁGIO ATUAL	119
8.2.2.	CURTO PRAZO	122
8.2.3.	MÉDIO PRAZO.....	123
8.2.4.	LONGO PRAZO.....	125
8.3.	ANÁLISE DOS ATORES.....	129
8.3.1.	API	129

832.	BP.....	130
833.	CNPEM.....	130
834.	CTBE.....	131
835.	CTC.....	131
836.	DANISCO.....	132
837.	EMBRAPA.....	132
838.	GRANBIO.....	132
839.	HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY.....	133
83.10.	INBICON.....	133
83.11.	NOVOZYMES.....	134
83.12.	SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY.....	134
83.13.	UFSCAR.....	135
83.14.	RAÍZEN.....	135
9.	CONCLUSÕES.....	136
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
	Apêndice A – Documentos estudados para elaboração do <i>Roadmap</i> :.....	158
	APÊNDICE B – Logomarca dos <i>players</i> estudados.....	186
	APÊNDICE C – Artigo para submissão (Requisito do Programa EPQB para Defesa de Dissertação.....	198

1. INTRODUÇÃO

A utilização irrestrita de combustíveis com origem fóssil vem sendo gradativamente substituída pelos biocombustíveis, de origem renovável. A porcentagem do uso desse tipo de fonte de energia, na matriz energética mundial, cresce a cada ano. Representando ainda mais de 80% da matriz energética mundial, os combustíveis fósseis geram grande preocupação por seus incontestáveis danos ao meio ambiente e também por se configurarem em fontes não-renováveis de energia (IEA, 2018). Em 2018, a demanda mundial de energia aumentou 2,3%, representando um crescimento anual recorde nos últimos dez anos. Por consequência, as emissões globais de CO₂ aumentaram 1,7% no mesmo ano. Sendo assim, os biocombustíveis se configuram como um vetor fundamental de mudança, indispensável para se alcançar as metas de desenvolvimento sustentável mundiais. (CANILHA et al., 2010). Portanto, o mapeamento das inovações tecnológicas nessa área torna-se essencial para a observação do comportamento do mercado mundial energético

O etanol produzido a partir de biomassa é um biocombustível produzido em larga escala e com perspectiva de crescimento para os próximos anos, uma vez que é capaz de concorrer com combustíveis derivados de petróleo (MILANEZ et al., 2008). Dados do último relatório energético, da Agência Internacional de Energia, estimam que o etanol será responsável por dois terços do incremento na produção total de biocombustíveis, entre os anos de 2018 e 2023 (IEA, 2018). A produção mundial de etanol em 2018 foi de aproximadamente 108 bilhões de litros, sendo Brasil e Estados Unidos responsáveis por 84%. O Brasil sozinho produz 28% do etanol no mundo, o biocombustível brasileiro é oriundo, principalmente, da cana-de-açúcar, uma vez que o país é o maior produtor mundial desta matéria-prima (RFA, 2019). Dessa forma, mesmo não sendo o maior produtor mundial de etanol, o país ainda responde por grande parte desse biocombustível.

Apesar de ser um combustível conhecido a quase dois séculos, o etanol combustível sempre sofreu com o domínio do mercado pela gasolina. Durante as crises do petróleo, principalmente a de 1973, o etanol conseguiu maior visibilidade e os investimentos governamentais no setor aumentaram de forma significativa. Entretanto, depois que o preço do petróleo se estabilizava, o etanol voltava a perder espaço para a gasolina.

O fim do programa brasileiro de incentivo ao etanol, denominado Proálcool, trouxe grande pessimismo e desinvestimento para o mercado de etanol. Entretanto, o lançamento dos

carros do tipo *flex-fuel*, no início dos anos 2000, ocasionou uma nova oportunidade para o biocombustível, uma vez que aumentou a demanda de etanol nos postos de combustíveis. Desde então, o álcool tem sido alvo de novos investimentos, tanto governamentais quanto privados. Não apenas no Brasil, mas ao redor do mundo o processo de produção de etanol oriundo de biomassa tem sido amplamente estudado e desenvolvido, caminhando para se tornar uma *commodity* internacional.

Atualmente, o setor sucroenergético brasileiro conta com a Política Nacional de Biocombustíveis, denominada *RenovaBio*, que foi aprovada ao final de 2017. Esse projeto se fundamenta em três pilares: definição de uma meta decenal de descarbonização para o setor de transporte, mecanismo de valoração do carbono que deixou de ser emitido no processo de substituição da energia fóssil por energia renovável e quantificação das emissões de gases do efeito estufa de acordo com o ciclo de vida de cada biocombustível. Com isso, estima-se que até 2030 a produção do etanol brasileiro deve praticamente dobrar, saltando dos atuais 29 bilhões de litros para 50 bilhões de litros (RENOVABIO, 2016).

O etanol oriundo da biomassa da cana-de-açúcar pode ser produzido tanto a partir do seu colmo, quanto do seu bagaço e palha. A técnica produtiva a partir do colmo gera o chamado etanol de primeira geração (1G), ou etanol convencional. Esta técnica é a mais antiga e utiliza a fermentação da sacarose do caldo da cana, que é obtido após o esmagamento do seu colmo. Por ser um processo bem estabelecido há muitos anos e ter sofrido diversas melhorias tecnológicas, ela se encontra muito bem desenvolvida e não existem muitas opções para aumentar a eficiência do processo. Dessa forma, a produção apenas do etanol 1G não será suficiente para aumentar a produção do combustível como desejado pelo programa *RenovaBio*.

Contudo, o etanol também pode ser produzido a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, de forma a se aproveitar melhor a matéria-prima. O etanol produzido a partir da biomassa lignocelulósica é chamado de etanol de segunda geração (2G), e as inovações tecnológicas em seu processo de produção são estudados na presente dissertação. As etapas para produção do etanol 2G se resumem a: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e destilação.

A biomassa lignocelulósica necessita de pré-tratamento antes da hidrólise da celulose e da hemicelulose. Isso ocorre porque a celulose e a hemicelulose estão dentro de uma estrutura cristalina concisa, ligadas pela lignina, que não é hidrolisada pelas enzimas. Portanto, faz-se necessário a remoção da lignina e a quebra dessa estrutura cristalina para expor a celulose e a hemicelulose as atividades enzimáticas.

Durante a hidrólise, a celulose e a hemicelulose são transformadas em açúcar fermentescíveis, através da ação de enzimas como a celulase. A fermentação ocorre em seguida por meio da ação de microrganismos, que fermentam os açúcares formados na etapa anterior e produzem o etanol 2G. A última etapa consiste na destilação e recuperação do etanol formado.

Todo o processo de produção de etanol 2G vem sendo amplamente estudado em diversos países, o aproveitamento de resíduos agrícolas para a produção de biocombustíveis é fortemente incentivado por políticas ambientais. Dessa forma, resíduos que antes seriam queimados para a cogeração de energia ou então simplesmente descartados, podem ser reaproveitados e ainda gerar lucro.

Ao redor do mundo, observa-se que países como Estados Unidos, Canadá e Dinamarca tem investido nas pesquisas sobre etanol de 2G, entretanto são utilizados insumos diversos em cada região. No caso dos países citados, por exemplos, os Estados Unidos utilizam o milho, o Canadá e a Dinamarca, resíduos florestais como fonte de biomassa lignocelulósica (PIACENTE, 2016). Dessa forma, mesmo países que não produzem etanol 2G a partir do bagaço da cana-de-açúcar tem contribuído com pesquisas fundamentais para a produção brasileira, uma vez que os processos são muito parecidos, necessitando apenas de pequenas adaptações das condições operacionais e ao tipo de matéria-prima.

À vista do que foi exposto, a presente dissertação visa ao estudo do estado da arte das inovações tecnológicas realizadas pelo setor sucroenergético de segunda geração, nos últimos cinco anos. O método escolhido é a prospecção tecnológico, e mais especificamente, a elaboração de um *Roadmap* Tecnológico da produção do etanol 2G oriundo do bagaço e da palha da cana-de-açúcar.

O processo de elaboração do *Roadmap* envolve a análise de diversos documentos técnicos, como artigos, patentes e pedidos de patentes, no horizonte de tempo definido em cinco anos. Ao final do estudo, obtém-se as inovações em quatro estágios de tempo diferentes: longo prazo, médio prazo, curto prazo e estágio atual.

Na metodologia escolhida, baseada no modelo do NEITEC, Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos, da EQ/UFRJ, coordenado pela Prof^a Suzana Borschiver, para atingir-se o objetivo de elaborar o *Roadmap*, a prospecção tecnológica pode ser dividida em três fases:

- Fase pré-prospectiva: revisão bibliográfica e contextualização do objeto de estudo, no caso a produção do etanol de segunda geração, nessa fase ocorre o entendimento do assunto

para sua posterior análise;

- Fase prospectiva: são definidas as palavras-chave para se realizar a busca dos documentos técnicos em bases de artigos e patentes, seguida das análises Macro, Meso e Micro dos documentos encontrados;

- Fase pós-prospectiva: as análises anteriores são organizadas sob o *layout* do *Roadmap* Tecnológico e é realizada a discussão acerca dos atores envolvidos no setor de inovação estudado.

Deste modo, com tudo que já foi exposto, constata-se que o tema escolhido para a realização do estudo de prospecção tecnológica é estratégico para aumentar a produção de biocombustíveis e a segurança energética do Brasil. Assim sendo, a visualização da dinâmica de inovação tecnológico acerca do assunto pode orientar investimentos futuros na área, além de promover parcerias para o desenvolvimento do setor. Estando assim, essa dissertação compatível com as exigências da indústria e do mercado.

1.1. ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente dissertação encontra-se dividida em oito capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se esta introdução.

O Capítulo 2 contém os objetivos gerais e específicos desta pesquisa.

No Capítulo 3 encontra-se contextualização do assunto. Primeiramente, é apresentada a história do etanol brasileiro e um breve panorama atual, e em seguida, descreve-se o processo de produção do etanol 1G oriundo da cana-de-açúcar.

O Capítulo 4 descreve a ferramenta utilizada para elaboração do estudo: o *Roadmap* Tecnológico. São discutidos conceitos, variações de tipos e formatos, benefícios e vantagens do método, autores referências no assunto e a metodologia escolhida para realizar o estudo.

No quinto capítulo, a produção do etanol de segunda geração é descrito com maiores detalhes por ser o foco da pesquisa, e são descritas suas principais etapas de produção: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e destilação. Esse capítulo constitui a fase pré-prospectiva da metodologia de *Roadmapping*, nele são descritas de forma detalhada as taxonomias identificadas a partir da análise dos documentos.

O Capítulo 6 abrange a fase de prospecção tecnológica, que utiliza informações oriundas dos documentos de artigos científicos, patentes e de mídia especializada para definir o estado da arte da tecnologia. Esse capítulo apresenta a metodologia de pesquisa, os resultados e análises do estudo prospectivo para o etanol de segunda geração produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

No Capítulo 7 consta a fase pós-prospecção tecnologia de elaboração do *Roadmap*, onde as informações obtidas nas fases anteriores foram organizadas em quatro estágios temporais (longo, médio e curto prazos e atual).

O capítulo 8 apresenta os estudos derivados da elaboração do *Roadmap* Tecnológico, sendo assim foram realizadas três diferentes análises: vertical, horizontal e dos atores.

Por fim, o Capítulo 9 contém as conclusões gerais e as limitações do presente estudo, assim como são exibidas propostas para sua continuidade.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo desta dissertação é analisar a dinâmica de inovações tecnológicas no setor sucroenergético, mais especificamente a produção de etanol 2G a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, uma vez que devido à recente proibição da queima da palha e ao problema de descarte do bagaço, estes resíduos necessitam de destinação apropriada e financeiramente rentável. Dessa forma, objetiva-se auxiliar o planejamento estratégico e futuro desenvolvimento do setor por parte dos principais atores envolvidos, como governo, universidade, centros de pesquisa e empresas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de alcançar o objetivo geral apresentado, esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Elaborar uma revisão bibliográfica do setor sucroenergético brasileiro;
- Definir as palavras-chave que serão utilizadas para a pesquisa dos documentos técnicos;
- Realizar a busca de artigos, patentes e pedidos de patentes nas bases de dados USPTO e SCOPUS para a prospecção;
- Analisar os resultados obtidos no objetivo anterior de forma Macro, Meso e Micro;
- Elaborar e discutir o *Roadmap* Tecnológico construído a partir das informações obtidas, analisando seus principais atores.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1. HISTÓRICO DE EVOLUÇÃO DO ETANOL

O primeiro registro da utilização do etanol como combustível é datado em 1826, quando o inventor norte-americano Samuel Morey experimentou a mistura de etanol e terebentina em um motor de combustão interna. Até 1860, o etanol combustível não havia alcançado grande destaque, mesmo assim, nesse ano, o engenheiro alemão Nicolaus August Otto começou a desenvolver outros motores de combustão interna que utilizariam o etanol como combustível (GOETTEMOELLER, 2007).

Quase quatro décadas depois, em 1896, o americano Henry Ford lançou no mercado tratores movidos somente a etanol. O primeiro carro desenvolvido para funcionar com mais de um tipo de combustível, *flex-fuel*, foi produzido em 1908. O Ford Modelo T podia ser movido a gasolina, etanol ou querosene. Nessa época, o maior obstáculo enfrentado para a utilização do etanol nos Estados Unidos (EUA) eram os impostos cobrados sobre o álcool para financiar a Guerra Civil Norte-Americana (CAROLAN,2009). Mesmo com o apoio de Ford e outros cientistas, quanto a sustentabilidade e eficiência do etanol, a gasolina, com seu menor custo, acabou prevalecendo no mercado de combustíveis. No ano de 1917, Alexander Graham Bell destacou o potencial de qualquer matéria vegetal com capacidade de fermentação, como resíduos agrícolas, para a produção de etanol, vislumbrando assim o que seria denominado no futuro de bioetanol (SONGSTAD, 2009).

Mesmo com a reconhecida eficiência no uso do etanol combustível, sua falta de competitividade com os preços da gasolina acabou por impedir seu desenvolvimento. Entretanto, os caminhos para o desenvolvimento do etanol se abriram novamente quando, em 1973, conflitos entre Israel, Egito e Síria culminaram na primeira crise do petróleo, quadruplicando o seu preço, (VIIKARI, 2012). O aumento do preço do barril de óleo e a diminuição na oferta de combustível no mercado internacional, promovido pela Organização dos Países Produtores e Exportadores de Petróleo (OPEP), resultaram em desemprego e aumento da inflação, principalmente nos países que dependiam da importação da gasolina para sua matriz energética (MENEZES, 1980).

Além do aumento do preço da gasolina, os choques do petróleo também evidenciaram

as perigosas consequências da dependência energética mundial exclusivamente nesse combustível fóssil. A busca por alternativas energéticas foi deflagrada por todo o mundo. Dentro desse contexto, diversos governos, principalmente EUA e Brasil, iniciaram os subsídios para a produção de energias alternativas, estimulando o desenvolvimento da indústria de biocombustíveis. Dessa forma, o bioetanol, produzido a partir da biomassa, foi amplamente pesquisado e desenvolvido durante vários anos. Os subsídios norte-americanos, para a produção de etanol a partir do milho, duraram 30 anos e foram extintos em 2012 (WOODYARD, 2012).

As variações no preço do petróleo e o aumento da produção do etanol estão intimamente relacionados, nos períodos de incremento no preço do barril a produção de etanol aumenta, assim como as pesquisas relacionadas a essa tecnologia (GRANDO et al., 2015). Além disso, os preços dos insumos utilizados como matéria-prima para a produção do álcool também afetam sua produção. Os EUA possuem como foco a produção de etanol a partir do milho, o que acarreta o debate da utilização de um insumo alimentar para a produção de combustível, uma vez que isso encare o valor da *commodity*. No Brasil, a principal matéria-prima utilizada é a cana-de-açúcar, o que gera uma concorrência com o valor do açúcar, uma vez que se o preço do etanol estiver muito alto, as usinas de cana-de-açúcar preferirão refinar o álcool ao invés do açúcar.

Em 2003, acontece uma nova reviravolta no mercado de combustíveis, apesar do preço do petróleo estar estabilizado, o etanol voltou a ganhar destaque no cenário mundial com os avanços tecnológicos nos motores a combustão interna. O lançamento, em grande escala, dos carros tipo *flex-fuel*, que funcionam tanto com gasolina quanto com etanol, cria uma nova perspectiva para o mercado de biocombustíveis. Nesse cenário, cabe ao consumidor analisar e optar pelo combustível mais vantajoso, segundo seus próprios critérios de preço, desempenho e preocupação ambiental (ALMEIDA et al., 2017).

3.2. BRASIL E O PROÁLCOOL

A saga do etanol brasileiro começa em 1903 quando a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA) promoveu a Primeira Exposição Internacional de Aparelhos de Álcool e o Congresso Internacional de Álcool. Os eventos foram realizados com o objetivo de divulgar as possibilidades de utilização do etanol na matriz energética brasileira e nos veículos automotivos (DUNHAM et al., 2011).

Desde 1922, o presidente Epitácio Pessoa sinalizava a preocupação com a dependência energética brasileira da importação da gasolina (MARCOLIN, 2008). Nesse mesmo ano, aconteceu o 3º Congresso Nacional da Agricultura, que criou a “Liga Nacional de Defesa e Propaganda do Álcool-Motor”, e também uma pasta no Ministério da Agricultura com foco no desenvolvimento de uma indústria nacional de álcool combustível (DUNHAM et al., 2011). Como resultado desses esforços, em 1927, a Unidade Industrial Serra Grande Alagoas, que anteriormente só refinava açúcar, produziu o primeiro etanol combustível nacional (MARCOLIN, 2008).

O mercado nacional de álcool combustível foi positivamente afetado pela crise de 1929, pois ela diminuiu o volume e o preço das exportações brasileiras de açúcar, aumentando o interesse na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar (MORAES et al., 2014). Um marco importante, nessa época, para a indústria sucroalcooleira foi durante o governo Vargas, que instituiu o Decreto 19.717/31, obrigando o uso de 5% de álcool anidro na gasolina importada, além de criar a Comissão de Estudos sobre Álcool-Motor (DUNHAM et al., 2011). Além disso, o governo intervencionista de Vargas também criou a autarquia federal “Instituto do Açúcar e do Álcool” (IAA), em 1933, que submetia a indústria açucareira ao controle do Estado e possuía como objetivo estimular o consumo do álcool combustível. Os próprios produtores de açúcar/etanol foram a favor dessa medida de controle, uma vez que estavam passando por um momento de crise no mercado interno e externo, e o incentivo e subsídio governamental seria extremamente favorável. Nesse momento, o etanol começa a sair do papel de coadjuvante do açúcar e passa a exercer um papel de equilíbrio na indústria canavieira (SZMRECSÁNYI, 1979).

Além da política intervencionista do Estado, outro fator que corroborou para o aumento da produção do álcool anidro foi a eclosão da Segunda Guerra Mundial, visto que, a oferta de gasolina no mercado internacional sofreu uma forte queda. Dessa forma, o Brasil, que importava quase toda sua gasolina, precisou se adaptar para conseguir suprir a demanda nacional de combustível. Em 1941, foram concedidos diversos subsídios para os produtores, como: preço garantido de venda do álcool e valores reduzidos para os insumos necessários à sua produção (MORAES, 2000). A autarquia IAA, os decretos governamentais e a Segunda Guerra Mundial foram fatores determinantes para o grande crescimento do número de destilarias e da produção do etanol nessa época, como pode ser observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Número de destilarias e produção brasileira anual de etanol anos 1933, 1939 e 1941.

	1931	1933	1941
Nº de destilarias	1	31	44
Produção anual (mil Litros)	100	38.000	76.600

Fonte: Moraes et al. (2000).

É notável que durante os anos de controle governamental sobre a indústria sucroalcooleira, todos os subsídios e privilégios geraram um ambiente favorável “forçado” e desestimularam a busca pela competitividade e melhoria tecnológica no setor. Galloway (1989) apresenta três fatores essenciais para que a busca por inovações tecnológicas no setor agrícola seja estimulada: busca por maior lucratividade, por meio do melhoramento da eficiência do processo de produção; esgotamento dos insumos necessários a produção, incentivando o desenvolvimento de melhorias no processo como um todo; alta competitividade, a concorrência estimula a constante busca por inovação. Como o ambiente da indústria brasileira da cana-de-açúcar era controlado pelo governo, os últimos dois fatores citados, escassez de recursos e competitividade, eram abrandados pelos decretos e subsídios (Ramos, 1999).

Dessa forma, o setor canavieiro do Brasil não incluía em seu modelo de negócios a utilização de recursos próprios para o melhoramento constante dos processos e inovações tecnológicas, pois o retorno financeiro era garantido pelo Estado (Galloway, 1989). Elementos naturais também corroboravam para esse cenário, posto que o Brasil é um país de dimensões continentais, com grande disponibilidade de terras férteis, além de dispor de mão-de-obra barata. Portanto, a principal fonte de recursos direcionados para modernização da indústria canavieira era oriunda de programas governamentais, por meio de pesquisas financiadas pelo Estado (MATHIAS, 2014).

Como já foi mencionado no tópico anterior, o primeiro choque do petróleo ocorreu em 1973 e elevou o preço do barril de petróleo importado pelo Brasil de US\$3,00 para US\$ 12,00 o barril. Nessa época, o Brasil importava cerca de 80% do petróleo necessário para abastecer o mercado interno de combustíveis, portanto com o aumento do preço do barril, o país sofreu com o aumento da inflação e da dívida externa (SHIKIDA, 1997). Neste cenário, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), em 14 de novembro de 1975, por meio do decreto

n° 76.593, com a finalidade de diminuir a dependência brasileira das importações de combustível (KOHLHEPP, 2010).

Até o ano de 1977, os incentivos criados pelo programa Proálcool abrangiam apenas o etanol anidro, garantindo que sua mistura com a gasolina fosse na proporção de 1:4, uma parte de álcool anidro para cada 4 partes da mistura de gasolina. Posteriormente, o programa começou a subsidiar também o etanol hidratado. Inicialmente, as montadoras de veículos foram resistentes quanto a produzir diretamente veículos movidos a etanol, portanto, para se utilizar o etanol, era necessário que o próprio motorista convertesse o motor do veículo para receber o novo combustível. Entretanto, em 1979, é celebrado um acordo entre os responsáveis pelo Proálcool e as montadoras para a produção direta de motores movidos a etanol, marcando assim a segunda fase do programa (NIGRO; SZWARC, 2010).

O impacto do Proálcool no mercado nacional de combustíveis pode ser observado quando se compara a produção de 1974, 600 milhões de litros, e a de 1985, 10,6 bilhões de litros (KOHLHEPP, 2010). Todavia, passadas as crises de 1973 e 1979, o mercado de petróleo volta a se estabilizar e o preço do barril começa a cair, ademais, a produção nacional de petróleo cresce a cada ano. Consequentemente, ocorre a diminuição dos investimentos no Proálcool e o etanol perde a competitividade perante a gasolina. O auge da produção de veículos movidos a álcool ocorre em 1986, quando essa marca atinge o recorde de 697.731, a partir daí começa a fase de desaceleração do aumento dessa produção, e em 1995, essa produção havia despencado para apenas 40.844 (LEITE & LEAL, 2007). Apesar da crise no setor sucroalcooleiro, o programa continuou sobrevivendo e só foi extinto em 1990, com a desregulamentação do setor, o IAA também foi extinto nesse ano.

O agente transformador do mercado internacional de combustíveis foi o lançamento da tecnologia de motores *flex-fuel*, que começaram a ser comercializados em 1992 pela General Motors (GM). A introdução dessa tecnologia no Brasil foi realizada por meio da parceria entre três empresas: Bosch, Delphi e Magneti Marelli (MORAES, 2014). O primeiro carro brasileiro *flex-fuel* foi lançado em 2003, o Gol Total Flex 1.6. Em 2018, aproximadamente 87% dos licenciamentos de veículos leves no Brasil correspondem a carros com motor do tipo *flex-fuel*, apenas 3% são carros movidos apenas a gasolina, os demais são carros elétricos e a diesel (ANFAVEA, 2018).

3.3. PANORAMA ATUAL DO ETANOL

Dados do último relatório energético, da Agência Internacional de Energia (IEA), estimam que o etanol será responsável por dois terços do incremento na produção total de biocombustíveis, entre os anos de 2018 e 2023 (IEA, 2018). A produção mundial de etanol em 2018 foi de aproximadamente 108 bilhões de litros, sendo Brasil e Estados Unidos responsáveis por 84% desta (RFA,2019).

A principal diferença entre a produção de etanol do Brasil e dos EUA é a matéria-prima, enquanto os EUA utilizam o milho, o Brasil obtém seu etanol a partir da cana-de-açúcar. Essa diferença acarreta em mercados, vantagens e desafios tecnológicos completamente diferentes para cada um.

3.3.1. PANORAMA NOS ESTADOS UNIDOS

Os Estados Unidos contam com 210 usinas produtoras de etanol, tendo produzido em 2018 60,56 bilhões de litros (NOVACANA, 2019). Por serem o maior produtor mundial de milho, este é utilizado como matéria-prima para a produção de etanol em 98% das usinas (RFA,2016). Uma das vantagens da utilização do milho como matéria-prima é sua técnica de plantio e produção serem muito desenvolvidas, pois ele é produzido em larga escala em praticamente todo o globo (NYKO et al., 2014). No caso da cana-de-açúcar, apenas o Brasil e a Índia a produzem em larga escala. Para fins comparativos, o ganho de produtividade (toneladas de matéria seca por hectare plantado) do milho, considerando como base o ano de 1970, é de 137%, enquanto da cana-de-açúcar se limita a 28% (FOSTER, 2017).

Atualmente, o etanol convencional norte-americano é produzido, em sua grande maioria, via rota biológica de sacarificação seguida de fermentação, esse processo pode ser realizado tanto por moagem a seco quanto úmida. A via úmida era o processo mais utilizado até o começo dos anos 90, atualmente a moagem a seco tornou-se mais desenvolvida e consolidada no país. A via seca reduziu os custos de produção do etanol, mas tem como desvantagem a geração de menos coprodutos (BNDES; CGEE, 2008).

No caso do etanol celulósico, chamado também de etanol de segunda geração, existem três processos básicos para produção: hidrólise ácida, hidrólise enzimática e termoquímica

(DOE, 2010).

Na hidrólise ácida, uma solução ácida é combinada com alta temperatura e pressão para disponibilizar o açúcar do material celulósico, que é então fermentado e destilado em álcool (DOE, 2010).

Ao passo que na hidrólise enzimática, a matéria-prima necessita de pré-tratamento para quebrar a estrutura cristalina do material lignocelulósico e remover a lignina, expondo assim as moléculas de celulose e hemicelulose. Esse pré-tratamento pode ser feito via métodos físicos, como utilização de alta temperatura e pressão, moagem, radiação ou congelamento (DOE, 2010). Dessa forma, após a biomassa ser tratada ela é hidrolisada por meio de enzimas, que foram produzidas por microrganismos específicos.

Na terceira rota de produção, a termoquímica, os materiais de biomassa são gaseificados sob calor e pressão, e o gás de síntese é borbulhado em fermentadores. Um micro-organismo capaz de realizar a conversão do gás de síntese é introduzido nos fermentadores para causar fermentação ao etanol (DOE, 2010).

O principal gargalo da produção do etanol a partir do milho é a matéria-prima, responsável por 85% do custo total de produção (CHOVAU et al., 2013). Diversos questionamentos são levantados quanto a utilização do milho, que poderia servir de ração para o gado ou mesmo consumo humano e ao invés disso é usado para produzir combustível.

Um dos maiores estímulos governamentais quanto a utilização do etanol é a obrigatoriedade de mistura de etanol na gasolina, o percentual utilizado no país é o E10 (gasolina com 10% de etanol). Há expectativa para aumentar gradativamente esse percentual para atingir o E20 (gasolina com 20% de etanol). Entretanto, para se atingir as diretrizes da lei federal *Renewable Fuel Standard* (RFS), seria necessário também estimular a maior utilização de carros do tipo *flex*, uma vez que estes podem utilizar o teor de 85% de etanol na mistura da gasolina. (EPA, 2016; FUELSINSTITUTE, 2014).

3.3.2. PANORAMA NO BRASIL

Em 2018, foram contabilizadas 383 usinas produtoras de etanol no Brasil, regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), juntas elas produziram um total de 33,8 bilhões de litros de etanol, em 2018. Como pode ser observado na Figura 3.1, a maior parte

delas fica localizada nas regiões sudeste e centro-oeste, sendo o estado de São Paulo responsável por quase metade da produção do etanol brasileiro (NOVACANA,2015).

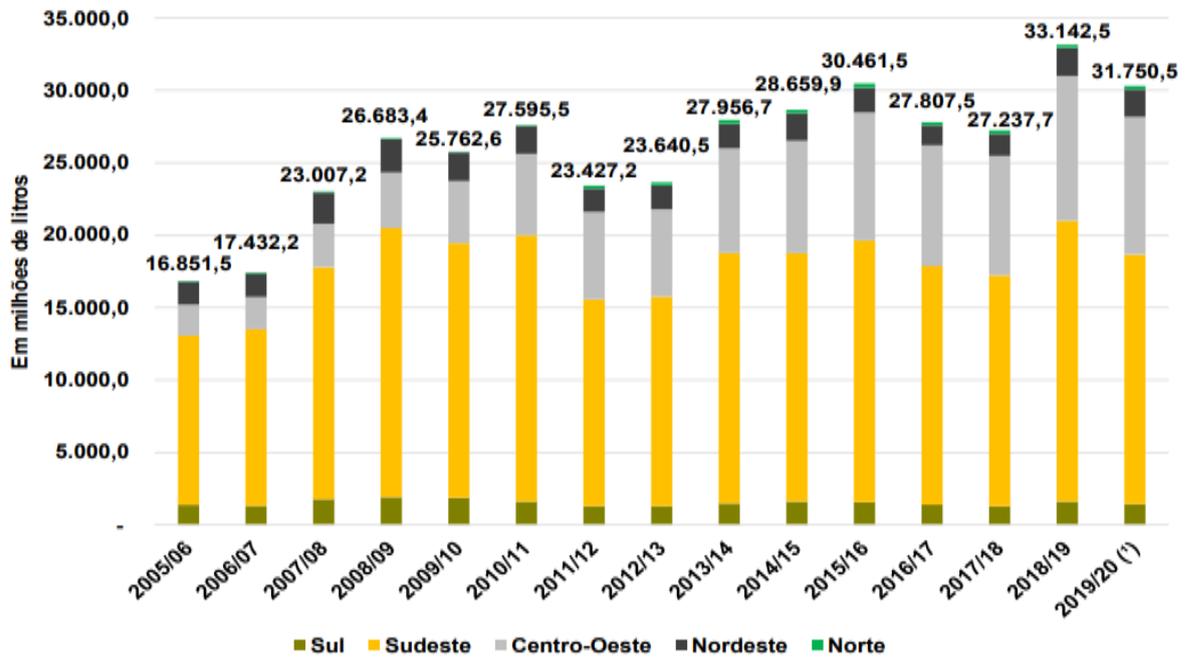
Figura 3.1 - Localização das usinas de etanol no Brasil



Fonte: SOARES (2016)

A principal matéria-prima utilizada para a produção do etanol brasileiro é a cana-de-açúcar. Como pode ser observado na Figura 3.2, entre os anos de 2018/2019, o Brasil atingiu uma marca superior a 33 bilhões de litros de etanol produzidos, representando um crescimento de 21,7% em relação ao biênio anterior, 2017/2018 (CONAB,2019). O novo recorde de produção pode ser atribuído ao aumento da produção do álcool hidratado, que é comercializado diretamente pelos postos de combustível.

Figura 3.2 - Evolução da produção de etanol brasileiro total



Fonte: CONAB (2019).

Como foi dito no subtópico anterior, a agricultura da cana-de-açúcar teve um aumento de produtividade muito menor que a do milho ao longo dos anos. Ainda assim, em valores brutos, a cana-de-açúcar é mais produtiva que o milho. A moagem da cana-de-açúcar gera de 60 a 120 toneladas de matéria seca por hectare de cana plantada, enquanto o milho produz entre 7,5 a 10 toneladas por hectare de milho plantado (BNDES; CGEE, 2008).

As usinas brasileiras de produção de etanol recebem, em média, 1,6 milhões de toneladas por ano de matéria-prima. A maior usina brasileira é a de São Martinho, localizada em Pradópolis, cidade do interior de São Paulo, ela tem capacidade de moagem de 10,5 milhões de toneladas de cana por ano (NOVACANA, 2016). Aproximadamente 60% de toda a cana-de-açúcar enviada para as usinas é cultivada pelas mesmas empresas que as processam e transformam, apenas 40% é fornecida por terceiros (BACCARIN et al., 2009).

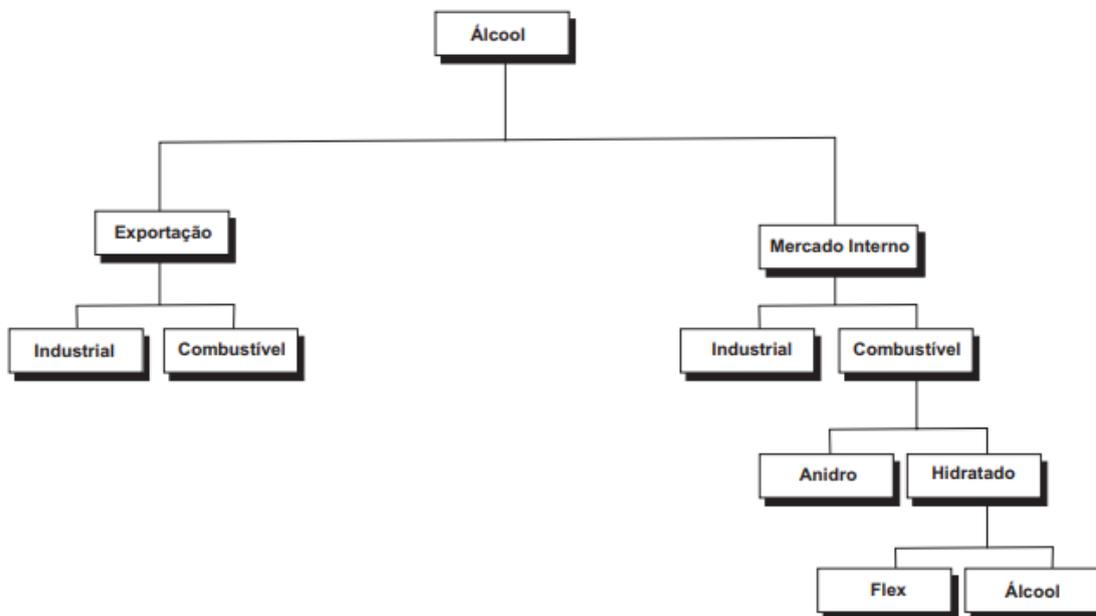
A expansão da área utilizada para plantio de cana-de-açúcar plantada no Brasil depende, principalmente, da desocupação das áreas subutilizadas para criação de gado extensiva. A lei 6.077/09 determinou o zoneamento agroecológico da cana, onde foram calculadas as novas áreas que poderiam receber o plantio da cana-de-açúcar, excluindo-se as áreas de preservação ambiental. Durante esse mapeamento foi estimado que, aproximadamente

64 milhões de hectares estariam disponíveis para receber o cultivo de cana-de-açúcar, a lavoura atual ocupa apenas 16% desse valor (MANZATTO, 2009).

A capacidade de geração de energia elétrica nas usinas produtoras de etanol também é um item que merece destaque, uma vez que o setor sucroenergético é responsável 17,4% da oferta da matriz energética brasileira (NOVACANA, 2018). Esse valor corresponde a quase o total da meta estabelecida no Acordo de Paris, em 2009, o Brasil se comprometeu a aumentar a participação da bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para 18%.

O mercado brasileiro de etanol pode ser dividido em três segmentos: etanol hidratado, anidro e industrial, destinado aos demais usos. O etanol anidro e o hidratado seguem o mesmo processo de produção até a etapa de fermentação. Nessa etapa o álcool hidratado é obtido com uma concentração de, aproximadamente, 95% de etanol. A remoção do excesso de água do produto da fermentação é realizada, obtendo-se assim o etanol anidro (MILANEZ, 2008). A Figura 3.3 mostra o fluxograma resumido do mercado de álcool no Brasil.

Figura 3.3 - Fluxograma do Mercado de Álcool



Fonte: MILANEZ (2008).

O etanol anidro pode ser misturado à gasolina, para diminuir o custo do combustível, aumentar a octanagem e diminuir a emissão de poluentes. Atualmente, a gasolina brasileira

contém 27% de etanol anidro (BASTOS,2007; URIBE, 2018).

O etanol denominado industrial possui em maior parte de sua composição o álcool neutro. A eliminação das impurezas do etanol produzido para uso carburante, gera o álcool neutro. O etanol industrial é assim classificado, pois engloba os demais usos do álcool (MILANEZ, 2008).

No Brasil, ainda há outra possibilidade de utilização de etanol como combustível, o etanol hidratado, que sai da bomba diretamente para os tanques dos carros. O Brasil é o único país do mundo que utiliza o álcool hidratado dessa forma (MILANEZ, 2008). Atualmente, a grande maioria dos veículos de passeio novos no mercado automobilístico brasileiro são do tipo *flex-fuel*, as estatísticas mostradas na Tabela 3.2 referem-se ao mercado brasileiro de veículos leves. A Tabela 3.2 demonstra a evolução ao longo dos anos, a partir de 2003, do quantitativo de veículos *flex-fuel* produzidos, que atualmente dominam o mercado.

Tabela 3.2- Licenciamento de veículos leves novos no Brasil, por tipo de combustível, de 2003 a 2018.

	Gasolina	<i>Flex-fuel</i>
2003	1.152.463	48.178
2004	1.077.945	328.379
2005	697.033	812.104
2006	316.561	1.430.334
2007	245.660	2.003.090
2008	217.021	2.329.247
2009	221.732	2.652.298
2010	280.724	2.876.173
2011	376.804	2.848.271
2012	273.922	3.162.939
2013	189.109	3.169.114
2014	184.841	2.940.508

2015	136.150	2.194.020
2016	80.495	1.750.748
2017	68.902	1.927.221
2018	81.932	2.168.176

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANFAVEA (2018).

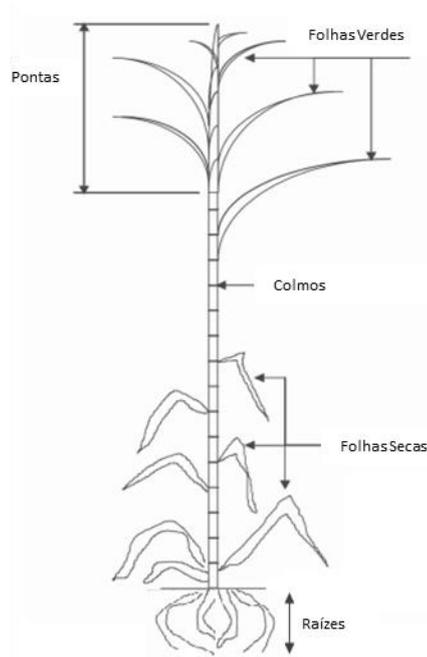
3.4. A CANA-DE-AÇÚCAR E O ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO

Como já foi visto nos subtópicos anteriores, o setor sucroalcooleiro consiste em um mercado em pleno crescimento para a geração de biocombustível de origem renovável, ou seja, produzido a partir de biomassa. Quando se fala em bioetanol de primeira geração, refere-se à produção do biocombustível a partir de matéria-prima que contenha açúcares diretamente fermentescíveis, como por exemplo o caldo extraído dos colmos da cana-de-açúcar.

A produção de etanol oriundo da sacarose da cana-de-açúcar é um processo já bem desenvolvido, com os menores custos e a maior taxa de produtividade do mundo (UNICA, 2011). O ciclo da cana-de-açúcar remete aos tempos do Brasil colônia, quando ainda existiam as capitâneas hereditárias. Durante os séculos XVI e XVIII, a agricultura canavieira constituía-se na maior empresa agrícola do mundo ocidental (CUENCA,2007).

A cana-de-açúcar pertence ao gênero *Saccharum*, da família das gramíneas. Essa planta, como mostrado na Figura 3.4, pode ser dividida em duas partes: aérea (colmo, folhas e pontas) e subterrânea (raízes e rizomas).

Figura 3.4 - Partes da planta da cana-de-açúcar.



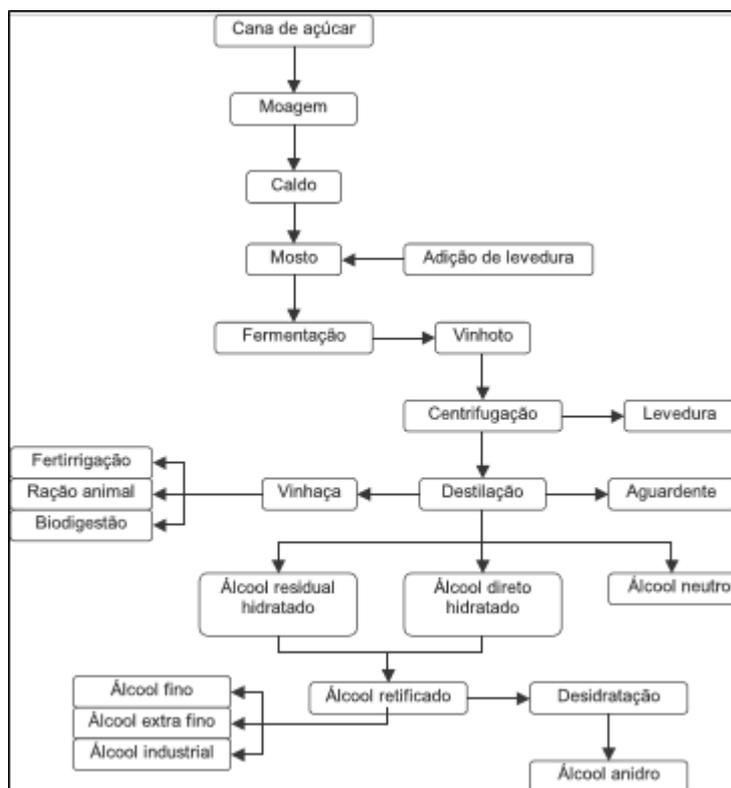
Fonte: Adaptado de HASSUANI et al. (2005).

Nos colmos é onde se concentra a sacarose da planta, por este motivo eles são a parte utilizada como matéria-prima na produção do etanol 1G (etanol de primeira geração). As pontas e as folhas são chamadas também de palha da cana-de-açúcar, em sua grande maioria, são queimadas ou deixadas no campo (DIAS, 2011), mas sua utilização vem se tornando cada vez mais comum nas caldeiras industriais.

A indústria da cana-de-açúcar é formada a partir de uma dicotomia, uma vez que ela pode ser separada em duas diferentes usinas que ocupam o mesmo espaço: a do açúcar e a do etanol. Essas usinas são abastecidas por um setor agrícola bem consolidado no Brasil, que interfere diretamente nas características dos produtos e subprodutos gerados. A variedade, maturação e sanidade da cana, condições climáticas e de solo e a presença ou a ausência de impurezas são exemplos de variáveis que afetam a qualidade da matéria-prima que chega nas usinas (PIACENTE, 2016).

Quanto às suas etapas de produção, o etanol de primeira geração costuma seguir as seguintes etapas: tratamento da cana-de-açúcar, extração dos açúcares, concentração do caldo, preparo do mosto, fermentação, destilação e desidratação. O fluxograma resumido das etapas de produção do etanol de primeira geração encontra-se representado no Figura 3.5.

Figura 3.5 - Fluxograma resumido de uma destilaria produtora de etanol de primeira geração.



Fonte: Adaptado de PIACENTE (2016).

Inicialmente, as células da cana-de-açúcar precisam ser rompidas para aumentar o rendimento da etapa de extração de açúcares. Sendo assim, a cana passa pelas etapas de limpeza, corte e remoção das fibras, para depois ser encaminhada para a moagem. As moendas são empregadas em quase todas as usinas brasileiras (DIAS, 2011). É na moagem que ocorre a extração do caldo da cana-de-açúcar, via processo mecânico ou via lixiviação, quando a usina utiliza difusores.

Posteriormente, o caldo resultante do processo de moagem (ou difusão) precisa passar por tratamento de decantação e adição de produtos químicos. Nessa etapa é produzido o bagaço da cana, que é encaminhado para gerar energia para a usina. Em seguida, é realizado o aquecimento do caldo, com o objetivo de esterilizar e precipitar substâncias insolúveis do mesmo.

Ao mosto é adicionado leveduras para ser realizada a fermentação alcoólica, ocorrendo então a transformação dos açúcares em etanol. A levedura pode ser recuperada ao final do processo e o produto restante é destilado para se obter o etanol de primeira geração (DIAS,

2011).

4. O MÉTODO TECHNOLOGY ROADMAP

4.1. CONCEITOS E TIPOS DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A prospecção tecnológica é utilizada a muitos anos ao redor do mundo, com o objetivo de direcionar os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). A ferramenta foi utilizada pela primeira vez por volta de 1950, o objetivo foi acelerar o estabelecimento de produtos recém-inventados no mercado (COELHO, 2003).

A prospecção tecnológica, conforme a definição de Borschiver, *et al.* (2016), é um conjunto de conceitos e técnicas aplicadas para prever o comportamento de variáveis como as socioeconômicas, políticas, culturais e tecnológicas, bem como os efeitos de suas interações. O estudo pode ajudar a tecnologia na identificação do que pode ser de interesse de uma organização, e apontar para possíveis negócios e parceria. Este é um método utilizado também para a avaliação de outras consequências de ações opcionais da organização. Portanto, é uma ferramenta funcional para o planejamento corporativo, bem como para políticas setoriais e públicas (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

O conceito de prospecção tecnológica se relaciona diretamente com as inovações tecnológicas. Uma vez que, o principal objetivo dessa técnica é mapear a dinâmica das inovações no presente, e dessa forma, estabelecer uma relação com o futuro das mesmas. Ou seja, a metodologia prospectiva se propõe a prever as tendências tecnológicas futuras, a partir de dados do presente. Dessa forma, é possível para uma empresa, por exemplo, tornar mais embasadas as decisões de alocação de recursos no presente (COELHO, 2003).

As metodologias de prospecção tecnológica não objetivam prever o futuro, mas sim identificar as forças, ameaças e oportunidades que orientarão o futuro. Essas metodologias tem sido aplicadas por vários setores industriais ao redor do mundo, de modo a identificar as diferentes opções de desenvolvimento tecnológico e direcionar as escolhas que podem ser feitas no presente para alcançar os objetivos pretendidos (AMPARO, 2012)

Outro papel importante, que pode ser atribuído a prospecção tecnológica, é o de aproximar a área acadêmica da industrial, orientando as pesquisas acadêmicas para as necessidades do mercado (QUINTELLA *et al.*, 2011).

As diversas técnicas conhecidas para se realizar a prospecção tecnológica podem ser

divididas em três grupos: as qualitativas, baseadas em interpretações subjetivas, como por exemplo a revisão de literatura e o *brainstorming*; as quantitativas, embasadas em análises estatísticas, como a análise de patentes e os indicadores econômicos; as semi-quantitativas, que utilizam conceitos matemáticos e científicos para quantificar a subjetividade, com destaque para os painéis Delphi e o *Roadmap* Tecnológico. Não existe um consenso na literatura quanto ao melhor método de prospecção tecnológica, sendo recomendado, muitas vezes, a utilização da combinação de metodologias. O Quadro 4.1 apresenta os principais métodos de prospecção tecnológica utilizados, assim como seus objetivos, vantagens e desvantagens.

Quadro 4.1 - Métodos de prospecção tecnológica, vantagens e desvantagens.

Métodos de prospecção		Objetivos	Vantagens	Limitações
Monitoramento e Sistemas de Inteligência	Inteligência Competitiva Tecnológica	Identificar ameaças potenciais, oportunidades e tendências; Elaborar uma base de informação.	Molda o cenário da tecnologia e da organização.	Método deve ser complementado.
	Análise De Regressão Curvas De Aprendizado Curva S	Construir um cenário extrapolando os padrões do passado para o futuro, no curto prazo.	Quando há parâmetros bem quantificados, fornece previsões precisas.	Vulnerável em previsões de longo prazo e quando ocorrem mudanças bruscas.
Opinião de Especialistas	Método Delphi	Construir uma visão de futuro baseada em informações de especialistas.	Usados na falta de informações quantitativas.	Divergências entre especialistas da mesma área.
	Painel De Especialistas			
	Workshops			
Construção de Cenário	Matriz BCG	Ordenar percepções sobre ambientes futuros alternativos.	Incorpora muitas informações quantitativas e qualitativas.	Pode ser difícil obter as informações necessárias.
	Matriz SWOT			
Métodos Computacionais / Analíticos	Análises De Patentes Data Mining	Incorporar diversos eventos em modelos de análise, permitindo tratamento analítico a uma grande quantidade de informações.	Rapidez na obtenção dos resultados pelo uso de modelos computacionais.	Utilizar pressupostos essenciais aos modelos de forma inadequada à realidade e de pouca aplicabilidade.
	<i>Roadmap</i>			
	Simulação			

Fonte: Adaptado de TEIXEIRA (2013).

A metodologia de prospecção tecnológica escolhida para a elaboração da presente dissertação foi a de construção do *Roadmap* Tecnológico, dessa forma, esse método será mais detalhado a seguir.

4.2. CONCEITO DE *ROADMAP* TECNOLÓGICO

A prospecção tecnológica é utilizada a muitos anos ao redor do mundo, com o objetivo de direcionar os investimentos. Nesse contexto, os *Roadmaps* tecnológicos (TRM) aparecem como ferramentas que além de possibilitar a análise do ambiente, auxiliam no monitoramento de organizações concorrentes, tendências mercadológicas e tecnológicas, definição do perfil das empresas e reconhecimento de novas oportunidades de negócios (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

O termo *road map* pode ser literalmente traduzido como um mapa composto por caminhos ou rotas de um determinado lugar, que serve para ajudar viajantes no planejamento de suas viagens futuras. Os *Roadmappings* tecnológicos apresentam-se de forma análoga a esse mapa de rotas, entretanto, refere-se ao mapeamento de tecnologia, mercado e produtos e auxiliam o planejamento de investimentos futuros em uma determinada organização (SANTOS, 2011).

Dessa forma, os *Roadmaps* permitem a visualização gráfica dos planos de estratégia e desenvolvimento de uma organização, além de monitorar as tendências evolutivas de uma tecnologia e as ações de liderança que irão permitir o alcance dos objetivos e metas da empresa (BORSCHIVER; SILVA, 2016). Os *Roadmaps* podem assumir diversos formatos, como: os retrospectivos, que visam descobrir quais tecnologias, produtos ou organizações anteriores tornaram um determinado produto ou tecnologia bem-sucedidos; os prospectivos que reúnem tecnologias e produtos passados e atuais para demonstrar tendências e possíveis sucessores; os tecnológicos, que contribuem para formulação de estratégias, solicitação e justificativa de financiamento; os de previsão de mudanças tecnológicas e de produtos (PHAAL, 2001).

A elaboração de *Roadmaps* tecnológicos depende muito do objetivo para o qual ele está sendo desenvolvido e qual o seu público-alvo. Um dos primeiros defensores dessa metodologia foi Robert Galvin, ex-CEO (Chief Executive Officer, ou, Diretor Executivo) da Motorola, que a definiu como “um olhar estendido para o futuro de um campo de pesquisa

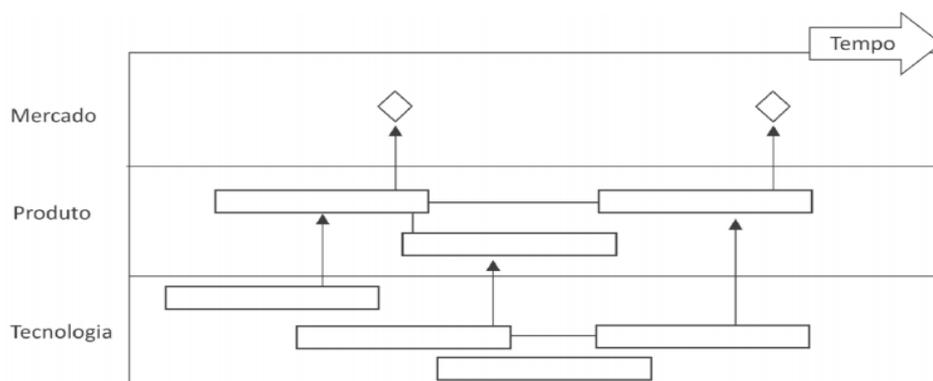
escolhido, composto do conhecimento coletivo e da imaginação dos mais brilhantes impulsionadores da mudança”, (Galvin, 1998). Para Galvin (1998), o método constituiu-se principalmente de uma ferramenta para inovação, representando “o portfólio de possibilidades para um campo particular”.

Segundo CARVALHO et al. (2013), a aplicação do *Roadmapping* tornou-se popular durante a última década e foi adotada por empresas, governos e outras instituições para o desenvolvimento de seus planejamentos estratégicos. PHAAL et al. (2009) definem em seu artigo as diferenças entre os termos *Roadmap* e *Roadmapping*, sendo o primeiro traduzido como o mapa gerado e o segundo como o processo de mapeamento, tais definições foram utilizadas ao longo dessa dissertação.

4.3. TIPOS E FORMATOS DE ROADMAPS

Os *Roadmaps* podem ser construídos em formatos variados, o tipo mais comum de representação gráfica é a que apresenta várias camadas e suas variações ao longo do tempo, geralmente estas camadas são referentes a tecnologia, produto e mercado e é mostrada a inter-relação entre as mesmas (WELLS, 2004). A definição do horizonte temporal decorre do objetivo do trabalho e do setor industrial analisado. Dessa forma, a Figura 4.1 apresenta um esquema genérico do *Roadmap* tecnológico, com os parâmetros-chave necessários para sua elaboração: mercado, produto e tecnologia e sua evolução ao longo do tempo (PHAAL,2009).

Figura 4.1 –Representação gráfica de um TRM genérico.

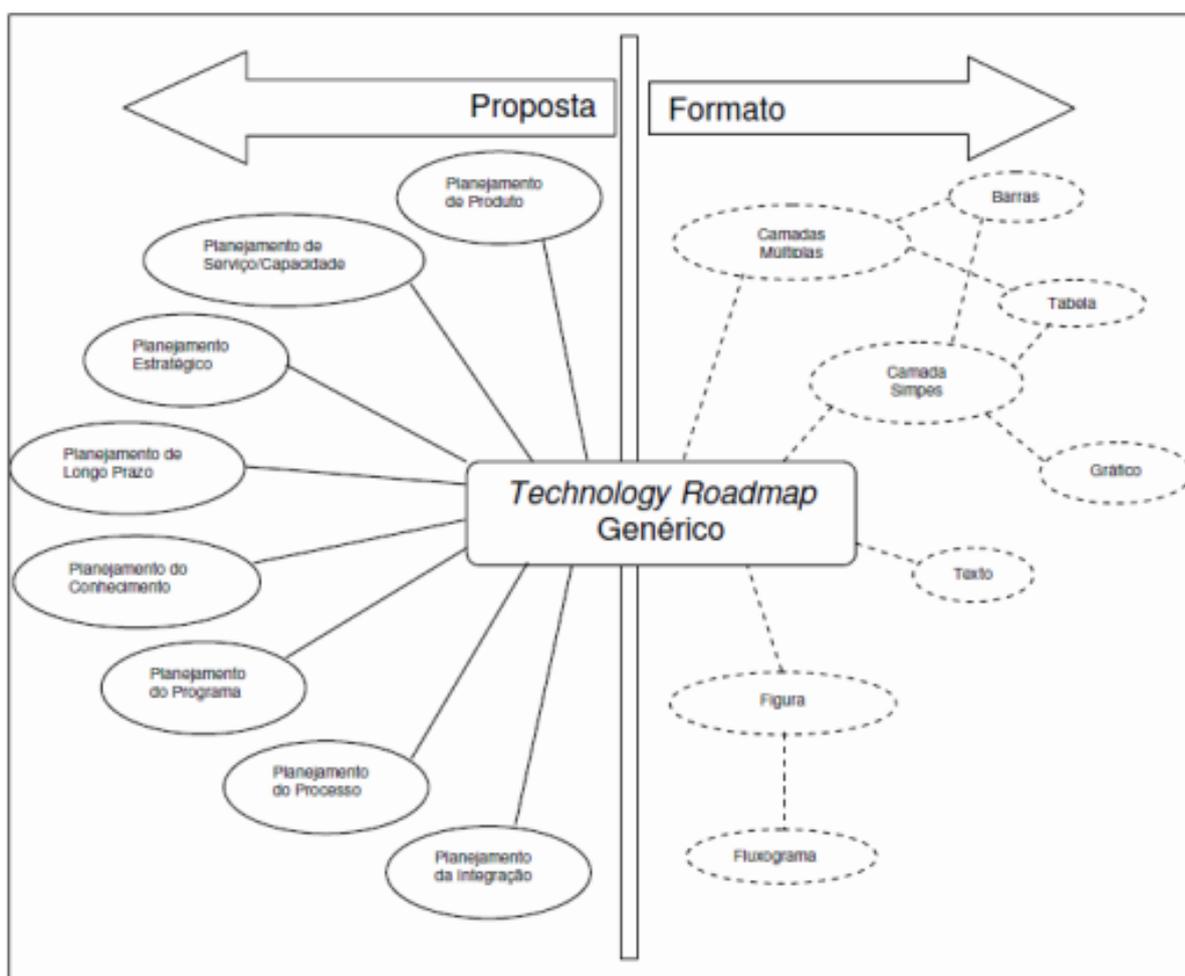


Fonte: SANTOS (2011).

Quanto aos tipos de *Roadmaps*, GARCIA & BRAY (2007) identificaram três: o *Roadmap* de produto, direcionado as necessidades do produto ou do processo; o *Roadmap* de tecnologia emergente, que analisa os cenários atual e futuro dessa nova tecnologia emergente no mercado, sob a perspectiva da dinâmica da competitividade industrial; o *Roadmap* focado em um assunto previamente definido, identificando os problemas resultantes deste e seus desdobramentos para o planejamento estratégico e financeiro de uma companhia.

Um estudo mais completo foi elaborado por PHAAL et al. (2004) para identificar os diversos tipos e formatos de TRM existentes na literatura. Os resultados encontrados estão dispostos na Figura 4.2 e classificados quanto aos diferentes propósitos de planejamento e formatos de *Roadmaps*, foram encontrados um total de oito tipos de *Roadmaps* com propósitos diferentes e oito formatos para a sua representação gráfica.

Figura 4.2 – Classificação dos *Roadmaps* Tecnológicos segundo Phaal et al.

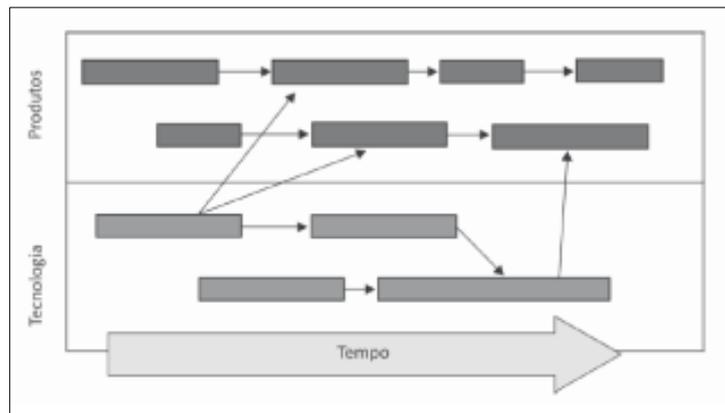


Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

Os tipos de *Roadmap* classificados por suas diferentes propostas de planejamento, encontrados por PHAAL et al. (2004), estão exemplificados e explicados de forma mais detalhada a seguir.

O *Roadmap* apresentado na Figura 4.3 é o tipo mais comumente aplicado, ele está relacionado à inserção de novas tecnologia em grupos ou gerações de produtos, ao longo do tempo. Ele pode ser usado para vincular a tecnologia planejada com a tecnologia necessária para o desenvolvimento dos produtos.

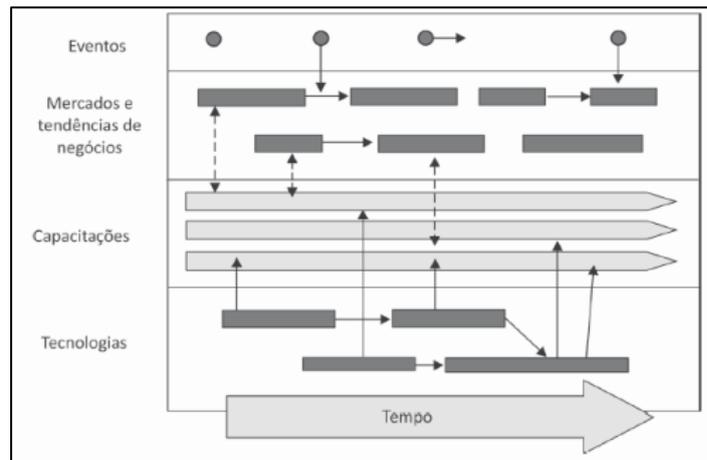
Figura 4.3 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento de Produtos



Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

O tipo de *Roadmap* mostrado na Figura 4.4 é o mais indicado para empresas prestadoras de serviços, relacionado a como a tecnologia auxilia no desenvolvimento dos recursos organizacionais. Este mapa concentra-se nas capacidades organizacionais como a ponte entre a tecnologia e os negócios.

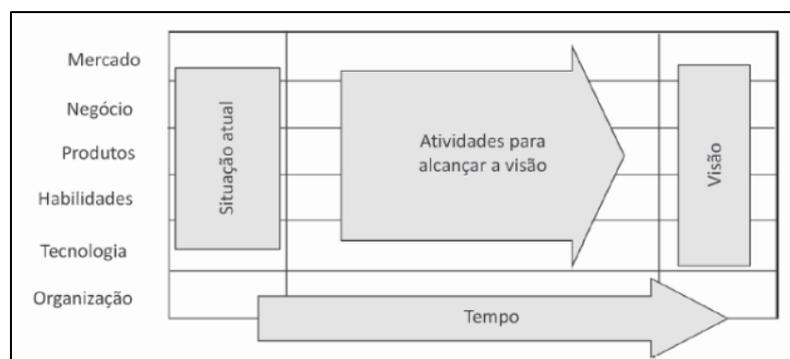
Figura 4.4 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento de Serviços e Capacidades Organizacionais.



Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

A Figura 4.5 apresenta o *Roadmap* focado em planejamento estratégico, que é adequado para uma avaliação estratégica geral, frente à avaliação de diferentes oportunidades ou ameaças, geralmente no nível do negócio. Ele se concentra no desenvolvimento de uma visão dos negócios futuros, em termos de: mercados, negócios, produtos, tecnologias, habilidades, cultura, etc. Ao comparar-se a visão de futuro da organização com a posição atual, identifica-se as lacunas estratégicas existentes e são exploradas opções para eliminá-las.

Figura 4.5 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento Estratégico.

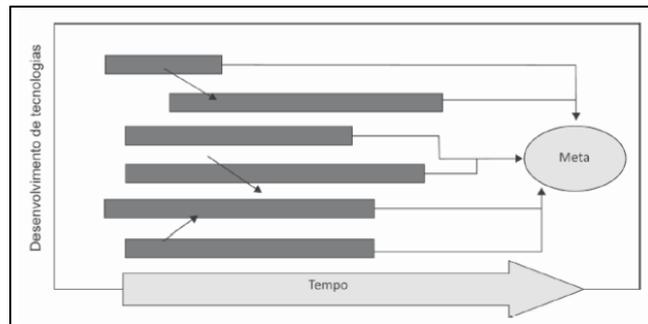


Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

O *Roadmap* esquematizado na Figura 4.6 visa auxiliar no planejamento em longo

prazo, eles são frequentemente realizados no nível setorial e podem atuar como um radar para a organização identificar tecnologias e mercados potencialmente disruptivos.

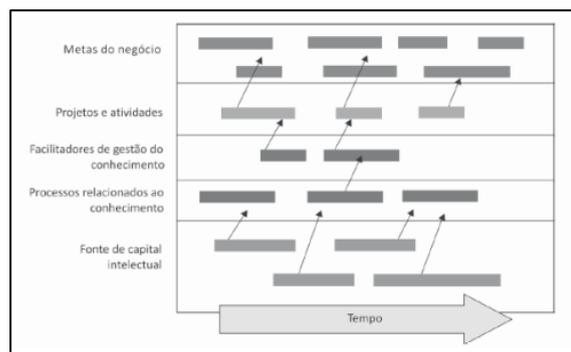
Figura 4.6 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento de Longo Prazo.



Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

Quando se faz necessário o alinhamento entre o capital intelectual da empresa e as iniciativas de gerenciamento de conhecimento aos objetivos do negócio, utiliza-se o *Roadmap* mostrado na Figura 4.7 para o planejamento do conhecimento. Nele, é possível que as organizações visualizem os ativos de conhecimento e suas relações com as habilidades, tecnologias e competências necessárias para atender às demandas futuras do mercado.

Figura 4.7 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento do Conhecimento.

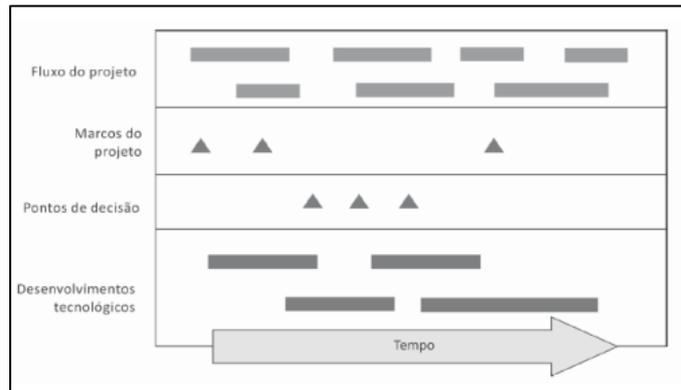


Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

O tipo de *Roadmap* com propósito de planejar os futuros programas ou projetos da empresa está esquematizado na Figura 4.8. Pode-se utilizar esse tipo de *Roadmap* para auxiliar

no gerenciamento de um projeto, explicitando as relações entre o desenvolvimento da tecnologia e as fases e marcos do programa.

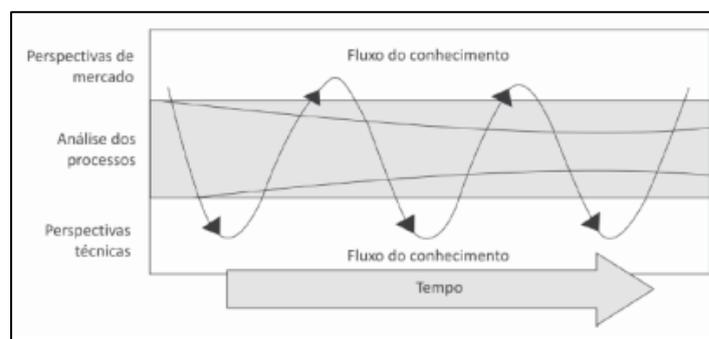
Figura 4.8 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento de Programas/ Projetos.



Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

Na Figura 4.9 é representado o *Roadmap* de planejamento de processos, ele auxilia o gerenciamento de conhecimento, concentrando-se em uma área de processo específica da empresa. Com ele é possível, por exemplo, realizar o planejamento de novos produtos, concentrando-se nos fluxos de conhecimento necessários para facilitar o desenvolvimento e a introdução de novos produtos.

Figura 4.9 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento de Processos.

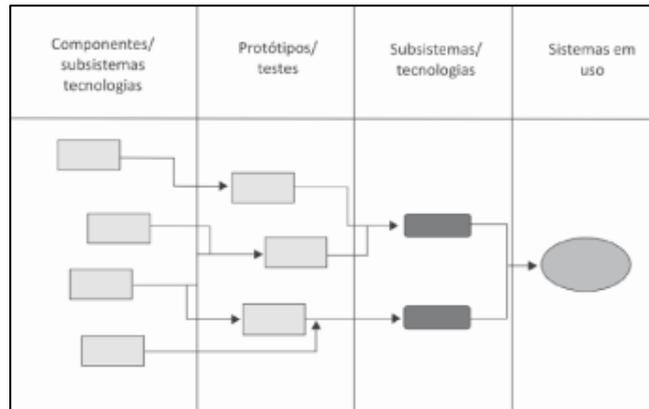


Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

O último tipo de *Roadmap* identificado por PHAAL et al. (2004) está representado na

Figura 4.10. O *Roadmap* do tipo planejamento integrado foca na integração e/ ou evolução da tecnologia, sob o ponto de vista de como diferentes tecnologias se combinam dentro dos produtos e sistemas (normalmente não mostra a dimensão temporal explicitamente).

Figura 4.10 – *Roadmap* Tecnológico – Planejamento Integrado.



Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

Além dos oito tipos de *Roadmaps* explicados anteriormente, diferenciados por seu propósito de planejamento, PHAAL et al. (2004) também identificou oito diferentes formatações que podem ser utilizados para apresentar os *Roadmaps*. A Figura 4.11 mostra alguns exemplos de formatos de *Roadmaps*, e em seguida são descritos todos os oitos formatos mencionados por PHAAL et al. (2004).

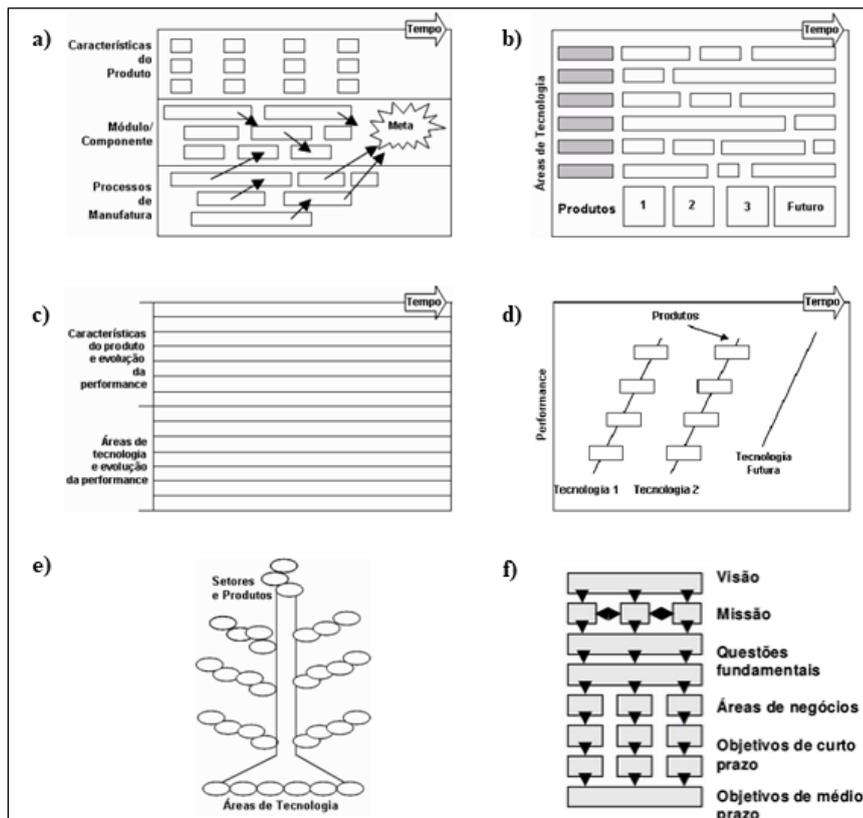
- a) Camadas múltiplas: formato mais utilizado de *Roadmap*, apresenta diversas camadas, geralmente referentes a tecnologia, produto e mercado. É utilizado para representar a evolução temporal de cada camada, além das relações entre as mesmas.
- b) Barras: as camadas dos *Roadmaps* podem ser expressas no formato de barras. A vantagem desse formato é sua simplicidade e unificação das saídas necessárias, que facilita a visualização, a integração dos mapas e o desenvolvimento de software para elaboração do *Roadmap*.
- c) Tabelas: as camadas são representadas por tabelas que exprimem a evolução temporal das características e performance dos produtos e tecnologias. Este tipo de abordagem é particularmente adequado para situações em que o desempenho pode ser prontamente quantificado, ou se as atividades são agrupadas em períodos de tempo específicos.
- d) Gráficos: podem ser utilizados quando for possível a quantificação do desempenho do

produto ou da tecnologia, geralmente cada camada gera um gráfico diferente. Este tipo de gráfico pode ser chamado de curva de experiência e está intimamente relacionado às curvas S¹ da tecnologia.

e) Figuras: forma mais criativa para se apresentar um *Roadmap*, representações gráficas em formato de árvore podem ser utilizadas para demonstrar a evolução temporal dos produtos e tecnologias.

f) Fluxogramas: é um tipo particular de representação por figuras, normalmente utilizados para relacionar objetivos, ações e resultados. Na Figura 4.11(f) é mostrado como a visão da organização pode estar relacionada à sua missão, questões científicas, áreas de negócio primárias, metas de curto e médio prazos.

Figura 4.11 – Exemplos dos diferentes formatos de *Roadmaps* Tecnológicos: a) Camadas Múltiplas, b) Barra, c) Tabela, d) Gráfico, e) Figura, f) Fluxograma.



Fonte: Adaptado de PHAAL et al. (2004) e BORSCHIVER; SILVA (2016).

¹ Curva S: Ferramenta para acompanhamento utilizada na área de gerenciamento de projetos, que demonstra o desempenho da tecnologia em função do esforço (tempo, recurso) demandado.

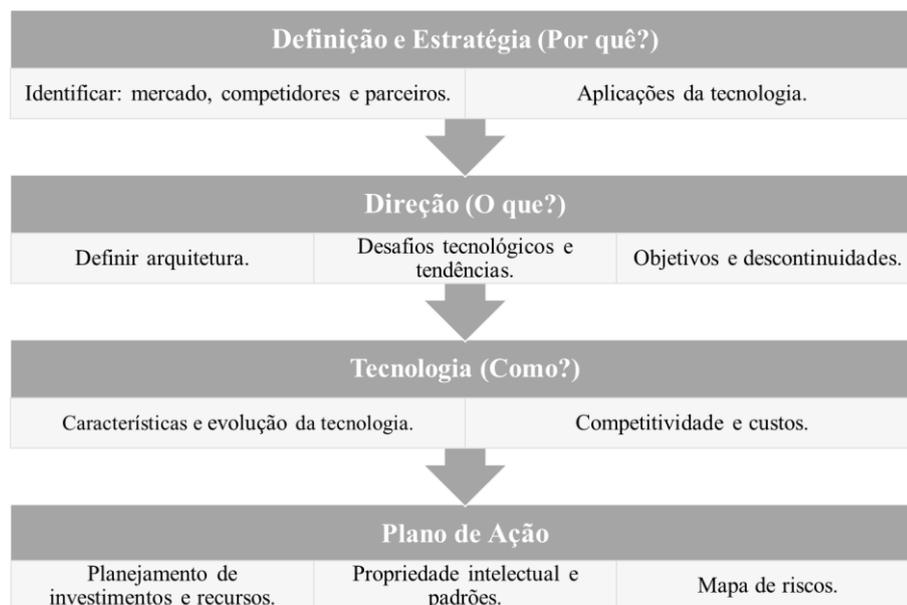
Os outros dois formatos identificados por PHAAL et al. (2004) são a camada simples e o texto. O formato de camada simples é similar ao de camadas múltiplas, porém focando em uma única camada por *Roadmap*, sua desvantagem é não mostrar a relação entre as demais camadas. Por fim, alguns *Roadmaps* podem não possuir nenhuma, ou quase nenhuma, representação gráfica e serem descritos apenas de forma textual.

A escolha de qual tipo e formato de *Roadmap* tecnológico será utilizado depende dos objetivos de cada projeto. Além disso, também é possível utilizar mais de uma abordagem em um único *Roadmap*, de tal forma que as possibilidades de elaboração de um *Roadmap* tecnológico são muitas e a escolha deve ser feita para melhor atender ao seu objetivo final.

4.4. ESTRUTURA DOS ROADMAPS

Para ALBRIGHT & KAPPEL (2003) os *Roadmaps* precisam responder a um conjunto de quatro perguntas (Por quê? O quê? Como? Quando?) com o objetivo de desenvolver um plano de ação para se atingir um objetivo futuro. O Quadro 4.2 descreve a estrutura de *Roadmap* tecnológico proposta por ALBRIGHT & KAPPEL (2003).

Quadro 4.2 - As quatro partes da estrutura do *Roadmap*.



Fonte: Adaptado de ALBRIGHT & KAPPEL (2003).

O primeiro retângulo do Quadro 4.2 corresponde a primeira parte da estrutura do *Roadmap*, que determina sua definição e sua estratégia. Nesta parte são definidos o domínio do roteiro, seus objetivos e sua estratégia para atingir esses objetivos, ou seja, "o porquê" de um *Roadmap*. A definição da estratégia normalmente abrange análises de mercado e de competitividade da empresa, assim como as possíveis aplicações da tecnologia.

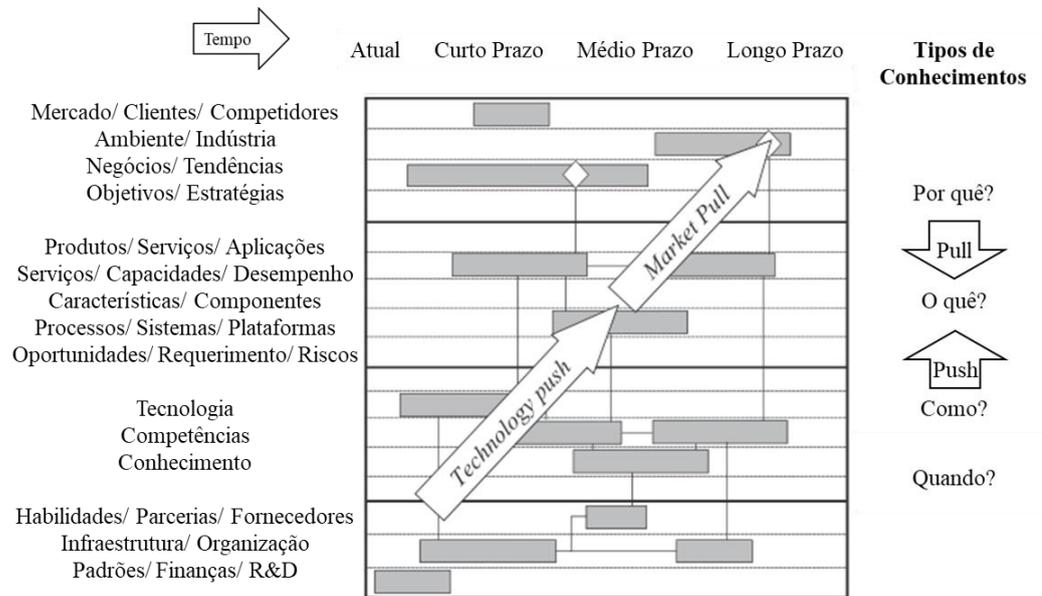
No segundo retângulo, direção, são definidos os planos, ou seja, "o quê" de um *Roadmap*. Esta etapa explora os desafios e as tendências tecnológicas, a arquitetura, a evolução da solução e as metas mensuráveis de desempenho para alcançar o objetivo.

O terceiro retângulo determina a evolução da tecnologia que será utilizada para implementar cada parte da arquitetura definida na etapa anterior, ou seja, o "como" do *Roadmap*.

Por fim, no quarto e último retângulo é proposto o plano de ação, que demonstra quais as ações e recursos necessários para atingir o objetivo, o mapa de risco e qual será a estratégica de investimento. Todas as partes do *Roadmap* são estabelecidas ao longo do tempo, ou seja, sempre respondendo à questão do "quando" (ALBRIGHT & KAPPEL, 2003).

Ainda sobre a questão da estrutura do *Roadmap*, PHALL et al. (2004) propuseram que a sua elaboração pode seguir duas lógicas distintas, para os mecanismos que determinam o desenvolvimento de novas tecnologias: a do *market pull* (puxado pelo mercado) e a do *technology push* (empurrado pela tecnologia). O conceito de *market pull* se refere a lógica de que o mercado determinaria o desenvolvimento de novas tecnologias, por meio da demanda de novos produtos. Por outro lado, o mecanismo *technology push* se refere a geração de novas tecnologias por meio de Pesquisa & Desenvolvimento (R&D), que migrariam para os produtos e posteriormente para o mercado. Sendo assim, a abordagem *market pull* é geralmente utilizada por empresas que desejam elaborar o *Roadmap* voltado para as necessidades dos consumidores finais, enquanto as pesquisas acadêmicas tendem a utilizar a lógica *technology push* (PHAAL et al., 2004), essas abordagens são mostradas na Figura 4.12.

Figura 4.12 – *Roadmap* genérico e as abordagens *market pull* e *technology push*.



Fonte: Adaptado de PHAAL et al (2004) apud LOUREIRO (2010).

As múltiplas camadas do *Roadmap* da Figura 4.12 foram construídas segundo a mesma lógica mencionada pelos atores ALBRIGHT & KAPPEL (2003). A primeira camada define o direcionamento do *Roadmap*, enquanto a camada mais inferior faz referência aos recursos (principalmente, tecnologia) que serão necessários para suprir a demanda proveniente da primeira camada. Ademais, as camadas intermediárias representam o elo entre a primeira e a última camada, ou seja, o que e como será desenvolvido o planejamento para atingir o objetivo desejado e quais os recursos serão necessários para isso.

Como já foi visto, a elaboração de um *Roadmap* tecnológico pode seguir múltiplas abordagens e roteiros. Portanto, a metodologia pode ser adaptada para melhor atender aos objetivos e necessidades do estudo. Segundo PHAAL et al, (2001), os elementos adaptativos mais importantes são:

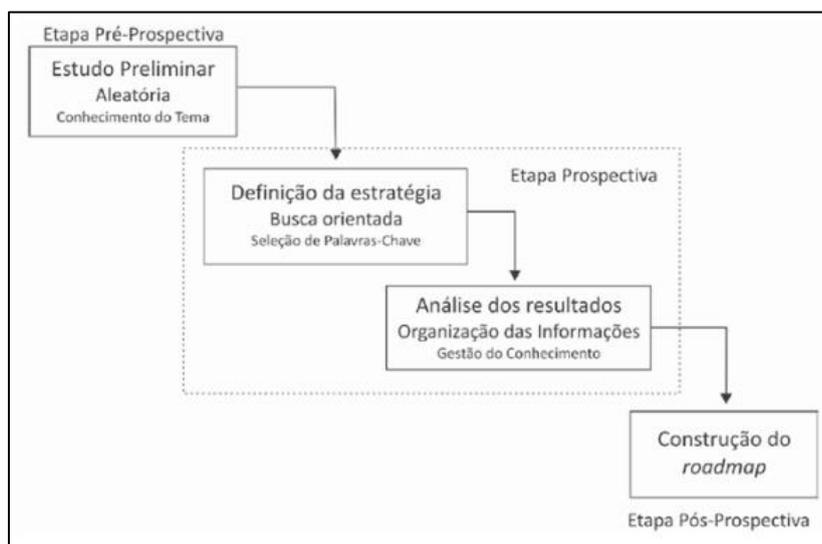
- O horizonte temporal de planejamento, correspondente ao eixo horizontal, o mapa pode ser tanto retrospectivo quanto prospectivo;
- A estrutura do mapa, referente ao eixo vertical, com a definição das múltiplas camadas e subcamadas;
- O processo de construção do mapa, definição do roteiro e quais atividades serão necessárias para a elaboração do *Roadmap*.

4.5. METODOLOGIA ADOTADA PARA A ELABORAÇÃO DO *ROADMAP* TECNOLÓGICO

O *Roadmap* pode ser definido com uma representação gráfica, que organiza e relaciona as informações obtidas a partir da aplicação da metodologia escolhida. Este estudo tem como objetivo identificar as principais tendências na indústria sucroalcooleira, especificamente para a produção de etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar. Para alcançar tal objetivo, inicialmente, foi definida qual abordagem seria utilizada para elaborar o *Roadmap* Tecnológico, de acordo com o modelo do Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos, coordenado pela Profa. Suzana Borschiver.

Dessa forma, a pesquisa foi dividida em três etapas: etapa pré-prospectiva, etapa prospectiva e etapa pós-prospectiva. A Figura 4.13 representa esquematicamente a estratégia empregada na pesquisa, desde a identificação do tema central até a construção do *Roadmap*, que é realizada apenas na etapa final, após a conclusão das demais.

Figura 4.13 – Organização da metodologia para elaboração do *Roadmap* tecnológico.



Fonte: BORSCHIVER; SILVA (2016).

A etapa inicial do processo é a pré-prospectiva, que se refere ao estudo preliminar aleatório sobre o tema. Nessa fase são realizadas diversas buscas aleatórias para se conhecer o estado da arte e o panorama geral do assunto estudado.

A segunda etapa é a prospectiva, que pode ser dividida em duas importantes subetapas. Na primeira subetapa é definida qual será a estratégia utilizada para a realização da busca dos documentos a serem analisados, por meio da seleção das palavras-chave. Em seguida, a busca orientada é efetuada e os resultados são analisados e organizados em quatro períodos temporais distintos:

- (i) Estágio Atual: neste período são identificadas as empresas atuantes no setor atualmente, com tecnologias desenvolvidas em estágio comercial. As informações das principais empresas e universidades identificadas são obtidas por meio de pesquisa em mídias especializadas, websites das organizações e outras publicações que indicam atuação no momento presente;
- (ii) Curto Prazo: este período está atrelado a análise das patentes já concedidas, que, teoricamente, seriam relacionadas a tecnologias em estágio avançado de desenvolvimento. Posto que, um pedido de patente demora alguns anos para ser concedido e durante esse tempo a tecnologia protegida estaria mais próxima de sua fase de comercial;
- (iii) Médio Prazo: nesse caso são analisadas apenas as patentes solicitadas, que correspondem a patentes mais recentes e por isso seriam relacionadas a tecnologias em estágio inferior de desenvolvimento que as de curto prazo;
- (iv) Longo Prazo: no último período é realizado o estudo dos artigos científicos, que representam tendências para futuras tecnologias a serem desenvolvidas, mas por ainda estarem no âmbito acadêmico estariam em fase embrionária.

A pesquisa de patentes é uma forma notoriamente eficiente para verificar o estágio de desenvolvimento de uma determinada tecnologia. Para ALENCAR (2007) os documentos de patentes são a fonte de informação, de caráter tecnológico, mais completa e detalhada do mundo. A patente é um documento público que protege uma invenção e garante ao inventor o direito de utilizá-la de forma exclusiva, por um determinado período de tempo, em um determinado país (PARK, 2009). Segundo o site do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), cerca de 70% das informações contidas nesses documentos não serão divulgadas em nenhum outro local. Dessa forma, a análise de patentes se mostra como uma potente ferramenta para a área de pesquisa em inovação tecnológica, uma vez que por meio dela é possível identificar rotas tecnológicas, parcerias, investidores, processos, produtos, PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação), dentre outras informações.

A busca de patentes pode ser realizada em diversas bases gratuitas, destacam-se: INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), confere acesso de patentes depositadas no Brasil; Espacenet (Escritório Europeu de Patentes), uma das bases mais completas, com patentes de mais de 90 países (Estados Unidos, China, Japão, Coréia do Sul, Alemanha); USPTO (United States Patent and Trademark Office), documentos depositados ou publicados nos Estados Unidos; WIPO (World Intellectual Property Organization), JPO (Escritório Japonês de Patentes). No presente trabalho foram realizadas buscas de patentes nos bancos de dados Espacenet e USPTO.

Outra fonte importante de informação utilizada neste trabalho é o artigo científico. Amplamente utilizado por pesquisadores de todo o mundo para publicar seus trabalhos e resultados de forma rápida, os artigos científicos são reconhecidamente fonte de informação original e de qualidade (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

A base de dados escolhida para a pesquisa de artigos científicas foi a Scopus, base referencial da Editora Elsevier. Esta base é a maior fonte referencial de literatura técnica e científica revisada por pares, permitindo a composição do panorama tecnológico de forma abrangente e confiável (BORSCHIVER; SILVA, 2016). Nesse contexto, a base de dados Scopus foi selecionada levando em conta a sua amplitude e credibilidade, e também, a sua disponibilidade para alunos de Pós-Graduação na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

A segunda subetapa da fase prospectiva consiste na organização e análise dos resultados obtidos na pesquisa, geralmente utiliza-se o software Microsoft Excel[®] para auxiliar neste processo. Esta etapa é essencial para a construção do *Roadmap* Tecnológico, uma vez que é preciso obter o máximo de informação de cada documento encontrado (BORSCHIVER; SILVA, 2016). Para isso, a metodologia empregada é dividida em três níveis de análise:

- (i) Análise Macro: são analisadas as informações primárias dos documentos, como ano de publicação, país de origem, autor ou depositante, tipo de autor ou depositante;
- (ii) Análise Meso: os documentos são classificados segundo os aspectos mais relevantes acerca da tecnologia estudada, nesta etapa é realizada a leitura dos resumos;
- (iii) Análise Micro: nesta fase da prospecção são identificadas características mais detalhadas de cada taxonomia determinada na análise Meso, por meio de uma

leitura mais aprofundada de cada documento.

A terceira e última fase da metodologia é a Pós-Prospectiva, nela as informações obtidas nas análises anteriores são estruturadas em um mapa: o *Roadmap* Tecnológico. O mapa é composto por uma representação gráfica, em um horizonte temporal definido, de múltiplas camadas e subcamadas. As camadas foram identificadas durante a análise Meso e correspondem as taxonomias, enquanto as subcamadas foram definidas durante a análise Micro e correspondem a características mais aprofundadas das taxonomias.

Portanto, o modelo escolhido para construção do *Roadmap* foi o modelo genérico proposto por PHALL et al. (2004), composto por múltiplas camadas e subcamadas (mercado, produto e tecnologia) e sua evolução ao longo do tempo. Além disso, a partir da classificação sugerida por GARCIA & BRAY (2007) define-se que este estudo utiliza a proposta de *Roadmapping* orientado pela tecnologia, que identifica as tendências tecnológicas a partir dos documentos de patentes e artigos científicos.

5. FASE PRÉ- PROSPECTIVA: ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

A produção do etanol de segunda geração se mostra com uma alternativa viável para a otimização do processo de produção do etanol de primeira geração, ou até mesmo como reaproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar resultante da produção de açúcar. Além do bagaço da cana, o etanol 2G (etanol de segunda geração) pode ser produzido também a partir da palha, composta pelas folhas e pontas da cana-de-açúcar.

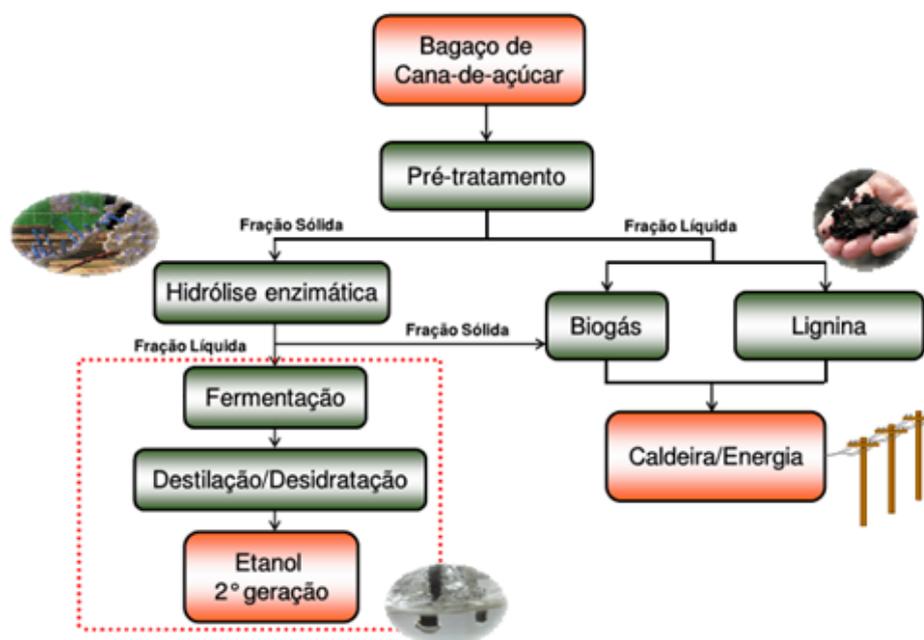
A palha é queimada para facilitar a colheita da cana, esse processo vem sendo substituído gradativamente pela colheita mecanizada. No Estado de São Paulo, desde janeiro de 2018, foi proibida a queima da palha, entretanto os pequenos agricultores que vivem da colheita manual ainda utilizam esta técnica (USINAS...,2017). Essa proibição expande as oportunidades para a produção de etanol 2G, visto que aumenta a disponibilidade de matéria-prima.

Sob o ponto de vista ambiental, o aproveitamento de resíduos oriundos da agroindústria é extremamente positivo. Sob o ponto de vista econômico, o desenvolvimento de novas tecnologias e o melhoramento das atuais faz-se necessário para que as biorrefinarias de segunda geração desenvolvam um balanço energético favorável (Macedo et al., 2008). Atualmente, a produção de etanol 2G apresenta gargalos importantes em questão de viabilidade econômica, como os custos com transporte da matéria-prima, pré-tratamento e eficiência da fermentação. Empresas como a Novozymes, a Oxiteno, Raízen, Braskem e a Petrobrás tem investindo em pesquisas para melhorar a produção desse biocombustível. (MARQUES, 2011; SIMS et al., 2010).

Sob o ponto de vista de demanda energética, a produção de etanol 2G também se apresenta como uma alternativa para suprir a crescente busca por combustíveis renováveis, uma vez que o etanol 1G não conseguiria atender a essa demanda isoladamente. As tecnologias de produção do etanol 1G encontram seu obstáculo no seu processo já muito bem consolidado e desenvolvido, com poucas margens para melhorias quanto a eficiência. Sendo, portanto, necessária a expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar para aumentar seu volume produzido, o que vai de encontro a questões ambientais e a questão da reforma agrária brasileira, que se arrasta por décadas. Posto isto, a produção do etanol 2G com aproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar, palha e bagaço, torna-se uma solução viável para suprir essa demanda por biocombustíveis.

A Figura 5.1 apresenta um fluxograma que ilustra as etapas necessárias para o reaproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar.

Figura 5.1 - Fluxograma das etapas para utilização do bagaço da cana-de-açúcar e produção de etanol 2G.



Fonte: Adaptado de RABELO (2010).

A partir da Figura 5.1 percebem-se semelhanças entre a produção do etanol 1G e o 2G, sendo possível assim o compartilhamento das operações unitárias dos dois processos, no caso das etapas de fermentação e destilação.

A diferença entre o processo de produção do etanol 1G para o 2G reside nas etapas de pré-tratamento e hidrólise, que transformam a celulose e a hemicelulose em açúcares fermentescíveis (RABELO, 2010). A hidrólise da celulose resulta na glicose, açúcar de fácil fermentação, ao passo que na da hemicelulose gera-se pentoses, cuja técnica de fermentação ainda se encontra em estágio embrionário.

5.1. A BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

As biomassas lignocelulósicas representam a matéria-prima mais abundante em nosso planeta, tornando-se extremamente atrativas para produção dos biocombustíveis renováveis. Durante a produção de açúcar e etanol 1G gera-se, aproximadamente, 280 Kg de bagaço por tonelada de cana processada; esse valor depende do teor de fibra da cana processada, que apresenta, em média, 46% de fibra e 50% de umidade (ALCARDE,2009).

Grande parte desse bagaço gerado é queimado para geração de energia e calor para a própria indústria. Entretanto, existe ainda um excedente que gera problemas ambientais e de armazenamento. No Brasil, estima-se que o setor sucroenergético gere, aproximadamente, 6,6 milhões de toneladas de bagaço de cana excedente e 76 milhões de toneladas de palha (MAPA, 2018).

Tanto o excedente de bagaço produzido quanto a palha residual, cuja queima encontra-se proibida, podem ser utilizadas para a produção de etanol 2 G em larga escala. O percentual composicional da palha e da cana-de-açúcar está descrito na Tabela 5.1, pode-se observar que ambos são constituídos por três componentes principais: celulose, hemicelulose e lignina.

Tabela 5.1 – Percentual de composição das biomassas lignocelulósicas palha e bagaço da cana-de-açúcar.

Biomassa Lignocelulósica	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
Palha da cana	40 - 44	30 - 32	22 - 25
Bagaço da cana	32 - 48	19 - 24	23 - 32

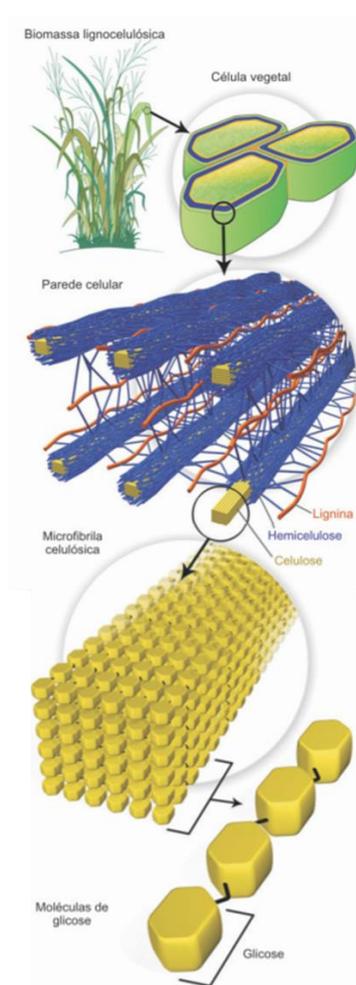
Fonte: Adaptado de SANTOS (2018).

Um dos grandes desafios para tornar a produção de etanol 2G viável é a etapa de produção da glicose a partir da hidrólise da celulose. A diminuição do custo total, aumento do rendimento e qualidade da glicose gerada são os principais gargalos dessa fase.

A estrutura da parede celular da cana-de-açúcar é mostrada na Figura 5.2, seus componentes são dispostos de forma que as cadeias de celulose e hemicelulose sejam “coladas” pela lignina. Na celulose, as cadeias de glicose são unidas por forças de Van der Waals e por

ligações de hidrogênio, formando uma estrutura cristalina denominada de fibrila elementar (BIDLACK et al., 1992). A união das fibrilas elementares dá origem as Microfibrilas de celulose, que contribuem para a rigidez da parede celular. A lignina se posiciona ao redor das Microfibrilas para fixar seus elementos, ela atua como uma barreira física contra a invasão de Microrganismos e água. Por fim, a hemicelulose compõe a rede fibrosa ao se ligar às Microfibrilas e garantir a sua elasticidade, impedindo que elas entrem em contato uma com a outra (RAMOS, 2003).

Figura 5.2 - Representação da estrutura celular da biomassa lignocelulósica.



Fonte: SANTOS et al. (2012)

Assim sendo, as duas maiores barreiras que dificultam a hidrólise da celulose na biomassa lignocelulósica são a compactação das cadeias de celulose em Microfibrilas e a atuação da lignina como obstáculo físico, dificultando o ataque das enzimas.

Tal como a celulose, as hemiceluloses também são compostas por polissacarídeos e podem ser hidrolisadas para a obtenção de açúcares fermentescíveis. Entretanto, elas não produzem glicose, mas sim diferentes tipos de açúcares como a xilose, presente em maior quantidade após a hidrólise da hemicelulose. Devido a sua composição heterogênea, a hemicelulose é mais propensa à hidrólise ácida do que a celulose (LIMA, 2013).

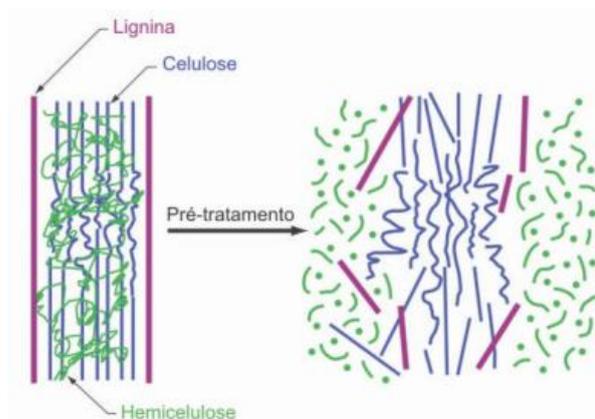
Outro componente abundante na biomassa lignocelulósica é a lignina, esta não possui moléculas de açúcares, desta forma não pode ser utilizada na produção do etanol 2G (ANDRADE, 2014). Essa substância costuma ser queimada para cogeração de energia, entretanto são estudados outros destinos para ela, como: na indústria de construção civil, ração animal, pesticidas, fluidos para exploração e produção de petróleo, emulsificantes e umectantes, entre outros (SANTOS, 2011).

Para produzir o etanol 2G a biomassa precisa passar quatro etapas básicas: (1) Pré-tratamento, onde rompe-se a estrutura cristalina da celulose (2) Hidrólise ou Sacarificação, ocorre a hidrólise dos polissacarídeos para produção de açúcares fermentescíveis (3) Fermentação, conversão dos açúcares em etanol e (4) Destilação, por meio da volatilização separa os componentes do produto final (SANTOS, 2014). As etapas de pré-tratamento, hidrólise e fermentação serão descritas nos tópicos subsequentes.

5.2. PRÉ-TRATAMENTO

Como já foi visto no subtópico anterior sobre biomassa lignocelulósica, a celulose encontra-se protegida em uma estrutura cristalina coberta por lignina. Deste modo, a celulose se torna pouco suscetível à hidrólise, necessitando assim de um pré-tratamento para quebrar essa estrutura cristalina, remover a lignina e expor a celulose e a hemicelulose. A representação gráfica do efeito do pré-tratamento na biomassa lignocelulósica está apresentada na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Representação esquemática de como o processo de pré-tratamento modifica a biomassa lignocelulósica.



Fonte: SANTOS et al. (2012).

A etapa de pré-tratamento tem grande impacto no custo total da produção, além disso, a qualidade e quantidade dos seus produtos e subprodutos refletem diretamente no custo e rendimento das etapas subsequentes. (MOSIER et al., 2005). O resultado dessa etapa precisa ser extremamente eficiente para garantir o bom rendimento das etapas posteriores, quanto mais celulose se tornar acessível para a hidrólise melhor será o resultado final do processo de produção de etanol 2G (BAUDEL, 2006). A hidrólise, quando realizada sem o anterior pré-tratamento, atinge apenas um rendimento menor do que 20% (ARAÚJO et al., 2013).

A biomassa lignocelulósica pode sofrer quatro tipos de pré-tratamento diferentes: químicos, físicos, biológicos ou uma combinação destes. A escolha de qual via será utilizada depende muito das características intrínsecas da matéria-prima, como por exemplo o grau de coalescência entre celulose, hemicelulose e lignina e o objetivo que se deseja atingir com o pré-tratamento. O Quadro 5.1 apresenta alguns pré-tratamentos comumente utilizados, assim como suas características quanto ao efeito em cada substância da biomassa, vantagens e desvantagens.

Quadro 5.1 - Resumo dos tipos de pré-tratamento, suas características, vantagens e desvantagens.

Pré-tratamentos		Celulose	Hemicelulose	Lignina	Vantagens	Desvantagens
Físico	Moinho com esferas/martelo	Grande diminuição do grau de cristalinidade	Inerte	Inerte	Redução da cristalinidade	Alto consumo de energia
Químico	Ácido	Pouca despolimerização	80 – 100% de remoção	Pouca remoção	Média/ alta produção de xilose	Ácido não-recuperável, corrosivo e alto custo
	Hidróxido de Sódio	Inchação significativa	Considerável solubilidade	Solubilização >50%	Remoção efetiva de ésteres	Reagente de alto custo
	ARP	Despolimerização <5%	50% de solubilidade	70% de solubilização	Efetiva deslignificação	Recuperação alcalina, alto custo
	Hidróxido de Cálcio	Pouca despolimerização	Considerável solubilidade	Solubilização de 40%	Efetiva deslignificação, baixo custo	Baixa solubilidade da cal
	Organosolv	Considerável inchação	Solubilização quase completa	Solubilização quase completa	Alta produção de xilose, remove a lignina	Alto custo
	Ozonólise	Inerte	Pouca solubilização	Solubilização >70%	Efetiva deslignificação	Alto custo
Biológico	Micro-biológico	20-30% de despolimerização	Solubilização >80%	40% de deslignificação	Baixo uso de energia, efetiva deslignificação	Perda de celulose, baixa taxa de hidrólise
Combinado	Explosão a vapor	Pouca despolimerização	80 – 100% de remoção	Pouca remoção	Baixo consumo de energia, zero custo de reciclagem	Degradação da xilana
	AFEX	Diminuição do grau de cristalinidade	Solubilização >60%	10 – 20% de solubilização	Menor perda de xilanas, sem formação de inibidores	Não efetivo para alta concentração de lignina

Fonte: Adaptado de Rabelo (2010) e Santos (2018).

Os pré-tratamentos mais utilizados e estudados na literatura serão descritos de forma mais detalhada a seguir.

5.2.1. Pré-tratamentos físicos:

A biomassa pode ser triturada por esmerilhamento, corte e moagem. Alguns exemplos de tipos de moagem são: moagem com martelo ou esferas, por compressão e por esferas de agitação. Esses tratamentos melhoram a digestibilidade da biomassa, uma vez que o trituramento mecânico auxilia no rompimento da cristalinidade da celulose, diminui o grau de polimerização e aumenta a área superficial da biomassa, quebrando-a em partículas menores e tornando o substrato mais acessível a hidrólise enzimática. Entretanto, a mecânica da moagem é demorada, consome muita energia e é cara, além disso, ela é muito menos eficaz do que os pré-tratamentos químicos, uma vez que não resulta na remoção de lignina. Dessa forma, esse pré-tratamento não costuma ser utilizado de forma isolada (ZHENG, 2009).

5.2.2. Pré-tratamento ácido

Nesse tipo de pré-tratamento, como o próprio nome remete, utiliza-se soluções ácidas para reagir com a biomassa e quebrar sua estrutura cristalina. Os tipos mais comuns de ácidos empregados são: ácido acético, clorídrico, nítrico e sulfúrico, sendo este último o mais utilizado. Embora os ácidos fracos sejam menos eficientes na quebra da estrutura celulose-lignina, eles são menos tóxicos e mais facilmente recuperáveis, diminuindo o custo do processo (BRONZATO, 2016).

Além da variação na escolha dos ácidos, a concentração da solução também é um fator que modifica o processo como um todo, uma vez que podem ser utilizadas tanto soluções concentradas como diluídas dos ácidos. Essa escolha depende das condições de temperatura desejadas, tendo em vista que nas soluções diluídas trabalha-se sob altas temperaturas, enquanto que nas soluções concentradas trabalha-se sob baixas. (SATYANAGALAK SHMI et al., 2011).

5.2.3. Pré-tratamento alcalino

O mecanismo de funcionamento desse processo é por meio do inchamento e diminuição da cristalinidade, que ocorrem quando a celulose entra em contato com a base

utilizada. As forças intermoleculares da celulose são enfraquecidas e/ou rompidas devido à solvatação, tornando as moléculas mais reativas e facilitando o contato do agente enzimático com a celulose, durante a etapa de hidrólise. Esse tipo de pré-tratamento utiliza temperaturas e pressões mais moderadas, se comparado aos demais (MOSIER et al., 2005).

As bases mais utilizadas para esse tipo de pré-tratamento são: hidróxido de sódio, hidróxido de cálcio, amônia e ureia. O hidróxido de sódio produz o resultado mais eficiente, mas por ser de difícil recuperação e relativamente caro, pode não ser a melhor opção. Por ser uma substância volátil, a amônia pode ser facilmente recuperada, mas seu custo é alto. Quanto a ureia, é um reagente de fácil utilização, mas também possui alto custo e é menos eficiente que as demais. Por esses motivos, estão sendo desenvolvidos estudos com o uso do hidróxido de cálcio, uma vez que ele possui todas as vantagens das demais combinadas: baixo custo, recuperável e de fácil utilização (MAAS, 2008).

5.24. ARP (*Ammonia Recycled Percolation*)

O processo denominado ARP (*Ammonia Recycled Percolation* ou *Percolação com Reciclo de Amônia*) acontece quando a biomassa lignocelulósica é disposta em um reator, e então, exposta a uma corrente contínua de amônia em solução aquosa, na concentração de 5 a 15% p/p. Dessa forma, a amônia e a lignina, presentes na biomassa, reagem e ocorre a quebra da ligação lignina-celulose, essa reação é chamada de amonólise. Essa reação ocorre sob altas temperaturas, nas quais a boa seletividade reativa da amônia promove as reações de deslignificação, enquanto os carboidratos permanecem inertes. Ao final do processo, a amônia pode ser reciclada com o intuito de torná-lo mais barato e cíclico (WYMAN, 2001).

5.25. Organosolv

O tratamento denominado Organosolv, foi inicialmente desenvolvido para acionar a celulose de madeiras no processo de fabricação de papel, entretanto, estudos recentes demonstram que ele também pode ser considerado como um promissor pré-tratamento para a conversão da biomassa lignocelulósica. Os resultados indicaram que substratos pré-tratados com o processo com Organosolv, assim denominado por utilizar solventes orgânicos, possuem

maior digestibilidade enzimática do que aqueles pré-tratados com processos alternativos, incluindo-se neste resultado os substratos com alto teor de lignina residual (LAN, 2018). Além disso, este processo produz uma corrente de açúcar derivada de hemicelulose e uma fração de lignina de alta qualidade, que tem uso potencial em várias aplicações industriais (PICCININO, 2018).

Nesse processo são utilizados, na maioria das vezes, os seguintes solventes orgânicos: metanol, etanol, acetona, etileno e glicerol, juntamente com catalisadores ácidos, como ácido clorídrico ou sulfúrico. Após o pré-tratamento, os solventes são reciclados via destilação e removidos do reator. O reciclo dos solventes auxilia tanto na redução de custos, tendo em vista o alto valor dos solventes, quanto para evitar que eles inibam a reprodução de Microrganismos durante a fermentação (HAMELINCK et al., 2005).

As vantagens do organsolv são: a fácil recuperação dos solventes orgânicos e o isolamento da lignina como um material sólido e dos carboidratos como xarope. Por esses motivos, esse pré-tratamento é recomendado para biorrefinarias que consideram a utilização de todos os componentes da biomassa. No entanto, as desvantagens são a necessidade de lavagem dos sólidos, para evitar nova precipitação de lignina dissolvida; o custo dos solventes orgânicos, demandando sempre seu reciclo, gerando aumento do gasto de energia; controle rigoroso do processo devido à volatilidade dos solventes (LAN, 2018).

5.2.6. Ozonólise

O ozônio reage preferencialmente com a lignina do que com os carboidratos, promovendo a desestruturação e deslignificação da biomassa, e assim também a liberação de açúcar pela hidrólise enzimática. Os ácidos carboxílicos de cadeia curta são os principais compostos inibitórios gerados, sendo devidamente removidos por lavagem com água. Os compostos inibitórios mais comuns relatados com outros pré-tratamentos, furfural e HMF (5-hidroximetilfurfural), não são encontrados após o tratamento com ozônio. A composição da biomassa tratada e o consumo de ozônio depende de vários parâmetros do processo, como: projeto do reator, teor de umidade, tamanho de partícula, pH, tempo de reação, fluxo de ozônio/ar e concentração de ozônio. Estudos adicionais são necessários para esclarecer o efeito dos parâmetros do processo e otimizar o processo para alcançar altos rendimentos com viabilidade econômica (TRAVAINI, 2016).

5.2.7. Pré-tratamento Microbiológico

O pré-tratamento biológico emprega o uso de Microrganismos, principalmente fungos e bactérias para modificar a composição química e a estrutura da biomassa lignocelulósica, de modo que a biomassa modificada se torne mais sensível a ação da hidrólise e fermentação. Os diferentes tipos de fungo têm degradação distinta, determinada pelo tipo de biomassa lignocelulósica tratada. Esses Microrganismos produzem enzimas que auxiliam na remoção de grande parte da lignina da biomassa (ZHENG, 2009).

O pré-tratamento Microbiológico parece ser promissor e tem vantagens muito evidentes: não exige tratamentos químicos, pouco consumo de energia e condições de temperatura e pressão ambientes. No entanto, o pré-tratamento biológico é muito lento e requer um controle cuidadoso das condições de crescimento e amplo espaço para executá-lo. Além disso, a maioria dos Microrganismos lignolíticos solubilizam/ consomem não apenas lignina, mas também a hemicelulose e a celulose (BRONZATO, 2016).

5.2.8. Explosão a vapor

O pré-tratamento do tipo explosão a vapor pode ser catalisado por ácido ou não. Se ele não for catalisado é considerado um pré-tratamento apenas físico, se o ácido for utilizado então pode ser classificado como uma combinação do físico com químico. Em ambos os casos, a biomassa é colocada em um reator e submetida a um tratamento com vapor, à pressão e temperatura elevada (normalmente entre 160 a 240°C), durante um curto intervalo de tempo. Posteriormente, a súbita redução de pressão leva a um rápido aumento na temperatura e a estrutura lignocelulósica é rompida, além disso ocorre também a solubilização da hemicelulose (TENGBORD, 1999).

O mecanismo desse tratamento é similar ao da AFEX, uma vez que a descompressão súbita causa a condensação e explosão das fibras de biomassa (SAAD, 2010). Essa explosão, além de romper as ligações hemicelulose-celulose-lignina, também promove a hidrólise dos polissacarídeos por auto-hidrólise, especialmente na hemicelulose, e a remoção total da lignina. Nesse caso a lignina não pode ser aproveitada para outros fins. (SUN, 2002).

O processo de explosão a vapor não catalisado apresenta um custo inferior comparado

aos tratamentos químicos e maior eficiência na degradação da lignina. Esse processo, por não fazer uso de adição de substâncias química, apresenta um consumo reduzido de água, o que possibilita o uso de reator mais barato (SAAD, 2010).

A explosão a vapor catalisada com ácido é ocorre de forma similar à não catalisada. A grande diferença está na utilização de ácidos (gases e líquidos), como SO₂, H₂SO₄, CO₂ e ácido oxálico, que são impregnados na biomassa antes da explosão a vapor. Ele também é reconhecido como um dos melhores processos de pré-tratamento, com boa relação custo-benefício. A vantagem do tratamento com ácido é a completa remoção hemicelulósica, levando ao aumento da digestibilidade enzimática da biomassa com menor geração de compostos inibitórios. O SO₂ parece mais atraente que o H₂SO₄, uma vez que é mais barato, produz mais xilose e mais substrato com alta fermentabilidade. No entanto, o SO₂ é altamente tóxico e pode apresentar problemas de segurança, saúde e impactos ambientais (ZHENG, 2009).

5.2.9. AFEX (*Ammonia Fiber/ Freeze Explosion/ Expansion*)

Como foi visto, a utilização de qualquer pré-tratamento tem suas vantagens e desvantagens, sendo assim são estudados os resultados da utilização de alguns dos tratamentos anteriores em conjunto. Um exemplo disso é o denominado AFEX, (*Ammonia Fiber/ Freeze Explosion/ Expansion* ou Explosão/ Expansão via congelamento/da fibra com amônia), que combina o mecanismo do tratamento de explosão a vapor com a utilização da base de amônia. Nele, a biomassa é exposta a amônia líquida, sob alta pressão e temperatura, por um período de tempo e, em seguida, a pressão é subitamente reduzida (ANDRADE, 2015). Esta rápida redução de pressão quebra a estrutura da biomassa lignocelulósica levando ao aumento da digestibilidade da biomassa. O pré-tratamento simultaneamente remove a lignina e solubiliza a hemicelulose, enquanto quebra a estrutura cristalina da celulose, mas não remove significativamente a hemicelulose como os pré-tratamentos que utilizam soluções ácidas (MOSIER, 2005).

No entanto, a AFEX possui eficiência moderada e não é atraente para a biomassa com alto teor de lignina. As vantagens importantes do processo denominado AFEX incluem: produção insignificante de inibidores para os processos biológicos a jusante, portanto a lavagem com água é não é necessária; e não requer redução do tamanho da partícula. No entanto, a amônia deve ser reciclada após o pré-tratamento, com base nas considerações tanto do custo

quanto da proteção ambiental (ZHENG, 2009).

5.3. HIDRÓLISE DA BIOMASSA

A hidrólise da biomassa lignocelulósica, com o objetivo de quebrar a celulose e a hemicelulose em açúcares fermentescíveis, pode ser realizada por meio de duas diferentes rotas tecnológicas: via hidrólise ácida e via hidrólise enzimática.

A hidrólise ácida pode utilizar tanto ácidos diluídos, sob altas temperaturas (por volta de 200°C), quanto concentrados, sob temperaturas mais moderadas (em torno de 40°C). Os ácidos decompõem os polímeros de celulose e hemicelulose para formar moléculas de açúcar que podem ser fermentadas em etanol (WYMAN, 1994). É importante notar que a hemicelulose é mais facilmente hidrolisada do que a celulose (ZADIVAR, 2001). As vantagens da hidrólise ácida são que o ácido pode penetrar na lignina sem necessidade de pré-tratamento e que ela ocorre de forma mais rápida que a hidrólise enzimática, por outro lado, a glicose também degrada rapidamente sob condições ácidas (WYMAN, 1994).

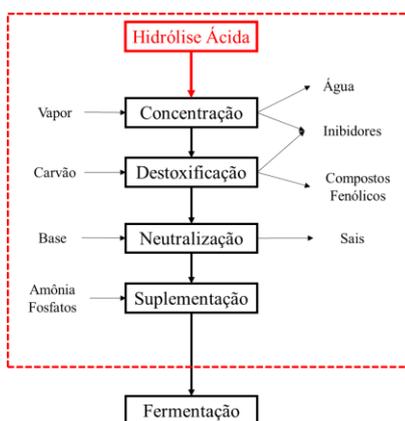
O processo de hidrólise ácida emprega normalmente ácido sulfúrico e ácido clorídrico em concentrações de 1 a 10%, usando uma temperatura moderada (na faixa de 100-150°C). Entretanto, nestas condições operacionais relativamente moderadas, a hidrólise se prova menos eficaz quanto a formação de hexoses (LENIHAN, 2010). Isto se deve a decomposição dos monossacarídeos em compostos menos desejáveis durante a hidrólise. Estes compostos incluem o furfural, um produto da desidratação de pentoses e hidroximetilfurfural (HMF), um produto da desidratação de hexoses. Estes compostos juntamente com o ácido acético, que se forma durante a decomposição inicial das hemiceluloses, inibem a fermentação posterior, levando a uma redução na quantidade de etanol produzido. A produção destes inibidores aumenta quando a hidrólise ocorre sob temperaturas mais altas e com ácidos mais concentrados (HAMELINCK, 2005).

Outro ácido que também pode ser utilizado para a hidrólise é o ácido fosfórico, que é menos agressivo que outros ácidos e resulta em soluções com menores concentrações de inibidores de crescimento dos Microrganismos (AGUILAR, 2002).

Os hidrolisados obtidos após a hidrólise ácida precisam ser processados antes de serem adicionadas a etapa de fermentação. Em geral, as seguintes operações fazem-se necessárias:

concentração, remoção da toxicidade, neutralização e suplementação com nutrientes. Os quatro processos estão ilustrados na Figura 5.4 e explicados em seguida.

Figura 5.4 – Esquema das etapas necessárias após a hidrólise ácida.



Fonte: Adaptado de LENIHAN (2010).

A concentração de hidrolisados por evaporação é realizada para aumentar a concentração de açúcar. Nesta operação, além da água, pequenas quantidades de inibidores de crescimento, como ácido acético, furfural e HMF são removidos. Uma operação de destoxificação por adsorção com carbono ativo (carvão) também pode auxiliar na remoção dos inibidores de crescimento citados anteriormente. Nessa operação, os compostos fenólicos provenientes da lignina também são removidos (HAMELINCK, 2005). Na operação de neutralização, adiciona-se substâncias com caráter alcalino que neutralizam os ácidos dos hidrolisados, formando sais. Estes sais têm baixa solubilidade e são normalmente removidos por filtração. Finalmente, os hidrolisados são suplementados com vários nutrientes para se tornarem um meio de fermentação favorável, com os nutrientes necessários ao crescimento dos Microrganismos (AGUILAR, 2002).

A outra rota tecnológica que pode ser utilizada para hidrolisar a biomassa lignocelulósica é a hidrólise enzimática, onde essa é primeiramente pré-tratada para facilitar o ataque enzimático das celulases e hemicelulases. Esse tipo de hidrólise resulta em uma maior concentração de açúcares fermentescíveis e conseqüente menor formação de subprodutos. Porém, a utilização de enzimas específicas em alta concentração para a liberação dos açúcares encarece o processo (WYMAN, 1994). As rotas enzimáticas são mais vantajosas que as ácidas, uma vez que possuem maior taxa de conversão da biomassa em etanol e contam com maior

possibilidade de aprimoramento, uma vez que as enzimas podem sempre sofrer melhorias bioquímicas. Sendo assim, devido a maior complexidade do processo, o mesmo será mais detalhado no tópico a seguir.

5.3.1. HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

A hidrólise enzimática da celulose é realizada por enzimas celulolíticas que são altamente específicas (BÉGUIN e AUBERT, 1994). Os produtos da hidrólise são geralmente açúcares redutores, como a glicose. O custo do processo da hidrólise enzimática, excluindo-se o custo com as enzimas, é baixo, quando comparada com a hidrólise ácida, uma vez que a hidrólise enzimática é geralmente realizada em condições amenas (pH 4,8 e temperatura 45-50° C) e não enfrenta problemas de corrosão (DUFF E MURRAY, 1996).

Tanto as bactérias como os fungos podem produzir enzimas para a hidrólise de materiais lignocelulósicos. As celulasas são as enzimas que hidrolisam a celulose. Enquanto as enzimas que hidrolisam a hemicelulose podem ser classificadas como hemicelulasas, que devido as suas características heterogêneas, a depender do açúcar a ser produzido podem ser subdividas em: xilanases, mananases, glucanases e galactanases (POWER, 2011).

Bactérias pertencentes aos gêneros: *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Thermomonospora*, *Ruminococcus*, *Bacteriodes*, *Erwinia*, *Acetovibrio*, *Microbispora* e *Streptomyces* podem produzir celulasas e hemicelulasas (BISARIA, 1991). Embora existam diversas bactérias, especialmente as anaeróbicas, com capacidade para produzir celulasas com altamente específica, como eles possuem uma taxa de crescimento muito baixa e exigem condições de crescimento anaeróbico, a maioria das pesquisas para produção de celulase comercial tem se concentrado em fungos (SUN, 2002).

Os Fungos mais estudados para a produção de celulolíticas são das espécies *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Schizophyllum* e *Penicillium* (DUFF E MURRAY, 1996). De todos esses gêneros fúngicos, *Trichoderma* foi mais extensivamente estudado para a produção de celulasas (SUN, 2002).

As celulasas geralmente são uma mistura de várias enzimas. Pelo menos três grandes grupos de celulasas estão envolvidos no processo de hidrólise: (1) endoglucanase (EG), que atacam regiões de baixa cristalinidade na fibra de celulose, gerando oligossacarídeos de

diversos comprimentos (BOISSET et al., 2000); (2) exoglucanase ou celobiohidrolase (CBH), que removem as unidades de celobiose das extremidades das cadeias de celulose (SUN, 2002); (3) β -glucosidase (BG), que hidrolisa a celobiose solúveis à glicose (COUGHLAN E LJUNGDAHL, 1988). Além dos três principais grupos de enzimas celulase, há também uma série de enzimas auxiliares que atacam a hemicelulose, como a glucuronidase, acetilesterase, xilanase, β -xilosidase, galactomananase e glucomananase (DUFF E MURRAY, 1996).

Os fatores que afetam a hidrólise enzimática da celulose incluem: as características dos substratos, o grau de atividade e concentração das enzimas e as condições de reação (temperatura, pH, pressão) (SUN, 2002).

Além desses fatores, as próprias características da biomassa lignocelulósica que chega à etapa de hidrólise, após o pré-tratamento, também influenciam na eficiência da hidrólise enzimática. O teor de lignina, a presença de grupos inibidores da ação enzimática, o grau de cristalinidade da celulose e de polimerização, a área da superfície de contato e o tamanho das partículas são exemplos de características que podem ser determinantes para o rendimento final da etapa de hidrólise (RABELO, 2010).

5.4. FERMENTAÇÃO DA BIOMASSA

Após as etapas de pré-tratamento e hidrólise, finalmente, ocorre o processo de produção do etanol a partir dos açúcares fermentescíveis gerados. A etapa de fermentação é exclusivamente biológica, uma vez que a transformação dos carboidratos em etanol e subprodutos, como gás carbônico e glicerol, é realizada apenas por Microrganismos. (LEHNINGER et al., 2000 apud PEREIRA, 2013).

Sendo assim, os microrganismos podem ser utilizados durante duas etapas para a produção do etanol, uma é na conversão de substratos fermentáveis em etanol, e a outra é para produzir a enzima para catalisar reações químicas que hidrolisam os substratos complexos em compostos mais simples.

Por ser uma etapa essencialmente microbiológica, as condições de reação precisam ser bem controladas para favorecer o crescimento dos microrganismos e a fermentação do substrato. Restrições microbianas em parâmetros como pH, temperatura e suplementação de nutrientes são fatores que implicam diretamente na eficiência do processo. Não são apenas as

propriedades do microrganismo que são importantes nessa etapa, mas também a escolha de estratégias de fermentação, tais como cultivo por lotes, cultivo contínuo com reciclo de células e remoção de etanol *in situ*. Para a realização da produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos, a etapa de fermentação deve ser integrada e compatível ao restante do processo (HAHN-HÄGERDAL, 1996).

A presença ou ausência de compostos inibitórios formados durante as etapas anteriores, também influenciam no rendimento da fermentação. Dependendo do tipo de substrato resultante da etapa de hidrólise, a composição dos inibidores será diferente e a sua influência nos microrganismos e o desempenho da fermentação irão, conseqüentemente, variar. A inibição pode ser parcialmente superada pela remoção de inibidores, isto é, desintoxicação. Esses aspectos também são discutidos. Compostos como o furfural e hidroximetilfurfural, resultantes da degradação de açúcares como xilose e glicose, prejudicam o crescimento dos microrganismos, e conseqüentemente, a produção de etanol. Os compostos aromáticos resultantes do processamento da lignina são extremamente tóxicos para os microrganismos. (WOLF, 2011).

5.4.1. MICRORGANISMOS UTILIZADOS NA FERMENTAÇÃO

Em relação a fermentação da celulose, o microrganismo mais comumente é a levedura e, dentre as leveduras, *Saccharomyces cerevisiae* é a escolha preferida para a fermentação com etanol (LIN, 2006). Esta levedura pode crescer tanto consumindo açúcares simples, como a glicose, como a sacarose dissacarídica. Além disso, a disponibilidade de um robusto sistema de transformação genética de *S. cerevisiae*, juntamente com uma longa história deste microrganismo em processos de fermentação industrial, faz com que seja o microrganismo mais adaptado para a produção de etanol. *S. cerevisiae* tem alta resistência ao etanol, consome quantidades significativas de substrato em condições adversas e apresenta alta resistência aos inibidores presentes no meio (HECTOR, 2011). Por outro lado, o metabolismo da xilose apresenta um desafio único para a *S. cerevisiae* assimilar açúcares pentoses devido à ausência de genes necessários para a assimilação dessas moléculas (HECTOR, 2011). Outras espécies de leveduras também tem sido estudadas para a produção de etanol, o Quadro 5.2 mostra quais são essas espécies estudadas, a temperatura e o pH na qual o estudo foi realizado, o tempo de incubação utilizado e a quantidade de etanol produzido. E como pode ser observado a levedura

mais eficiente, em relação ao volume de etanol produzido, é *Saccharomyces cerevisiae*.

Quadro 5.2 - Espécies de levedura que produzem etanol como principal produto de fermentação.

Espécie	Temperatura (°C)	pH	Fonte de carbono	Tempo de incubação (h)	Etanol produzido (g/L)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30	5,5	Glicose	18 - 94	5,1 - 98
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30 - 35	6,0	Sacarose	24	25 - 50
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30	5,0	Galactose	60	2,4 - 32
<i>Kluyveromyces fragilis</i>	30	5,5	Glicose	18 - 94	44,4 - 48,96
<i>Candida utilis</i>	30	5,5	Glicose	18 - 94	44,4
<i>Pachysolen tannophilus</i>	30	4,5	Glicose e Xilose	100	7,8

Fonte: Adaptado de LIN (2006).

O máximo aproveitamento de todas as frações de açúcar é essencial para se obter uma tecnologia de conversão econômica e viável para a produção de bioetanol a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. Para obter os rendimentos desejados de etanol dos hidrolisados, é essencial que a fração de hemicelulose seja fermentada com as mesmas taxas de conversão que a fração de celulose (LIN, 2006).

O hidrolisado de hemicelulose tipicamente contém principalmente pentoses (xilose) e alguma quantidade de hexoses (manose, glicose e galactose) (HECTOR, 2011). Uma variedade de leveduras, fungos e bactérias são capazes de assimilar pentoses, mas apenas alguns são candidatos promissores para a eficiente fermentação da xilose em etanol (HECTOR, 2011). Microrganismos, como *Scheffersomyces stipitis*, *Candida guilliermondii*, *Candida shehatae* e *Pachysolen tannophilus* tem sido estudados para tornar a produção de etanol 2G economicamente viável (KUHAD, 2011).

5.4.2. ESTRATÉGIAS DE FERMENTAÇÃO

A fermentação para obtenção de etanol 2G pode seguir diversas estratégias para aproveitar ao máximo os açúcares fermentescíveis disponíveis. Existem, na literatura,

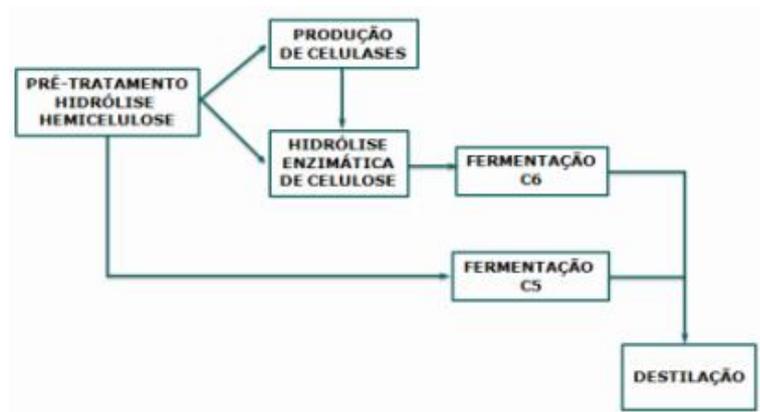
basicamente quatro tipos de processos para produzir etanol a partir do bagaço e palha de cana-de-açúcar: Hidrólise e Fermentação Separadas (SHF), Fermentação e Sacarificação Simultâneas (SSF), Sacarificação e Co-fermentação Simultâneas (SSCF) e Bioprocesso Consolidado (CPB).

- Hidrólise e Fermentação Separadas (SHF):

Quando a hidrólise e a fermentação são realizadas de forma separada, o processo é denominado SHF. Esta foi a primeira configuração a ser testada no processo de produção do etanol 2G. A vantagem da SHF é a capacidade de realizar cada etapa sob suas condições ótimas de pH e temperatura, isto é, hidrólise enzimática na temperatura de 45 a 50°C e a fermentação em cerca de 30°C. Também é possível executar a fermentação em modo contínuo com reciclo dos Microrganismos (DAHNUMA, 2015).

Entretanto, a principal desvantagem da SHF é a formação de compostos inibitórios, como glicose e celobiose, liberados durante a hidrólise da celulose, eles inibem a ação da enzima celulase. Outra desvantagem é o maior tempo reacional que a configuração necessita para ser realizada (NUNES et al., 2013). A Figura 5.5 apresenta um esquema de como funcionaria a configuração do tipo SHF para a produção de etanol 2G.

Figura 5.5 – Fluxograma da configuração SHF.



Fonte: SANTOS, 2012.

- Fermentação e Sacarificação Simultâneas (SSF)

A configuração de fermentação do tipo SSF ocorre quando o processo de hidrólise e de fermentação ocorrem simultaneamente no mesmo equipamento. Essa configuração é experimentada apenas no que se refere à hidrólise da celulose e à fermentação das hexoses, pois a hidrólise e fermentação da hemicelulose continuam sendo realizadas separadamente (NUNES et al.,2013).

Na SSF, a glicose produzida é imediatamente consumida pelo Microrganismo fermentador, por exemplo a *Saccharomyces cerevisiae* (levedura mais utilizada), o que evita a formação de compostos inibitórios produzidos pela hidrólise (CANTARELLA, 2004). Apesar do etanol produzido também poder atuar como inibidor da hidrólise, essa inibição não é tão significativa quanto a celobiose ou a glicose, formadas na SHF. Outra vantagem do SSF em comparação com SHF é a integração do processo obtida quando a hidrólise e a fermentação são realizadas em um reator, o que reduz o número de reatores necessários (DAHNUMA, 2015).

Entretanto, a utilização de uma única temperatura de cerca de 35°C na SSF é um problema, mas o desenvolvimento de cepas de levedura mais termotolerantes pode auxiliar no melhoramento do processo. Uma grande desvantagem do SSF é a dificuldade em reciclar e reutilizar a levedura, uma vez que ela é misturada com o resíduo de lignina (ALFANI, 2000).

A Figura 5.6 apresenta um esquema da configuração do tipo SSF para a produção de etanol 2G.

Figura 5.6 – Fluxograma representando a configuração SSF,



- Sacarificação e Co-Fermentação Simultâneas (SSCF)

A diferença entre a configuração SSF e SSCF é que na SSCF, tanto a celulose quanto a hemicelulose são hidrolisadas e fermentadas em uma única etapa. Portanto, não há separação das correntes de hexoses e pentoses após o pré-tratamento (SANTOS, 2012).

- Bioprocesso Consolidado (CPB)

A configuração denominada de Bioprocesso Consolidado, envolve a junção de todas as etapas da produção de bioetanol em um único reator, com um único organismo ou uma única cultura de microrganismos, conforme proposto por Lynd (2002). Notavelmente, a produção de enzimas usadas na hidrólise da biomassa é produzida *in situ* no vaso de fermentação, levando a menores custos e altas eficiências simultaneamente (LYND, 2002).

Como esse processo ocorre em uma única etapa, a escolha do microrganismo utilizado é de grande importância. O microrganismo escolhido deve ter capacidade enzimática para produzir uma variedade de hemicelulases e celulasas, bem como produzir altos teores de etanol (LYND, 2005). Até agora, não há microrganismo do tipo “selvagem” que possua todas essas propriedades desejadas. Portanto, tem havido várias tentativas de modificar geneticamente microrganismos para uso em processos CBP.

Existem duas estratégias principais utilizadas para este fim, o CBP I e o CBP II (XU, 2009). O primeiro envolve microrganismos que têm a habilidade nativa de degradar a lignocelulose e depois são projetados para se tornar um poderoso produtor de etanol. O CBP categoria II, no entanto, é destinado a engenharia genética de microrganismos que é um bom produtor de etanol, mas não tem a capacidade de produzir as enzimas necessárias para a decomposição da biomassa (AMORE, 2012). A bactéria *Clostridium thermocellum* pode ser uma boa escolha para os organismos da categoria CBP I.

A grande desvantagem desse método é que as bactérias testadas produzem perfis complexos de produtos finais e baixos rendimentos de etanol. Além disso, as bactérias em geral produzem quantidades muito menores de celulasas comparado com fungos (CHERRY, 2003).

6. FASE PROSPECTIVA:

6.1. METODOLOGIA DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA:

A prospecção tecnológica é realizada em duas subetapas, conforme metodologia já explicitada no Capítulo 4. A primeira subetapa corresponde a busca orientada, que é realizada em quatro estágios, com cada um representando um período temporal e correspondendo a um tipo específico de documentação:

(i) Estágio Atual: as informações das principais empresas e universidades identificadas são obtidas por meio de pesquisa em mídias especializadas, websites das organizações e outras publicações que indicam atuação no momento presente, bem como artigos que demonstram ações atuais, normalmente artigos de universidades/empresas;

(ii) Curto Prazo: este período está atrelado a análise das patentes já concedidas;

(iii) Médio Prazo: nesse caso são analisadas apenas as patentes solicitadas;

(iv) Longo Prazo: no último período é realizado o estudo dos artigos científicos.

A segunda subetapa da fase prospectiva consiste na organização e análise dos resultados obtidos na pesquisa, geralmente utiliza-se o software Microsoft Excel® para auxiliar neste processo. Para isso, a metodologia empregada é dividida em três níveis de análise:

(i) Análise Macro: são analisadas as informações primárias dos documentos, como ano de publicação, país de origem, autor ou depositante, tipo de autor ou depositante;

(ii) Análise Meso: os documentos são classificados segundo os aspectos mais relevantes acerca da tecnologia estudada, nesta etapa é realizada a leitura dos resumos;

(iii) Análise Micro: nesta fase da prospecção são identificadas características mais detalhadas de cada taxonomia determinada na análise Meso, por meio de uma leitura mais aprofundada de cada documento.

O objeto escolhido para este estudo foram os documentos de artigos e patentes relacionados a produção de etanol de segunda geração, a partir do bagaço da cana-de-açúcar. A definição da sintaxe de busca, ou seja, a escolha das palavras-chave foi baseada nas informações obtidas inicialmente na fase pré-prospectiva sobre o etanol de segunda geração produzido a partir da cana-de-açúcar. Com o objetivo de se obter o maior número possível de documentos

relevantes e abranger o tema da melhor maneira possível, foram selecionados os principais termos referentes ao assunto em questão e seus sinônimos. Ademais, foi utilizada a estratégia de truncamento de alguns termos por meio do caractere (*), que inclui no sistema de pesquisa as variações de cada termo escolhido. As palavras-chave foram definidas na língua inglesa, uma vez que a maioria dos artigos e patentes publicados no mundo está escrito, ou foram traduzidos, neste idioma.

Após a definição das palavras-chave, a busca orientada de artigos e patentes pode ser realizada, de forma a se obter um abrangente panorama de informações para a confecção do *Roadmap* Tecnológico.

Outro aspecto relevante da estratégia escolhida para efetuar a prospecção tecnológica, foi a definição do horizonte temporal. Visto que o *Roadmap* Tecnológico tem como objetivo indicar as tendências tecnológicas mais recentes, documentos muito antigos podem dar falsas informações sobre o tema, como tecnologias obsoletas ou descontinuadas e empresas e organizações já extintas. Portanto, foram considerados para o estudo apenas os últimos cinco anos de publicação, além do primeiro semestre do ano de 2019 (01/2014 a 06/2019).

6.2. DEFINIÇÃO DAS TAXONOMIAS:

As categorias identificadas durante a prospecção tecnológica, para a análise de nível Meso, foram definidas de acordo com os aspectos mais relevantes em torno dos documentos estudados. A seguir, estas taxonomias Meso identificadas são descritas:

- (i) Pré-Tratamento: Refere-se à etapa anterior a produção, quando ocorre o pré-tratamento da matéria-prima;
- (ii) Insumos do Processo: Foco em um dado insumo/ equipamento utilizado durante o processo;
- (iii) Processo: Refere-se à produção ou à uma etapa produtiva;
- (iv) Pós-Tratamento: Refere-se ao processo de pós-tratamento para a obtenção do etanol 2G puro;
- (v) Otimização/ Avaliação do processo: Refere-se às ferramentas utilizadas para alcançar a melhor condição de produção ou às análises técnico-econômicas do processo.

Após a identificação das taxonomias do nível Meso, foram determinadas as classificações de nível Micro que detalham as taxonomias Meso, possibilitando sua compreensão e caracterização aprofundada. Todas as taxonomias identificadas encontram-se demonstradas no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Taxonomias Meso e Micro.

Meso	Micro
Pré-Tratamento	Físico
	Alcalino
	Ácido
	Organsolv
	Biológico
	Explosão a vapor
	AFEX
	Químico
Insumos do Processo	MO
	Enzima
	Biorreator
Processo	Hidrólise
	Fermentação
	Destoxificação
	SSF
	SHF
	SSCF
	CPB
	Integrado 1G
Pós-Tratamento	Destilação
	Membrana
Otimização / Avaliação	Avaliação Econômica
	Parâmetros do Processo
	Plantio da Cana

Fonte: Elaboração própria.

6.1. DOCUMENTOS REFERENTES AO ESTÁGIO ATUAL:

O estágio atual do *Roadmap* engloba os *players* que utilizam as tecnologias já desenvolvidas no setor estudado. As buscas por *players* atuantes no setor de produção de etanol

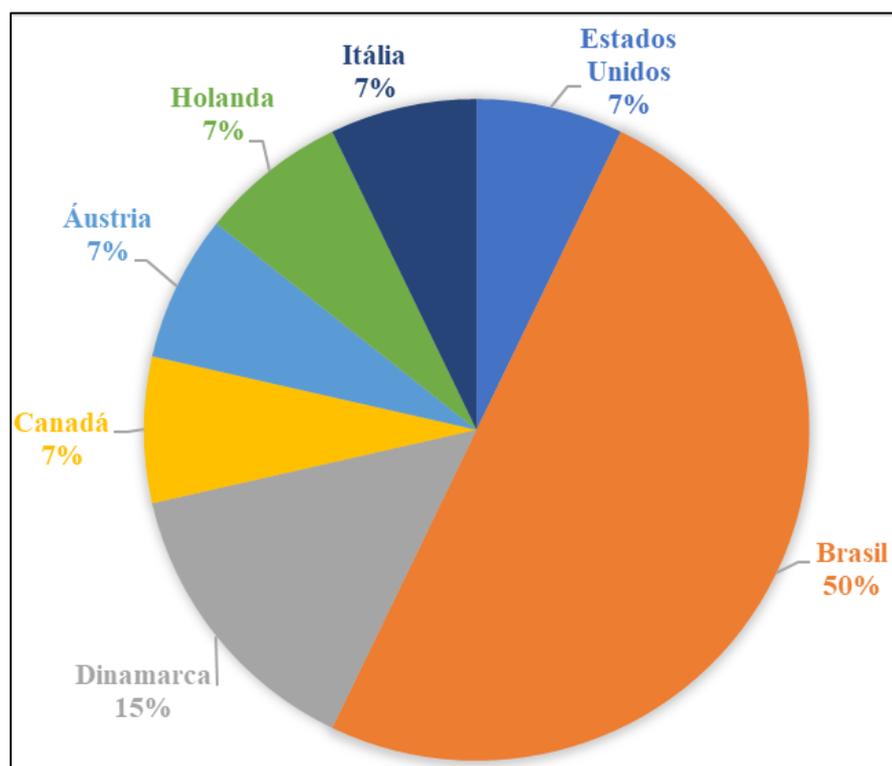
2G a partir da cana-de-açúcar foram realizadas nos sites das empresas e centros de pesquisas e na plataforma da Biofuels Digest com as seguintes palavras-chave: “cane”, “sugarcane”, “bagasse”, “lignocellulosic”, “lignocellulose”, “lignocelulose”, “segunda geração”, “ethanol”, “bioethanol”, “etanol”, “bioetanol”. Os *players* encontrados nos estágios posteriores (longo, médio e curto prazo) também foram investigados para avaliar a sua atuação no setor ou se possuem alguma tecnologia que possa ser aplicada em algum ponto do processo de produção do etanol 2G.

Esta pesquisa resultou em quatorze *players* que potencialmente atuam no setor sucroalcooleiro para a produção de etanol 2G derivado do bagaço da cana-de-açúcar

6.1.1. Análise Macro:

O primeiro gráfico obtido a partir da metodologia escolhida para o mapeamento dos *players* no estágio atual se refere ao estudo da distribuição dos atores por país de origem.

Figura 6.1 – Países de origem dos *players* atuantes no estágio atual.



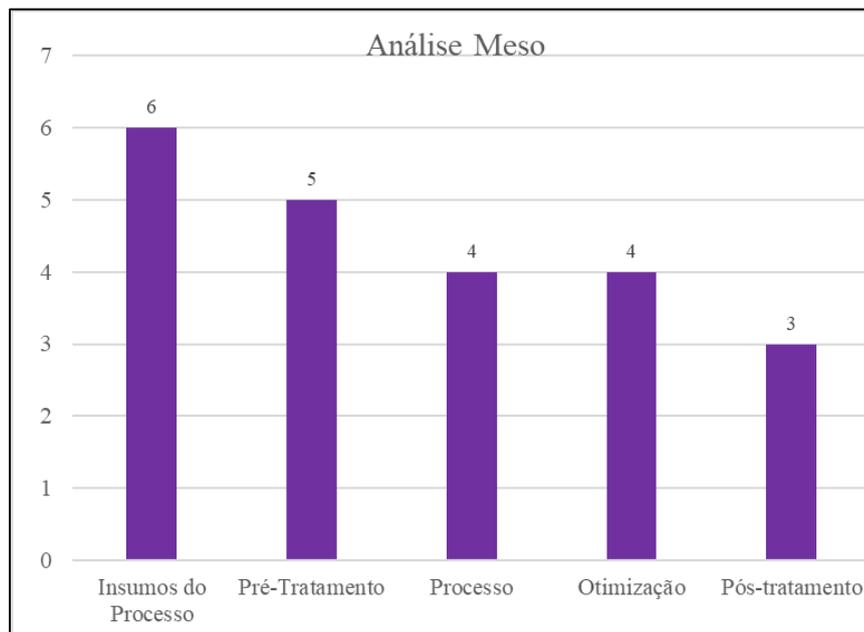
Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Figura 6.1, pode-se destacar que o Brasil é aonde está concentrada a maioria dos atores relacionados ao setor, como a CTC, Raízen, GranBio e Vignis. Isso foi constatado porque as biorrefinarias e plantas pilotos de etanol 2G derivado do bagaço da cana-de-açúcar, que se encontram em produção ou demonstração, concentram-se no país. As empresas estrangeiras auxiliam as brasileiras por meio do fornecimento de novas tecnologias e parcerias. Como por exemplo: a empresa austríaca Andritz, fornecedora de equipamentos para as biorrefinarias; a dinamarquesa Novozymes, líder mundial no desenvolvimento de enzimas; e a canadense Iogen Energy, que possui *expertise* em Pré-Tratamento de biomassa lignocelulósica. Dos 14 atores estudados, dez são empresas atuantes no setor, dois são centros de pesquisa, um é uma universidade e o último é uma associação de universidades federais brasileiras.

6.1.2. Análise Meso:

Na Análise Meso, as informações obtidas nos sites dos *players* estudados foram classificadas segundo as taxonomias previamente definidas. A Figura 6.2 mostra a distribuição das taxonomias dos quatorze atores encontrados.

Figura 6.2 – Análise Meso do estágio atual.



Fonte: Elaboração própria.

A análise Meso das informações obtidas durante a pesquisa a respeito do estágio atual

do setor revelou que as taxonomias mais relevantes para as empresas são os “Insumos do Processo” e o “Pré-Tratamento”. As principais empresas identificadas como atuantes na Meso “Pré-Tratamento” foram: API, GranBio, Beta Renewables, CTC, CTBE, Iogen e Raízen. A Iogen, por exemplo, desenvolveu um “Pré-Tratamento” exclusivo e está otimizando-o para melhorar a digestibilidade enzimática da palha da cana-de-açúcar. Por outro lado, a Beta Renewables possui uma tecnologia denominada Proesa[®], que inclui a etapa de “Pré-Tratamento”.

Os “Insumos do Processo” foram identificados com o foco atual das seguintes empresas: Andritz, CTC, CTBE, DSM, Novozymes, Iogen Energy e Raízen. A empresa CTC é uma das poucas empresas brasileiras que possui *expertise* no desenvolvimento de enzimas nacionais.

A Meso de “Processo” foi identificada como o foco das empresas GranBio, CTC, CTBE, Raízen e Beta Renewables. A GranBio licenciou a tecnologia de Processo de produção de etanol 2G desenvolvido pela Beta Renewables. Enquanto a empresa CTC e o centro de pesquisa CTBE foca no desenvolvimento de processos próprios de produção.

A taxonomia “Otimização / Avaliação” também quatro vezes, uma vez que três parcerias/ empresas diferentes se dedicam exclusivamente a ela: RIDESA e UFScar, IAC e Vignis, tais empresas dedicam-se exclusivamente ao melhoramento genético da cana-de-açúcar.

O centro de pesquisa CTBE e a parceria entre as empresas Iogen Energy e Raízen possuem a abordagem atual classificada também dentro da taxonomia “Pós-Tratamento”. Essas empresas são responsáveis pelo gerenciamento de plantas de produção e biorrefinarias que produzem etanol 2G, portanto possuem foco em todas as etapas necessárias para produzir o biocombustível, incluindo o “Pós-Tratamento”.

6.1.3. Análise Micro

A análise Micro fornece características mais detalhadas das taxonomias estudadas na análise Meso, essa classificação está descrita na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Análise Micro do estágio atual.

Meso	Micro	Quantidade
Pré-Tratamento	Físico	2
	Alcalino	0
	Ácido	0
	Organsolv	0
	Biológico	0
	Explosão a Vapor	4
	AFEX	0
	Químico	2
Insumos do Processo	MO	4
	Enzima	4
	Biorreator	1
Processo	Hidrólise	2
	Fermentação	2
	Destoxificação	0
	SSF	0
	SHF	1
	SSCF	2
	CPB	0
	Integrado 1G	0
Otimização / Avaliação	Avaliação Econômica	0
	Parâmetros do Processo	0
	Plantio da Cana	4
Pós-Tratamento	Destilação	3
	Membrana	0

Fonte: Elaboração própria.

Como mostrado na Tabela 6.1, dentro da taxonomia de “Pré-Tratamento” os *drivers* de “Explosão a Vapor”, “Físico” e “Químico” foram os únicos que tiveram representatividade. Sendo a metodologia de empregar o uso do vapor para aquecer a biomassa e posteriormente despressurizá-la rapidamente a mais utilizada, quatro empresas / parcerias empregam o Pré-Tratamento de Explosão a Vapor na biomassa lignocelulósica: API e GranBio, Beta Renewables e GranBio, CTC, Iogen e Raízen.

Quanto a Meso “Insumos do Processo”, as Micros “Enzima” e “MO” aparecem por mais vezes, posto que diferentes empresas fornecem leveduras e enzimas para as biorrefinarias

brasileiras. A empresa Novozymes é especializada na produção de enzimas, enquanto a DSM é responsável pelo fornecimento de leveduras. A taxonomia “Biorreator” foi registrada uma vez, dado que apenas uma empresa (Andritz) é especializada no desenvolvimento e fornecimento de reatores para as biorrefinarias de segunda geração.

Quanto ao método utilizado para o “Processo” de produção de etanol 2G oriundo do bagaço da cana-de-açúcar, destaca-se o “SSCF” como o mais empregado, sendo este aplicado nas biorrefinarias das parceiras: Beta Renewables e GranBio, Iogen e Raízen.

Na Meso de “Pós-Tratamento”, a “Destilação” foi identificada em três atores diferentes, o emprego da separação por “Membrana” ainda está em fase de desenvolvimento e por isso não foi atribuído a nenhum ator. A Destilação é empregada nos processos de obtenção do etanol 2G puro nas seguintes empresas parceiras: Beta Renewables e GranBio, Iogen e Raízen; e também no centro de pesquisa CTBE.

Outra Micro que apareceu significativamente foi a de otimização do “Plantio da Cana”, isso ocorreu, pois, diversas empresas investem no melhoramento genético da cana-de-açúcar e na produção da cana-energia, como por exemplo o IAC, a Vignis e as parceiras RIDESA e UFScar.

6.2. PATENTES CONCEDIDAS:

De modo a seguir a mesma linha de raciocínio e metodologia, as bases de dados escolhidas para a pesquisa das patentes concedidas também foram o escritório americano de depósito de patentes (USPTO) e o escritório europeu de patentes (Espacenet). A seguir estão apresentadas as informações sobre a estratégia de busca utilizada na ferramenta de pesquisa e os resultados, todas as:

Banco de patentes USPTO:

- Palavras-chave 1 (títulos, resumos ou reivindicações): (straw OR lign\$ OR celluloso\$ OR bagasso\$) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane\$ OR cane\$):
- Palavras-chave 2 (títulos, resumos ou reivindicações): (SSF OR SSCF OR

(simultaneous AND saccharification AND fermentation)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane\$ OR cane\$)

- Palavras-chave 3 (títulos, resumos ou reivindicações): (CBP OR (consolidated AND bioprocessing)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane OR cane)
- Palavras-chave 4 (títulos, resumos ou reivindicações): (SHF OR (separated AND saccharification AND fermentation)) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane\$ OR cane\$)

Banco de patentes Espacenet:

- Palavras-chave 1 (títulos e resumos ou reivindicações): (straw OR lign* OR cellulose* OR bagass*) AND (et*anol OR bioet*anol) AND (sugarcane* OR cane*):
- Palavras-chave 2 (títulos, resumos ou reivindicações): (SSF OR SSCF OR (simultaneous AND saccharification AND fermentation)) AND (et*anol OR bioet*anol) AND (sugarcane* OR cane*)
- Palavras-chave 3 (títulos, resumos ou reivindicações): (CBP OR (consolidated AND bioprocessing)) AND (et*anol OR bioet*anol) AND (sugarcane OR cane)
- Palavras-chave 4 (títulos, resumos ou reivindicações): (SHF OR (separated AND saccharification AND fermentation)) AND (et*anol OR bioet*anol) AND (sugarcane* OR cane*)
- Palavras-chave 5 (títulos, resumos ou reivindicações): (SSF OR (simultaneous AND saccharification AND fermentation)) AND (et*anol OR bioet*anol) AND (sugarcane* OR cane*)

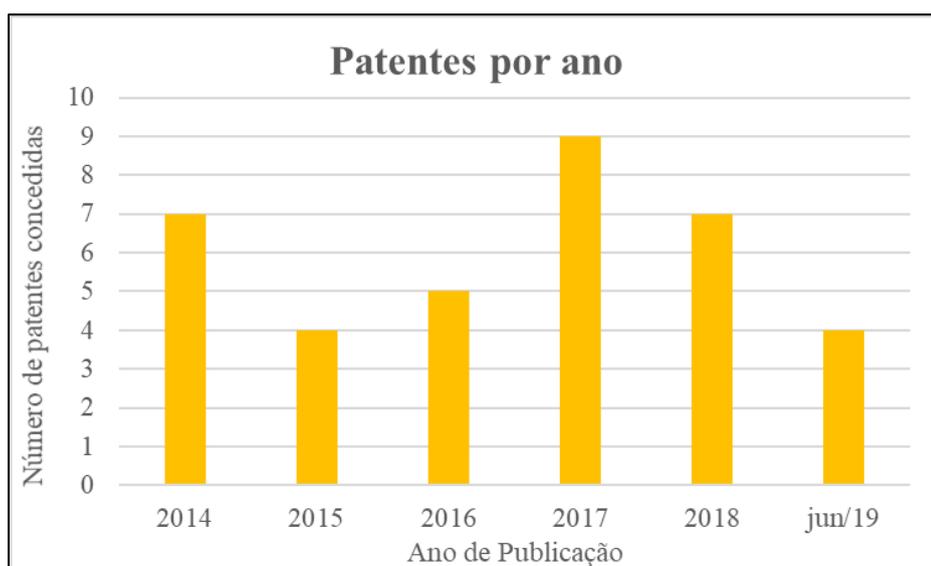
Foram obtidas, aproximadamente, 80 patentes oriundas do banco de dados USPTO e 100 do banco de patentes Espacenet, para o período de estudo desejado. Foram excluídas as patentes que não possuíam como objetivo a produção de etanol, pelo menos como coproduto, as que não especificavam a utilização do bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima e as

duplicatas. Sendo assim, a busca resultou em 36 patentes concedidas para as posteriores análises.

6.2.1. Análise Macro:

A Análise Macro apresenta o estudo da distribuição da publicação das patentes concedidas por ano, país de origem, depositante e tipo de depositante. O primeiro gráfico obtido refere-se à evolução temporal dos pedidos de patentes concedidos. A Figura 6.3 apresenta a série histórica das patentes concedidas, com seu ano de publicação entre 2014 a jun/2019.

Figura 6.3 – Evolução temporal das patentes concedidas - período de 2014 a jun/2019.

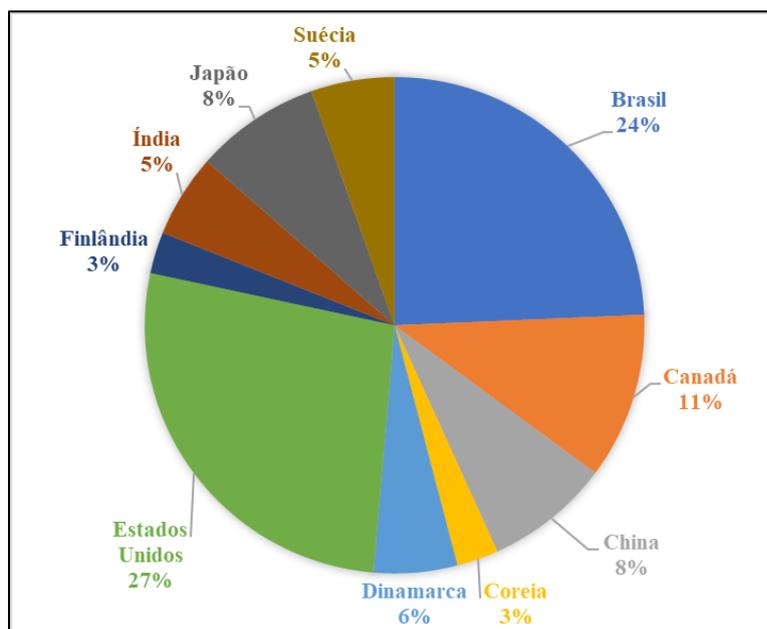


Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

O segundo gráfico está apresentado na

Figura 6.4, a análise apresenta o estudo da distribuição das patentes concedidas por país de origem do pedido.

Figura 6.4 – Países de origem das patentes concedidas no período de 2014 a jun/2019.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

De acordo com a Figura 6.4, pode-se destacar que o Brasil e os Estados Unidos são os maiores detentores de patentes sobre a produção de etanol produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

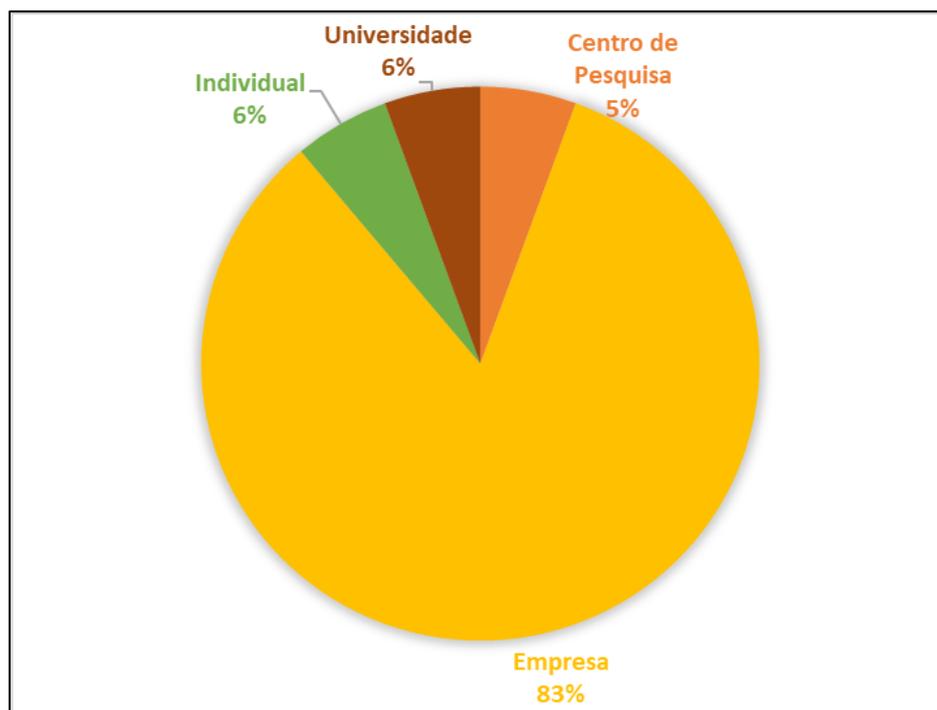
Nos Estados Unidos os principais produtores de patentes foram: BP, Du Pont, API Intellectual Property Holdings, Valicor e Virent. Enquanto no Brasil a empresa CTC depositou 3 patentes e a Petrobras depositou 4.

O Canadá aparece com um total de 4 patentes concedidas, sendo a Iogen Energy responsável por duas delas e as empresas Prenexus Health e Vertichem com uma cada.

A China teve um total de três patentes outorgadas, sendo duas pertencentes as universidades Chinese Academy Of Sciences e Tsinghua University e outra a empresa COFCO.

A Figura 6.5 apresenta a distribuição dos tipos de instituições (universidade, empresa, centro de pesquisa ou individual) que tiveram pedido de patente concedido entre os anos de 2014 a 06/2019.

Figura 6.5 – Tipos de instituições com patentes concedidas, entre 2014 a jun/2019.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

Assim como ocorreu com os pedidos de patentes, a Figura 6.5 demonstra que a maior parte das patentes concedidas pertencem a empresas. A empresa com o maior número de patentes concedidas é a Petrobras, com um total de quatro patentes (ex: CA2660673C, “Process for the fermentative production of ethanol from solid lignocellulosic material comprising a step of treating a solid lignocellulosic material with alkaline solution in order to remove the lignina”). As empresas BP (ex: CN101652381B, “Enzymes for treatment of lignocellulosics, nucleic acids encoding them and methods for making and using them”) e CTC (ex: US9611492B2, “Use of vinasse in the process of saccharification of lignocellulosic biomass”) detém três patentes cada uma sobre o assunto em análise.

Apenas duas universidades tiveram pedidos de patentes concedidos, ambas chinesas: Chinese Academy Of Sciences (ex: CN102703520B, “Method for producing ethanol through mixed fermentation of bagasse hydrolyzate and molasses”) e Tsinghua University (ex: US10239806B2, “Continuous solid-state separation device and process for producing fuel etanol”).

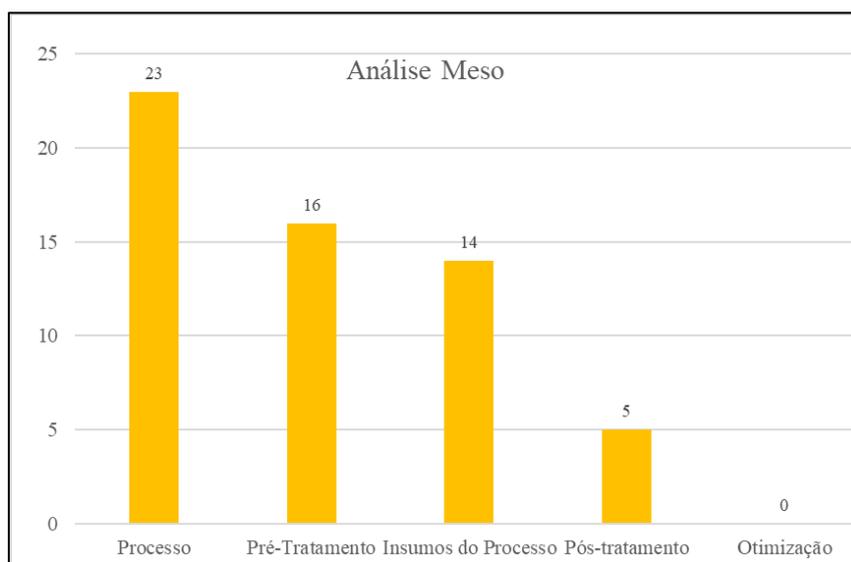
Também foram identificados dois centros de pesquisas detentores de uma patente cada: Council of Scientific & Industrial Research (ex: US10017583B2, “Synthesis of nanostructured

carboxycelluloses from non-wood cellulose”) e COFCO (ex: CN207828319U, “Adopt device of maize and sugarcane coproduction cane sugar and etanol”).

6.2.2. Análise Meso:

Na Análise Meso, as patentes concedidas foram categorizadas de acordo com os aspectos mais relevantes em torno da produção de etanol 2G a partir da cana-de-açúcar. Estes aspectos foram organizados de forma similar ao dos artigos e dos pedidos de patentes. A Figura 6.6 mostra a distribuição das taxonomias nas 36 patentes estudadas.

Figura 6.6 – Análise Meso das patentes concedidas.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

A análise Meso das patentes concedidas revelou a mesma tendência dos pedidos de patentes, com foco maior em “Processo” e “Pré-Tratamento”. A categoria de “Avaliação/Otimização” não apareceu nos documentos estudados.

A taxonomia “Processo” foi abordada em 23 das 36 patentes concedidas estudadas, a empresa GE propôs uma metodologia de Hidrólise enzimática em 2016 (BR102013031319B1, “A method of hydrolyzing a cellulosic material”). A Petrobras também solicitou a patente de uma metodologia inovadora para produção de bioetanol 2G da cana-de-açúcar, que inclui os

processos de Hidrólise e Fermentação (US8642289B2, “Process for producing ethanol from a hydrolysate of the hemicellulose fraction of sugarcane bagasse in a press reactor”), em 2014.

A empresa Du Pont desenvolveu uma metodologia para o “Pré-Tratamento” da biomassa lignocelulósica (BRPI0612966B1, “Method for treating biomass”), em 2017. Outro exemplo de patente com foco nessa taxonomia foi depositada pela empresa Iogen Energy (US10179971B2, “Method for processing a cellulosic feedstock at high consistency”), em 2019.

O foco em “Insumos de Processo” apareceu em um total de 14 das patentes concedidas estudadas. Uma delas abordava a produção da enzima celulase para a produção de bioetanol e foi depositada pelas empresas Purdue Research Foundation e EMBRAPA (US10072253B2, “Liquefied cellulosic biomass for enzyme production.”). Outra patente que abordou essa Meso foi a depositada pela Honda Motors em 2017, que relatava a invenção de um método de crescimento Microbiano para aumentar o rendimento do etanol de segunda geração (US9732363B2, “Growth method for Microbe and bioethanol production method”).

6.2.3. Análise Micro

A análise Micro fornece características mais detalhadas das taxonomias estudadas na análise Meso, a respeito das patentes concedidas.

Tabela 6.2 – Análise Micro das patentes concedidas.

Meso	Micro	Patentes Concedidas
Pré-Tratamento	Físico	10
	Alcalino	1
	Ácido	2
	Organsolv	2
	Biológico	1
	Explosão a Vapor	2
	AFEX	1
	Químico	6
Insumos do Processo	MO	6
	Enzima	8
	Biorreator	3

Processo	Hidrólise	16
	Fermentação	14
	Destoxificação	1
	SSF	0
	SHF	2
	SSCF	1
	CPB	0
	Integrado 1G	4
Otimização / Avaliação	Avaliação Econômica	0
	Parâmetros do Processo	0
	Plantio da Cana	0
Pós-Tratamento	Destilação	5
	Membrana	0

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

Como mostrado na Tabela 6.2, das 17 patentes que abordaram o “Pré-Tratamento”, a maioria se concentrou nos Pré-Tratamentos do tipo Físico, como a patente da Iogen Energy, concedida em 2019 (US10179971B2, “Method for processing a cellulosic feedstock at high consistency”), que propõe a utilização de lavagem, ciclone e peneira para a remoção da sílica da biomassa. A empresa brasileira CTC também propôs uma metodologia de combinação dos Pré-Tratamentos Físico e Químico para a produção de bioetanol (US9976195B2, “Method for processing vegetable biomass”).

Quanto a taxonomia de “Processo”, a maior parte abordou a melhoria dos processos da Hidrólise enzimática e Fermentação. A empresa Inbicon abordou a utilização da configuração do tipo SSCF para a produção do etanol a partir da biomassa lignocelulósica (US9920345B2, “Methods of processing lignocellulosic biomass using single-stage autohydrolysis pretreatment and enzymatic hydrolysis”), em 2018.

O foco principal da categoria intitulada “Insumos do Processo” foi em Enzima, como a patente obtida pela empresa GE (CN101652381B, “Enzymes for treatment of lignocellulosics, nucleic acids encoding them and methods for making and using them”), em 2015. A taxonomia Micro relacionado aos Biorreatores apareceu em três patentes diferentes, que propuseram um equipamento inovador para a produção de etanol 2G, como na patente concedida à empresa Petrobras em 2014 (BRPI0505299B1, “Processo de produção de etanol a partir do hidrolisado da fração hemicelulósica do bagaço de cana-de-açúcar em reator do tipo prensa”). Enquanto que a relacionada aos Microrganismos apareceu em seis patentes diferentes, como a patente da

Novozymes que descreve a obtenção da levedura *Saccharomyces cerevisiae* para Fermentação dos açúcares da biomassa lingocelulósica (US10066244B2, Process for producing ethanol and fermenting organisms, 2018).

A Meso “Pós-Tratamento” apareceu cinco vezes associada a Micro de Destilação, uma vez que esse é o Processo mais comumente utilizado para a obtenção do etanol 2G puro ao final do Processo de produção. A universidade chinesa Tsinghua University é detentora de uma patente que relata a utilização do Processo Destilação contínua para a produção integrada de etanol 1G e 2G (US10239806B2, “Continuous solid-state separation device and process for producing fuel ethanol”), desde 2019.

6.3. PATENTES SOLICITADAS:

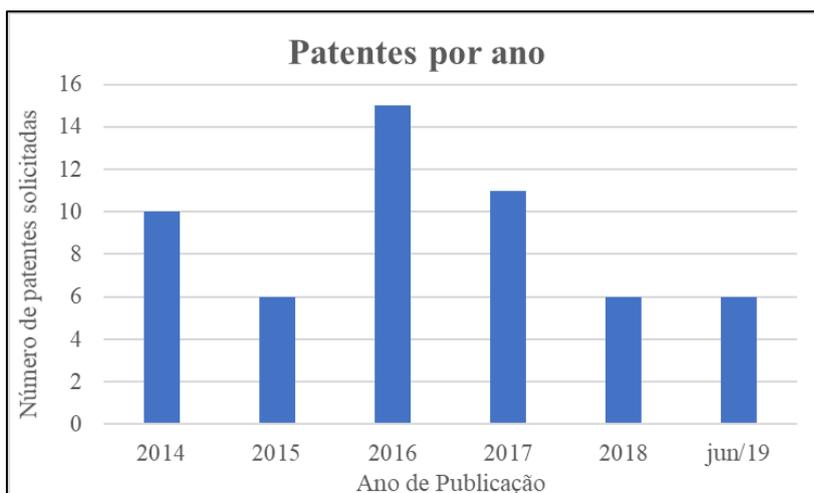
As bases de dados escolhidas para a pesquisa dos pedidos de patente foram: o escritório americano de depósito de patentes (USPTO) e o escritório europeu de patentes (Espacenet). As palavras-chaves utilizadas na pesquisa foram as mesmas da busca por patentes concedidas.

Foram obtidas, aproximadamente, 150 patentes oriundas do banco de dados da USPTO e 300 do banco de patentes da Espacenet, para o período de estudo desejado. Foram excluídas as patentes que não possuíam como objetivo a produção de etanol, pelo menos como coproduto, as que não especificavam a utilização do bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima e as repetidas. Dessa forma, foram submetidas as análises posteriores 54 pedidos de patentes.

6.3.1. Análise Macro:

A Análise Macro apresenta o estudo da distribuição da publicação dos pedidos de patentes por ano, país de origem, autor e tipo de autor. O primeiro gráfico obtido refere-se à evolução temporal dos pedidos de patentes analisados. A Figura 6.7 apresenta a série histórica das patentes solicitadas, com seu ano de publicação entre 2014 a jun/2019.

Figura 6.7 – Evolução temporal dos pedidos de patentes - período de 2014 a jun/2019.

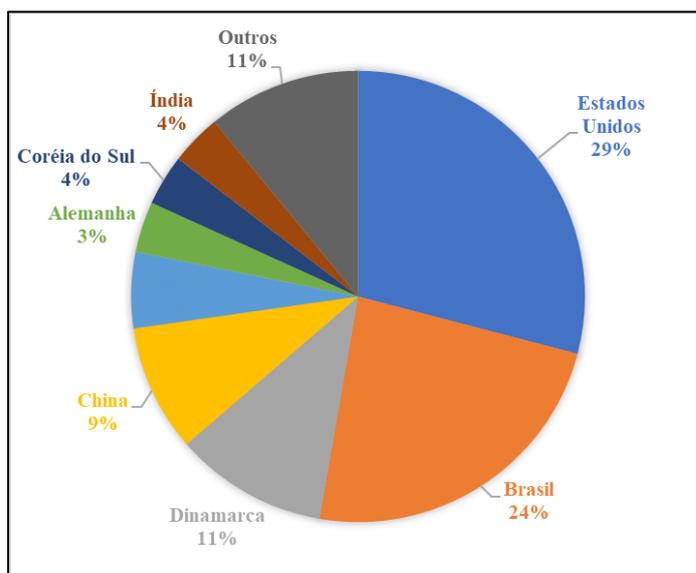


Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

A Figura 6.7 demonstra que foi encontrado um maior número de pedidos de patentes no ano de 2016, e no demais anos foi mantida uma média de 8 pedidos por ano.

O segundo gráfico obtido durante a análise apresenta o estudo da distribuição das patentes solicitadas por país de origem do pedido. A Figura 6.8 apresenta os dez países que mais depositaram patentes no período analisado e seus respectivos percentuais de ocorrência.

Figura 6.8 – Países de origem das patentes solicitadas no período de 2014 a jun/2019.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

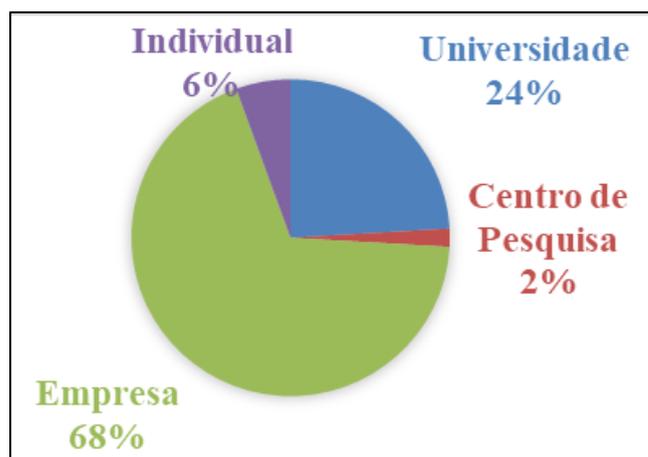
De acordo com a Figura 6.8 pode-se destacar que o Brasil perde para os Estados Unidos quando o assunto é o número de pedidos de patentes. Mesmo tendo sido utilizado o critério de etanol produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar, os Estados Unidos aparecem como o maior depositante de patentes do mundo sobre o assunto. Os principais *players* norte-americanos a depositarem pedidos de patentes foram Danisco, BP e a API Intellectual Property Holdings LLC. No Brasil pode-se destacar as empresas CTC e Raízen.

Outro país que merece destaque é a Dinamarca, com um total de seis pedidos de patentes, sendo dois oriundos da Novozymes e dois da Inbicon, o país encontra-se na frente até mesmo da China, que é reconhecidamente um dos maiores polos de desenvolvimento tecnológico mundial. A China possui como principais depositantes as universidades South China Agricultural University e Huazhong Agricultural University.

Austrália, Eslováquia, Itália, Japão, México e Suécia tiveram um pedido de patente cada no período estudado.

A Figura 6.9 apresenta a distribuição dos tipos de instituições (universidade, empresa, centro de pesquisa ou individual) que tiveram pedido de patente registrado entre os anos de 2014 a jun/2019.

Figura 6.9 – Tipos de instituições que solicitaram as patentes, entre 2014 a jun/2019.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

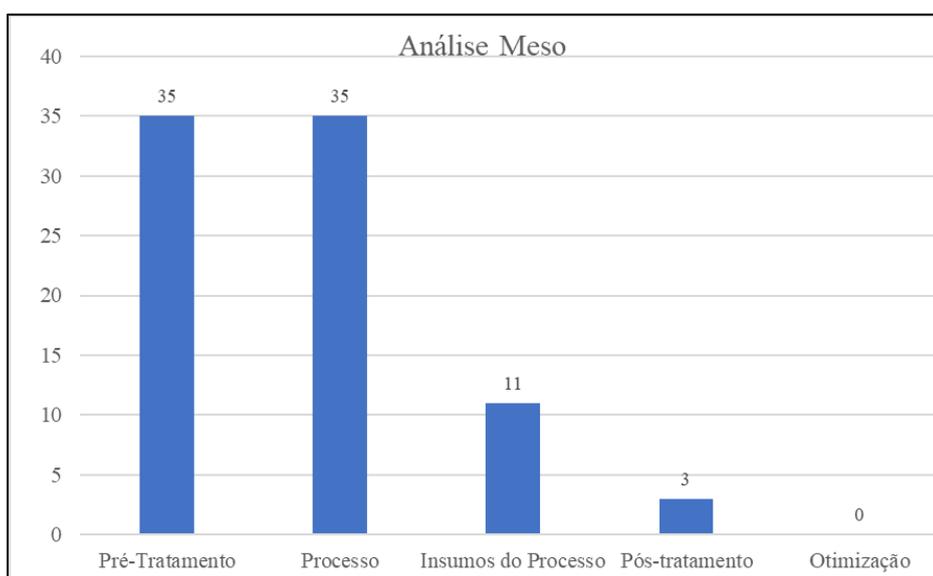
Como era esperado, a grande maioria dos pedidos de patentes foram realizados por empresas, a Figura 6.9 mostra que 68% dos pedidos possuem como autores empresas. Desse

total, quatro patentes foram solicitadas pela empresa API Intellectual Property Holdings LLC, subsidiária da empresa American Process Incorporated, que em 2019 teve 100% do capital comprado pela empresa brasileira GranBio. A empresa dinamarquesa, Danisco, subsidiária da DuPont também solicitou quatro patentes no período estudado. O único centro de pesquisa identificado no período foi o CNPEM. As universidades chinesas (South China Agricultural University e Keimyung University) e brasileiras (USP, UFRJ, UCS e UFPB) foram as mais atuantes no que se refere ao depósito de patentes.

6.3.2. Análise Meso:

Na Análise Meso, os pedidos de patente foram categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno da produção de etanol 2G a partir da cana-de-açúcar. Estes aspectos foram organizados de forma similar ao dos artigos. A Figura 6.10 mostra a distribuição das taxonomias no total de pedidos de patentes estudados.

Figura 6.10 – Análise Meso dos pedidos de patentes.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

Diferentemente do que ocorreu nos artigos, onde a taxonomia de “Pré-Tratamento” apareceu mais vezes que a de “Processos”, o número de pedidos de patentes estudados tiveram

igual foco em “Processos” e “Pré-Tratamento”. Apenas a categoria referente à “Otimização/Avaliação” não apareceu em nenhum pedido de patente.

A Meso “Pré-Tratamento” foi referenciada na patente depositada pela universidade mexicana Tecnológico Nacional de México (MX2015005129A, “Ethanol production process by continuous fermentation from yeast cells (*scheffersomyces stipitis*) immobilized in pretreated cane bagasse”), em 2016. Outro “Pré-Tratamento” foi desenvolvido pela empresa Vyskumny Ustav Papiera A Celulozy e patenteado em 2018 (SK500832016A3, “Method for increasing the yield of monosaccharides in the production of biofuels from lignocellulosic materials”).

Quanto a taxonomia de “Processo”, a maior parte dos pedidos de patentes referiu-se ao Processo de Hidrólise, como por exemplo a patente depositada pela Syngenta (US20140051129A1, “Potentiation Of Enzymatic Saccharification”), que propôs um método para melhorar a eficiência da Hidrólise enzimática. A empresa dinamarquesa Novozymes também solicitou uma patente referente à Hidrólise enzimática (US20160201102A1, “Process for the Enzymatic Conversion of Lignocellulosic Biomass”), em 2016.

A Meso “Pós-Tratamento” apareceu como foco de três pedidos de patentes estudados, como o realizado pela canadense Iogen Energy (US20190112238A1, “Process For Producing A Fuel From Lignocellulosic Feedstock”), em 2019.

6.3.3. Análise Micro

A análise Micro gerada para os pedidos de patentes está apresentada na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Análise Micro das patentes solicitadas.

Meso	Micro	Patentes Solicitadas
Pré-Tratamento	Físico	10
	Ácido	10
	Alcalino	6
	Organsolv	2
	Biológico	3
	Explosão a Vapor	9

	AFEX	1
	Químico	3
Insumos do Processo	MO	3
	Enzima	9
	Biorreator	0
Processo	Hidrólise	19
	Fermentação	7
	Destoxificação	2
	SSF	1
	SHF	6
	SSCF	4
	CPB	1
	Integrado 1G	4
Otimização / Avaliação	Avaliação Econômica	0
	Parâmetros do Processo	0
	Plantio da Cana	0
Pós-Tratamento	Destilação	3
	Membrana	0

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados USPTO e Espacenet (2019).

Como mostrado na Tabela 6.3, das 35 patentes que abordaram o “Pré-Tratamento”, a maioria se concentrou nos Pré-Tratamentos Ácidos e Físicos. Os “Pré-Tratamentos” Físicos apareceram, na maioria das vezes, associados a outro, como por exemplo na patente depositada pela Danisco em 2016, (WO2017024367A1, “Processo de Pré-Tratamento de biomassa lignocelulósica, obtenção de solução celulósica e uso desta”), na qual se utiliza combinadamente os Pré-Tratamentos Ácido e Físico.

Quanto a taxonomia de “Processo”, a maior parte abordou a otimização da Hidrólise enzimática ou auto-Hidrólise da biomassa, como por exemplo o pedido de patente feito pela UCS em 2014 (BR102013026715A2, “Process of induction of enzyme production by filamentous fungus *Penicillium echinulatum* enzyme and use in the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass”). A Micro SHF também apareceu em diversos pedidos de patentes, como o depositado pela dinamarquesa Novozymes (BR112013009817A2, “Methods for degrading or converting sugar cane waste, to produce a fermentation product and fermenting sugar cane trash”) em 2016.

Dentre as patentes que focaram na Meso “Insumos de Processo”, as Enzimas foram a Micro mais abordada, como na solicitação da patente realizada pela UCS (BR102013026715A2, “Process of induction of enzyme production by filamentous fungus *Penicillium echinulatum* enzyme and use in the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass”) em 2014.

A categoria de “Otimização/ Avaliação” não foi o foco de nenhum pedido de patente estudado.

A Meso “Pós-Tratamento” apareceu três vezes associada a Micro de Destilação, uma vez que esse é o Processo mais comumente utilizado para a obtenção do etanol 2G puro ao final do Processo de produção. Dentre as três patentes citadas, uma delas foi depositada pela Iogen Energy em 2018 (US20180179704A1, “Method For Processing A Cellulosic Feedstock At High Consistency”).

6.4. ARTIGOS CIENTÍFICOS:

A base de dados escolhida para a pesquisa de artigos científicas foi a Scopus (www.scopus.com), base referencial da Editora Elsevier. A seguir estão apresentadas as informações sobre a estratégia de busca utilizada na ferramenta de pesquisa e os resultados:

- Tipo de documento: Article (artigo);
- Palavras-chave (títulos, resumos ou palavras-chave): (production) AND (ethanol OR etanol OR bioetanol OR bioethanol) AND (sugarcane* OR cane*) AND (bagasse* OR pomasse* OR straw*);
- Áreas temáticas excluídas: medicina, farmácia, física, veterinária, saúde, enfermagem, neurologia;
- Resultado total: 650 documentos;
- Resultado de jan/2014 a jun/2019: 362 documentos.

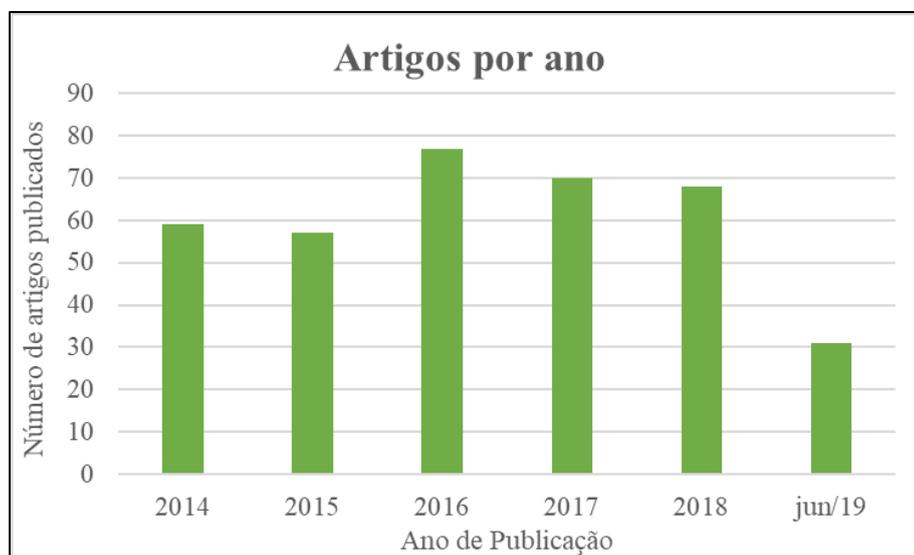
A escolha dessas palavras-chaves teve como objetivo selecionar o maior número possível de artigos que abordassem o tema de produção de etanol 2G a partir do bagaço da cana-de-açúcar. O resultado obtido foi de 362 documentos publicados nos últimos cinco anos. A estratégia adotada foi de utilizar os 362 artigos para a análise Macro, uma vez que assim é possível

obter um panorama mais abrangente a respeito do tema, e com isso, realizar análises mais contundentes a respeito da evolução temporal, distribuição de publicação por países e por autores. Entretanto, tendo em vista que as demais análises demandam uma leitura mais minuciosa de cada documento e para otimizar o aspecto visual do *Roadmap*, apenas os 55 artigos mais relevantes sobre o tema, no período de 01/2014 a 06/2019, foram examinados.

6.4.1. Análise Macro:

A Análise Macro apresenta o estudo da distribuição da publicação de artigos por ano, país de origem, autor e tipo de autor. O primeiro gráfico obtido refere-se à evolução temporal dos artigos analisados. A Figura 6.11 apresenta a série histórica dos artigos científicos publicados no período de 01/2014 a 06/2019.

Figura 6.11 – Evolução temporal dos artigos científicos publicados - período de 2014 a jun/2019.

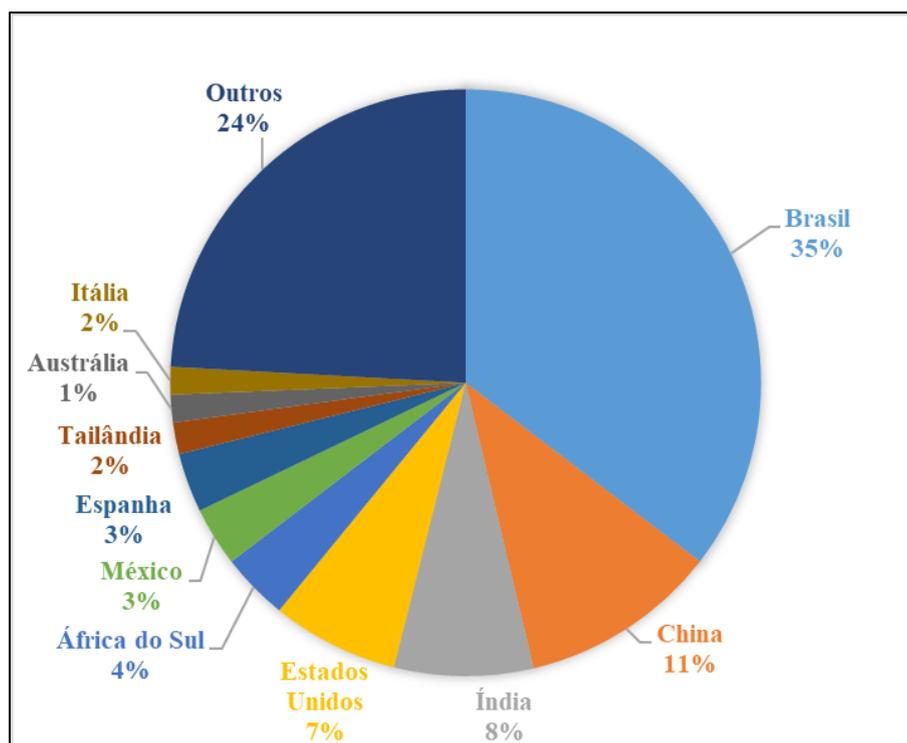


Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados Scopus (2019).

A Figura 6.11 demonstra que houve um leve aumento na produção de artigos a partir do ano de 2016. Como em 2019 só foi analisado o primeiro semestre, considerando que o número de publicações mantenha a mesma tendência do início do ano, seriam publicados em torno de 60 artigos até o final do ano, mantendo a média dos anos anteriores.

O segundo gráfico obtido durante a análise apresenta o estudo da distribuição da publicação de artigos por país de origem da pesquisa. A Figura 6.12 apresenta os dez países que mais publicaram artigos no período analisado e seus respectivos percentuais de ocorrência.

Figura 6.12 – Países de origem dos artigos científicos publicados de 2014 a jun/2019.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados Scopus (2019).

De acordo com a Figura 6.12 pode-se destacar que o Brasil é o maior produtor de artigos científicos a respeito do tema estudado, com um total de 127 artigos. Em seguida, aparece: a China em segundo, Índia em terceiro e Estados Unidos em quarto.

O Brasil surge como destaque, uma vez que é o maior produtor de cana-de-açúcar e conseqüentemente de etanol oriundo da cana-de-açúcar. O país está presente como autor em 21 dos 55 artigos estudados, as universidades federais brasileiras são responsáveis pela autoria da maioria dessas publicações. O principal autor brasileiro é a Universidade de São Paulo (USP), com um total de dez artigos publicados, em seguida aparece a Universidade Federal de Viçosa com quatro documentos.

A China é um país que apresenta um grande interesse no desenvolvimento de novas

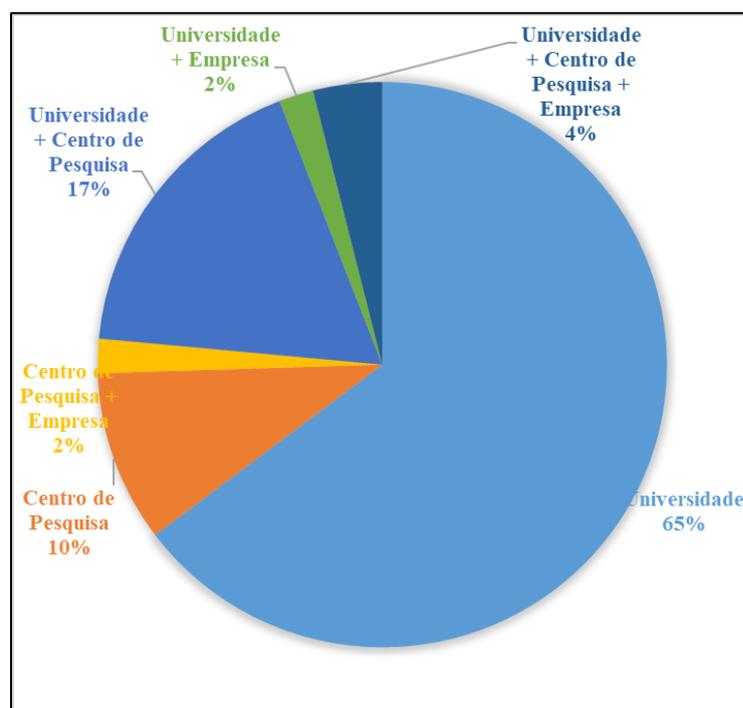
tecnologias, aparecendo sempre como destaque quanto ao número de publicações acadêmicas. Dos nove artigos de autoria (ou coautoria) chinesa, três são derivados da Chinese Academy of Sciences e um da South China Agricultural University.

Os Estados Unidos também possuem grande interesse na produção de etanol 2G, entretanto, como os artigos foram limitados a matéria-prima da cana-de-açúcar, o país ficou apenas em quarto lugar na publicação de artigos. Tendo sido responsável pela autoria ou coautoria de seis dos artigos estudados. A University of Tennessee foi o único autor norte-americano que apareceu em mais de um artigo, os demais tiveram apenas uma publicação cada.

Os demais países que apareceram com quantidade relevante de publicações foram: África do Sul, México, Espanha, Suécia, Tailândia, Colômbia, Austrália, Irã, Itália, Japão, Dinamarca, Coreia e Reino Unido; todos com seis ou mais publicações.

A Figura 6.13 apresenta a distribuição dos tipos de instituições (universidade, empresa ou centro de pesquisa) que publicaram artigos científicos no período estudado.

Figura 6.13 – Tipos de instituições que publicaram artigos científicos, entre 2014 e jun/2019.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados Scopus (2019).

Como era esperado, a maior parte dos autores de artigos científicos está relacionado as

Universidades. A Figura 6.13 mostra que 88% dos artigos possuem autores de universidades, refletindo a prática de publicações de pesquisas acadêmicas. Dentro desses 88%, as quatro instituições que mais elaboraram artigos foram as universidades paulistas: USP, UNICAMP, UNESP e UFSCAR. Em seguida encontram-se os centros de pesquisas, com 32% de publicações sozinhos ou com parcerias. As empresas apresentam baixa participação nas publicações de artigos, apenas em 2% dos casos houve o estabelecimento da parceria entre universidades e empresas e entre centro de pesquisa e empresas.

A maioria das universidades elaborou artigos em parceria uma com as outras, como por exemplo: University of the Philippines e Kyushu University (artigo “Bioethanol production from alkaline-pretreated sugarcane bagasse by consolidated bioprocessing using *Phlebia sp.*”), Chonnam National University e Nong Lam University (artigo “Aqueous acidified ionic liquid pretreatment for bioethanol production and concentration of produced ethanol by pervaporation”).

Os centros de pesquisa deram origem a apenas três artigos, podendo-se citar a produção individual do Vasantdada Sugar Institute (artigo “Enhanced bioethanol production from different sugarcane bagasse cultivars using co-culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Scheffersomyces stipitis*”) como exemplo desse tipo de autoria.

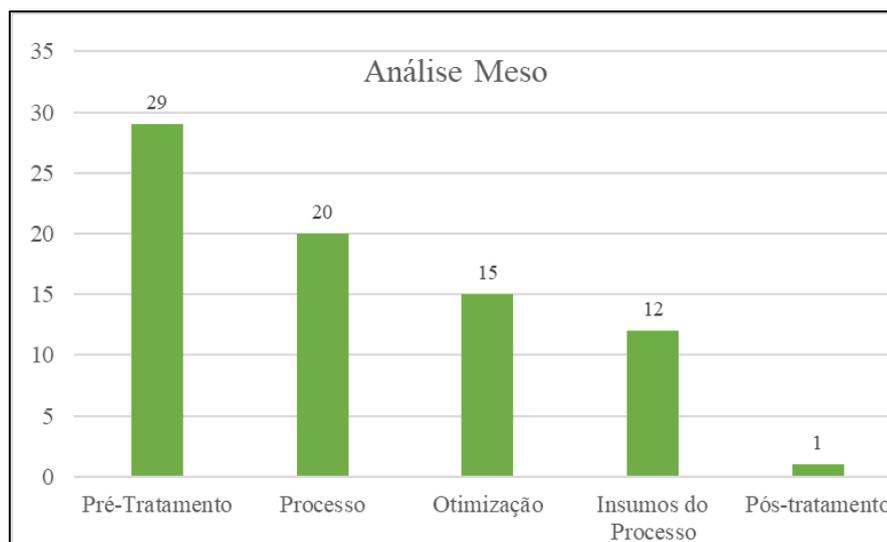
As empresas não apresentaram nenhuma publicação de artigo sem o estabelecimento de parcerias. Nesse tipo de publicação identificou-se a participação de apenas as empresas EMBRAPA (em parceria com a UFSCAR e com o CNPEM e a UNICAMP) e CTC (em parceria com o CEPESQ).

6.4.2. Análise Meso:

Na Análise Meso, os artigos foram categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno da produção de etanol 2G a partir da cana-de-açúcar. Estes aspectos foram organizados segundo as seguintes taxonomias: Pré-Tratamento, Insumos do Processo, Processo, Pós-Tratamento e Otimização/ Avaliação do Processo.

A Figura 6.14 mostra o quantitativo de artigos que possuíam cada uma das taxonomias definidas a cima, um mesmo artigo pode ser classificado em mais de uma categoria.

Figura 6.14 – Análise Meso dos artigos científicos.



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados Scopus (2019).

Como pode ser observado na Figura 6.14, a taxonomia de “Pré-Tratamento” é a mais recorrente nas pesquisas científicas, seguida de pela taxonomia de “Processo”. A “Otimização” também aparece em diversos artigos, principalmente em relação a busca pelas melhores condições de Processo. Os “Insumos do Processo” são a quarta taxonomia mais citada nos artigos.

A Meso “Pré-Tratamento” apareceu em 29 dos artigos estudados. Como exemplo de documentos que abordaram esse assunto pode-se citar os artigos “Comparison of two pretreatments methods to produce second-generation bioethanol resulting from sugarcane bagasse” (autoria das Universidad del Tolima, Universidad del Cauca e Universidad de Caldas, em 2018) e “Exergy analysis of pretreatment processes of bioethanol production based on sugarcane bagasse” (autoria da USP e Autonomous University of Bucaramanga, em 2014). Em ambos os artigos citados foi realizado o estudo comparativo entre diferentes tipos de Pré-Tratamento para o bagaço da cana-de-açúcar.

A Meso “Processo” foi identificada em 20 das publicações estudadas, como por exemplo o artigo desenvolvido pela South China Agricultural University (“Integrating sugarcane molasses into sequential cellulosic biofuel production based on SSF process of high solid loading”, 2018), que teve como objetivo reduzir os altos custos de processamento, adicionando o melaço na produção de etanol 2G para melhorar o sistema de Fermentação, a concentração final de etanol e o rendimento.

No caso da Meso “Otimização” foram identificados diversos artigos que avaliaram a influência de diversos parâmetros (“Evaluation of oxygen availability on ethanol production from sugarcane bagasse hydrolysate in a batch bioreactor using two strains of xylose-fermenting yeast”, 2016) e a viabilidade técnico-econômica (“Technical and economical evaluation of bioethanol production from lignocellulosic residues in Mexico: Case of sugarcane and blue agave bagasses”, 2016) da produção do etanol 2G.

A Meso “Insumos do Processo” foi foco de apenas 12 documentos, podendo-se citar como exemplo o estudo da utilização de um Biorreator de leito fluidizado auxiliado por campo magnético (“Bioethanol Production From Sugarcane Bagasse Hemicellulose Hydrolysate by Immobilized *S. shehatae* in a Fluidized Bed Fermenter Under Magnetic Field”, 2019). Além de outro artigo que empregou um reator de coluna de fluxo de leito fixo para viabilizar a produção do etanol 2G (“A new approach for bioethanol production from sugarcane bagasse using hydrodynamic cavitation assisted-pretreatment and column reactors”, 2018).

A Meso “Pós-Tratamento” foi observada no artigo elaborado pela parceria entre as universidades University of Calabria e Hanyang University e o centro de pesquisa National Institute of Technology Durgapur (“Continuous production of bioethanol from sugarcane bagasse and downstream purification using membrane integrated bioreactor”, 2019), que teve como objetivo alcançar o bioetanol quase puro pela purificação a jusante, por meio da utilização de um Biorreator híbrido com Membrana.

6.4.3. Análise Micro

A análise Micro fornece características mais detalhadas das taxonomias estudadas na análise Meso a respeito dos artigos científicos em discussão.

Tabela 6.4 – Análise Micro dos artigos científicos.

Meso	Micro	Artigos
Pré-Tratamento	Físico	8
	Ácido	8
	Alcalino	13
	Organsolv	3
	Biológico	3

	Explosão a Vapor	6
	AFEX	3
	Químico	3
Insumos do Processo	MO	7
	Enzima	4
	Biorreator	2
Processo	Hidrólise	3
	Fermentação	1
	Destoxificação	0
	SSF	10
	SHF	2
	SSCF	3
	CPB	2
	Integrado 1G	3
Otimização / Avaliação	Avaliação Econômica	7
	Parâmetros do Processo	8
	Plantio da Cana	0
Pós-Tratamento	Destilação	0
	Membrana	1

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados Scopus (2019).

Como pode ser observado na Tabela 6.4, dos 29 artigos que abordaram “Pré-Tratamento”, a maioria se concentrou nos “Pré-Tratamentos”: (i) Alcalinos, como o artigo escrito pelas University of the Philippines e Kyushu University (“Bioethanol production from alkaline-pretreated sugarcane bagasse by consolidated bioprocessing using *Phlebia* sp. MG-60”, em 2014); (ii) Ácidos; (iii) Físicos, que incluem moagem, tritramento e rolamento. A publicação da Maharshi Dayanand University (“Development of an environmental-benign process for efficient pretreatment and saccharification of *Saccharum* biomasses for bioethanol production”, 2019) comparou a eficiência de diversos tipos de Pré-Tratamento: Físico, Biológico, AFEX, Ácido e Alcalino.

Dos artigos que tiveram como foco os “Insumos do Processo”, a grande maioria abordou os Microrganismos, como cultura de leveduras e bactérias utilizadas para a Fermentação dos açúcares e produção de etanol, e as enzimas, sendo que apenas dois artigos focaram no estudo do desenvolvimento de um Biorreator. Um exemplo é o artigo publicado pelas universidades Quaid-i-Azam University e University of Tennessee, que analisou a variação da eficiência da Fermentação do bagaço de cana-de-açúcar e o emprego de diferentes tipos de leveduras

fermentativas (“Enhanced production of bioethanol by fermentation of autohydrolyzed and C4mimOAc-Treated sugarcane bagasse employing various yeast strains”, 2017).

Quanto a taxonomia de “Processo”, a maior parte dos artigos focou no Processo de produção do etanol 2G por meio da Sacarificação e Fermentação em Separado (SSF), como por exemplo o artigo chinês das universidades South China Agriculture University e Chinese Academy of Sciences (“Sequential bioethanol and biogas production from sugarcane bagasse based on high solids fed-batch SSF”, 2015). Outra Micro citada por vários artigos foi a referente à “Hidrólise”, como o artigo publicado pelas universidades UFV e North Carolina State University (“Production of fermentable sugars from sugarcane bagasse by enzymatic hydrolysis after autohydrolysis and mechanical refining”, 2015), que estudou a produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar via Hidrólise enzimática e pré-tratado utilizando auto Hidrólise e refino mecânico.

Quanto a “Otimização /Avaliação” do Processo, sete pesquisas focaram em avaliações técnico-econômicas de biorrefinarias para produção de etanol 2G, como por exemplo o artigo escrito pela universidade Universidad Autónoma del Estado de Morelos e o centro de pesquisa Instituto Mexicano del Petróleo (“Technical and economical evaluation of bioethanol production from lignocellulosic residues in Mexico: Case of sugarcane and blue agave bagasses”, 2016). E outras oito abordaram a variação de parâmetros com o objetivo de otimizar o Processo, como a pesquisa que utilizou simulação computacional para investigar os efeitos dos parâmetros da Hidrólise ácida no rendimento da produção de bioetanol 2G, produzida pelas universidades BiT Bahir Dar University e Wollo University Ethiopia (“Chemically synthesized biofuels from agricultural waste: Optimization operating parameters with surface response methodology (CCD)”, 2017)

A Meso “Pós-Tratamento” apareceu uma única vez com um artigo estudando a eficiência do uso de Membranas para a obtenção do etanol puro, que foi publicado pela University of Calabria, Hanyang University e o National Institute of Technology Durgapur (“Continuous production of bioethanol from sugarcane bagasse and downstream purification using membrane integrated bioreactor”, 2019).

7. CONSTRUÇÃO DO *ROADMAP* TECNOLÓGICO:

Para a construção do *Roadmap* Tecnológico que será apresentado neste capítulo foram utilizados os documentos listados no Apêndice A, todas as patentes solicitadas, concedidas e os artigos são listadas e identificados para consulta posterior. As logomarcas dos *players* utilizadas para a elaboração do *Roadmap* estão apresentadas no Apêndice B, elas foram separadas por tipo de instituição, no caso das empresas foi acrescentado também um breve resumo das mesmas.

Cada logomarca representa um *player*, como os documentos podem ser publicados por um ator individualmente ou por uma associação de atores, quando o último caso ocorre as logomarcas são apresentadas juntas e envolvidas por um retângulo vermelho, formando um *cluster* de “Parceria”.

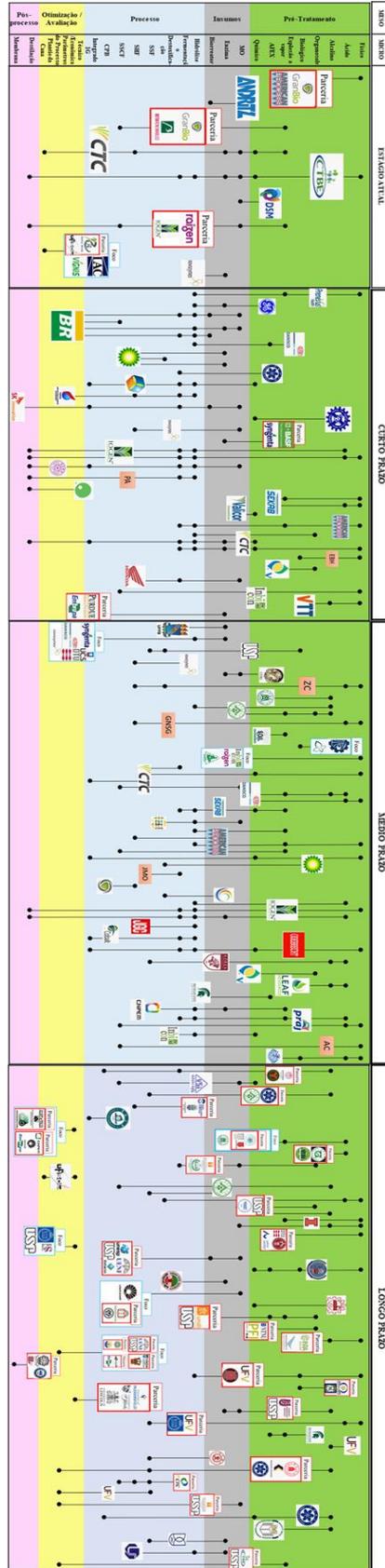
Para melhorar a visualização do *Roadmap* e torná-lo mais legível, além de colaborar para a formação do mapa de similaridade entre atores, foi utilizado a definição do *cluster* de “mesmo foco”, que ocorre quando diferentes *players* possuem focos iguais e podem então ser agrupados. Neste caso as logomarcas são contornadas por um retângulo azul.

Cada *player* ou *cluster* foi associado à sua taxonomia Micro e Meso por meio de marcações em formato de círculo ao longo da reta vertical que corta suas logomarcas. A identificação das taxonomias encontra-se na parte esquerda do mapa.

O *Roadmap* foi organizado respeitando a ordem cronológica dos documentos analisados, dessa forma da esquerda para a direita são apresentados os seguintes estágios temporais: estágio atual ou marco zero, curto prazo, médio prazo e longo prazo. Dessa forma um mesmo ator pode aparecer de forma repetida no mapa se ele participar de mais de um estágio temporal.

O *Roadmap* Tecnológico obtido a partir do presente estudo está apresentado na Figura 7.1, em seguida cada estágio temporal é analisado e explicado de forma individual nos subcapítulos posteriores.

Figura 7.1 – Roadmap Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.

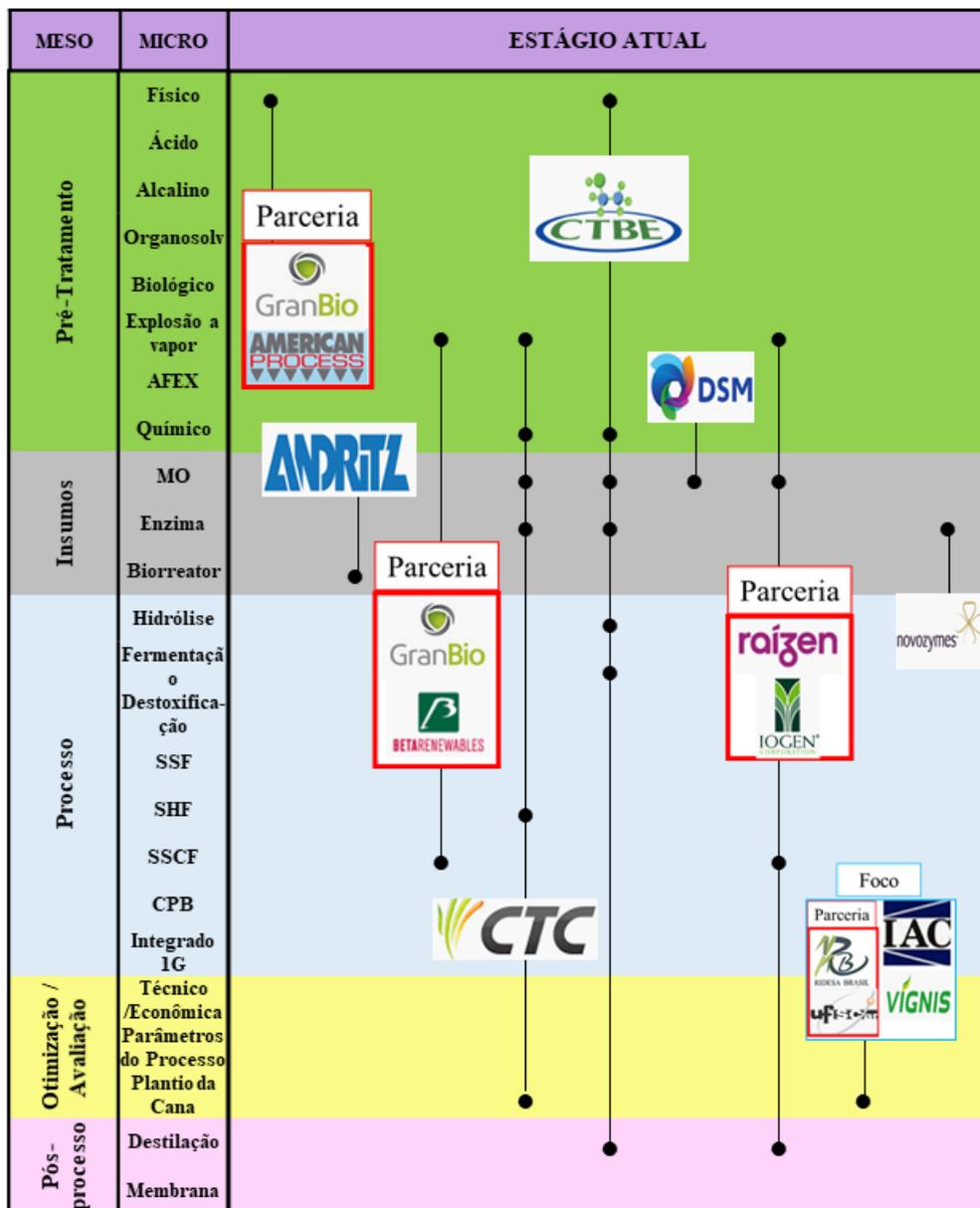


Fonte: Elaboração própria

7.1. ESTÁGIO ATUAL

A Figura 7.2 apresenta o recorte do Estágio Atual do *Roadmap* Tecnológico do etanol de segunda geração produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar. Os atores aqui apresentados foram identificados por já atuarem no setor, seja no gerenciamento de uma biorrefinaria ou no fornecimento de equipamentos e insumos para as mesmas.

Figura 7.2 – Estágio atual do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 7.2 mostra todos os atores identificados por meio de mídias especializadas, representando o recorte do estágio atual. As taxonomias ficaram bem distribuídas pela *Roadmap*, uma vez que para a produção do etanol 2G são necessárias todas as etapas mostradas no mapa. O *driver* “Explosão a Vapor” foi o mais mencionado dentro da taxonomia de “Pré-Tratamento”, indicando que este é o método de Pré-Tratamento mais utilizado pela indústria. As Micros “MO” e “Enzima” também foram citadas um maior número de vezes que as demais, demonstrando que diversas empresas desenvolvem esse tipo de tecnologia. A otimização do “Plantio da Cana” também teve destaque no estágio atual, evidenciando que o melhoramento genético da cana-de-açúcar é um fator importante para a otimização dos Processos na indústria sucroalcooleira.

A empresa brasileira GranBio foi relacionada a duas importantes parcerias. A primeira com a American Process (API) para o desenvolvimento dos “Pré-Tratamento” de “Físico” e de “Explosão a Vapor”. A segunda parceria é com a italiana Beta Renewables, que licenciou para a GranBio seu Processo de produção de etanol 2G denominado Proesa[®]. Sendo assim, identificado para essa parceria os “Pré-Tratamento” de “Explosão a Vapor” e “Processo” do tipo “SSCF”.

A segunda empresa brasileira atribuída ao estágio atual do *Roadmap* foi a CTC, que abordou os Pré-Tratamentos “Químico” e de “Explosão a Vapor”, assim como as Micros de “Insumos de Processo” referentes a “Enzima”, “MO” e a de “Processo” referente a “SHF”. Além disso, a empresa também possui um setor para desenvolver novas variedades da cana-de-açúcar e otimizar o Processo de produção do bioetanol de segunda geração.

A empresa Andritz foi associada a Meso “Insumos de Processo” por ser a fornecedora dos Biorreatores para a produção de etanol 2G da brasileira CTC.

O centro de pesquisa Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) desenvolve internamente todas as etapas necessárias para a produção do etanol 2G: “Pré-Tratamento”, Processo e Pós-Tratamento. Os Pré-Tratamentos utilizados são os “Físico” e “Químico”, as variáveis do Processo incluem “Enzima”, “MO”, “Hidrólise” e “Fermentação”, e por fim, o “Pós-Tratamento” escolhido é a “Destilação”.

A última empresa brasileira que realiza o Processo de produção do etanol 2G é a Raízen. Em parceria com a Iogen Corp, as empresas construíram uma biorrefinaria para a produção de etanol 2G. Sendo assim, foram identificadas para essa parceria os seguintes *drivers*: “Pré-Tratamento” do tipo “Explosão a Vapor”, “Processo” do tipo “SSCF” com utilização de “MO”

e “Pós-Tratamento” de “Destilação”.

A dinamarquesa Novozymes fornece “Enzima” para a Hidrólise da biomassa lignocelulósica para as empresas produtoras de etanol 2G, incluindo como seus clientes a GranBio, CTC e Raízen.

Por fim, cabe ressaltar o investimento no melhoramento genético da cana-de-açúcar, como o desenvolvimento de variedades de cana-energia, que apareceram no recorte associado ao *driver* “Plantio da Cana”. Os atores identificados com foco único nesse *driver* foram: as empresas Vignis e IAC e as universidades parceiras Ridesa e UFSCAR.

O Quadro 7.1 contém todos os *players* atuantes no setor identificado por meio de pesquisas nos websites das empresas, representando o estágio atual do *Roadmap* Tecnológico e seus respectivos *drivers*.

Quadro 7.1 – Estágio Atual do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.

Ator	Tipo de Autor	Meso	Micro
API GranBio	Empresa	Insumos do Processo	Biorreator
Andritz	Empresa	Pré-Tratamento	Físico; Explosão a Vapor
Beta Renewables GranBio	Empresa	Pré-Tratamento; Processo; Pós-Tratamento	Explosão a Vapor; SSCF; Destilação
CTC	Empresa	Pré-Tratamento, Pré-Tratamento; Insumos do Processo, Processo, Otimização	Explosão a vapor, Químico, Enzimas, MO, Fermentação, Hidrólise, SHF, Plantio da cana
CTBE	Centro de Pesquisa	Pré-Tratamento; Insumos do Processo, Processo; Pós-Tratamento	Físico, Químico, MO, Enzima, Hidrólise, Fermentação, Destilação
DSM	Empresa	Insumos do Processo	MO
IAC	Centro de Pesquisa	Otimização	Plantio da Cana
Iogen Energy Corp Raízen	Empresa	Pré-Tratamento, Insumos do Processo, Processo, Pós-Tratamento	Explosão a Vapor, MO, SSCF, Destilação
Novozymes	Empresa	Insumos do Processo	Enzima
RIDESA Ufscar	Universidade	Otimização	Plantio da Cana
Vignis	Empresa	Otimização	Plantio da Cana

Fonte: Elaboração própria.

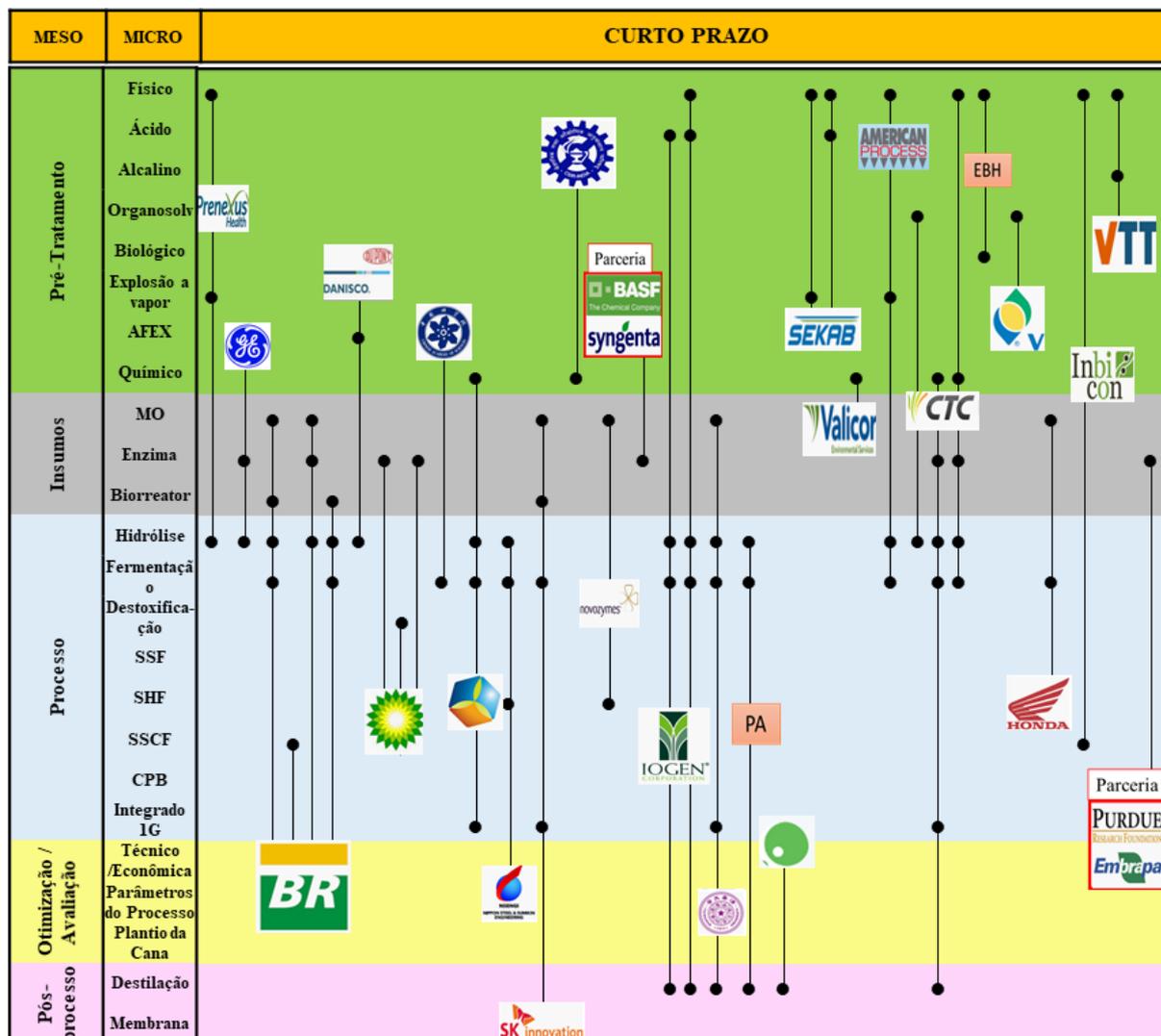
A partir da análise do Quadro 7.1 infere-se que muitos atores optam pela formação de parceria no que tange a produção do etanol de segunda geração, isso ocorre devido ao alto custo do processo como um todo e da exigência de diferentes *expertises* para a realização do projeto. Além disso, pode-se perceber que a maioria dos atores são empresas, com a participação de apenas dois centros de pesquisas e uma universidade.

O Quadro 7.1 também aponta para três diferentes atores (IAC, RIDESA e UFSCAR, Virgnis) com foco na otimização do plantio da cana-de-açúcar, o grande interesse no desenvolvimento dessas “super canas” deriva do desenvolvimento contínuo da indústria sucroalcooleira.

Além disso, dos atores que focam em todas as etapas do processo (Beta Renewables e GranBio, CTC, CTBE e Iogen Energy) percebe-se que a maioria emprega a metodologia do tipo “SSCF” para a produção do etanol 2G oriundo da cana-de-açúcar.

7.2. CURTO PRAZO

A Figura 7.3 apresenta o recorte do Curto Prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar, mostrando os atores identificados por meio das patentes já concedidas.

Figura 7.3 – Curto prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.

Elaboração própria.

A Figura 7.3 mostra todos os atores que tiveram patentes concedidas nos últimos cinco anos, tendo sido as empresas o tipo de instituição mais presente nesse recorte. A taxonomia mais recorrente foi a de “Processo”, com destaque para os Processos de “Fermentação” e “Hidrólise”. A taxonomia de “Pré-Tratamento” “Físico” também apareceu em um número significativo de patentes. Apenas a Meso “Avaliação / Otimização” não foi atribuída a nenhuma das patentes estudadas.

A empresa com o maior número de patentes concedidas nos últimos cinco anos foi a estatal brasileira Petrobras, com quatro documentos. Os focos dos documentos são “Processo” e “Insumos do Processo”, com destaque para “Hidrólise”, “Fermentação” e “MO”. Cabe

observar que as patentes são referentes aos anos de 2014 e 2015, antes da empresa decidir encerrar sua produção de biocombustíveis.

Outra empresa brasileira também obteve destaque nas patentes concedidas, foi a CTC com três documentos. Duas patentes tiveram como objetivo a melhoria do “Pré-Tratamento”, “Insumos do Processo” e do “Processo”, sendo relatado os Pré-Tratamentos “Físico”, “Químico” e “Organosolv” e os Processos e insumos relativos a “Enzima”, “Hidrólise” e “Fermentação”. A terceira patente projetou um sistema de produção integrado com etanol de primeira geração e também abordou as etapas de “Hidrólise”, “Fermentação” e “Destilação”.

Também foram estudadas três patentes pertencentes a empresa BP (British Petroleum), sendo duas delas referentes a melhoria da eficácia das “Enzimas” e outra no Processo de “Destoxificação” da biomassa lignocelulósica.

A empresa sueca Sekab E-Technology desenvolveu uma metodologia exclusiva para a produção de etanol 2G denominada *E-Tech Process*. Sendo assim, nos últimos cinco anos foram analisadas duas patentes concedidas, ambas abordando a taxonomia “Pré-Tratamento”, sendo uma com foco nos Pré-Tratamentos “Físico” e “Ácido” e outra nos “Físico” e “Explosão a Vapor”.

Foram identificadas duas patentes concedidas pertencentes a empresa canadense Iogen Energy. sendo ambas com ênfase nos *drivers* “Pré-Tratamento” e “Processo”. A primeira propôs a remoção da sílica do bagaço da cana-de-açúcar por meio da utilização de Pré-Tratamentos “Físico”, por meio da lavagem, ciclone e peneira, além de descrever também os Processos de “Hidrólise” e “Fermentação”, além do “Pós-Tratamento” “Destilação”. A segunda patente divulgou um Processo para tratar a biomassa com Ácido sulfuroso e em seguida submetê-la aos Processos de “Hidrólise” e “Fermentação”, além do “Pós-Tratamento” “Destilação”.

O Quadro 7.2 contém todos os depositantes de patentes já concedidas, representando o estágio temporal de curto prazo do *Roadmap* Tecnológico e seus respectivos *drivers*.

Quadro 7.2 – Curto prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.

CURTO PRAZO				
Nº	Depositantes	Tipo de autor	Meso	Micro
1	API INTELLECTUAL PROPERTY HOLDINGS, LLC	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Explosão a Vapor, Hidrólise, Fermentação
2	BP	Empresa	Processo	Destoxificação
3	BP	Empresa	Insumos do Processo	Enzima
4	BP	Empresa	Insumos do Processo	Enzima
5	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	Universidade	Processo	Fermentação
6	COFCO	Centro de Pesquisa	Pré-Tratamento, Processo	Químico, Hidrólise, Fermentação
7	COUNCIL OF SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH	Centro de Pesquisa	Pré-Tratamento	Químico
8	CTC	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Organosolv, Hidrólise
9	CTC	Empresa	Insumos do Processo, Processo, Pós-Tratamento	Enzima, Hidrólise, Fermentação, Integrado 1G, Destilação
10	CTC	Empresa	Pré-Tratamento, Insumos do Processo, Processo	Físico, Químico, Enzima, Hidrólise, Fermentação
11	DU PONT	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	AFEX, Hidrólise
12	GE	Empresa	Insumos do Processo, Processo	Enzima, Hidrólise
13	HAMRICK; EDWARD BRIAN	Individual	Pré-Tratamento	Físico, Biológico
14	HONDA MOTOR	Empresa	Insumos do Processo, Processo	MO, Fermentação
15	INBICON	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, SSCF
16	IOGEN ENERGY	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Hidrólise, Fermentação
17	IOGEN ENERGY	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Ácido, Hidrólise, Fermentação
18	NIPPON STEEL & SUMIKIN ENG CO	Empresa	Processo	Hidrólise, Fermentação, SHF
19	NOVOZYMES	Empresa	Insumos do Processo, Processo	MO, SHF
20	PETROBRAS	Empresa	Insumos do Processo, Processo	Hidrólise, Fermentação, Biorreator
21	PETROBRAS	Empresa	Insumos do Processo, Processo	MO, Hidrólise, Enzima, Biorreator
22	PETROBRAS	Empresa	Processo	SSCF

23	PETROBRAS	Empresa	Insumos do Processo, Processo	MO, Enzima, Hidrólise
24	PRADYOT A. AGASKAR	Individual	Processo, Pós-Tratamento	Hidrólise, Fermentação, Destilação
25	PRENEXUS HEALTH	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Explosão a Vapor, Hidrólise
26	PURDUE RESEARCH FOUNDATION	Empresa	Insumos do Processo	Enzima
	EMBRAPA			
27	SYNGENTA	Empresa	Insumos do Processo	Enzima
	BASF ENZYMES			
28	SEKAB E-TECHNOLOGY	Empresa	Pré-Tratamento	Físico, Ácido, Químico
29	SEKAB E-TECHNOLOGY	Empresa	Pré-Tratamento	Físico, Químico
30	SK INNOVATION	Empresa	Insumos do Processo, Processo	MO, Fermentação, Integrado 1G, Biorreator
31	TSINGHUA UNIVERSITY	Universidade	Insumos do Processo, Processo, Pós-Tratamento	MO, Hidrólise, Fermentação, Integrado 1G, Destilação
32	VALICOR	Empresa	Pré-Tratamento	Químico
33	VERTICHEM	Empresa	Pós-Tratamento	Destilação
34	VIRENT	Empresa	Pré-Tratamento	Organosolv
35	VTT	Empresa	Pré-Tratamento	Físico, Alcalino

Fonte: Elaboração própria.

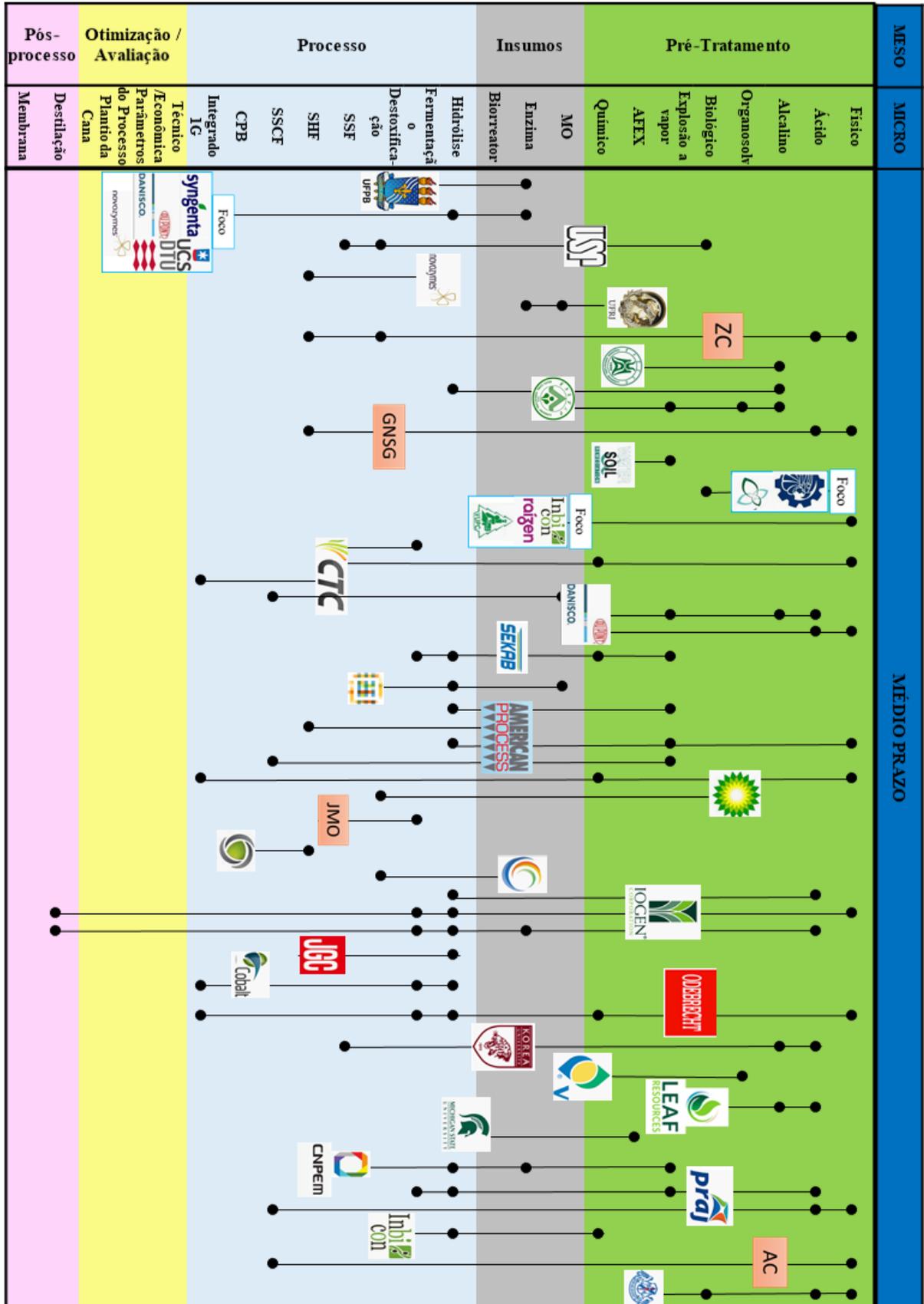
A partir da análise do Quadro 7.2 percebe-se que a empresa com maior destaque nesse cenário é a Petrobras, em relação ao número de patentes depositadas, com o foco apenas em “Processo” e “Insumos do Processo”. A empresa atualmente possui como estratégia de mercado, devido as recentes crises, a saída da produção e desenvolvimento de biocombustíveis, portanto, apesar de se destacar nesse estágio, dificilmente a Petrobras irá atuar na indústria do etanol de segunda geração no curto prazo.

Além disso, a empresa CTC que havia aparecido no estágio atual, também se destacou no curto prazo, indicando que a empresa possui interesse em continuar suas pesquisas para o melhoramento da sua produção do etanol 2G. A Iogen Energy e a Novozymes também se comportam de forma semelhantes, uma vez que todas essas empresas aparecem nos dois estágios.

7.3. MÉDIO PRAZO

A Figura 7.4 apresenta o recorte do período de médio prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol de segunda geração produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Figura 7.4 – Médio prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.



Elaboração própria.

Como pode ser observado na Figura 7.4 diversas empresas, universidades e centros de pesquisas depositaram patentes nos últimos cinco anos sobre o assunto estudado. A taxonomia que apareceu por mais vezes no *Roadmap* de médio prazo foi a de “Processo”, com ênfase para o *driver* “Hidrólise”. A taxonomia de “Pré-Tratamento” foi a segunda mais recorrente, com destaque para os Pré-Tratamentos Físico, Ácido e de Explosão a Vapor.

Duas empresas depositaram quatro patentes cada uma no período estudado: API Intellectual Property Holdings LLC e Danisco. No caso da API três patentes tiveram como foco o Pré-Tratamento “Explosão a Vapor”, dentre as quais duas focaram também na “Hidrólise”. Outros *drivers* que apareceram nas patentes da empresa API foram os Processos de produção de etanol 2G do tipo “SHF” e “SSCF”. Por outro lado, cada patente depositada da empresa Danisco apresentou focos distintos umas das outras. As quatro patentes focaram em: “Microrganismos” e “SSCF”, “Enzima” e “Hidrólise”; “Ácido”, “Alcalino” e “Explosão a Vapor”, “Físico” e “Ácido”.

A empresa dinamarquesa Inbicon solicitou um total de três patentes, sendo uma em parceria com a Odebrecht, onde foram identificados os *drivers*: “Físico”, “Químico”, “Hidrólise”, “Fermentação” e “Integrado 1G”. As outras duas patentes descreveram métodos para o Pré-Tratamento da biomassa por meio Físico e químico, além disso a Micro “Hidrólise” também foi identificada em uma das patentes.

O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) é uma empresa brasileira que teve três pedidos de patentes estudados. A taxonomia de “Processo” apareceu em duas das três patentes, uma vez referente a “Fermentação” e a segunda na abordagem que integra a produção de etanol 1G e 2G. A terceira patente focou em “Pré-Tratamento” Físicos e químicos.

Três das patentes estudadas foram depositadas pela empresa canadense Iogen Energy. Duas delas apresentaram como *driver* o “Pós-Tratamento” de “Destilação”. As três patentes tiveram foco também no “Pré-Tratamento”, sendo duas delas com ênfase no “Pré-Tratamento” “Ácido” e uma no “Físico”. Além disso, a Micro “Hidrólise” também esteve presente nas três patentes, enquanto a “Fermentação” apareceu em apenas duas.

A empresa indiana PRAJ Industries propôs dois métodos para a produção de etanol 2G a partir do bagaço da cana-de-açúcar, gerando assim duas patentes distintas. O primeiro método utilizou os Pré-Tratamentos “Ácido” e de “Explosão a Vapor”, seguidos de “Hidrólise”, “Fermentação” e “Destilação”. Na segunda metodologia houve a aplicação dos Pré-Tratamentos “Físico” e “Ácido”, seguido da utilização do Processo do tipo “SSCF”.

A Novozymes é uma empresa dinamarquesa especializada no desenvolvimento de enzimas para o mercado mundial de biotecnologia. Nesse contexto, a empresa solicitou dois pedidos de patentes no período estudado, com o foco em “Processo”, “Enzima” e “Hidrólise”.

A Raízen é uma empresa brasileira com forte presença na indústria sucroalcooleira, que teve seus dois pedidos de patentes focados no “Pré-Tratamento” do tipo “Físico”.

A BP propôs duas metodologias para otimizar a produção de etanol 2G, sendo uma delas focada no “Processo” de “Destoxificação” da biomassa e outra nos “Pré-Tratamentos” “Físicos” e “Químicos”, além de propor a integração da produção com o etanol 1G.

Duas patentes foram solicitadas pela universidade chinesa South China Agricultural University. A primeira propôs um método para melhorar o “Processo” de “Hidrólise” enzimática da biomassa pré-tratada com etanol “Alcalino”. A segunda patente focou apenas nos “Pré-Tratamentos” dos tipos: “Alcalino”, “Organosolv” e “Explosão a Vapor”.

No Quadro 7.3 são apresentados todos os atores estudados no estágio temporal de médio prazo do *Roadmap* Tecnológico e seus respectivos *drivers*.

Quadro 7.3 – Médio prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.

MÉDIO PRAZO				
Nº	Depositante	Tipo de autor	Meso	Micro
1	APELT CHRISTINE	Individual	Pré-Tratamento, Processo	Físico, SSCF
2	API INTELLECTUAL PROPERTY HOLDINGS LLC	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Explosão a Vapor, Hidrólise
3	API INTELLECTUAL PROPERTY HOLDINGS LLC	Empresa	Processo	SHF
4	API INTELLECTUAL PROPERTY HOLDINGS LLC	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Explosão a Vapor, Hidrólise
5	API INTELLECTUAL PROPERTY HOLDINGS LLC	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Explosão a Vapor, SSCF
6	BP	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Químico, Integrado 1G
7	BP	Empresa	Processo	Destoxificação
8	CNPEM	Centro de Pesquisa	Pré-Tratamento, Insumos do Processo, Processo	Explosão a Vapor, Enzima, Hidrólise

9	COBALT TECHNOLOGIES	Empresa	Processo	Hidrólise, Fermentação, Integrado 1G
10	CTC	Empresa	Processo	Fermentação
11	CTC	Empresa	Pré-Tratamento	Físico, Químico
12	CTC	Empresa	Processo	Integrado 1G
13	DANISCO	Empresa	Insumos do Processo, Processo	MO, SSCF
14	DANISCO	Empresa	Insumos do Processo, Processo	Enzima, Hidrólise
15	DANISCO	Empresa	Pré-Tratamento	Ácido, Alcalino, Explosão a Vapor
16	DANISCO	Universidade	Pré-Tratamento	Físico, Ácido
17	DE OLIVEIRA, JADYR MENDES	Individual	Processo	Fermentação
18	DIREVO	Empresa	Insumos do Processo, Processo	MO, Hidrólise
19	GRANBIO	Empresa	Processo	SHF
20	GUANGXI NONGKEN SUGAR GROUP	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Ácido, SHF
21	HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY	Universidade	Pré-Tratamento	Alcalino
22	INBICON	Empresa	Pré-Tratamento	Físico
23	INBICON	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Químico, Hidrólise
24	INBICON	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Químico, Hidrólise, Fermentação, Integrado 1G
	ODEBRECHT			
25	IOGEN ENERGY	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Ácido, Hidrólise
26	IOGEN ENERGY	Empresa	Pré-Tratamento, Processo, Pós-Tratamento	Físico, Hidrólise, Fermentação, Destilação
27	IOGEN ENERGY	Empresa	Pré-Tratamento, Insumos do Processo, Processo, Pós-Tratamento	Ácido, Enzima, Fermentação, Hidrólise, Destilação
28	JGC	Empresa	Processo	Hidrólise
29	KEIMYUNG UNIVERSITY	Universidade	Pré-Tratamento	Físico, Biológico, Ácido
30	KOREA UNIVERSITY	Universidade	Pré-Tratamento, Processo	Ácido, Alcalino, SSF
31	LEAF ENERGY	Empresa	Pré-Tratamento	Ácido, Alcalino
32	MICHIGAN STATE UNIVERSITY	Universidade	Pré-Tratamento	AFEX
33	MICROVI BIOTECH	Empresa	Processo	CPB
34	NOVOZYMES	Empresa	Processo	SHF
35	NOVOZYMES	Empresa	Insumos do Processo, Processo	Enzima, Hidrólise

36	PRAJ INDUSTRIES	Empresa	Pré-Tratamento, Processo, Pós-Tratamento	Ácido, Explosão a Vapor, Hidrólise, Fermentação, Destilação
37	PRAJ INDUSTRIES	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Ácido, SSCF
38	RAÍZEN	Empresa	Pré-Tratamento	Físico
39	RAÍZEN	Empresa	Pré-Tratamento	Físico
40	SEKAB E-TECHNOLOGY AB	Empresa	Pré-Tratamento, Processo	Explosão a Vapor, Químico, Hidrólise, Fermentação
41	SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY	Universidade	Pré-Tratamento, Processo	Alcalino, Hidrólise
42	SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY	Universidade	Pré-Tratamento	Alcalino, Organosolv, Explosão a Vapor
43	SYNGENTA	Empresa	Insumos do Processo, Processo	Enzima, Hidrólise
44	TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK	Universidade	Insumos do Processo, Processo	Enzima, Hidrólise
45	TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	Universidade	Pré-Tratamento	Biológico
46	UCS	Universidade	Insumos do Processo, Processo	Enzima, Hidrólise
47	UFPB	Universidade	Insumos do Processo	Enzima
48	UFRJ	Universidade	Insumos do Processo	MO, Enzima
49	USP	Universidade	Pré-Tratamento, Processo	Biológico, Destoxificação, SSF
50	VERENIUM CORPORATION	Empresa	Pré-Tratamento	Biológico
51	VIRENT	Empresa	Pré-Tratamento	Organosolv
52	VYSKUMNY USTAV PAPIERA A CELULOZY	Empresa	Pré-Tratamento	Físico
53	WATER AND SOIL REMEDIATION	Empresa	Pré-Tratamento	Explosão a Vapor
54	ZHANG CONGCONG	Individual	Pré-Tratamento, Processo	Físico, Ácido, SHF, Destoxificação

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 7.3 apresenta uma grande diversidade de empresas, universidades e centro de pesquisas atuantes no desenvolvimento da indústria sucroalcooleira de segunda geração. Destaca-se que a Iogen Energy, a CTC e a Novozymes foram as únicas empresas que apareceram nos últimos três estágios analisados (atual, curto e médio). A partir desse fato pode-se inferir que essas empresas tem investido fortemente no setor há alguns anos, conseguindo

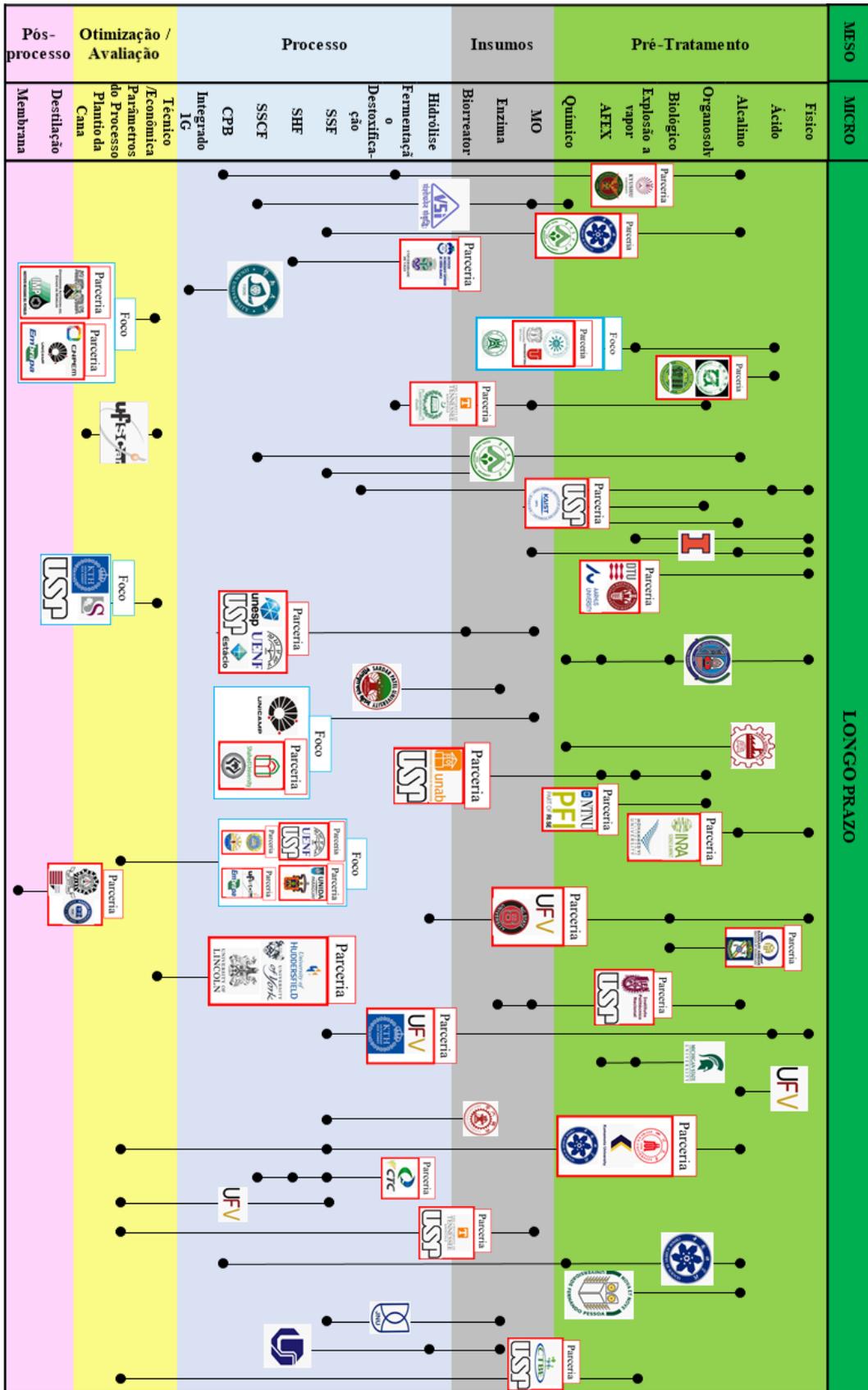
alcançar resultados efetivos, como o que foi mostrado no estágio atual.

Pode-se perceber também nesse quadro que muitas empresas se repetem no estágio de médio prazo, uma vez que várias tiveram mais de um pedido de patentes identificados (API, BP, Danisco, Raízen, entre outras). A API, com quatro pedidos de patentes, é tradicionalmente uma empresa que desenvolve biotecnologias para a indústria de biocombustíveis e no caso do etanol 2G, ela focou, principalmente, no desenvolvimento do “Pré-tratamento” do tipo Explosão a Vapor e no “Processo” de Hidrólise.

7.4. LONGO PRAZO

A Figura 7.5 apresenta o recorte do estágio de Longo Prazo do *Roadmap* Tecnológico referente ao etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar. Esse estágio foi elaborado a partir das informações obtidas nos artigos científicos.

Figura 7.5 – Longo prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaboração própria.

Como já havia sido observado, o tipo de instituição que mais atuou nesse estágio temporal foram as universidades, sendo a maioria dos artigos publicados por meio de parcerias entre as mesmas. As taxonomias mais presentes nesses documentos foram as de ““Pré-Tratamento””, com maior foco no “Ácido” e “Processo”, com a Micro “SHF” aparecendo por mais vezes.

A Universidade de São Paulo (USP) foi a autora do maior número de artigos, com um total de 10 publicações. Dos quais apenas um desses artigos foi publicado sem a concepção de parcerias. Este artigo teve como foco a Avaliação Técnico-Econômica da produção de etanol 2G, que coincidiu com o foco da publicação das universidades de Stellenbosch; as parceiras Huddersfield, York e Lincoln; além do centro de pesquisa CTBE. Além disso, três desses artigos foram publicados em parceria com a universidade coreana KAIST, sendo todos com foco na taxonomia “Pré-Tratamento” e avaliação da eficácia da utilização de Ácido e base nessa etapa. Outro artigo foi publicado em parceria com as universidades brasileiras Estácio de Sá, UNESP e UENF, que realiza a avaliação de experimentos para a produção de etanol 2G. O artigo resultante da parceria com a universidade colombiana UNAB, propôs uma análise exegética de diferentes métodos de “Pré-Tratamento”, como Explosão a Vapor, AFEX e Organosolv. Por fim, a universidade americana de Tennessee também publicou um documento em parceria com a USP para avaliar o comportamento da levedura *Scheffersomyces shehatae* na Fermentação do bagaço da cana hidrolisado.

Outra universidade brasileira que apareceu em vários artigos científicos foi a Universidade Federal de Viçosa (UFV), com quatro publicações. Duas das publicações foi de forma individual, com foco na otimização dos parâmetros do “Pré-Tratamento” Alcalino e do Processo do tipo SSF. O terceiro artigo foi publicado em conjunto com Universidade da Carolina do Norte e estudou os “Pré-Tratamentos” de refino mecânico e auto-Hidrólise. O último artigo foi em conjunto com o centro de pesquisa KTH e focou no Processo de Sacarificação e Fermentação Semi-simultâneo (SSSF).

A universidade chinesa Chinese Academy of Sciences também se destacou com a publicações de três artigos. Um foi produzido individualmente, que abordou o tema da produção de etanol 2G por meio do BioProcesso consolidado (CPB). O segundo artigo foi publicado em conjunto com a também chinesa South China Agriculture University e teve como foco a otimização e diminuição do tempo do Processo do tipo SSF. O terceiro artigo foi elaborado em parceria com mais duas universidades, a Sichuan University e a Kumamoto University e teve como foco o estudo da utilização de diversos compostos Alcalinos na deslignificação da

biomassa.

A Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) teve dois artigos analisados, sendo um produzido em parceria com a empresa EMBRAPA, que realizou um estudo comparativo da utilização dos diversos resíduos da cana-de-açúcar para a produção de etanol 2G. O outro artigo foi produzido com o foco na integração energética das biorrefinarias de primeira e segunda geração.

No

Quadro 7.4 são apresentados todos os players atuantes no estágio temporal de longo prazo do *Roadmap* Tecnológico e seus respectivos drivers.

Quadro 7.4 – Longo prazo do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.

LONGO PRAZO				
Nº	Universidade/Centro de Pesquisa/ Empresa	Tipo de autor	Meso	Micro
1	Anna University	Universidade	Pré-tratamento	Químico
2	Bannari Amman Institute of Technology	Centro de Pesquisa	Pré-tratamento	Biológico
	Government College of Technology			
3	BiT Bahir Dar University	Universidade	Otimização	Parâmetros do Processo
	Wollo University Ethiopia			
4	CEPESQ	Centro de Pesquisa	Processo	SSF, SHF, SSCF
	CTC	Empresa		
5	Chinese Academy of Sciences	Universidade	Pré-tratamento, Processo	Alcalino, Químico, CPB
6	Chonnam National University	Universidade	Pré-tratamento	Ácido
	Nong Lam University			
7	CNPEM	Centro de Pesquisa	Otimização	Avaliação Econômica
	EMBRAPA	Empresa		
	UNICAMP	Universidade		
8	CTBE	Centro de Pesquisa	Pré-tratamento, Otimização	Enzima, Parâmetros do Processo
	USP	Universidade		
9	EMBRAPA	Empresa	Otimização	Parâmetros do Processo
	UFSCAR	Universidade		
10	Huazhong Agricultural University	Universidade	Pré-tratamento	Ácido, Explosão a Vapor

11	Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca	Centro de Pesquisa	Processo	SHF
	Universidad de Vigo Instituto Tecnológico de Veracruz	Universidade		
12	Jawaharlal Nehru University	Universidade	Insumos do Processo, Processo	MO, SSF
13	Jinan University	Universidade	Processo	Integrado 1G
14	KTH Royal Institute of Technology	Centro de Pesquisa	Otimização	Avaliação Econômica
15	Maharshi Dayanand University	Universidade	Pré-tratamento	Físico, Biológico, AFEX, Ácido, Alcalino
16	Michigan State University	Universidade	Pré-tratamento	Explosão a Vapor, AFEX
17	National Institute for Agricultural Research	Centro de Pesquisa	Pré-tratamento	Físico, Alcalino, Ácido
	Université Mohammed VI Polytechnique	Universidade		
	Université Sultan Moulay Slimane			
18	National Institute of Technology Durgapur	Centro de Pesquisa	Pós-tratamento	Membrana
	Hanyang University	Universidade		
	University of Calabria			
19	Norwegian University of Science and Technology (NTNU)	Universidade	Pré-tratamento	Organosolv
	Paper and Fibre Research Institute (PFI)	Centro de Pesquisa		
20	Quaid-i-Azam University	Universidade	Pré-tratamento, Insumos do Processo	Organosolv, MO, Hidrólise, Fermentação
	University of Tennessee			
21	Sardar Patel University	Universidade	Insumos do Processo	Enzima
22	Shahed University	Universidade	Insumos do Processo	MO
	Iranian Research Organization for Science and Technology	Centro de Pesquisa		
23	Shanghai Jiao Tong University	Universidade	Processo	SSF
24	Sichuan University	Universidade	Pré-tratamento, Processo, Otimização	Alcalino, Ácido, SSF, Parâmetros do Processo
	Chinese Academy of Sciences			
	Kumamoto University			
25	South China Agricultural University	Universidade	Processo	SSF
26	South China Agricultural University	Universidade	Processo	SSF
27	South China Agriculture University	Universidade	Pré-tratamento, Processo	Alcalino, SSF
	Chinese Academy of Sciences			
28	South China University of Technology	Universidade	Pré-tratamento, Processo	Alcalino, Ácido, SSCF

29	Technical University of Denmark	Universidade	Pré-tratamento	Físico
	Laboratório Nacional de Energia e Geologia	Centro de Pesquisa		
	Aarhus University	Universidade		
	University of Copenhagen			
30	UFP	Universidade	Pré-tratamento	Alcalino
31	UFSCAR	Universidade	Otimização	Avaliação Econômica
32	UFU	universidade	Insumos do Processo, Processo	Enzima, Hidrólise
33	UFV	Universidade	Pré-tratamento	Alcalino
34	UFV	Universidade	Processo, Otimização	SSF, Parâmetros do Processo
35	UFV	Universidade	Pré-tratamento, Processo	Físico, Biológico
	North Carolina State University			
36	UFV	Universidade	Pré-tratamento, Processo	Físico, Ácido, SSF
	KTH Royal Institute of Technology	Centro de Pesquisa		
37	UNESP	Universidade	Insumos do Processo	MO, Biorreator
	USP			
	Estácio de Sá			
	UENF			
38	UNICAMP	Universidade	Insumos do Processo	MO
39	UNIDA	Universidade	Otimização	Parâmetros do Processo
	Universidad de Guadalajara			
40	Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Universidade	Otimização	Avaliação Econômica
	Instituto Mexicano del Petróleo	Centro de Pesquisa		
41	Universidad del Tolima	Universidade	Pré-tratamento	Ácido, Explosão a Vapor
	Universidad del Cauca			
	Universidad de Caldas			
42	University of Huddersfield	Universidade	Otimização	Avaliação Econômica
	University of York			
	University of Lincoln			
43	University of Illinois	Universidade	Pré-tratamento	Físico, Explosão a Vapor
44	University of Illinois	Universidade	Pré-tratamento, Insumos do Processo	Físico, Alcalino, Mo
45	University of the Philippines	Universidade	Pré-tratamento, Processo	Alcalino, Fermentação, CBP
	Kyushu University			
46	University of Stellenbosch	Universidade	Otimização	Avaliação Econômica
47	USP	Universidade	Otimização	Avaliação Econômica

48	USP	Universidade	Pré-tratamento, Insumos do Processo, Processo	Organosolv, MO, Hidrólise, Fermentação
	Autonomous University of Bucaramanga			
49	USP	Universidade	Pré-tratamento, Insumos do Processo, Processo	Alcalino, MO, Enzima, Hidrólise
	Instituto Politécnico Nacional			
50	USP	Universidade	Pré-tratamento, Processo	Físico, Alcalino, SSF
	KAIST			
51	USP	Universidade	Pré-tratamento	Organosolv
	KAIST			
52	USP	Universidade	Pré-tratamento, Insumos do Processo	Alcalino; Biorreator
	KAIST			
53	USP	Universidade	Otimização	Parâmetros do Processo
	UENF			
54	USP	Universidade	Insumos do Processo, Otimização	MO, Parâmetros do Processo
	University of Tennessee			
55	Vasantdada Sugar Institute	Centro de Pesquisa	Pré-tratamento, Insumos do Processo, Processo	Químico, MO, SSCF

Fonte: Elaboração própria.

Após a análise do

Quadro 7.4 pode-se perceber que esse estágio possui a maior variedade de autores, sendo a maioria desses formados por parcerias entre universidades. Algumas parcerias se repetem por vários documentos, como é o caso da USP e KAIST que abordaram diversos tipos de pré-tratamentos em suas pesquisas.

Além da parceria com a universidade KAIST, a USP publicou outros quatro artigos. Sendo um deles individualmente e os outros três em parceria com as universidades UENF, UNESP e Estácio, University of Bucaramanga e Instituto Politécnico Nacional. Demonstrando que a universidade é um grande polo de pesquisa brasileiro no setor de etanol de segunda geração.

Outra universidade que se destacou nesse estágio foi a South China Agricultural University que produziu artigos de forma individual e também no formato de parcerias. O principal foco desse ator foi o desenvolvimento da metodologia de processo do tipo SSF.

Já UFV destacou-se pelas pesquisas com “Pré-tratamento” e “Processo”, tendo sido dois documentos produzidos de forma individual e outros dois em parcerias com outras universidades (North Carolina State University e KTH).

8. ANÁLISE ESTRATÉGICA DO *ROADMAP* TECNOLÓGICO

A análise estratégica do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G a partir do bagaço da cana-de-açúcar, sob o ponto de vista de cada um dos quatro estágios temporais, indica as tendências de mercado e de tecnologia referente às instituições estudadas. Essa análise foi dividida, conforme metodologia do NEITEC, em três etapas:

- Análise horizontal, identifica-se o perfil de cada taxonomia, também chamada de *driver*, estudada em todo o horizonte temporal;
- Análise vertical, realizada a discriminação de cada *clusters* com mesmo foco e parcerias, considerando cada estágio temporal separadamente;
- Análise dos atores, realizada a análise individual dos atores responsáveis por documentos presentes em estágios temporais distintos.

Todas as análises realizadas neste capítulo foram baseadas nas informações encontradas nos artigos, patentes concedidas e solicitadas e mídia especializada.

8.1. ANÁLISE HORIZONTAL

A relação dos atores com cada taxonomia ao longo do tempo é descrita de forma mais detalhada a seguir.

8.1.1. *DRIVER* “PRÉ-TRATAMENTO”

A taxonomia de “Pré-Tratamento” foi destaque em todos os estágios temporais. No Longo Prazo foi o foco do maior número de documentos, enquanto que no estágio atual apareceu como foco o mesmo número de vezes que o *driver* de “Processo”. Sendo assim, é possível afirmar que a preocupação com o desenvolvimento de Pré-Tratamentos mais baratos e eficientes é crescente do setor sucroalcooleiro de segunda geração.

No recorte do estágio atual, os Pré-Tratamentos identificados foram apenas os do tipo

“Explosão a Vapor”, “Físico” e “Químico”. Já no período temporal seguinte, Curto Prazo, pode-se destacar os Pré-Tratamentos “Físicos”, como ciclone (Iogen Energy), peneira (Iogen Energy), aquecimento, moagem (CTC), e os “Químicos”, como adição de agente oxidante (VTT). Nos recortes temporais seguintes os Pré-Tratamentos “Ácido” e “Alcalino” também ganham destaque.

Pode-se citar como Pré-Tratamento “Alcalino” a adição de hidróxido de sódio (Huazhong Agricultural University) e etanol Alcalino (Huazhong Agricultural University), enquanto que o Pré-Tratamento “Ácido” foi identificado quando ocorreu a Hidrólise ácida (parceria entre Universidad del Tolima, Universidad del Cauca e Universidad de Caldas) ou a adição de Ácido sulfuroso (Iogen Energy) e Ácido sulfúrico (KEIMYUNG University). Houveram até mesmo casos em que a biomassa foi tratada tanto com base quanto com Ácido (LEAF ENERGY, Korea University e Danisco).

O Pré-Tratamento com Ácido mostrou-se como uma possível alternativa para os demais utilizados atualmente, uma vez que durante esse tratamento inicia-se também a Hidrólise da hemicelulose, tornando a celulose mais acessível a ação das enzimas celulase.

Observou-se uma tendência de crescente destaque para o Pré-Tratamento do tipo “Biológico”, que começou no Curto Prazo, com a patente depositada pelo inventor Edward Brian Hamrick em 2017 (US9631209B1, “Method for fermenting stalks of the Poaceae Family”). Este tipo de Pré-Tratamento sugere que a Fermentação se inicie já nas etapas iniciais com o intuito de aumentar o rendimento da produção de etanol e diminuir o tempo do Processo como um todo.

O “Pré-Tratamento” do tipo “Organosolv” foi identificado do segundo recorte temporal em diante, mantendo a tendência de dois aparecimentos por estágio.

O *driver* de “Pré-Tratamento” do tipo “AFEX”, que utiliza amônia para quebrar a estrutura lignocelulósica, foi identificado a partir do estágio de Curto Prazo e não variou significativamente ao longo do tempo.

8.1.2. DRIVER “INSUMOS DO PROCESSO”

A taxonomia referente aos “Insumos do Processo” de produção do etanol 2G obteve tendência de abordagem decrescente ao longo dos recortes temporais.

O foco na eficiência da atividade enzimática, “Enzimas”, foi crescente ao longo do tempo, mas apresentou uma queda no estágio de Longo Prazo, enquanto que na busca pela eficiência dos Microrganismos atuantes no Processo, “MO”, observou-se a tendência exatamente oposta. Os dois Microrganismos mais relatados nos documentos pesquisados foram os fungos: *Pichia stipitis* e *Saccharomyces cerevisiae*.

Não foi identificada nenhuma tendência predominante para taxonomia referente aos “Biorreatores”, tendo em vista que foram identificados poucos documentos com este foco. No recorte temporal de Curto Prazo, em 2014, a empresa Petrobras propôs o emprego de um reator do tipo prensa para a produção do etanol 2G (BRPI0505299B1, “Processo de produção de etanol a partir do hidrolisado da fração hemicelulósica do bagaço de cana-de-açúcar em reator do tipo prensa”). Já no Longo Prazo identificou-se, pelo artigo “Bioethanol Production From Sugarcane Bagasse Hemicellulose Hydrolysate by Immobilized *S. shehatae* in a Fluidized Bed Fermenter Under Magnetic Field”, a utilização da tecnologia de um Biorreator de leito fluidizado auxiliado por campo magnético (pareceria entre as universidades UNESP, USP, Estácio de Sá e UENF, 2019).

8.1.3. DRIVER “PROCESSO”

A taxonomia referente ao “Processo” de produção do etanol 2G obteve destaque em todos os recortes temporais, aparecendo, aproximadamente, o mesmo número de vezes que a de “Pré-Tratamento”. Percebeu-se então uma tendência de crescimento do Estágio Atual ao Médio Prazo e uma leve queda no Longo Prazo.

A “Hidrólise” seguiu a mesma tendência do *driver* “Enzimas”, uma vez que a maioria das Hidrólises apresentadas nos documentos foram referentes a Hidrólise enzimática, entretanto alguns atores focaram na Hidrólise ácida (“Chemically synthesized biofuels from agricultural waste: Optimization operating parameters with surface response methodology”, BiT Bahir Dar University e Wollo University Ethiopia, 2017). A Hidrólise ácida costuma ser preterida à Hidrólise enzimática, uma vez que forma um maior número de inibidores da Fermentação, além de poder causar problemas de corrosão.

Quanto ao *driver* “Fermentação” foi observada uma tendência decrescente de prioridade ao longo do tempo, isso pode ser explicado pelo fato que após o Pré-Tratamento e a Hidrólise da biomassa lignocelulósica, os subprodutos resultantes da celulose são açúcares similares aos

da produção do etanol de primeira geração (hexoses). Sendo assim, a maioria dos documentos focou no efeito que essas duas etapas anteriores produzem no rendimento da Fermentação. Por outro lado, alguns atores abordaram a formação de pentoses derivadas da hemicelulose, cuja Fermentação ainda se encontra em estágio de pesquisa (“Bioethanol production from alkaline-pretreated sugarcane bagasse by consolidated bioprocessing using *Phlebia* sp. MG-60”, University of the Philippines e Kyushu University, 2014).

A preocupação com a “Destoxificação” da biomassa lignocelulósica foi foco de apenas três documentos ao longo do tempo, sendo identificada como foco a remoção dos compostos aromáticos, furfural e o hidroximetilfurfural, como a depositada pela BP em 2014 (US9133278B2, “Methods for detoxifying a lignocellulosic hydrolysate”). A exigência de “Destoxificação” da biomassa ocorre, principalmente, quando a matéria-prima utilizada é a palha da cana-de-açúcar, uma vez que ocorre a formação de sílica durante o processo.

Em relação as quatro metodologias identificadas na etapa de prospecção tecnológica (“SHF”, “SSF”, “SSCF” e “CPB”), o tipo de Processo “SSCF” é o mais utilizado atualmente (por exemplo a patente CA2660673C, “Process for the fermentative production of ethanol from solid lignocellulosic material comprising a step of treating a solid lignocellulosic material with alkaline solution in order to remove the lignina”, Petrobras, 2014). Entretanto, há um aumento do interesse pelo “SHF” ao longo dos recortes temporais, como a depositada pela Novozymes em 2016 (BR112013009817A2, “Methods for degrading or converting sugar cane waste, to produce a fermentation product and fermenting sugar cane trash”). No recorte de Longo Prazo o “SSF” foi o foco da maioria dos documentos, indicando que esse Processo vem sendo estudado continuamente, como na patente depositada pela USP em 2017 (BR102016029286A2, “Processo de obtenção de Etanol a partir do hidrolisado Hemicelulósico do bagaço de cana-de-açúcar”). Portanto, percebe-se que a busca pela metodologia mais eficiente para a produção de etanol 2G é incessante e variável ao longo do tempo.

Quanto a proposta de construção de biorrefinarias integradas com a produção simultânea de etanol de primeira e segunda gerações (“Integrado 1G”), percebe-se uma constante de interesse a partir do recorte de curto prazo, como a depositada pela SK Innovation em 2017 (KR101757745B1, “Carbon Zero Emission Biorefinery Process Using Sugarcane Mill Output”). O objetivo dos documentos referentes a essa Micro é reduzir os custos da produção do bioetanol oriundo da cana-de-açúcar, melhorar o aproveitamento da matéria-prima e evitar a logística de transporte do bagaço da cana, uma vez que tudo seria utilizado no mesmo local, como a patente depositada pela empresa CTC em 2017 (US9637762B2, “System and method

for the integrated production of first and second generation ethanol and the use of integration points for such production”).

8.1.4. *DRIVER* “PÓS-TRATAMENTO”

Observou-se na taxonomia de “Pós-Tratamento” uma tendência de crescimento ao longo dos estágios temporais, mas houve queda no Longo Prazo. A principal Micro observada foi a de “Destilação”, uma vez que esta técnica é mais barata para ser aplicada na recuperação do etanol produzido, como o pedido de patente realizado pela USP em 2017 (BR102016029286A2, “Processo de obtenção de etanol a partir do hidrolisado hemicelulósico do bagaço de cana-de-açúcar”).

Apenas um ator apresentou estudo sobre a utilização de reator equipada com Membrana para separar o etanol dos demais produtos resultantes da Fermentação, a parceria entre National Institute of Technology Durgapur, University of Calabria e Hanyang University resultou no artigo “Continuous production of bioethanol from sugarcane bagasse and downstream purification using membrane integrated bioreactor”, publicado em 2019. Os demais documentos propuseram a utilização de uma coluna de Destilação ao final da Fermentação para se recuperar o etanol produzido.

8.1.5. *DRIVER* “OTIMIZAÇÃO / AVALIAÇÃO”

Esse *driver* apareceu de forma significativa apenas nos estágios temporais Atual e de Longo Prazo. No estágio atual o foco foi o melhoramento genético da cana-de-açúcar para aumentar o potencial produtivo do etanol 1G/ 2G, como por exemplo, o desenvolvimento da chamada cana-energia (CTBE, Vignis, CTC, IAC).

As Micros “Avaliação Técnico-Econômica” (exemplo o artigo “Technical and economical evaluation of bioethanol production from lignocellulosic residues in Mexico: Case of sugarcane and blue agave bagasses”, com autoria da Universidad Autónoma del Estado de Morelos e do Instituto Mexicano del Petróleo, publicado em 2016) e otimização dos “Parâmetros do Processo” (como o artigo “Effects of oxygen and nutrients on xylitol and ethanol production in sugarcane bagasse hydrolyzates” da UNIDA e Universidad de

Guadalajara, publicado em 2015) apareceram apenas no Longo Prazo. Pode-se atribuir essa tendência as fontes utilizadas para o mapeamento desse estágio temporal, uma vez que dificilmente seria possível gerar patentes com esse tipo de abordagem.

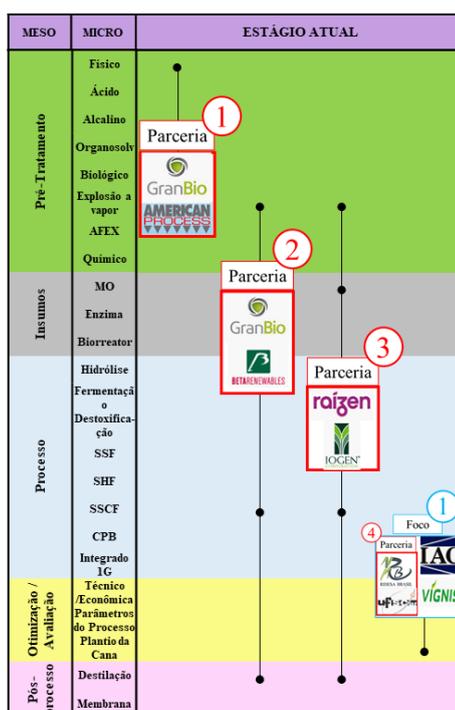
8.2. ANÁLISE VERTICAL

A análise vertical consiste na discussão do perfil de cada *cluster* identificado durante a elaboração do *Roadmap*, seja ele um *cluster* formado por *players* parceiros ou por possuírem o mesmo foco tecnológico.

8.2.1. ESTÁGIO ATUAL

Como apresentado na Figura 8.1, o recorte temporal do Estágio Atual possui quatro *clusters* de parceria e um *cluster* formado por instituições com o mesmo foco tecnológico.

Figura 8.1– *Clusters* do Estágio Atual do *Roadmap* Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaboração própria.

- *Cluster de Parceria 1:* Em 2019, a GranBio concluiu a aquisição de 100% do capital da API e de empresas afiliadas, incluindo suas tecnologias exclusivas de Pré-Tratamento de biomassa lignocelulósica do tipo “Explosão a Vapor” e “Físico”. Consequentemente observou-se a associação das duas empresas como parceiras no âmbito da taxonomia de “Pré-Tratamento”.

A GranBio é uma empresa brasileira especializada em biotecnologia industrial, que se dedica ao desenvolvimento de soluções para tornar viável, em escala comercial, a utilização da biomassa para produção de biocombustíveis, bioquímicos e materiais renováveis. A empresa opera a primeira planta em escala comercial de etanol de segunda geração do Hemisfério Sul, a biorrefinaria Bioflex 1. Em 2019, a GranBio adquiriu a totalidade das ações da American Process Inc (API), a aquisição também compreendeu as empresas afiliadas AVAPCO LLC e API Intellectual Properties Holdings, incluindo as mais de 200 patentes detidas pelas mesmas.

A API é uma empresa combinada de biotecnologia e engenharia, foi fundada pela PhD em engenharia química, Theodora Retsina, em 1995. Inicialmente, a área de atuação da API era em consultoria de engenharia para a indústria de produtos florestais. Posteriormente, começou a atuar no ramo de P&D sobre a transformação da biomassa, com foco nos biocombustíveis. Atualmente, a marca “American Process” pertence a Theodora Retsina, assim como algumas patentes e negócios norte-americanos. A parte da empresa que foi comprada pela GranBio mudou seu nome para GranBio LLC.

- *Cluster de Parceria 2:* a Beta Renewables licenciou a tecnologia Proesa® para a GranBio utilizar em sua biorrefinaria de produção de etanol 2G, incluindo o “Pré-Tratamento” da biomassa para o acesso à celulose e hemicelulose. No Processo empregado pela GranBio utiliza-se o bagaço e a palha da cana-de-açúcar e “Explosão a Vapor” para o “Pré-Tratamento” da biomassa. O Processo do tipo “SSCF” ocorre com a utilização das enzimas da Novozymes e as leveduras DSM. Entretanto, a GranBio e a Beta Renewables não colaboram na área de P&D para o desenvolvimento da tecnologia.

A empresa italiana Beta Renewables foi fundada em 2011, a partir de uma *joint venture* entre a Biochemtex, empresa de tecnologia, e a Texas Pacific Group (TPG), uma das maiores empresas de investimentos do mundo. A tecnologia Proesa® abrange todas as etapas do Processo de produção do etanol de segunda geração.

- *Cluster de Parceria 3:* Desde 2012, a Raízen estabeleceu parceria com a Iogen

Corporation, empresa canadense de biotecnologia. A Raízen é a proprietária da licença da tecnologia para a produção de etanol de segunda geração, que inclui o “Pré-Tratamento” do tipo “Explosão a Vapor”, o “Processo” “SSCF” e o “Pós-Tratamento” por “Destilação”.

A empresa brasileira Raízen foi criada por meio de uma parceria entre a Cosan, uma das maiores produtoras de açúcar do Brasil, e a Shell, empresa multinacional petrolífera anglo-holandesa. Ela inaugurou sua primeira biorrefinaria para a produção de etanol 2G em 2014, após investimentos da ordem de R\$ 200 milhões. A unidade em Piracicaba (SP), denominada Costa Pinto, produziu 16,5 milhões de litros de etanol 2G na safra 2018/19.

A empresa canadense Iogen Corp. foi uma das pioneiras quanto ao desenvolvimento da tecnologia de etanol celulósico produzido a partir da palha do trigo. O Processo desenvolvido pela empresa utiliza a Explosão a Vapor para o “Pré-Tratamento” da biomassa.

A parceria entre a Iogen Corp e a Raízen deu origem a Iogen Energy, que mudou o foco da biomassa utilizada para a produção de etanol 2G para o bagaço e a palha de cana-de-açúcar.

- *Cluster de Parceria 4:* A associação de universidades federais brasileiras específicas, denominada RIDESA, com especial destaque para a UFSCar, desenvolve o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA). O programa é constituído por um grupo de pesquisa que visa o desenvolvimento de variedades da cana-de-açúcar melhoradas, de forma a atender as necessidades do setor sucroalcooleiro.
- *Cluster de Mesmo Foco 1:* Tanto a RIDESA mencionada anteriormente, como o centro de pesquisa IAC e a empresa Vignis possuem projetos para o melhoramento genético da cana-de-açúcar. Essas “supercanas” são consideradas como a solução para melhorar a produtividade dos canaviais, produzir etanol 2G e aumentar a cogeração de energia.

A Vignis é uma empresa de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil, fundada em 2010. Seu foco é o desenvolvimento da chamada “cana energia”, uma nova variedade da planta, que tem como principal objetivo aumentar a sua produtividade. Em junho de 2018, a empresa enfrentou problemas financeiros e entrou com um pedido de recuperação judicial.

O Instituto Agronômico (IAC) iniciou as pesquisas com cana-de-açúcar em 1892. O Programa Cana envolve o melhoramento genético da planta e já desenvolveu dezenas de variedades da cana-de-açúcar.

8.2.2. CURTO PRAZO

A Figura 8.2 apresenta os dois *clusters* identificados no estágio temporal de Curto Prazo.

Figura 8.2– *Clusters* do Curto Prazo do Roadmap Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.

MESO	MICRO	CURTO PRAZO
Pré-Tratamento	Físico	
	Ácido	
	Alcalino	
	Organosolvente	
	Biológico	
	Explosão a vapor	
Insumos	AFEX	
	Químico	
	MO	
Processo	Enzima	
	Biorreator	
	Hidrólise	
	Fermentação	
	Destoxificação	
	SSF	
	SHF	
	SSCF	
	CPB	
	Integrado 1G	
Ótimização / Avaliação	Técnico / Econômica	
	Parâmetros do Processo	
Pós-processo	Plantio da Cana	
	Destilação	
	Membrana	

Fonte: Elaboração própria.

- *Cluster de Parceria 5*: A parceria entre a EMBRAPA e Purdue Research Foundation originou uma patente para aumentar a competitividade industrial do etanol 2G, por meio da divulgação de um método para a produção da enzima celulase, sendo assim categorizado no *driver* “Enzimas”.

Desde 2008 a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pesquisa a produção do etanol 2G, principalmente a partir de resíduos de madeira. Atualmente, a empresa tem focado no desenvolvimento de enzima para Fermentação de pentoses, juntamente com o CTC.

A Purdue Research Foundation (PRF) é uma empresa embrionária da Purdue University, por meio do gerenciamento e licenciamento da propriedade intelectual da universidade.

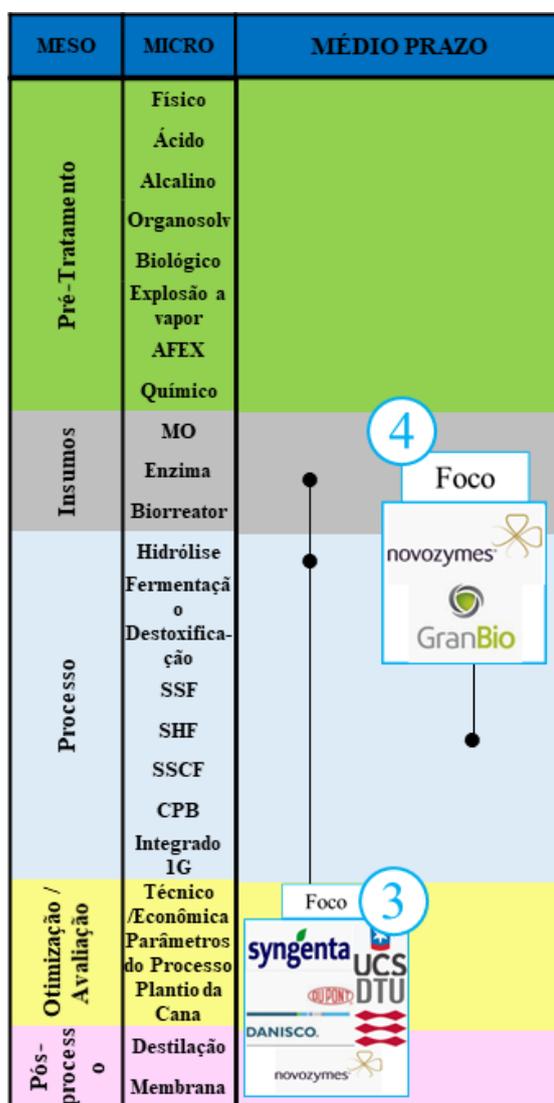
- *Cluster de Mesmo Foco 2*: A empresa BP e a parceria entre a EMBRAPA e a Purdue Research Foundation possuem o mesmo foco em “Enzimas”, as empresas possuem tendência em desenvolvimento da formulação de métodos para a produção de enzimas capazes de degradar a biomassa lignocelulósica. A BP produziu duas patentes referentes a esse *driver*.

A BP foi a primeira empresa internacional de energia a investir em biocombustíveis produzidos a partir da cana-de-açúcar no Brasil. Essa relação se iniciou em 2008 após a *joint venture* com a Tropical Bioenergia. Entretanto, atualmente, as unidades de produção de bioetanol utilizam o bagaço da cana apenas para a cogeração de energia. Internacionalmente, a BP realizou *joint venture* com a Dupont e formou a Butamax, juntas construíram uma planta comercial de etanol 2G no estado de Iowa, em 2012.

8.2.3. MÉDIO PRAZO

A Figura 8.3 apresenta os dois *clusters* de mesmo foco identificados no recorte temporal de Médio Prazo.

Figura 8.3 – Clusters do Médio Prazo do Roadmap Tecnológico do etanol 2G produzido a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaboração própria.

- *Cluster* de Mesmo Foco 3: As empresas Novozymes, Danisco e Syngenta e a universidade Technical University of Denmark possuem *expertise* nos *drivers* de “Insumos de Processo” em “Enzima” e de “Processo” em “Hidrólise” enzimática

A dinamarquesa Novozymes é uma empresa de biotecnologia multinacional fundada em 2000, que possui domínio sobre o mercado mundial de enzimas. Sendo a fornecedora das enzimas para a produção de etanol de segunda geração de diversas empresas, como GranBio e Raízen.

A Danisco também é uma empresa dinamarquesa de biotecnologia com atividades na

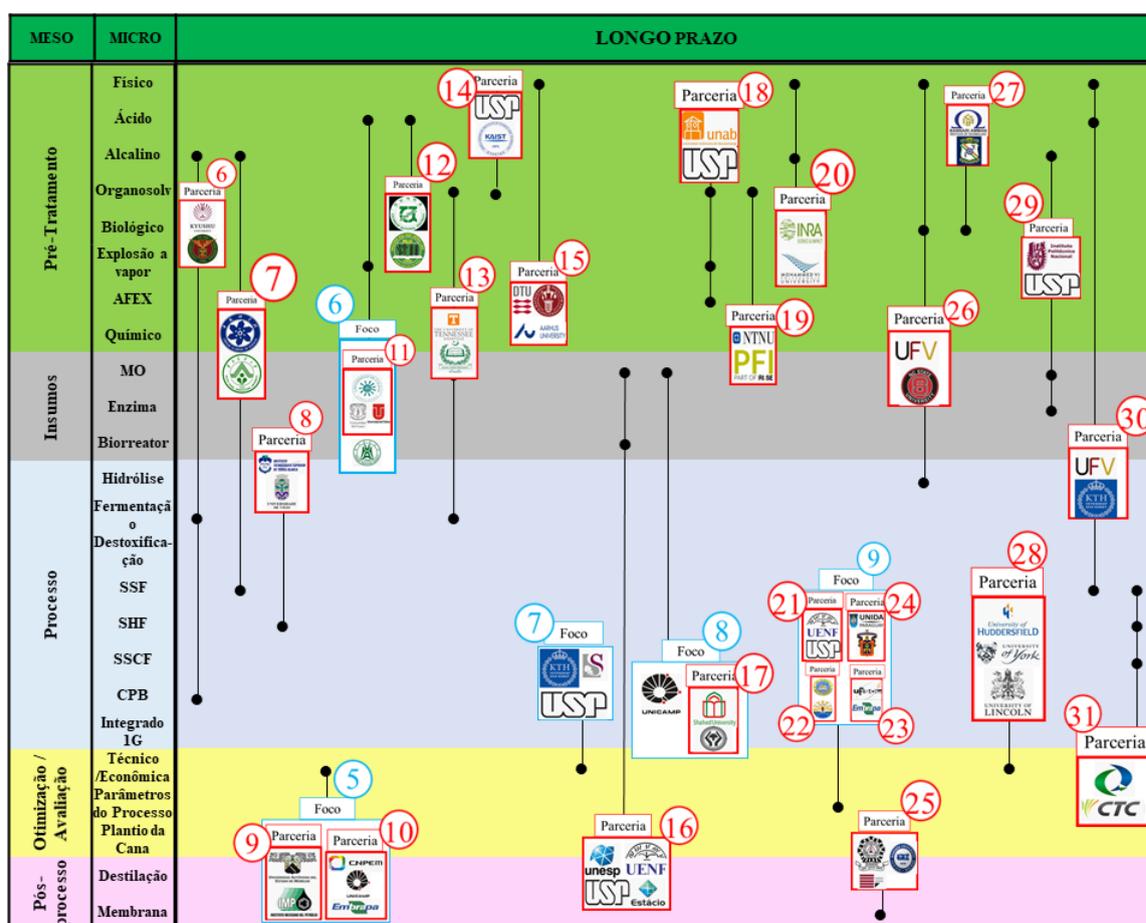
produção de alimentos, enzimas e outros bioprodutos, foi criada em 1989. A empresa realizou *joint venture* com a DuPont (DuPont Danisco Cellulosic Ethanol LLC) com foco na produção de etanol celulósico. Em 2018, um ano depois de divulgar seus planos para vender sua fábrica de etanol celulósico, a DuPont chegou a um acordo com a alemã Verbio Vereinigte BioEnergie AG.

- *Cluster* de Mesmo Foco 4: As empresas Novozymes e GranBio possuem *expertise* nos *drivers* de Processo do tipo “SHF”.

8.2.4. LONGO PRAZO

A Figura 8.4 apresenta os *clusters* identificados no estágio temporal de Longo Prazo.

Figura 8.4 – *Clusters* do Longo Prazo do Roadmap Tecnológico do etanol 2G a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: Elaboração própria.

- *Cluster* de Parceria 6: A parceria entre a universidade da Filipinas University of the Philippines e a japonesa Kyushu University deu origem a um artigo sobre Pré-Tratamento “Alcalino”, “Fermentação” e “CBP”. O objetivo desse estudo foi otimizar o Pré-Tratamento Alcalino do bagaço de cana-de-açúcar para a utilização do Processo de produção de etanol 2G do tipo CBP, por meio da Fermentação realizada pelo fungo fermentador de celulose *Phlebia* sp.
- *Cluster* de Parceria 7: As universidades chinesas South China Agriculture University e Chinese Academy of Sciences formaram uma parceria para estudar os *drivers* de “Pré-Tratamento” “Alcalino” e Processo de “SSF”.
- *Cluster* de Parceria 8: A parceria entre as universidades mexicanas Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca e Universidad de Vigo, deu origem a um estudo sobre a utilização do bagaço de cana hidrolisado suplementado com melão, a fim de aumentar a produção de etanol e a completa utilização de açúcares hidrolisados. A metodologia empregada nesse Processo foi o “SHF”.
- *Cluster* de Mesmo Foco 5: A parceria 9 entre a universidade mexicana Universidad Autónoma del Estado de Morelos e o centro de pesquisa Instituto Mexicano del Petróleo e a parceria 10 entre as instituições brasileiras CNPEM, UNICAMP e EMBRAPA focaram no mesmo tipo de estudo sobre a “Avaliação Técnico-Econômica” da produção de etanol 2G. O *cluster* de Mesmo Foco 7 composto pelas universidades University of Stellenbosch, USP e KTH poderiam ser incluídos no *cluster* de Mesmo Foco 5 também, por terem realizados estudos com o mesmo objetivo, entretanto para não prejudicar a visualização do *Roadmap* foi optado por separá-los.
- *Cluster* de Parceria 11: Na Colômbia, as universidades Universidad del Tolima, Universidad del Cauca e Universidad de Caldas realizaram um estudo comparativo entre dois métodos de Pré-Tratamento: “Explosão a Vapor” e “Hidrólise Ácida” aplicados ao bagaço de cana-de-açúcar para produção de bioetanol de segunda geração. O estudo concluiu que o método Explosão a Vapor foi mais eficiente.
- *Cluster* de Mesmo Foco 6: Além das universidades colombianas Universidad del Tolima, Universidad del Cauca e Universidad de Caldas, a chinesa Huazhong Agricultural University também promoveu um estudo com o mesmo foco. Entretanto, a universidade chinesa concluiu que ambos os Pré-Tratamentos eram igualmente eficientes para o “Pré-Tratamento” do bagaço da cana-de-açúcar.

- *Cluster* de Parceria 12: A parceria entre as universidades chinesas Chonnam National University e Nong Lam University focou no estudo do Pré-Tratamento “Ácido” com a utilização de Ácido clorídrico.
- *Cluster* de Parceria 13: A universidade paquistanesa Quaid-i-Azam University e a norte-americana University of Tennessee formaram parceria para analisar o Processo de “Fermentação” do bagaço de cana-de-açúcar, pré-tratado com solvente orgânico (“Organosolv”), comparando-se a utilização de quatro diferentes cepas de levedura (“MO”).
- *Cluster* de Parceria 14: A parceria entre as universidades USP e KAIST deu origem a três artigos diferentes. O primeiro foco foi a avaliação dos Pré-Tratamentos “Físico” e “Alcalino” e do Processo “SSF” na produção do etanol 2G. Os outros dois estudos focaram nos Pré-Tratamentos “Organsolv” e “Alcalino”.
- *Cluster* de Parceria 15: Três universidades (Technical University of Denmark, Aarhus University e University of Copenhagen) e um centro de pesquisa (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) focaram na utilização dos Pré-Tratamentos “Físicos” de ensilagem e processamento hidrotérmico para melhorar a produção de etanol 2G a partir da cana-de-açúcar.
- *Cluster* de Parceria 16: Quatro universidades brasileiras (UNESP, USP, Estácio de Sá e UENF) elaboraram um artigo que abordou a produção de bioetanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar utilizando *Scheffersomyces shehatae* (“MO”) em um “Biorreator” de leite fluidizado auxiliado por campo magnético.
- *Cluster* de Mesmo Foco 8: A parceria entre a Shahed University e o Iranian Research Organization for Science and Technology e a Unicamp, de forma individual, realizaram estudos com diferentes cepas (“MO”) para a otimização da Fermentação a partir do hidrolisado do bagaço da cana-de-açúcar.
- *Cluster* de Parceria 18: As universidades USP e Autonomous University of Bucaramanga, possuem foco no estudo da comparação dos Pré-Tratamentos “Explosão a Vapor”, “Organosolv” e “AFEX”. Apesar de terem sido obtidos resultados semelhantes no tratamento do bagaço da cana-de-açúcar, o Pré-Tratamento do tipo AFEX teve o desempenho levemente superior aos demais.
- *Cluster* de Parceria 19: A parceria entre a universidade NTNU e o centro de pesquisa

gerou *expertise* no *driver* de Pré-Tratamento “Organosolv”.

- *Cluster* de Parceria 20: A colaboração entre o National Institute for Agricultural Research e a Université Mohammed VI Polytechnique teve como objetivo estudar o efeito de um Pré-Tratamento Físico-químico a seco utilizando diferentes métodos de moagem para produzir bioetanol a partir do bagaço de cana.
- *Cluster* de Mesmo Foco 9: Quatro parcerias originaram documentos com o foco na otimização dos Parâmetros do Processo da produção do etanol de segunda geração a partir do bagaço da cana. Foram eles: o *cluster* de Parceria 21 (UNIDA e Universidad de Guadalajara), o *cluster* de Parceria 22 (USP e UENF), o *cluster* de Parceria 23 (EMBRAPA e UFScar) e o *cluster* de Parceria 24 (BiT Bahir Dar University e Wollo University Ethiopia).
- *Cluster* de Parceria 25: A colaboração entre o centro de pesquisa National Institute of Technology Durgapur e as universidades University of Calabria e Hanyang University estudou o Processo de obtenção do etanol quase puro na purificação a jusante, por meio do emprego de um Biorreator híbrido de “Membrana”.
- *Cluster* de Parceria 26: A parceria entre a UFV e a North Carolina State University resultou em um estudo de produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado utilizando Microrganismos (“Biológico”), seguida de um Processo de refino mecânico (“Físico”).
- *Cluster* de Parceria 27: Dois centros de pesquisas indianos (Bannari Amman Institute of Technology e Government College of Technology) realizaram parceria para estudar a eficiência de espécies de *Candida parapsilosis* no Pré-Tratamento de espigas de milho e bagaço de cana-de-açúcar.
- *Cluster* de Parceria 28: A colaboração entre as universidades University of Huddersfield, University of York e University of Lincoln realizou o estudo de “Avaliação Econômica” da produção do etanol 2G a partir do bagaço da cana-de-açúcar.
- *Cluster* de Parceria 29: A USP e o Instituto Politécnico Nacional desenvolveram juntos conhecimentos na área de Pré-Tratamento “Alcalino”, utilização de “MO” e “Enzimas” para o processamento da cana-de-açúcar e obtenção do etanol 2G.
- *Cluster* de Parceria 30: A parceria entre a UFV e o KTH resultou em um estudo avaliando os Pré-Tratamentos hidrotérmicos “Físico” e “Ácido” utilizando diferentes

cargas ácidas, foram propostos para eucalipto, bagaço de cana e palha de cana-de-açúcar, utilizando o Processo de “SSF”.

- *Cluster* de Parceria 31: A última parceria identificada no *Roadmap* foi entre a empresa CTC e o centro de pesquisa CEPESQ. Essa colaboração resultou no estudo de três métodos (“SHF”, “SSF” e “SSCF”) para a produção de etanol celulósico utilizando amostras de bagaço de cana-de-açúcar nativo e extraído com etanol.

8.3. ANÁLISE DOS ATORES

A análise dos atores identificados durante a elaboração do Roadmap Tecnológico será realizada sobre os que apareceram em mais de um estágio temporal, dessa forma pode-se mapear como esses players tenderiam a se comportar ao longo do tempo e como seus investimentos e focos tecnológicos variam ao longo do tempo.

A partir do critério citado foram detalhadas um total quatorze instituições que se repetiram ao longo dos diferentes recortes temporais.

8.3.1. API

A API é uma empresa norte-americana especializada em desenvolver tecnologias patenteáveis para produzir açúcares celulósicos de baixo custo, utilizando biomassa não alimentícia como matéria-prima. A empresa é atualmente subsidiária da GranBio, sob o nome de GranBio LLC.

No estágio atual, desenvolve em parceria com a GranBio tecnologias referentes ao “Pré-Tratamento” de biomassa lignocelulósica do tipo “Explosão a Vapor” e “Físico”.

Em curto prazo a empresa também foca no “Pré-Tratamento” do tipo “Explosão a Vapor” e “Físico”, mas desenvolve também os “Processos” de “Hidrólise” e “Fermentação”.

No médio prazo a empresa desenvolveu quatro patentes, mantendo tendência similar aos períodos anteriores, uma vez que continua priorizando os “Pré-Tratamentos” do tipo “Explosão a Vapor” e “Físico” e o “Processo” de “Hidrólise”. Além desses, percebe-se que a empresa aposta no desenvolvimento de diferentes configurações para o processo de produção

do etanol, pois possui documentos com driver em “SHF” e “SSCF”.

8.3.2. BP

A BP é uma empresa multinacional sediada no Reino Unido, que opera no setor de energia. Em 2019, a BP anunciou que formaria um joint venture com a empresa holandesa Bunge, resultando na BP Bunge Bioenergia. Essa empresa terá sede em São Paulo e pretende atuar no setor sucroenergético, por meio da produção de etanol e açúcar, incluindo a utilização do bagaço da cana-de-açúcar para cogeração de energia.

No estágio de curto prazo a empresa desenvolveu duas patentes para a produção de “Enzimas” aplicadas ao bagaço de cana-de-açúcar, com a finalidade de gerar açúcares fermentescíveis. Além disso, a BP também focou no processo de “Destoxificação” da biomassa.

No médio prazo a empresa possui foco novamente na “Destoxificação”, mas diversifica também para o estudo de “Pré-Tratamentos” do tipo “Físico” e “Químico”, além da produção integrada de etanol 1G e 2G.

Esses resultados indicam que as biorrefinarias controladas pela BP Bunge Bioenergia podem, em algum momento, utilizar o bagaço da cana-de-açúcar para produzir também o etanol de segunda geração.

8.3.3. CNPEM

O CNPEM é responsável pela gestão de quatro laboratórios brasileiros: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron; o Laboratório Nacional de Biociências, onde são desenvolvidas pesquisas com foco em biotecnologia e fármacos; o Laboratório Nacional de Nanotecnologia e o CTBE (Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol), que investiga novas tecnologias para a produção de etanol celulósico.

Em médio prazo o centro de pesquisa prioriza o “Pré-Tratamentos” do tipo “Explosão a Vapor” e o “Processo” de “Hidrólise” enzimática, além da produção das próprias “Enzimas”.

No longo prazo, observou-se o interesse do CNPEM, em parceria com a UNICAMP e a EMBRAPA, em avaliar economicamente a produção de etanol de segunda geração.

8.3.4. CTBE

O CTBE foi criado com o objetivo de integrar grupos de pesquisa brasileiros para solucionar os problemas do etanol, ele desenvolve parcerias de P&D com o setor sucroenergético.

No estágio atual o CTBE gerencia uma planta piloto para a produção de etanol de segunda geração oriundo da cana-de-açúcar. Dessa forma possui as expertises de “Pré-Tratamentos” do tipo “Físico” e “Químico”, produção de “MO” e “Enzimas”, “Processo” de “Hidrólise” e “Fermentação”, além do “Pós-tratamento” com “Destilação”.

No longo prazo o centro de pesquisa, em parceria com a USP, estudou a influência do pH na deslignificação alcalina de bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado por explosão a vapor, em planta piloto, com foco na produção de etanol de segunda geração.

8.3.5. CTC

O CTC é referência no desenvolvimento do açúcar e do etanol no Brasil, foi recém transformado em uma Sociedade Anônima. O CTC aplica sua tecnologia de produção do etanol de segunda geração na planta piloto (em Piracicaba/SP) e na de demonstração (em São Manuel/SP). A empresa é responsável por todo o processo de produção do etanol, importando apenas uma parte das enzimas da empresa dinamarquesa Novozymes.

No estágio atual, a empresa foca nos “Pré-Tratamentos” do tipo “Explosão a vapor” e “Químico”, produção de “MO” e “Enzimas”, “Processo” de “Hidrólise” e “Fermentação”, além de apostar no desenvolvimento de novas variedades da cana-de-açúcar

No curto prazo, o CTC apostou na integração com a produção do etanol 1G, focando no “Processo” de “Hidrólise” e “Fermentação”, além da produção de “Enzimas”. Também houve interesse no desenvolvimento de um novo tipo de pré-tratamento (“Organsolv”).

No longo prazo a empresa se interessou em comparar a eficiência das diversas abordagens para a produção do etanol 2G (“SHF”, “SSF” e “SSCF”).

8.3.6. DANISCO

A Danisco é uma empresa dinamarquesa de biotecnologia, que por meio de uma joint venture com a DuPont criou a DuPont Danisco Cellulosic Ethanol LLC.

No curto prazo a empresa investiu no “Pré-tratamento” da biomassa com baixa concentração de amônia aquosa (“AFEX”), seguida da etapa de “Hidrólise”.

No médio prazo a empresa focou em diversos tipos de “Pré-tratamento” (Ácido, Alcalino, Explosão a vapor, Físico), “Insumos de Processo” (Enzima e MO) e “Processo” (SSCF e Hidrólise). Sendo seus pedidos de patentes com foco principal no desenvolvimento de novos tipos de pré-tratamentos da biomassa e comparação destes com os já existentes.

8.3.7. EMBRAPA

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) é uma Empresa Pública de pesquisa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil. A empresa foi criada em 1973 com o objetivo de desenvolver inovações tecnológicas focadas na agropecuária brasileira.

A empresa aparece no estágio de curto prazo com uma patente com foco na produção de “Enzimas” por fungos filamentosos, essa patente foi elaborado em parceria com a Purdue Research Foundation.

Enquanto que no longo prazo a empresa em parceria com o CNPEM, Unicamp e UFSCAR realizou estudos comparativos para avaliar os aspectos técnicos e econômicos da produção do etanol de segunda geração produzido a partir da cana-de-açúcar.

8.3.8. GRANBIO

A GranBio é uma empresa brasileira especializada em biotecnologia industrial, que se dedica ao desenvolvimento de soluções para tornar viável, em escala comercial, a utilização da biomassa para produção de biocombustíveis, bioquímicos e materiais renováveis.

No estágio atual a empresa brasileira GranBio foi relacionada a duas importantes parcerias. A primeira com a American Process (API) para o desenvolvimento dos “Pré-Tratamento” de “Físico” e de “Explosão a Vapor”. A segunda parceria é com a italiana Beta Renewables, que licenciou para a GranBio seu processo de produção de etanol 2G denominado Proesa©.

No médio prazo a GranBio solicitou uma patente sobre um processo e um meio de cultura para a produção de biocombustíveis por fermentação da biomassa de lignocelulose.

Esse processo utilizou a metodologia do tipo “SHF”, enquanto que no estágio atual a metodologia empregada é a do tipo “SSCF”. Dessa forma, pode-se inferir que a busca pela melhoria do processo é uma constante.

8.3.9. HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY

A Universidade Agrícola de Huazhong também conhecida como HZAU ou HAU é uma universidade abrangente e multidisciplinar em Wuhan, com foco no desenvolvimento e estudo do setor agrícola.

No estágio de médio prazo a empresa solicitou uma patente com foco no desenvolvimento de um “Pré-tratamento” do bagaço da cana-de-açúcar, primeiro com adição de uma solução de hidróxido de sódio e em seguida adição de ureia.

No longo prazo, a universidade também focou no driver de “Pré-tratamento”, porém foi empregada a adição de água quente líquida (LHW) e ácido.

8.3.10. INBICON

A empresa Inbicon é subsidiária da DONG Energy, a maior companhia dinamarquesa de energia, ela investiu mais de US\$ 100 milhões para desenvolver e comercializar a tecnologia de produção de etanol celulósico.

No curto prazo a Inbicon apresentou uma patente com foco em “Pré-tratamento” Físico e “Processo” do tipo “SSCF”.

Enquanto que no médio prazo, a empresa solicitou uma patente em parceria com a

Odebrecht com foco em “Pré-tratamento” (Físico e Químico) e “Processo” (Hidrólise, Fermentação e Integrado 1G). Outras duas patentes foram solicitadas de forma individual com foco no desenvolvimento de métodos para o processamento da biomassa lignocelulósica (“Pré-tratamento”).

Os documentos analisados indicam que o grande foco da empresa são as diferentes metodologias de pré-tratamento para a biomassa lignocelulósica.

8.3.11. NOVOZYMES

A empresa dinamarquesa Novozymes é a grande referência mundial no que tange a produção de enzimas. Tanto que no estágio atual ela é a fornecedora de enzimas para todas as empresas que atuam na produção do etanol de segunda geração oriundo da cana-de-açúcar.

Além disso, no estágio de curto prazo a empresa detém uma patente que descreve a utilização do “Processo” do tipo SHF para a produção de etanol 2G.

A empresa aparece também duas vezes no longo prazo com dois pedidos de patentes, um novamente referindo-se ao “Processo” do tipo SHF e outro com foco na produção de enzimas e hidrólise da biomassa.

8.3.12. SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY

A Universidade Agrícola do Sul da China é uma universidade pública localizada em Guangzhou, China, que foi fundada em 1909. Ela é um dos grandes polos de desenvolvimento tecnológico chinês, principalmente no que tange o setor agrícola.

Essa universidade solicitou dois pedidos de patentes abordando a aplicação de diversos tipos de “Pré-tratamento” (alcalino, organsolv, explosão a vapor).

Além disso, no longo prazo foram realizados dois estudos abordando o etanol 2G, ambos com a aplicação da metodologia de “Processo” do tipo SSF.

8.3.13. UFSCAR

A Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) é uma instituição de ensino superior pública e federal brasileira, com sede no município de São Carlos, São Paulo e foi fundada em 1968. Ela faz parte da associação de universidades federais brasileiras específicas, denominada RIDESA, que desenvolve, no estágio atual, o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA). O programa é constituído por um grupo de pesquisa que visa o desenvolvimento de variedades da cana-de-açúcar melhoradas, de forma a atender as necessidades do setor sucroalcooleiro.

No longo prazo a UFSCAR produziu um artigo em parceria com a empresa EMBRAPA, que realizou um estudo comparativo da utilização dos diversos resíduos da cana-de-açúcar para a produção de etanol 2G. E outro artigo estudado foi produzido, de forma individual, com foco na integração energética das biorrefinarias de primeira e segunda geração.

8.3.14. RAÍZEN

A empresa brasileira Raízen foi criada por meio de uma parceria entre a Cosan, uma das maiores produtoras de açúcar do Brasil, e a Shell, empresa multinacional petrolífera anglo-holandesa. Ela inaugurou sua primeira biorrefinaria para a produção de etanol 2G em 2014, após investimentos da ordem de R\$ 200 milhões.

A Raízen é a proprietária da licença da tecnologia para a produção de etanol de segunda geração, que inclui o “Pré-Tratamento” do tipo “Explosão a Vapor”, o “Processo” “SSCF” e o “Pós-Tratamento” por “Destilação”. Essa tecnologia é aplicada no estágio atual para a produção na sua biorrefinaria Costa Pinto.

No médio prazo a empresa aparece com dois pedidos de patentes ambos com foco no “Pré-tratamento” Físico da biomassa lignocelulósica da cana-de-açúcar.

9. CONCLUSÕES

O *Roadmap* Tecnológico gerado sobre a produção de etanol de segunda geração a partir do bagaço e palha da cana-de-açúcar permitiu a observação de diversas tendências tecnológicas e mercadológicas para o setor, sob a perspectiva de informações obtidas de fontes científicas e tecnológicas confiáveis.

Foram identificados e analisados diversos tipos de combinações de “Pré-Tratamentos”, “Processos”, “Pós-Tratamentos” e “Insumos de Processo” desenvolvidos pelas instituições interessadas em atuar no setor sucroalcooleiro de segunda geração. Inferiu-se que os grandes gargalos tecnológicos para a alavancagem da produção comercial do etanol 2G encontram-se na escolha adequada do Pré-Tratamento da biomassa lignocelulósica e sua posterior Hidrólise enzimática. Dessa forma, observa-se em longo prazo o destaque para o desenvolvimento da utilização do Pré-Tratamento Ácido, também chamado de pré-Hidrólise, como alternativa para baratear e tornar mais eficiente a produção de etanol 2G.

Diversos outros tipos de Pré-Tratamentos foram identificados durante o estudo. No estágio atual a maioria das instituições utiliza a Explosão a Vapor em combinado com algum outro tipo de Pré-Tratamento, como químico e Físico (moagem e peneira). Entretanto, a análise horizontal dessa taxonomia revelou que os Pré-Tratamentos do tipo Alcalino e Biológico também são uma tendência de tecnologia a ser desenvolvida.

Quanto aos tipos de configurações de Processos disponíveis para a produção do etanol de segunda geração, foi identificado que no estágio atual, as principais biorrefinarias utilizam a configuração Sacarificação e Co-Fermentação Simultâneas (GranBio, Beta Renewables, Iogen Energy e Raízen), apenas a CTC desenvolve em sua planta de demonstração na Usina São Manoel o Processo de Hidrólise e Fermentação em Separado.

Outra informação importante obtida, envolvendo as rotas enzimáticas, é o interesse em pesquisas relativas à produção e reciclo das enzimas, que também é um fator determinante para o custo final do Processo de produção do etanol 2G. No estágio atual, a maioria das empresas que controlam as usinas (CTC, Raízen, GranBio) preferem terceirizar a tecnologia de produção de enzimas de outras já especializadas no assunto, como a holandesa Novozymes. Porém, o CTC não importa todas as enzimas e produz algumas internamente, além disso, o centro de pesquisa CTBE também possui interesse no desenvolvimento das próprias enzimas. Quando observada a questão enzimática em outros estágios temporais, percebe-se que diversas outras

instituições focam no desenvolvimento dessa tecnologia (GE, BP, CTC, EMBRAPA, UFPB, Technical University Of Denmark...), indicando uma nova janela de oportunidade para a produção de enzimas, e a diminuição da dependência das grandes empresas que dominam o mercado mundial (Novozymes e BASF).

Durante a elaboração do *Roadmap*, percebeu-se que os problemas enfrentados nos processos varia de acordo com a escolha da matéria-prima a ser utilizada. A corrosividade da palha da cana-de-açúcar, rica em sílica, resulta na necessidade de aplicar o processo de “Destoxificação” da biomassa lignocelulósica para continuidade do processo, aumentando o seu custo.

Outra tendência identificada no *Roadmap* Tecnológico é a integração de Processos de primeira e segunda geração para a viabilização comercial e barateamento do custo do etanol oriundo do bagaço da cana-de-açúcar.

Durante a elaboração do *Roadmap* foram analisados dezenas de documentos oriundos das mais variadas instituições, como universidades (South China Agricultural University, Technical University of Denmark, UFScar...), centros de pesquisa (CTBE, CNPEM...) e empresas (BP, GranBio, Inbicon, SEKAB...). Algumas dessas instituições se utilizaram de parcerias tecnológicas para desenvolver inovações e outras trabalharam de forma individual.

Uma das empresas que mais apresentou patentes no horizonte temporal estudado foi a BP (três patentes concedidas e duas solicitadas). A multinacional opera tradicionalmente no setor de petróleo e gás, entretanto, demonstrou interesse no desenvolvimento de novas *expertises* na área de biocombustíveis. Em 2019, a BP formou uma *joint venture* com a empresa holandesa Bunge, resultando na BP Bunge Bioenergia. Essa empresa pretende atuar no setor sucroenergético, por meio da produção de etanol e açúcar, incluindo a utilização do bagaço da cana-de-açúcar para cogeração de energia. Entretanto, os resultados encontrados durante este estudo e o interesse da BP no etanol de segunda geração indicam que essas biorrefinarias podem, no futuro, utilizar o bagaço da cana-de-açúcar para produzir também o etanol de segunda geração.

A South China Agricultural University e a Technical University of Denmark foram as universidades que mais se destacaram ao longo dos diferentes estágios temporais. Sendo a universidade chinesa responsável por propor diferentes parâmetros para a aplicação do método de Pré-Tratamento Alcalino e melhoramento da eficiência do Processo de produção do etanol 2G. Por outro lado, a universidade dinamarquesa foca no desenvolvimento de enzimas e no

emprego da ensilagem para pré-tratar a biomassa lignocelulósica.

Cabe ainda ressaltar que para o estágio atual as empresas que dominam a produção de etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar são brasileiras. As empresas CTC, Raízen e GranBio são as únicas a possuírem usinas produtoras do bioetanol, ainda que em estágio de demonstração (CTC). Entretanto, a relação dessas empresas com a tecnologia segue caminhos totalmente diferentes. Enquanto a CTC tenta desenvolver todas as competências necessárias para a produção do etanol de forma interna, a Raízen e a GranBio formaram diversas parcerias para licenciar as tecnologias desenvolvidas em outras empresas.

O CTC é referência no desenvolvimento do açúcar e do etanol no Brasil, aplicando sua tecnologia de produção do etanol de segunda geração na planta piloto (em Piracicaba/SP) e na de demonstração (em São Manuel/SP). A empresa é responsável por todo o Processo de produção do etanol, importando apenas uma parte das enzimas da Novozymes. No curto prazo, o CTC apostou na integração com a produção do etanol 1G e também no desenvolvimento de novas enzimas, no longo prazo a empresa estuda a comparação entre as diversas configurações para otimizar o Processo de produção do bioetanol.

A GranBio é uma empresa brasileira especializada em biotecnologia industrial, que se dedica ao desenvolvimento de soluções para tornar viável, em escala comercial, a utilização da biomassa para produção de biocombustíveis. A empresa opera a primeira planta em escala comercial de etanol de segunda geração do Hemisfério Sul, a biorrefinaria Bioflex 1. Para iniciar a produção do etanol a GranBio licenciou a tecnologia Proesa® da Beta Renewables, incluindo o Pré-Tratamento da biomassa para o acesso à celulose e hemicelulose. No Processo empregado pela GranBio utiliza-se o bagaço e a palha da cana-de-açúcar e Explosão a Vapor para o Pré-Tratamento da biomassa, o Processo do tipo SSCF ocorre com a utilização das enzimas da Novozymes e as leveduras DSM.

Em 2019, a GranBio adquiriu a empresa norte-americana API, juntamente com todo o seu *know-how* sobre o Pré-Tratamento da biomassa lignocelulósica. Na elaboração do *Roadmap* Tecnológico a empresa API foi responsável pelo depósito de cinco patentes (uma concedida e quatro solicitadas), todas com foco em Pré-Tratamento e aplicação em diferentes configurações de Processo.

Por outro lado, a Raízen estabeleceu parceria com a Iogen Corporation, empresa canadense de biotecnologia. A Raízen é a proprietária da licença da tecnologia para a produção de etanol de segunda geração, que inclui o Pré-Tratamento do tipo Explosão a Vapor e a

configuração de Processo SSCF. A empresa canadense Iogen foi uma das pioneiras quanto ao desenvolvimento da tecnologia de etanol celulósico produzido a partir da palha do trigo. A parceria entre a Iogen Corp e a Raízen deu origem a Iogen Energy, que mudou o foco da biomassa utilizada para o bagaço e a palha de cana-de-açúcar. A biorrefinaria inaugurada em 2014 produziu 16,5 milhões de litros de etanol 2G na safra 2018/19.

Outro ponto importante identificado no *Roadmap* foram as iniciativas para o melhoramento genético da cana-de-açúcar, percebidas principalmente no estágio atual. Essas “supercanas” são consideradas como a solução para melhorar a produtividade dos canaviais, produzir etanol 2G e aumentar a cogeração de energia. A associação de universidades federais brasileiras (RIDESA), com especial destaque para a UFSCar, o centro de pesquisa IAC, a empresa Vignis e o CTC possuem projetos para o melhoramento genético da cana-de-açúcar.

Apesar dos avanços identificados neste estudo e das diversas iniciativas demonstradas, a produção do etanol de segunda geração produzido a partir da cana-de-açúcar ainda enfrenta muita dificuldade para se tornar economicamente viável. Os problemas com os custos do Processo, principalmente Pré-Tratamento e enzimas, a entressafra da colheita da cana e a recente estabilização do preço do petróleo tornam mais lento o Processo de desenvolvimento desse produto de forma comercial e lucrativa.

Mesmo assim, empresas como a Raízen e a GranBio continuam a investir fortemente nessa tecnologia e formar parcerias para agregar as inovações tecnológicas de outras empresas. A recente aquisição da API pela GranBio é um exemplo disto. Sendo assim, apesar das dificuldades a análise do *Roadmap* Tecnológico evidencia uma janela de oportunidade para as instituições brasileiras no setor sucroalcooleiro de segunda geração.

Dessa forma, a presente dissertação possibilitou a análise da evolução temporal dos *drivers* da tecnologia estudada, os principais atores internacionais e nacionais interessados no setor, a identificação de *clusters* com o mesmo foco tecnológico e contribuiu para auxiliar o mapeamento de futuros investimentos e projetos no setor estudado.

Algumas sugestões para trabalhos futuros são: complementação do *Roadmap* Tecnológico gerado por meio da adição de informações de entrevistas com especialistas; separação do *Roadmap* do etanol 2G oriundo do bagaço da cana-de-açúcar do oriundo da palha da cana; a aplicação desta metodologia para a análise do etanol de segunda geração produzido a partir de outras matérias-primas e a sua comparação com o *Roadmap* aqui construído; comparar os modelos de negócios das empresas estrangeiras e brasileiras que atuam no

setor de produção de etanol 2G; mapear por meio de avaliações técnico-econômicas e políticas os obstáculos que impedem a viabilização econômica do etanol 2G e propor outra matéria-prima que teria potencial para ser utilizada, no Brasil, para a produção do bioetanol.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, R.; RAMIREZ, J. A.; GARROTE, G.; VÁZQUEZ, M. R. Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse, **Journal of Food Engineering**, v.55, i.4, p.309-318, 2002.

ALBRIGHT, R. E.; KAPPEL, T. A. *Roadmapping in the Corporation*. **Research Technology Management**, v. 46, i. 2, p. 31-40, 2003.

ALCARDE, A. R. **Processamento da cana-de-açúcar: outros produtos**. Agência de informação EMBRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html>. Acesso em: 3 jan. 2019.

ALFANI, F.; GALLIFUOCO, A.; SAPOROSI, A.; SPERA, A.; CANTARELLA, M. Comparison of SHF and SSF processes for the bioconversion of steam-exploded wheat straw. **J. Ind. Microbiol. Biotechnol**, v.25, p. 184-192, 2000.

ALMEIDA, V., P.; LONGHI, G., M.; SANTOS, L., R. Etanol: 40 anos de evolução do mercado de combustíveis e automóveis no Brasil. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 49, p.462 – 484, 2017.

AMORE, A.; FARACO, V. Potential of fungi as category I Consolidated BioProcessing organisms for cellulosic ethanol production. **Renew. Sustain. Energy Rev.** v.16, p.3286–3301, 2012.

ANDRADE, L. F. de. **Produção de etanol de segunda geração**. 30f. Monografia (Especialista em Microbiologia) - Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

ANDRADE, C. M. **Biorrefino do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de derivados furânicos**. 123f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2015.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Autoveículos - Produção, licenciamento, exportações em unidades de montados e CKD (desmontados), exportações em valor e emprego**. 2018. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas-copiar.html>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

ARAÚJO, C. R. de et al. Estudo das rotas de Hidrólise química e biológica para a produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos. **Revista Eletrônica SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS**, v. 12, 2013

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

BASTOS, Valéria. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 25, p.5 - 38, mar. 2007.

BAUDEL, HENRIQUE MACEDO. **Pré-Tratamento e Hidrólise**. III Workshop Tecnológico sobre Hidrólise - Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas – Etanol. São Paulo, dezembro, 2006.

BÉGUIN, P.; AUBERT, J. P. 1994. The biological degradation of cellulose. **FEMS Microbiol. Ver**, v.13, p. 25–58, 1994.

BIDLACK, J., MALONE, M., BENSON, R. Molecular structure and component integration of secondary cell wall in plants. **Proc. Okla. Acad. Sci.** 72: 51-56, 1992.

BIOFUELS DIGEST. **AdvanceBio Systems Creates New Brazilian Partnership to Increase Ethanol Yields**, 2012. Disponível em: <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2012/09/10/advancebio-systems-creates-new-brazilian-partnership-to-increase-ethanol-yields/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BIOFUELS DIGEST. **American Process to continue R&D, development work despite split from GranBio**, 2019. Disponível em: <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/03/18/american-process-to-continue-rd-work-despite-split-from-granbio/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BIOFUELS DIGEST. **Amyris executes strategic supply agreements with Raizen**, 2019. Disponível em: <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/05/21/amyris-executes-strategic-supply-agreements-with-raizen/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BIOFUELS DIGEST. **Beta Renewables: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide**, 2015. Disponível em: <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/01/15/beta-renewables-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BIOFUELS DIGEST. **Brazil's GranBio Acquires USA's American Process**, 2019. Disponível em: <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/tag/american-process-inc/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BIOFUELS DIGEST. **Dedini aims to halt spiking in ethanol prices with sweet sorghum**, 2011. Disponível em: <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2011/05/06/dedini-aims-to-halt-spiking-in-ethanol-prices-with-sweet-sorghum/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BIOFUELS DIGEST. **DowDuPont to exit cellulosic biofuels business**, 2017. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/11/02/breaking-news-dowdupont-to-exit-cellulosic-ethanol-business/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BIOFUELS DIGEST. **Novozymes: Biofuels Digest's 2014 5-Minute Guide**, 2015. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/03/05/novozymes-biofuels-digests-2014-5-minute-guide/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BISARIA, V.S. Bioprocessing of Agro-residues to glucose and chemicals. **In: Bioconversion of Waste Materials to Industrial Products**, ed. A. M. Martin, p. 210–213, 1991.

BNDES E CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p. DC, 2007. Disponível em: <<http://www.cei.org/pdf/5774.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2018.

BOISSET, C., FRASCHINI, C., SCHULEIN, M., HENRISSAT, B., CHANZY, H. Imaging the enzymatic digestion of bacterial cellulose ribbons reveals endo character of the cellobiohydrolase Cel6A from *Humicola insolens* and its mode of synergy with cellobiohydrolase Cel7A. **Appl. Environ. Microbio.**, v. 66, p.1444-1452, 2000.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. **TECHNOLOGY ROADMAP – Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. Ed. Interciência, 2016.

BRONZATO, G. R. F. **Investigação da biomassa de *Eichhornia crassipes* (aguapé) para a obtenção de etanol de segunda geração como um Processo mitigatório da poluição aquática**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia e Área de Concentração em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 2016.

CANILHA, L.; MILAGRES, A. M. F.; SILVA, S. S.; SILVA, J. B. A.; FELIPE, M. G. A.; ROCHA, G. J. M.; CARVALHO, W. **Sacarificação da biomassa lignocelulósica através de pré-Hidrólise ácida seguida por Hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal**. *Rev. Analytica*. p. 44-48, 2010.

CANTARELLA, M.; CANTARELLA, L.; GALLIFUOCO, A.; SPERA, A.; ALFANI, F. Comparison of different detoxification methods for steam-exploded poplar wood as a substrate for the bioproduction of ethanol in SHF and SSF. **Process Biochemistry**, v.39, p. 1533-1542, 2004.

CAROLAN, M. S. A sociological look at biofuels: ethanol in the early decades of the twentieth century and lessons for today. **Rural Sociology**. v.74, p.86 – 112, 2009.

CARVALHO, M. M.; FLEURY, A.; LOPES, A. P. An overview of the literature on technology *Roadmapping* (TRM): Contributions and trends. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, i. 7, p. 1418 – 1437, 2013.

CASTRO, R. C. A. **Seleção de uma linhagem termotolerante de *Kluyveromyces marxianus* produtora de etanol e sua aplicação no Processo de sacarificação e Fermentação simultânea da celulignina de palha de arroz.** 103f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de Lorena, 2011

CHERRY, J. R.; FIDANTSEF, A. L. Directed evolution of industrial enzymes: An update. **Curr. Opin. Biotechnol.** v.14, p.438–443, 2003.

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

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 6 - Safra 2019/20, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-58, maio de 2019.

COELHO, G. M. **Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais**. Rio de Janeiro: INT, 2003.

COUGHLAN, M. P.; LJUNGDAHL, L. G. Comparative biochemistry of fungal and bacterial cellulolytic enzyme systems. **In: JP Aubert**, ed. P Béguin and J Millet. FEMS Symposium v. 43, p. 11–30, 1988.

CUENCA, M. A. G. A Cultura do Coqueiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. Versão Eletrônica. (Sistemas de Produção, 1). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/ACulturadoCoqueiro/importancia.htm>>. Acesso em: 3 mar. 2019.

DAHNUMA, D. et al. Comparison of SHF and SSF Processes Using Enzyme and Dry Yeast for Optimization of Bioethanol Production from Empty Fruit Bunch. **Energy Procedia**, v.68, p. 107-116, 2015.

DIAS, M. O. S. **Desenvolvimento e otimização de Processos de produção de etanol de primeira e segunda geração e eletricidade a partir da cana-de-açúcar**. 2011. 253f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

DOE - Department of Energy. **Current State of the U.S. Ethanol Industry**. 2010. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f14/current_state_of_the_us_ethanol_industry.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2019.

DUFF, S. J. B.; MURRAY, W. D. Bioconversion of forest products industry waste cellulose to fuel ethanol: a review. **Bioresour. Technol**, v. 55, p.1–33, 1996.

DUNHAM, F. B.; BOMTEMPO, J. V.; FLECK, D. L. A estruturação do sistema produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proálcool. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 35-72, jan./jun. 2011.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Program Overview for Renewable Fuel Standard Program**. 2016. Disponível em: <<http://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/program-overview-renewable-fuel-standard-program>>. Acesso em: 18 jan. 2019.

FOSTER, T. et al. AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. **Agricultural Water Management**. V. 181, p.18-22, 2017.

FUELS INSTITUTE. **A Market Performance Analysis and Forecast**. 2014. Disponível em: <http://fuelsinstitute.org/ResearchArticles/E85_AMarketPerformanceAnalysisForecast.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2019.

GALLOWAY, J. H. **The sugar cane industry: an historical geography from its origins to 1914**. Cambridge University Press, 1989.

GALVIN, R. Science *Roadmaps*. **Science**, v. 280, n. 5365, p. 803, 1998.

GARCIA, M. L.; BRAY, O. H. Fundamentals of technology *Roadmapping*. Sandia National Laboratories, 2007. Disponível em: <<http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/1997/970665.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2019.

GOETTEMOELLER, J.; GOETTEMOELLER, A. **Sustainable ethanol: biofuels, biorefineries, cellulosic biomass, flex-fuel vehicles, and sustainable farming for energy independence**. 1 ed. Missouri: Praire Oak Publishing, 2007. 195p.

GRANDO, R., I.; OLIVEIRA, C., B.; ANTUNES, A. M. Panorama do etanol utilizando prospecção tecnológica. **Revista GEINTEC**, v. 5, p.2604 – 2618, 2015.

HAHN-HÄGERDAL, B.; OLSSON, L. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates for ethanol production. **Enzyme and Microbial Technology**, v.18, i. 5, p. 312-331, 1996.

HAMELINCK, C.N.; VAN HOOIJDONK, G.; FAAIJIM, A. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term, **Biomass and Bioenergy**, v.28, i.4, p.384-410, 2005.

HASSUANI, S.J.; LEAL, M.R.L.V.; MACEDO, I.C. (Ed.). **Biomass power generation - Sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba: PNUD e CTC, 2005.

HECTOR, J. R. E. et al. *Saccharomyces cerevisiae* engineered for xylose metabolism requires gluconeogenesis and the oxidative branch of the pentose phosphate pathway for aerobic xylose assimilation. **Yeast**, v. 28, p. 645–660, 2011

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World Energy Outlook**. 2018. Disponível em: <<https://www.iea.org/weo/>> Acesso em: 20 abr. 2019.

KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, v. 24, n.68, 2010.

KUHAD, R. C.; GUPTA, R.; KHASA, Y. P.; SINGH, A.; ZHANG, Y. H. P. Bioethanol production from pentose sugars: current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 4950–4962, 2011.

LAN, Y. et al. Insights of Ethanol Organosolv Pretreatment on Lignin Properties of *roussonetia papyrifera*. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**. v.6, i.11, p. 14767-

14773, 2018.

LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 78, jul. 2007.

LENIHAN, P.; OROZCO, E. et al. Dilute acid hydrolysis of lignocellulosic biomass. **Chemical Engineering Journal**, v.156 p.395 – 403, 2010.

LIMA, A. L. A. **Biorreatores utilizados na Hidrólise enzimática para produção de etanol de segunda geração**. 46f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Bioquímica) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena - SP, 2013.

LIN, Y.; TANAKA, S. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. **Appl Microbiol Biotechnol**, v.69, p. 627 – 642, 2006.

LIU, D., ZENG, R., ANGELIDAKI, I. Hydrogen and methane production from household solid waste in the two-stage fermentation process. **Water Research**, v.40, i.11, p. 2230 – 2236, 2006.

LOUREIRO, A. M. V. O Emprego do Método *Technology Roadmapping* em Adesivos e Selantes Aplicados à Construção Civil. 331 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

LYND, L. R.; WEIMER, P. J.; VAN ZYL, W. H.; PRETORIUS, I. S. Microbial cellulose utilization fundamentals and biotechnology. **Microbiol. Mol. Biol. Rev.** v. 66, p.506–577, 2002.

LYND, L. R.; VAN ZYL, W. H.; MCBRIDE, J. E.; LASER, M. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: An update. **Curr. Opin. Biotechnol.** v.16, p.577–583, 2005.

MAAS, R. H. W. **Microbial conversion of lignocellulose-derived carbohydrates into bioethanol and lactic acid.** 158f. Tese (Doutorado) - Wageningen University, Netherlands, 2008.

MAIS, U.; ESTEGHLALIAN A. R.; SADDLER J. N. Enhancing the enzymatic hydrolysis of cellulosic materials using simultaneous ball milling. **Appl Biochem Biotechnol**, v. 98, p. 815 – 832, 2002.

MANZATTO, C. V. et al. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro.** Embrapa Solos. Documentos, 2009.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produção Brasileira de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol.** Departamento de Café, Cana-de-Açúcar e Agroenergia. Brasília, 2018.

MARCOLIN, N. Era quase aguardente. **Pesquisa FAPESP** on line, 2008. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3468&bd=1&pg=1&lg>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

MARQUES, F. Bagasse is the Target. **Pesquisa FAPESP**, Special Issue, p.32-36, 2011.

MATHIAS, J. F. C. M. **Modernização e produtividade da agropecuária no Brasil.** 2014. Disponível em: <<http://comovaiobrasil.pressbooks.com/chapter/modernizacao-e-productividade-do-agronegocio-no-brasil/>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

MENEZES, T. J. B. de. **Etanol, o combustível do Brasil**. São Paulo, agrônômica Ceres, 233 p. 1980.

MILANEZ, A. Y.; FAVERET, P. S. C.; ROSA, S. E. S. Perspectivas para o etanol brasileiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p.21 - 38, mar. 2008.

MORAES, M. A. F. D. de. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil**. Americana: Caminho Editorial, 2000. 238 p.

MORAES, M. L.; BACCHI, M. R. P. Etanol: Do início as fases de produção. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, p.5 – 22, 2014.

MOSIER, N. et al. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 673-686, 2005.

NIGRO, F.; SZWARC, A. O etanol como combustível. In: SOUSA, E. L. L. de; MACEDO, I. de C. (Org.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010. cap. 6, p. 154-189.

NOVACANA. **Cana-energia, a revolução sucroenergética está começando**. 2015. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/variedades/especial-cana-energia-revolucao-sucroenergetica-201015/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

NOVACANA. **Oferta de energia gerada pela cana cresce em 2017, mas perde presença na matriz nacional**. 2018. Disponível em: < <https://www.novacana.com/n/cana/meio-ambiente/oferta-energia-gerada-cana-cresce-em-2017-perde-matriz-nacional-230818/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

NUNES, R. M. et al. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda

geração no Brasil. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 14, n. 22, p. 113-238, 2013.

NYKO, D. et al. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p 399-442, 2013.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. **T-Plan: The fast start to technology Roadmapping – Planning your route to success**. Cambridge University, Institute of Manufacturing, UK, 2001.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Technology *Roadmapping* – A planning framework for evolution and revolution. **Technological Forecasting & Social Change**, v.71, p.5-26, 2004.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Visualising strategy: a classification of graphical *Roadmap* forms. **Int. J. Technol. Manag.**, v. 47, i. 4, p. 286 – 305, 2009.

PIACENTE, F. J.; SILVA, V. C.; BIAGGI, D. Produção de bioetanol a partir do milho: estudo de prospecção tecnológica a partir de bases de patentes, p. 1211-1225. In: **Anais do 1º Encontro da Nacional de Economia Industrial e Inovação** [Blucher Engineering Proceedings, v.3 n.4]. São Paulo: Blucher, 2016.

PICCININO, D. et al. Layer-by-Layer Preparation of Microcapsules and Nanocapsules of Mixed Polyphenols with High Antioxidant and UV-Shielding Properties. **BioMacromolecules**, v. 19, i.9, p.3597-3904, 2018.

POWER, S. D. et al. **Hemicellulase Enriched Compositions For Enhanced Hydrolysis Of Biomass**. Depositante: Danisco US Inc Q. Procurador: Maria Cristina Valim Lourenço Gomes. US n. 2011/0086408 A1. Publicação: 14 abr. 2011.

RABELO, S. C. **Avaliação e otimização de Pré-Tratamentos e Hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração.** 2010. 447f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

RAMOS, L. P. **Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil.** São Paulo: Editora. Hucitec, 1999.

RAMOS, L. P. The chemistry involved in the pretreatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**, v. 26, p. 863-871, 2003.

RENOVABIO: **Biocombustíveis 2030.** Barroso, L. A. N., et al. GOVERNO FEDERAL, 2016.

RFA - Renewable Fuels Association. **Renewable Fuel Standard.** 2016. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/policy/regulations/renewable-fuel-standard/>>. Acesso em: 22 jan. 2019.

RFA - Renewable Fuels Association. **World Fuel Ethanol Production.** 2018. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1549569130196-da23898a-53d8> Acesso em: 20 abr. 2019.

SAAD, M. B. W. **Avaliação técnica e econômica preliminar da produção de etanol via Hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar.** 2010. 138 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Área de Conversão de Biomassa) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

SANTOS, A. M. **Caracterização química da biomassa: potencial da palha da cana de-açúcar para produção de etanol de segunda geração.** 63f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação

em Energia da Biomassa, 2018.

SANTOS, D. S. **Produção de etanol de segunda geração por *Zymomonas mobilis* naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica.** 218f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2012.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Quim. Nova**, v.35, n.5, p.1004 – 1010, 2012.

SANTOS, M. F. R. F. dos. **Elaboração do Technology Roadmap para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil.** 2011. 307 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2011

SANTOS, M. S. R. dos. **Estudo de Pré-Tratamentos de palha e sabugo de milho visando a produção de etanol 2G.** 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió - AL, 2014.

SATYANAGALAKSHMI, K. et al. Bioethanol production from acid pretreated water hyacinth by separate hydrolysis and fermentation. **BioResources**, v. 70, n. FEBRUARY, p. 156–161, 2011.

SHIKIDA, P. F. A. **A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995.** Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, 191 p. 1997.

SIMS, R. E. H. et al. An overview of second generation biofuel technology. **Bioresource Technology**, v.101, p.1570-1580, 2010.

SOARES, G. A. **O avanço das tecnologias de segunda geração e seus impactos na indústria do etanol.** 2016. 178f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia.

SONGSTAD, D.D.; LAKSHMANAN, P.; CHEN, J.; GIBBONS, W.; HUGHES, S.; NELSON, R. Historical perspective of biofuels: learning from the past to rediscover the future. **In Vitro Cellular & Developmental Biology.** v.45, p.189 –192, 2009.

SUN, Y.; CHENG, J. J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresour Technol,** v.83, p.1 – 11, 2002.

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira no Brasil: 1930-1975.** São Paulo: Hucitec, 1979. 540 p.

TEIXEIRA, P. L. Prospecção Tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2013.

TENGBORG, S. K.; GALBE, C. M. et al. Optimization of steam pretreatment of SO₂-impregnated mixed softwoods for ethanol production. **J Chem Technol Biotechnol,** v.71, p.299 – 308, 1999.

TORRY-SMITH, M. P., SOMMER, P., AHRING, B. K. Purification of bioethanol effluent in a UASB reactor system with simultaneous biogas formation. **Biotechnology and Bioengineering,** 84 (1), 7–12, 2003.

TRAVAINI, R.; JUDIT, M. J.; HERNANDO, A. L.; DA-SILVA, S. B. Ozonolysis: An advantageous pretreatment for lignocellulosic biomass revisited. **Bioresource Technology,**

v. 199, p.2 – 12, 2016.

TRAVAINI, R.; OTERO, M. D. M.; COCA, M.; DA-SILVA, S. B. Sugarcane bagasse ozonolysis pretreatment: effect on enzymatic digestibility and inhibitory compound formation **Bioresource Technology**, v.133, p. 332-33, 2013.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Brasil poderá quase dobrar exportações de etanol para o Japão. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7BBBD256852-25D4-4CDA-BD54-F47DDCD89A6A%7D>> Acesso em: 29 mar. 2018.

URIBE, J. W. G. Decreto pode elevar para até 40% percentual de etanol na gasolina. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 12 março 2018. Caderno Mercado. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/03/decreto-pode-elevar-para-ate-40-percentual-de-etanol-na-gasolina.shtml>>. Acesso em: 30 jun 2018

USINAS de SP não poderão mais queimar palha da cana-de-açúcar. **JORNAL NACIONAL**: online, 12 dez 2017. Disponível em: < <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/12/usinas-de-sp-nao-poderao-mais-queimar-palha-da-cana-de-acucar.html>>. Acesso em: 15 jul 2018.

VIIKARI, L.; VEHMAANPERA, J.; KOIVULA, A. Lignocellulosic ethanol: from Science to industry. **Biomass Bioenergy**. v.46, p.13 – 24, 2012.

XU, Q.; SINGH, A.; HIMMEL, M.E. Perspectives and new directions for the production of bioethanol using consolidated bioprocessing of lignocellulose. **Curr. Opin. Biotechnol.** v.20, p.364–371, 2009.

WELLS, R. PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Technology *Roadmapping*

for a service organization. **Res. Technol. Manag.**, v. 47, i. 2, p. 46-51, 2004.

WOLF, L. D. **Pré-Tratamento organossolve do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de xilooligômeros**. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Área de Concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos) – Universidade Federal de São Carlos, 2011.

WOODYARD, C. End of ethanol subsidy will raise the price of gas. **USA TODAY**, Atlanta, 3 de Janeiro de 2012. Disponível em: <<http://www.usatoday.com/money/industries/energy/story/2012-01-03/ethanol-subsidy-gas-prices/52355056/1>>. Acesso janeiro de 2019.

WYMAN, C.E. Ethanol from lignocellulosic biomass: technology, economics, and opportunities, **Bioresource Technology**, v.50, i.1, p.3-15, 1994.

WYMAN, C. E. Twenty years of trials, tribulations and research progress in bioethanol technology - Selected key events along the way. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.91, i.3, p.5-21, 2001.

ZALDIVAR, J.; NIELSEN, J.; OLSSON, L. Fuel ethanol production from lignocellulose: challenge for metabolic engineering and process integration, **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.56, p.17-34, 2001.

ZHAO, X.; CHENG, K.; LIU, D. Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis. **Appl Microbiol Biotechnol**, v.82, p.815–827, 2009.

ZHENG, Y.; ZHONGLI, P.; RUIHONG, Z. Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production. **IJABE**, v. 2, i. 3, p.52-68, 2009.

Apêndice A – Documentos estudados para elaboração do *Roadmap*:

Os documentos analisados durante a presente dissertação estão apresentados nas tabelas abaixo, separados por artigos, pedidos de patentes e patentes concedidas. No caso dos artigos é apresentada a referência bibliográfica dos mesmos e seus objetivos, já para as patentes são mostrados os códigos, títulos e seus objetivos.

Quadro A. 1 – Artigos:

Nº	Título do Artigo	Resumo
1	KONDO, Ryuichiro et al. Bioethanol production from alkaline-pretreated sugarcane bagasse by consolidated bioprocessing using <i>Phlebia</i> sp. MG-60. International Biodeterioration & Biodegradation , v. 88, p. 62-68, 2014.	Otimização do Pré-Tratamento Alcalino do bagaço de cana-de-açúcar para a Fermentação consolidada de bioprocessamento pelo fungo fermentador de celulose <i>Phlebia</i> sp. MG-60.
2	SANTOSH, I., ASHTAVINAYAK, P., AMOL, D., SANJAY, P. 2017. Enhanced bioethanol production from different sugarcane bagasse cultivars using co-culture of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and <i>Scheffersomyces (Pichia) stipitis</i> . Journal of Environmental Chemical Engineering . v. 5, no. 3: 2861-2868.	Estudo da utilização do Pré-Tratamento com alta carga sólida para melhorar a produção de etanol, juntamente com de dez amostras e bagaço de cana-de-açúcar da Índia.
3	LIU, Y., XU, J., ZHANG, Y., YUAN, Z., HE, M., LIANG, C. 2015. Sequential bioethanol and biogas production from sugarcane bagasse based on high solids fed-batch SSF. Energy . v. 90: 1199-1205.	Processo de Sacarificação e Fermentação Simultânea com alta inoculação retardada (DSSF). Com 24 horas de inoculação retardada aumentou a taxa de produção de etanol, eliminando a inibição da glicose nos estágios iniciais da Fermentação, e encurtou a duração do Processo.

4	<p>GUTIÉRREZ-RIVERA, B., ORTIZ-MUÑOZ, B., GÓMEZ-RODRÍGUEZ, J., CÁRDENAS-CÁGAL, A., DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, J. M., AGUILAR-USCANGA, M. G. 2015. Bioethanol production from hydrolyzed sugarcane bagasse supplemented with molasses "B" in a mixed yeast culture. Renewable Energy, v. 74: 399-405.</p>	<p>Utiliza o bagaço de cana hidrolisado (HBC) suplementado com melaço "B", um dos licores resultantes da etapa de cristalização da cana-de-açúcar, em cultura mista de leveduras, a fim de aumentar a produção de etanol e a completa utilização de açúcares hidrolisados.</p>
5	<p>Ethanol production from xylan-removed sugarcane bagasse using low loading of commercial cellulase</p>	<p>Produção de etanol a partir do bagaço de cana removido com xilana usando baixa carga de celulase comercial.</p>
6	<p>BARRERA, I., AMEZCUA-ALLIERI, M. A., ESTUPIÑAN, L., MARTÍNEZ, T., ABURTO, J. 2016. Technical and economical evaluation of bioethanol production from lignocellulosic residues in Mexico: Case of sugarcane and blue agave bagasses. Chemical Engineering Research and Design, v. 107: 91-101</p>	<p>Simulação com o software Superpro Designer®, realizada em diferentes níveis de eficiência através de uma análise estatística das respostas superficiais e, três diferentes Processos de sacarificação para analisar a produção de etanol em termos de substituição completa de oxigenados na gasolina distribuída no México.</p>
7	<p>BERNIER-OVIEDO, D. J., RINCÓN-MORENO, J. A., SOLANILLA-DUQUÉ, J. F., MUÑOZ-HERNÁNDEZ, J. A. 2018. Comparison of two pretreatments methods to produce second-generation bioethanol resulting from sugarcane bagasse. Industrial Crops and Products. V.122: 414-421.</p>	<p>Comparação entre dois métodos de Pré-Tratamento: Explosão a Vapor (SE) e Hidrólise ácida (HA) aplicada ao bagaço de cana-de-açúcar para produção de bioetanol de segunda geração.</p>

8	<p>HU, M., YU, H., LI, Y., LI, A., CAI, Q., LIU, P, et al. 2018. Distinct polymer extraction and cellulose DP reduction for complete cellulose hydrolysis under mild chemical pretreatments in sugarcane. Carbohydrate Polymers. v. 202: 434-44.</p>	<p>Elucidar como os Pré-Tratamentos com água quente líquida (LHW) e química (H₂SO₄, NaOH, CaO) poderiam melhorar a sacarificação enzimática da biomassa para uma alta produção de bioetanol a partir bagaço de cana-de-açúcar.</p>
9	<p>TRINH, L. T. P., LEE, Y. -, PARK, C. S., BAE, H. 2019. Aqueous acidified ionic liquid pretreatment for bioethanol production and concentration of produced ethanol by pervaporation. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v.69: 57-65.</p>	<p>Estudo com solução acidificada de Ácido clorídrico mostrou grande eficácia no Pré-Tratamento de madeira leve, madeira dura, palha de arroz e bagaço de cana-de-açúcar.</p>
10	<p>MUZNAH. H., et al. Enhanced production of bioethanol by fermentation of autohydrolyzed and C4mimOAc-Treated sugarcane bagasse employing various yeast strains. 2019. Energies. v. 10, i.8: 1207.</p>	<p>Análise a Fermentação do bagaço de cana-de-açúcar auto hidrolisado e pré-tratado com acetato de 1-n-butil-3-metilimidazólio, utilizando quatro diferentes linhagens de levedura para determinar a eficiência da produção de bioetanol.</p>
11	<p>OLIVEIRA, C. M., CRUZ, A. J. G., COSTA, C. B. B 2016. Improving second generation bioethanol production in sugarcane biorefineries through energy integration. Applied Thermal Engineering. v.109: 819-827.</p>	<p>Integração energética de biorrefinarias para a produção de etanol e bioeletricidade de primeira e segunda geração. Além da vantagem econômica, devido à diminuição nos custos das concessionárias de energia elétrica, os Processos integrados de energia permitem aumentar a quantidade de bagaço que pode ser desviada para a produção de etanol de segunda geração.</p>

12	<p>ZHANG, T. M.; ZHU, J. 2017. Enhanced bioethanol production by fed-batch simultaneous saccharification and co-fermentation at high solid loading of fenton reaction and sodium hydroxide sequentially pretreated sugarcane bagasse. Bioresource Technology. v.229: 204-210.</p>	<p>Estudo sobre a reação simultânea de sacarificação e co-Fermentação (SSCF) combinada com o bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado com NaOH foi investigado. Forneceu um Processo economicamente viável para produção de bioetanol.</p>
13	<p>BALA, A.; SINGH., B.2019. Development of an environmental-benign process for efficient pretreatment and saccharification of saccharum biomasses for bioethanol production. Renewable Energy. v.130: 12-24.</p>	<p>O bagaço de cana-de-açúcar foi submetido a diferentes métodos de Pré-Tratamento Físico, químico e Biológico. Entre todos os produtos químicos, o tratamento com amônia removeu significativamente a lignina (quase 77%) e removeu uma grande quantidade de compostos fenólicos.</p>
14	<p>ZHAOQIN, W. Fermentation of undetoxified sugarcane bagasse hydrolyzates using a two stage hydrothermal and mechanical refining pretreatment. 2018. Bioresource Technology. v.261: 313-321.</p>	<p>Neste estudo, o Pré-Tratamento com água quente líquida foi combinado com a moagem a disco para o Pré-Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar.</p>
15	<p>SILVA, J. F. L., SELICANI, M. A., JUNQUEIRA, T. L., KLEIN, B. C., VAZ, S., BONOMI, A. 2017. Integrated furfural and first generation bioethanol production: Process simulation and technoeconomic analysis. Brazilian Journal of Chemical Engineering. v.34, no. 3: 623-634.</p>	<p>A integração de uma usina de furfural a uma instalação de bioetanol de primeira geração, dentro do conceito de biorrefinaria, foi simulada considerando diferentes cenários comparados a uma destilaria autônoma de bioetanol.</p>

16	<p>AMBYE-JENSEN, M., BALZAROTTI, R., THOMSEN, S. T., FONSECA, C., & KÁDÁR, Z. 2018. Combined ensiling and hydrothermal processing as efficient pretreatment of sugarcane bagasse for 2G bioethanol production. Biotechnology for Biofuels. 11, no. 1.</p>	<p>Utilização dos Pré-Tratamentos de ensilagem e processamento hidrotérmico para melhorar a produção de etanol 2G a partir da cana-de-açúcar.</p>
17	<p>JOPPERT, C. L., DOS SANTOS, M. M., COSTA, H. K. M., DOS SANTOS, E. M., MOREIRA SIMÕES, J. R. 2017. Energetic shift of sugarcane bagasse using biogas produced from sugarcane vinasse in brazilian ethanol plants. Biomass and Bioenergy. v. 107: 63-73.</p>	<p>Utilização do biogás produzido a partir da biodigestão da vinhaça como combustível ao invés de utilizar a biomassa, possibilitando deslocar uma fração do bagaço de cana para a produção de etanol 2G e, ao mesmo tempo, mantendo constante a produção de energia e vapor.</p>
18	<p>DUSSÁN, K.J., JUSTO, O.R. PEREZ, V.H., DAVID, G.F., JUNIOR, E.G.S., DA SILVA, S.S. Bioethanol Production From Sugarcane Bagasse Hemicellulose Hydrolysate by Immobilized <i>S. shehatae</i> in a Fluidized Bed Fermenter Under Magnetic Field. 2019, Bioenergy Research. v.12, p.338-346.</p>	<p>Produção de bioetanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar utilizando <i>Scheffersomyces shehatae</i> imobilizado em biossuportes magnéticos em um Biorreator de leito fluidizado auxiliado por campo magnético.</p>
19	<p>HUANG, Y., QIN, X., LUO, X. -, NONG, Q., YANG, Q., ZHANG, Z., et al. 2015. Efficient enzymatic hydrolysis and simultaneous saccharification and fermentation of sugarcane bagasse pulp for ethanol production by cellulase from <i>penicillium oxalicum</i> EU2106 and thermotolerant <i>saccharomyces cerevisiae</i> ZM1-5. Biomass and Bioenergy. v.77: 53-63.</p>	<p>Estudo sobre o uso da polpa do bagaço da cana-de-açúcar, que poderia ser empregada como material alternativo para a produção de bioetanol.</p>

20	<p>TERÁN HILARES, R., IENNY, J. V., MARCELINO, P. F., AHMED, M. A., ANTUNES, F. A. F., DA SILVA, S. S., & SANTOS, J. C. D. 2017. Ethanol production in a simultaneous saccharification and fermentation process with interconnected reactors employing hydrodynamic cavitation-pretreated sugarcane bagasse as raw material. Bioresource Technology. v.243: 652-659.</p>	<p>Avaliação da eficácia do Pré-Tratamento Alcalino combinado com cavitação hidrodinâmica do bagaço da cana-de-açúcar, em um Processo do tipo SSF.</p>
21	<p>PATEL, H., CHAPLA, D., & SHAH, A. 2017. Bioconversion of pretreated sugarcane bagasse using enzymatic and acid followed by enzymatic hydrolysis approaches for bioethanol production. Renewable Energy. v.109: 323-331.</p>	<p>Foco na utilização efetiva de holocelulose de bagaço de cana-de-açúcar para produção de bioetanol. A sacarificação do bagaço de cana-de-açúcar foi realizada empregando duas estratégias: Hidrólise enzimática direta e Hidrólise ácida seguida por Hidrólise enzimática.</p>
22	<p>FARIAS, D., MAUGERI FILHO, F. (2019). Co-culture strategy for improved 2G bioethanol production using a mixture of sugarcane molasses and bagasse hydrolysate as substrate. <i>Biochemical Engineering Journal</i>, 29-38.</p>	<p>O objetivo deste trabalho foi avaliar uma mistura de açúcares (hexoses e pentoses) do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar diluído com melaço de cana-de-açúcar como substrato a ser convertido em fermentações em monocultura ou co-cultura.</p>
23	<p>NOURI, H., AZIN, M., MOUSAVI, S. L. (2018). Enhanced ethanol production from sugarcane bagasse hydrolysate with high content of inhibitors by an adapted <i>barnettozyma californica</i>. Environmental Progress and Sustainable Energy, 37(3), 1169-1175.</p>	<p>A produção de bioetanol a partir de hidrolisado Ácido de hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar foi estudada utilizando uma nova cepa de levedura adaptada.</p>

24	RAMADOS, S. G., MUTHUKUMAR, K. (2016). Ultrasound assisted metal chloride treatment of sugarcane bagasse for bioethanol production. Renewable Energy , 99, 1092-1102.	O trabalho apresenta o tratamento com cloreto de metal assistido por ultrassom do bagaço de cana-de-açúcar (SCB) para produção de bioetanol. Os parâmetros operacionais relativos ao Pré-Tratamento e sacarificação enzimática foram otimizados.
25	ORTIZ, P. S.; DE OLIVEIRA, S. Exergy analysis of pretreatment processes of bioethanol production based on sugarcane bagasse. Energy , 76 (2014 Nov), pp. 130-138	Análise exérgica dos métodos de Pré-Tratamento usando duas composições de bagaço de cana são avaliadas, incluindo: Explosão a Vapor, Organosolv e AFEX.
26	AGNIHOTRI, S., JOHNSEN, I. A., BØE, M. S., ØYAAS, K., MOE, S. (2015). Ethanol Organosolv pretreatment of softwood (picea abies) and sugarcane bagasse for biofuel and biorefinery applications. Wood Science and Technology , 49(5), 881-896.	.O trabalho foi realizado para estabelecer um Pré-Tratamento otimizado de organosolv para produção de bioetanol em bagaço da cana-de-açúcar.
27	SAMBUSITI, C., LICARI, A., SOLHY, A., ABOULKAS, A., CACCIAGUERRA, T., & BARAKAT, A. (2015). One-pot dry chemo-mechanical deconstruction for bioethanol production from sugarcane bagasse. Bioresource Technology , 181, 200-206.	O objetivo deste estudo foi a aplicação de um Pré-Tratamento Físico-químico a seco utilizando diferentes estresses mecânicos para produzir bioetanol a partir do bagaço de cana. O efeito de diferentes métodos de moagem na composição Físico-química, na Hidrólise enzimática, na produção de bioetanol e na eficiência energética também foi avaliado.

28	<p>CASTAÑÓN-RODRÍGUEZ, J. F., PORTILLA-ARIAS, J. A., AGUILAR-USCANGA, B. R., AGUILAR-USCANGA, M. G. (2015). Effects of oxygen and nutrients on xylitol and ethanol production in sugarcane bagasse hydrolyzates. Food Science and Biotechnology, 24(4), 1381-1389.</p>	<p>Foi investigada a influência da suplementação de oxigênio e nutrientes sobre a produção de xilitol e etanol, em meio sintético, e hidrolisados de bagaço de cana-de-açúcar, utilizando <i>Candida tropicalis</i> IEC5-ITV e <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ITV01-RD, para avaliação da conversão de pentoses e hexoses presentes na biomassa lignocelulósica.</p>
29	<p>SAHA, K., MAHARANA, A., SIKDER, J., CHAKRABORTY, S., CURCIO, S., DRIOLI, E. (2019). Continuous production of bioethanol from sugarcane bagasse and downstream purification using membrane integrated bioreactor. Catalysis Today, 68-77.</p>	<p>Estudo do Processo de obtenção do etanol quase puro na purificação a jusante. A produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar foi estudada em Biorreator híbrido de Membrana por 115 h, utilizando a linhagem de levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>.</p>
30	<p>DUSSÁN, K. J., SILVA, D. D. V., PEREZ, V. H., DA SILVA, S. S. (2016). Evaluation of oxygen availability on ethanol production from sugarcane bagasse hydrolysate in a batch bioreactor using two strains of xylose-fermenting yeast. Renewable Energy, 87, 703-710.</p>	<p>Ensaio experimentais foram realizados para avaliar a influência da aeração, taxa de agitação e pH inicial na produção de etanol utilizando o hidrolisado de hemiceluloses do bagaço de cana-de-açúcar por leveduras.</p>
31	<p>BATALHA, L. A. R., HAN, Q., JAMEEL, H., CHANG, H., COLODETTE, J. L., BORGES GOMES, F. J. (2015). Production of fermentable sugars from sugarcane bagasse by enzymatic hydrolysis after autohydrolysis and mechanical refining. Bioresource Technology, 180, 97-105.</p>	<p>Estudo de produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado utilizando auto Hidrólise, seguida de um Processo de refino mecânico.</p>

32	<p>PEREIRA, S. C., MAEHARA, L., MACHADO, C. M. M., FARINAS, C. S. (2015). 2G ethanol from the whole sugarcane lignocellulosic biomass. Biotechnology for Biofuels, 8(1).</p>	<p>Estudo comparativo sistemático do uso de resíduos lignocelulósicos da biomassa lignocelulósica de cana-de-açúcar (bagaço, palha e topos) a partir de variedades comerciais de cana-de-açúcar para a produção de etanol 2G.</p>
33	<p>KHATIWADA, D., LEDUC, S., SILVEIRA, S., MCCALLUM, I. (2016). Optimizing ethanol and bioelectricity production in sugarcane biorefineries in brazil. Renewable Energy, 85, 371-386.</p>	<p>Análise técnico-econômica de biorrefinarias de cana-de-açúcar aprimoradas no Brasil, visando a utilização de excedente de bagaço e cana para produção de eletricidade e / ou etanol.</p>
34	<p>BALAKRISHNARAJA, R.; BALASUBRAMANIAN, S.; ARAVINDAN, P.; ARULRAJ, A.; SELVAPRIYA, K.; GEETHADEVI, S.; NISHA RAO. (2017) Optimization of ethanol production using pretreated corn cob and sugarcane bagasse hydrolysate by Candida parapsilosis strain BKR1. Journal of Environmental Biology. 38, 1357-1363.</p>	<p>Estudou-se a eficiência de espécies de Candida parapsilosis BKR1 na produção de etanol em espigas de milho e bagaço de cana-de-açúcar.</p>
35	<p>BERHE, T.; SAHU, O. (2017) Chemically synthesized biofuels from agricultural waste: Optimization operating parameters with surface response methodology (CCD). MethodX. v.4, 391-403.</p>	<p>O objetivo do trabalho é a produção de etanol a partir do bagaço de cana pelo Processo de Fermentação. Utilizando o Design Expert, foi formulada a etapa de Hidrólise ácida diluída para investigar os efeitos dos parâmetros de Hidrólise em um rendimento de etanol e condição ótima. Todos os três parâmetros de Hidrólise foram variáveis significativas para o rendimento de etanol.</p>

36	<p>CAMPBELL, G. M., ČUKELJ MUSTAČ, N., ALYASSIN, M., GOMEZ, L. D., SIMISTER, R., FLINT, J., WESTWOOD, N. J. (2019). Integrated processing of sugarcane bagasse: Arabinoxylan extraction integrated with ethanol production. Biochemical Engineering Journal, v.146: 31-40.</p>	<p>Projeto de prova de conceito comparou a extração de arabinosilanos (AX) de bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo via peróxido de hidrogênio Alcalino seguido por extração assistida por enzima.</p>
37	<p>TERÁN HILARES, R., SWERTS, M. P., AHMED, M. A., RAMOS, L., DA SILVA, S. S., SANTOS, J. C. (2017). Organosolv pretreatment of sugar cane bagasse for bioethanol production. Industrial and Engineering Chemistry Research, 56(14), 3833-3838.</p>	<p>O Pré-Tratamento do Ácido glicérol do bagaço de cana-de-açúcar (SCB) foi avaliado em diversas condições para otimização do Processo.</p>
38	<p>TERÁN-HILARES, R., RESÉNDIZ, A. L., MARTÍNEZ, R. T., SILVA, S. S., SANTOS, J. C. (2016). Successive pretreatment and enzymatic saccharification of sugarcane bagasse in a packed bed flow-through column reactor aiming to support biorefineries. Bioresource Technology, 203, 42-49.</p>	<p>Utilizou-se um reator de coluna de passagem (PBFTCR) para Pré-Tratamento e posterior Hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar.</p>
39	<p>DE CARVALHO, D. M., DE QUEIROZ, J. H., COLODETTE, J. L. (2017). Hydrothermal and acid pretreatments improve ethanol production from lignocellulosic biomasses. BioResources, 12(2), 3088-3107.</p>	<p>Pré-Tratamentos hidrotérmicos e Ácidos utilizando diferentes cargas ácidas (1,5%, 3,0% e 4,5% H₂SO₄) foram propostos para eucalipto, bagaço de cana e palha de cana-de-açúcar antes da bioconversão em etanol, utilizando o Processo de sacarificação e Fermentação (SSSF) semi-simultânea.</p>

40	<p>FAN, M., ZHANG, S., YE, G., ZHANG, H., XIE, J. (2018). Integrating sugarcane molasses into sequential cellulosic biofuel production based on SSF process of high solid loading. Biotechnology for Biofuels, 11(1).</p>	<p>Para reduzir os altos custos de processamento, o melaço foi integrado na produção de etanol lignocelulósico em modos descontínuos para melhorar o sistema de Fermentação e aumentar a concentração final de etanol e o rendimento.</p>
41	<p>MOKOMELE, T.; SOUSA, L. C.; BALAN, B. B. V. GOOSEN, B. JOHAAN, D. (2018). Using steam explosion or AFEX™ to produce animal feeds and biofuel feedstocks in a biorefinery based on sugarcane residues. Biofpr. v.12 (6), 978 – 996.</p>	<p>Neste trabalho avaliou-se a eficácia da Explosão a Vapor (StEx) e da expansão da fibra de amônia (AFEX™) como potenciais Processos para melhorar a produção de etanol a partir de resíduos da cultura da cana.</p>
42	<p>CARVALHO, D. M. D., QUEIROZ, J. H. D., COLODETTE, J. L. (2016). Assessment of alkaline pretreatment for the production of bioethanol from eucalyptus, sugarcane bagasse and sugarcane straw. Industrial Crops and Products, 94, 932-941.</p>	<p>Estudou-se o impacto do Pré-Tratamento Alcalino em diferentes cargas alcalinas na composição química do eucalipto, bagaço de cana e palha foram comparados com a posterior bioconversão em etanol, usando sacarificação e Fermentação simultâneas (SSSF).</p>
43	<p>Y GAO, J XU, Z YUAN, J JIANG. Ethanol production from sugarcane bagasse by fed- batch simultaneous saccharification and fermentation at high solids loading. (2018) Energy & Science. v.6 (6), 810-818.</p>	<p>Neste estudo, o Pré-Tratamento Alcalino do bagaço de cana-de-açúcar foi realizado com alta carga de sólidos. A temperatura e o pH foram otimizados através de experimentos simultâneos de sacarificação e Fermentação (SSF) utilizando <i>Saccharomyces cerevisiae</i>.</p>

44	<p>YU, N., TAN, L., SUN, Z., NISHIMURA, H., TAKEI, S., TANG, Y., KIDA, K. (2018). Bioethanol from sugarcane bagasse: Focused on optimum of lignin content and reduction of enzyme addition. Waste Management, 76, 404-413.</p>	<p>Investigar o efeito da deslignificação na sacarificação enzimática e na Fermentação com etanol de bagaço de cana-de-açúcar. NaClO, NaOH e Na₂CO₃ foram usados para preparar o bagaço com diferentes teores de lignina.</p>
45	<p>NEVES, P. V., PITARELO, A. P., & RAMOS, L. P. (2016). Production of cellulosic ethanol from sugarcane bagasse by steam explosion: Effect of extractives content, acid catalysis and different fermentation technologies. Bioresource Technology, 208, 184-194.</p>	<p>A produção de etanol celulósico foi realizada utilizando amostras de bagaço de cana-de-açúcar nativo (NCB) e extraído com etanol (EECB). Auto Hidrólise (AH) exibiu a melhor recuperação de glicose de ambas as amostras.</p>
46	<p>WANG, Z., DIEN, B. S., RAUSCH, K. D., TUMBLESÓN, M. E., SINGH, V. (2019). Improving ethanol yields with deacetylated and two-stage pretreated corn stover and sugarcane bagasse by blending commercial xylose-fermenting and wild type saccharomyces yeast. Bioresource Technology, 103-109.</p>	<p>Três tecnologias diferentes são combinadas para desenvolver um Processo de conversão mais eficiente para cada uma dessas matérias-primas (palha e bagaço da cana-de-açúcar). As três tecnologias são o Processo de desacetilação alcalina diluído, o Pré-Tratamento combinados de cisalhamento termoquímico e mecânico e a Fermentação usando um inóculo combinado de duas cepas comerciais de Saccharomyces.</p>
47	<p>FERREIRA, P. G., DA SILVEIRA, F. A., DOS SANTOS, R. C. V., GENIER, H. L. A., DINIZ, R. H. S., RIBEIRO, J. I., DA SILVEIRA, W. B. (2015). Optimizing ethanol production by thermotolerant kluveromyces marxianus CCT 7735 in a mixture of sugarcane bagasse and ricotta whey. Food Science and Biotechnology, 24(4), 1421-1427.</p>	<p>O bagaço de cana-de-açúcar foi suplementado com soro de ricota para aumentar as concentrações de açúcar, vitamina e traços metálicos no meio de Fermentação. As condições ótimas para produção de etanol SSF a partir de uma mistura de bagaço de cana e ricota consideraram cinco fatores: concentração de celulase, concentração de biomassa celulósica, pH, temperatura e agitação.</p>

48	<p>ANTUNES, F. A. F., SANTOS, J. C., CHANDEL, A. K., CARRIER, D. J., PERES, G. F. D., MILESSI, T. S. S., DA SILVA, S. S. (2019). Repeated batches as a feasible industrial process for hemicellulosic ethanol production from sugarcane bagasse by using immobilized yeast cells. Cellulose, 26(6), 3787-3800.</p>	<p>A imobilização celular da levedura de conversão selvagem de pentose nativa brasileira, <i>Scheffersomyces shehatae</i> foi proposta para a produção de etanol 2G a partir do hidrolisado hemicelulósico do bagaço da cana-de-açúcar.</p>
49	<p>HILARES, R.T.; KAMOEL, D.V.; AHMED, M. A.; SILVA, S. S. (2018) A new approach for bioethanol production from sugarcane bagasse using hydrodynamic cavitation assisted-pretreatment and column reactors. Ultrasonics. v.43, 219-226.</p>	<p>A cavitação hidrodinâmica (HC) foi adotada para auxiliar o Pré-Tratamento com peróxido de hidrogênio Alcalino do bagaço de cana.</p>
50	<p>LIU, Y., ZHANG, Y., XU, J., SUN, Y., YUAN, Z., & XIE, J. (2015). Consolidated bioprocess for bioethanol production with alkali-pretreated sugarcane bagasse. Applied Energy, 157, 517-522.</p>	<p>Uma produção integrada de bioProcessos integrando enzimas, sacarificação e Fermentação foi aplicada para a produção de bioetanol.</p>
51	<p>PETERSEN, A. M., VAN DER WESTHUIZEN, W. A., MANDEGARI, M. A., GÖRGENS, J. F. (2018). Economic analysis of bioethanol and electricity production from sugarcane in south africa. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 12(2), 224-238.</p>	<p>Uma análise econômica para a produção de etanol e eletricidade na indústria de moagem de cana-de-açúcar na África do Sul, por meio de tecnologias de primeira e segunda geração, e estratégias de integração foi realizada.</p>

52	DA SILVA, G. T., CHIARELLO, L. M., LIMA, E. M., & RAMOS, L. P. (2016). Sono-assisted alkaline pretreatment of sugarcane bagasse for cellulosic ethanol production. Catalysis Today , 269, 21-28.	O Pré-Tratamento Alcalino da cana-de-açúcar foi otimizado utilizando um delineamento composto central no qual a recuperação da glicose após Hidrólise enzimática foi utilizada como função de resposta.
53	THAKUR, I. S., RAY, A. K., SINGHAL, A. (2015). Ethanol from sugar cane bagasse of pulp and paper mill effluent by cryptococcus albidus and saccharomyces cerevisiae. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects , 37(11), 1172-1179.	<i>Cryptococcus albidus</i> e <i>Saccharomyces cerevisiae</i> foram utilizados para a Hidrólise e Fermentação do bagaço de cana para produção de etanol.
54	FISCHER J., LOPES V., SANTOS E., COUTINHO FILHO U., CARDOSO V., 2014, Second Generation Ethanol Production Using Crude Enzyme Complex Produced by Fungi Collected in Brazilian Cerrado (Brazilian Savanna), Chemical Engineering Transactions , 38, 487-492.	Objetivo de produzir enzimas celulolíticas e utilizar essas enzimas para produzir geração de etanol a partir do bagaço de cana.
55	G.J.M. ROCHA, V.M. NASCIMENTO, V.F.N. DA SILVA, D.L.S. CORSO, A.R. GONÇALVES. Contributing to the environmental sustainability of the second generation ethanol production: delignification of sugarcane bagasse with sodium hydroxide recycling. Ind. Crops Prod. , 59 (2014 Aug), pp. 63-68	Estudo da influência do pH na deslignificação alcalina de bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado por Explosão a Vapor, em planta piloto, reciclando o licor negro para obtenção de celulose, com foco na produção de etanol de segunda geração.

Quadro A. 2 - Patentes Solicitadas:

Nº	ID	TÍTULO	Objetivo
1	BR102012023582A2	PROCESS FOR OBTAINING ENDOGLUCANASE THERMOPHILIC BACTERIUM	Processo de produção de enzimas celulases (utilizadas para a produção de etanol 2G) a partir do bagaço da cana-de-açúcar.
2	BR102013026715A2	PROCESS OF INDUCTION OF ENZYME PRODUCTION BY FILAMENTOUS FUNGUS PENICILLIUM ECHINULATUM ENZYME AND USE IN THE ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS	Processo de produção de enzimas por fungo filamentosso penicillium echinulatum e uso da enzima na Hidrólise enzimática de biomassa lignocelulósica do bagaço e palha da cana-de-açúcar.
3	BR102016029286A2	PROCESSO DE OBTENÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO HIDROLISADO HEMICELULÓSICO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	Descreve Processo de obtenção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar; a partir de Pré-Tratamento Biológico e Processo de Destoxificação e Fermentação simultâneos.
4	BR112013009817A2	METHODS FOR DEGRADING OR CONVERTING SUGAR CANE WASTE, TO PRODUCE A FERMENTATION PRODUCT AND FERMENTING SUGAR CANE TRASH	Métodos de converter bagaço de cana de açúcar, utilizando o método SHF.
5	BRPI1101427A2	SACCHAROMYCES CEREVISIAE GENETICAMENTE MODIFICADA E SEU USO	Uso da Saccharomyces cerevisiae geneticamente modificada na Fermentação de glicose e xilose de hidrolisados de biomassa, como o bagaço da cana-de-açúcar, para a produção de etanol.
6	CN105907803A	METHOD FOR PRODUCING ETHYL ALCOHOL FROM BAGASSE HEMICELLULOSE AND CANE MOLASSES	Método para produzir etanol a partir de hemicelulose de bagaço e melaço de cana. Compreende: Pré-Tratamento (Ácido e moinho), destoxicação da hemicelulose, Hidrólise e Fermentação em separados.
7	CN107034241A	PREPROCESSING PROCESS FOR BAGASSE SACCHARIFICATION UTILIZATION	A invenção descreve um Processo de Pré-Tratamento do bagaço da cana-de-açúcar, primeiro com adição de uma solução de hidróxido de sódio e em seguida adição de ureia.
8	CN109371074A	A METHOD OF HEATING EXPLOSION SUGARCANE BAGASSE EFFICIENCY IS IMPROVED BY ALKALI ALCOHOL PRE-TREATMENT AND ADDITIVE	A invenção proporciona um método para melhorar a eficiência de Hidrólise enzimática de bagaço por Pré-Tratamento com etanol Alcalino.

9	CN109456999A	A METHOD OF HEATING EXPLOSION SUGARCANE BAGASSE EFFICIENCY IS IMPROVED BY ALKALI, ETHANOL SOLUTION TWO STAGES PRETREATMENT AND ADDITIVE	O método inclui: Pré-Tratamento Alcalino e adição de etanol com objetivo de otimizar o método de Explosão a Vapor do bagaço da cana-de-açúcar.
10	CN109652467A	A METHOD OF ETHYL ALCOHOL IS PRODUCED USING BAGASSE	Método para produzir etanol utilizando bagaço da cana-de-açúcar. Compreende: Pré-Tratamento (Físico e Ácido), Hidrólise e Fermentação em separados.
11	EP3450622A1	METHOD AND APPARATUS FOR THE TREATMENT OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASSES	Método para o tratamento da biomassa lignocelulósica, para separação da celulose da lignina, utilizando o Pré-Tratamento de Explosão a Vapor modificado.
12	MX2015005129A	ETHANOL PRODUCTION PROCESS BY CONTINUOUS FERMENTATION FROM YEAST CELLS (SCHEFFERSOMYCES STIPITIS) IMMOBILIZED IN PRETREATED CANE BAGASSE	Método de produção de etanol utilizando como Pré-Tratamento a levedura <i>Stipitis Scheffersomyces</i> , a partir do bagaço da cana-de-açúcar.
13	SK500832016A3	METHOD FOR INCREASING THE YIELD OF MONOSACCHARIDES IN THE PRODUCTION OF BIOFUELS FROM LIGNOCELLULOSIC MATERIALS	Método para aumentar o rendimento de monossacarídeos úteis na produção de biocombustíveis a partir de materiais lignocelulósicos, o congelamento controlado e posterior moagem são utilizados como Pré-Tratamento de biomassas, como o bagaço da cana-de-açúcar.
14	US20140017750A1	METHODS FOR USING A THERMOSTABLE PHYTASE IN ETHANOL PRODUCTION	É descrito um método para usar uma fitase termoestável para eliminar ou reduzir o Ácido fítico ou sais de Ácido fítico em um Processo de produção de álcool. A fitase pode ser adicionada em qualquer parte do Processo de produção de álcool.
15	US20140045237A1	USE OF VINASSE IN THE PROCESS OF SACCHARIFICATION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS	Descreve Processos de Fermentação, como a produção de etanol, usando a vinhaça como fonte de nutrientes como, por exemplo, nitrogênio, para o crescimento de Microrganismos, mas não se limitando a ele. A vinhaça é proveniente do bagaço ou da palha da cana-de-açúcar.
16	US20140051129A1	POTENTIATION OF ENZYMATIC SACCHARIFICATION	Metodologia de otimização da Hidrólise enzimática para materiais lignocelulósico como bagaço da cana-de-açúcar.

17	US20140053827A1	METHOD FOR PROCESSING VEGETABLE BIOMASS	Processo energeticamente eficiente para o tratamento de biomassa vegetal, particularmente cana-de-açúcar, para a produção de carboidratos e etanol, utilizando técnicas Físico-químicas e de extração, bem como configurações de moagem simples.
18	US20140287473A1	METHODS AND COMPOSITIONS FOR ENHANCED PRODUCTION OF ORGANIC SUBSTANCES FROM FERMENTING MICROORGANISMS	Método para produção de álcool por sacarificação e Fermentação simultâneas através da combinação de um substrato lignocelulósico e o caldo de sua Fermentação completa.
19	US20140295509A1	PRE-TREATMENT OF CELLULOSIC MATERIAL	Inclui Pré-Tratamento com adição de gás carbônico e Explosão a Vapor, Hidrólise enzimática e Fermentação da matéria-prima lignocelulósica (bagaço da cana).
20	US20140342425A1	HIGH EFFICIENCY BIOFUEL PRODUCTION USING EXTREMELY THERMOPHILIC BACTERIA	Métodos para conversão de material de biomassa lignocelulósica hidrolisada a altos níveis de um biocombustível usando cepas bacterianas termofílicas.
21	US20150064762A1	SYSTEM AND METHOD FOR THE INTEGRATED PRODUCTION OF FIRST AND SECOND GENERATION ETHANOL AND THE USE OF INTEGRATION POINTS FOR SUCH PRODUCTION	Processo para a produção de etanol e produtos relacionados a partir de biomassas lignocelulósicas, particularmente a partir de bagaço e palha de cana, integrados com Processos convencionais para a produção de etanol.
22	US20150079639A1	PROCESSES AND APPARATUS FOR REFINING SUGARCANE TO PRODUCE SUGARS, BIOFUELS, AND/OR BIOCHEMICALS	Processo Green Power + ® para extrair hemiceluloses do bagaço da cana-de-açúcar. Inclui Pré-Tratamento mecânico, extração do material lignocelulósico com vapor e / ou água quente e Hidrólise dos oligômeros hemicelulósicos.
23	US20150119607A1	LIGNOCELLULOSIC CONVERSION PROCESS WITH TISSUE SEPARATION	Método de separação da matéria-prima lignocelulósica em duas ou mais frações, com o pré tratamento diferenciados. Por exemplo, o melaço pode ser processado junto com as folhas da cana, como esses componentes são mais fáceis de decompor em açúcares do que a casca, eles podem ser pré-tratados de forma mais suave.

24	US20150247168A1	USE OF NATURAL BIOCIDES IN THE PROCESS OF ETHANOL PRODUCTION FROM VARIOUS SOURCES	Uso de biocida para controle Microbiano durante o Processo de Fermentação alcoólica de fontes de açúcares fermentáveis de cana-de-açúcar e milho, em que fontes lignocelulósicas, como folhas e bagaço, também podem ser utilizadas, seguidas de tratamento químico e / ou enzimático, para a produção de etanol.
25	US20150259709A1	PROCESSES FOR PRODUCING FLUFF PULP AND ETHANOL FROM SUGARCANE	Processo para a produção de "fluff pulp" e etanol a partir do bagaço ou palha da cana-de-açúcar, compreendendo: fracionamento da matéria-prima com catalisador Ácido, separação da suspensão sólida / líquida; Hidrólise das hemiceluloses; e Fermentação da hemicelulose. A lignina é removida do Processo durante uma ou mais etapas e queimada para fornecer energia para os requisitos do Processo.
26	US20160002359A1	METHODS FOR DETOXIFYING A LIGNOCELLULOSIC HYDROLYSATE	Método de Destoxificação do hidrolisado lignocelulósico.
27	US20160160253A1	METHODS OF PROCESSING LIGNOCELLULOSIC BIOMASS USING SINGLE-STAGE AUTOHYDROLYSIS PRETREATMENT AND ENZYMIC HYDROLYSIS	São fornecidos métodos de processamento de biomassa lignocelulósica (bagaço da cana-de-açúcar e palha de milho) a açúcares fermentáveis que dependem do Pré-Tratamento hidrotérmico.
28	US20160201102A1	PROCESS FOR THE ENZYMIC CONVERSION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS	A invenção proporciona um Processo para a conversão enzimática de biomassa lignocelulósica (Bagaço de cana, palha de milho ou palha de trigo) pré-tratada em açúcares fermentescíveis e produtos.
29	US20160289707A1	PROCESS FOR BIOFUEL AND BIOCHEMICAL PRODUCTION, CULTURE MEDIUM AND BIOFUEL AND BIOCHEMICAL PRODUCED	A invenção refere-se a um Processo e um meio de cultura para a produção de biocombustíveis e bioquímicos por Fermentação da biomassa de lignocelulose.
30	US20160304908A1	ENHANCED EFFICIENCY ETHANOL PRODUCTION AND SUGAR CONVERSION PROCESSES	O etanol é produzido em alta concentração pela Fermentação de açúcares usando um biocatalisador. O açúcar fermentável é derivado da lignocelulose da cana-de-açúcar.

31	US20160312249A1	PROCESS COMPRISING SULFUR DIOXIDE AND/OR SULFUROUS ACID PRETREATMENT AND ENZYMATIC HYDROLYSIS	Pré-Tratamento utilizando dióxido de enxofre, Ácido sulfuroso ou uma combinação destes e posterior Hidrólise enzimática.
32	US20160312258A1	METHOD FOR PRODUCING FERMENTATION-RAW-MATERIAL SUGAR SOLUTION AND METHOD FOR PRODUCING CHEMICAL OBTAINED BY FERMENTING THE FERMENTATION-RAW-MATERIAL SUGAR SOLUTION	Um método para produzir uma solução de açúcar para Fermentação inclui uma etapa de sacarificação de biomassa não alimentar. A biomassa não alimentar utilizada foi bagaço da cana-de-açúcar.
33	US20160348134A1	INTEGRATED BIOREFINERY	Proposta de uma biorrefinaria integrada, que pode compreender uma usina de açúcar, uma instalação de produção para um ou mais bioprodutos como o butanol e etanol.
34	US20160355858A1	METHODS OF PROCESSING SUGAR CANE AND SWEET SORGHUM WITH INTEGRATED CONVERSION OF PRIMARY AND LIGNOCELLULOSIC SUGARS	São descritos métodos de processamento de cana-de-açúcar, compreendendo as etapas de fornecimento de melaço, recuperação de bagaço residual, Pré-Tratamento do bagaço e mistura com uma quantidade de melaço e Hidrólise. o bagaço pré-tratado enzimaticamente.
35	US20160362713A1	HYDROTHERMAL-MECHANICAL TREATMENT OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS FOR PRODUCTION OF FERMENTATION PRODUCTS	Processo de conversão da biomassa lignocelulósica em produtos de Fermentação, ela é pré-tratada com vapor ou água quente, seguido por refinação mecânica. O refinado é hidrolisado para produção de etanol ou outros bioprodutos.
36	US20170044329A1	METHOD FOR PRETREATING LIGNOCELLULOSE BY USING ACID-BASE MIXTURE CATALYST	O método faz o Pré-Tratamento da lignocelulose, usando uma mistura catalítica de um Ácido e uma base, para não passar por etapas adicionais de neutralização, e realiza Pré-Tratamento e simultânea sacarificação e Fermentação através de um único Processo reator idêntico.
37	US20170058370A1	SOLVOLYSIS OF BIOMASS USING SOLVENT FROM A BIOREFORMING PROCESS	A patente descreve a utilização do Pré-Tratamento Organosolv em biomassas como bagaço da cana-de-açúcar.

38	US20170211108A1	METHODS FOR HYDROLYSING LIGNOCELLULOSIC MATERIAL	Bagaço de cana-de-açúcar foi pré-tratado com: (i) Ácido, (ii) base, (iii) Ácido seguido de base para produção de material lignocelulósico parcialmente hidrolisado.
39	US20180030420A1	NOVEL LACCASE FROM GANODERMA LUCIDUM CAPABLE OF ENHANCING ENZYMATIC DEGRADATION OF LIGNOCELLULOLYTIC BIOMASS	Aborda a necessidade do desenvolvimento de enzimas que possam aumentar o rendimento da Fermentação da biomassa de lignocelulósica, como o bagaço da cana-de-açúcar.
40	US20180163242A1	GLYCOSYL HYDROLASE ENZYMES AND USES THEREOF FOR BIOMASS HYDROLYSIS	A invenção refere-se a composições enzimáticas que podem ser usadas na Hidrólise da biomassa lignocelulósica.
41	US20180179704A1	METHOD FOR PROCESSING A CELLULOSIC FEEDSTOCK AT HIGH CONSISTENCY	Processo para a produção de álcool a partir do bagaço da cana-de-açúcar: peneiramento, lavagem, separação por ciclone. A biomassa é tratada para produzir açúcar, que é fermentado com levedura ou bactéria para produzir o álcool e o álcool é concentrado e recuperado.
42	US20180237806A1	HYDROTHERMAL-MECHANICAL CONVERSION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS TO ETHANOL OR OTHER FERMENTATION PRODUCTS	Processo para tornar a biomassa lignocelulósica acessível às enzimas celulase. Variações da produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica (como bagaço de cana ou palha de milho), nas quais a biomassa é introduzida em um reator de estágio único, expondo-a a vapor ou água quente.
43	US20180258190A1	PRETREATMENT OF DENSIFIED BIOMASS USING LIQUID AMMONIA AND SYSTEMS AND PRODUCTS RELATED THERETO	Método de Pré-Tratamento da biomassa celulósica e lignocelulósica com amônia
44	US20190112238A1	PROCESS FOR PRODUCING A FUEL FROM LIGNOCELLULOSIC FEEDSTOCK	Um Processo para produzir um combustível a partir do material lignocelulósico (bagaço da cana-de-açúcar), incluindo: Pré-Tratamento com Ácido, Hidrólise enzimática, Fermentação, recuperação do etanol e transporte.

45	WO2015006843A2	BIFUNCTIONAL ENZYME USED TO DEGRADE BIOMASS AND PRODUCE XYLOSE IN A SINGLE OPERATION	uma nova enzima bifuncional com atividade de xilanase e xilosidase que é produzida a partir de <i>Bacillus subtilis</i> e catalisa a degradação da hemicelulose, de preferência do bagaço ou palha de cana-de-açúcar. A invenção ao Pré-Tratamento com água quente ou por Explosão a Vapor.
46	WO2015019362A8	PREPARATION OF ETHANOL FROM LIGNOCELLULOSIC MATERIALS	Sistema para a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos, particularmente sabugo e palha de milho e bagaço da cana-de-açúcar. Inclui: Pré-Tratamento Ácido e com vapor, Hidrólise enzimática, Fermentação e Destilação.
47	WO2016007350A1	PRECONDITIONING OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS	Descreve Pré-Tratamentos de materiais lignocelulósicos: com Ácido, vapor e base.
48	WO2017024367A1	PROCESSO DE PRÉ-TRATAMENTO DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA, OBTENÇÃO DE SOLUÇÃO CELULÓSICA E USO DESTA	Processo de Pré-Tratamento de biomassa lignocelulósica, preferencialmente do bagaço de cana-de-açúcar, a partir de líquidos iônicos próticos, visando à obtenção de açúcares, via Hidrólise enzimática, para produção de etanol 2G.
49	WO2017029410A1	PROCESS OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS CONVERSION WITH ADDITION OF RAW SUGAR JUICE	Método de auxiliar no Pré-Tratamento da biomassa lignocelulósica por meio da adição de melão da cana-de-açúcar, antes da Hidrólise enzimática.
50	WO2017103943A1	PREPARATION OF ETHANOL FROM BIOMASS AND SUGARCANE BASED FEED STOCKS	A invenção refere-se à preparação de etanol a partir de biomassa (bagaço da cana, espiga e palha do milho), em geral, usando uma levedura fermentadora de pentose e hexose.
51	WO2018091004A1	PROCESS FOR MATERIAL AND ENERGY RECOVERY OF RESIDUES FROM SUGAR CANE PROCESSING AND ARRANGEMENT FOR PERFORMING THE PROCESS	Descreve a utilização dos Processos de Hidrólise enzimática e co-Fermentação em separados para o reaproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar.
52	WO2019083244A2	METHOD FOR PRETREATMENT AND SACCHARIFICATION OF BIOMASS FOR PRODUCTION OF BIOFUELS OR BIOPLASTICS	Descreve a utilização de Pré-Tratamentos com pulverização, Biológico e adição de Ácido sulfúrico, para otimizar o Processo de sacarificação.

53	WO2017143420A1	Method and apparatus for pretreating biomass	A presente invenção é dirigida a um método e aparelho para Pré-Tratamento Físicos de biomassa, em particular resíduos de cana, antes de ser alimentado a uma instalação de produção de biocombustível.
54	BR102014004081A2	Sistema de limpeza de cana-de-açúcar a seco	O aumento da proporção de cana colhida mecanicamente e a produção do etanol 2G, a palha, que antes era deixada no campo, passou a ser transportada junto com a cana para a Indústria. Nestes casos, o sistema de limpeza descrito na presente invenção, se torna necessário para que a operação volte aos níveis de eficiência desejados.

Quadro A. 3 – Patentes Concedidas:

Nº	ID	Título	Objetivo
1	AU2015252695B2	LIQUID CO-EXTRACTION PROCESS FOR PRODUCTION OF SUCROSE, XYLO-OLIGOSACCHARIDES AND XYLOSE FROM FEEDSTOCK	Descreve método de moagem da biomassa lignocelulósica e seu posterior aquecimento com vapor, além de posterior Hidrólise enzimática.
2	BR102013031319B1	A METHOD OF HYDROLYZING A CELLULOSIC MATERIAL	Descreve metodologia de Hidrólise enzimática da celulose e sua eficiência, aplicada também para materiais lignocelulósicos como bagaço da cana-de-açúcar.
3	BRPI0505299B1	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO HIDROLISADO DA FRAÇÃO HEMICELULÓSICA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM REATOR DO TIPO PRENSA	Descreve a Hidrólise branda com Ácido sulfúrico do bagaço da cana, seguida de extração do hidrolisado e Fermentação <i>Pichia stipitis</i> . O Processo ocorre em um reator do tipo prensa, especialmente projetado.
4	BRPI0612966B1	METHOD FOR TREATING BIOMASS	Refere-se a biomassa que foi tratada previamente utilizando uma baixa concentração de amônia aquosa, depois hidrolisada com uma associação de enzima de sacarificação.
5	CA2660673C	PROCESS FOR THE FERMENTATIVE PRODUCTION OF ETHANOL FROM SOLID LIGNOCELLULOSIC MATERIAL COMPRISING A STEP OF TREATING A SOLID LIGNOCELLULOSIC MATERIAL WITH ALKALINE SOLUTION IN ORDER TO REMOVE THE LIGNIN	A invenção refere-se a um Processo para a obtenção de etanol utilizando compostos de lignocelulose e, especialmente, bagaço de cana-de-açúcar. A fração hemicelulósica é submetida a Hidrólise leve com Ácido sulfúrico e o material sólido dessa Hidrólise é submetido a um Processo de sacarificação com Fermentação simultânea.
6	CN101652381B	ENZYMES FOR TREATMENT OF LIGNOCELLULOSICS, NUCLEIC ACIDS ENCODING THEM AND METHODS FOR MAKING AND USING THEM	A invenção fornece um sistema de produção de enzimas para componentes de bagaço de cana-de-açúcar. As enzimas podem ser utilizadas para a bioconversão de açúcares nos resíduos lignocelulósicos e posterior produção de biocombustíveis.

7	CN102703520B	METHOD FOR PRODUCING ETHANOL THROUGH MIXED FERMENTATION OF BAGASSE HYDROLYZATE AND MOLASSES	Método para produzir etanol através de Fermentação mista de bagaço da cana hidrolisado e melaço.
8	CN207828319U	ADOPT DEVICE OF MAIZE AND SUGARCANE COPRODUCTION CANE SUGAR AND ETHANOL	Um aparelho de cogeração de sacarose e etanol de milho e cana-de-açúcar, compreendendo: unidade de pré-processamento de cana para extrair o caldo da cana-de-açúcar e do bagaço, unidade de purificação, evaporador, Fermentação.
9	EP2373787B1	PROCESS FOR PRODUCTION OF AN ENZYMATIC PREPARATION FOR HYDROLYSIS OF CELLULOSE FROM LIGNOCELLULOSIC RESIDUES AND APPLICATION THEREOF IN THE PRODUCTION OF ETHANOL	O Processo da invenção compreende o tratamento fermentativo de um substrato lignocelulósico por meio de um fungo especialmente adaptado, para obter uma preparação enzimática capaz de hidrolisar celulose e hemicelulose para a produção de etanol.
10	JP6101855B1	METHOD AND APPARATUS FOR MANUFACTURING A LIGNOCELLULOSIC BIOMASS DERIVED COMPOUNDS	Descreve metodologia de sacarificação e subseqüente Fermentação da biomassa lignocelulósica, como bagaço da cana-de-açúcar.
11	KR101757745B1	CARBON ZERO EMISSION BIOREFINERY PROCESS USING SUGARCANE MILL OUTPUT	Proposta de biorrefinaria que utiliza o bagaço da cana-de-açúcar para a produção de bioprodutos, com zero emissão de dióxido de carbono para atmosfera. Foco nos Microrganismos utilizados.
12	US10017583B2	SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED CARBOXYCELLULOSES FROM NON-WOOD CELLULOSE	Divulgado um Processo aperfeiçoado para a preparação de celulose oxidada / carboxilada nano estruturada com alto teor de carboxila e alto rendimento, submetendo a biomassa lignocelulósica derivada de bagaço de cana-de-açúcar ou algodão à oxidação em temperatura adequada.
13	US10066244B2	PROCESS FOR PRODUCING ETHANOL AND FERMENTING ORGANISMS	Descreve a utilização do Processo SHF para produção de etanol.

14	US10100299B2	AMYLASES AND GLUCOAMYLASES, NUCLEIC ACIDS ENCODING THEM AND METHODS FOR MAKING AND USING THEM	Descreve a produção de enzimas utilizadas para a produção de etanol a partir de bagaço da cana-de-açúcar, milho e trigo.
15	US10179971B2	METHOD FOR PROCESSING A CELLULOSIC FEEDSTOCK AT HIGH CONSISTENCY	Proporcionado um Processo para produzir álcool a partir de uma matéria-prima celulósica derivada da cana-de-açúcar compreendendo: bagaço, folhas, topos ou qualquer combinação destes. A remoção de sílica é realizada por meio de Pré-Tratamento Físico como: lavagem, ciclone e peneira. Aborda também a Hidrólise, Fermentação e a Destilação.
16	US10239806B2	CONTINUOUS SOLID-STATE SEPARATION DEVICE AND PROCESS FOR PRODUCING FUEL ETHANOL	A invenção pertence ao campo tecnológico da Fermentação Microbiana das matérias-primas contendo açúcar para a produção de etanol combustível. É proposto um sistema de produção integrado de etanol 1G e 2G.
17	US8557000B2	COMPLETE LIQUEFICATION OF LIGNOCELLULOSIC AGROWASTE TO FORM LIQUID BIOFUELS	Descreve o Processo de produção de etanol a partir das matérias-primas lignocelulósicas, como bagaço da cana-de-açúcar, inclui: Hidrólise enzimática, Fermentação e Destilação.
18	US8642289B2	PROCESS FOR PRODUCING ETHANOL FROM A HYDROLYSATE OF THE HEMICELLULOSE FRACTION OF SUGARCANE BAGASSE IN A PRESS REACTOR	Processo de produção de etanol a partir de hidrolisado da fração hemicelulósica do bagaço de cana-de-açúcar em reator de prensagem.
19	US8822657B2	RECOVERY OF LIGNIN AND WATER SOLUBLE SUGARS FROM PLANT MATERIALS	A presente invenção proporciona um Processo integrado economicamente viável para a biorrefinação de material lignocelulósico de plantas, tais como bagaço da cana-de-açúcar para produzir etanol e lignina natural.
20	US8835156B2	PRETREATMENT OF NON-WOOD LIGNOCELLULOSIC MATERIAL	A presente divulgação proporciona um método para o Pré-Tratamento de material lignocelulósico não lenhoso (como bagaço da cana), compreendendo os passos de: adição de Ácido orgânico; silagem e aquecimento.

21	US9133278B2	METHODS FOR DETOXIFYING A LIGNOCELLULOSIC HYDROLYSATE	Descreve método de Destoxificação da biomassa lignocelulósica hidrolisada (incluindo bagaço da cana-de-açúcar).
22	US9157107B2	METHOD OF PRODUCING COMPOUND ORIGINATING FROM POLYSACCHARIDE-BASED BIOMASS	Foco na separação do resultado da Fermentação por meio de Membrana, aborda também a sacarificação e Fermentação da biomassa.
23	US9234216B2	VARIANT CBH I POLYPEPTIDES	Aborda métodos para a produção de enzimas com atividade em materiais lignocelulósicos, como bagaço da cana-de-açúcar.
24	US9309548B2	PROCESS AND METHOD FOR IMPROVING THE ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS BY ADDITION OF HYDROTHERMALLY TREATED STILLAGE	Aborda metodologia de Pré-Tratamento para materiais celulósicos, que inclui a adição de camada hidrotérmica de vinhaça e enzima.
25	US9487840B2	PROCESSES AND APPARATUS FOR REFINING SUGARCANE TO PRODUCE SUGARS, BIOFUELS, AND/OR BIOCHEMICALS	Metodologia para extrair a sacarose do bagaço da cana, inclui: o tratamento mecânico; extração do material lignocelulósico com vapor e / ou água quente, Hidrólise enzimática e Fermentação.
26	US9528129B2	PRE-TREATMENT OF CELLULOSIC MATERIAL	Um método de Pré-Tratamento de material celulósico antes da Hidrólise é fornecido. O método compreende as etapas de: adição de dióxido de enxofre ou dióxido de carbono, aquecer o material impregnado e comprimir.
27	US9574212B2	PROCESS COMPRISING SULFUR DIOXIDE AND/OR SULFUROUS ACID PRETREATMENT AND ENZYMATIC HYDROLYSIS	A divulgação proporciona um Processo para produzir um produto de Fermentação a partir de uma matéria-prima lignocelulósica, ela é sujeita a Pré-Tratamento na presença de dióxido de enxofre, Ácido sulfuroso ou uma combinação destes. A celulose é hidrolisada com enzimas e depois fermentada.
28	US9611492B2	USE OF VINASSE IN THE PROCESS OF SACCHARIFICATION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS	Apresenta o efeito benéfico conferido pela vinhaça ao Processo de sacarificação das biomassas lignocelulósicas apresenta, entre outras características, a capacidade de tamponar o meio reacional.

29	US9631209B1	METHOD FOR FERMENTING STALKS OF THE POACEAE FAMILY	Um método para a Fermentação de colmos da família Poaceae é fornecido. Isso inclui caules de cana, sorgo e milho. Os colmos são comprimidos e submersos numa solução aquosa reagente. A solução reagente aquosa pode conter organismos de Fermentação.
30	US9637762B2	SYSTEM AND METHOD FOR THE INTEGRATED PRODUCTION OF FIRST AND SECOND GENERATION ETHANOL AND THE USE OF INTEGRATION POINTS FOR SUCH PRODUCTION	Sistema e método para a produção integrada de etanol de primeira e segunda geração, particularmente a partir do bagaço da cana-de-açúcar.
31	US9725777B2	SOLVOLYSIS OF BIOMASS USING SOLVENT FROM A BIOREFORMING PROCESS	A presente invenção fornece Processos para desconstruir a biomassa usando um solvente produzido em uma reação de biorreforma.
32	US9732363B2	GROWTH METHOD FOR MICROBE AND BIOETHANOL PRODUCTION METHOD	A invenção fornece um método de crescimento para um micróbio que pode aumentar o crescimento do micróbio sem remover os inibidores do crescimento de uma solução sacarificada, para a produção de bioetanol 2G.
33	US9920345B2	METHODS OF PROCESSING LIGNOCELLULOSIC BIOMASS USING SINGLE-STAGE AUTOHYDROLYSIS PRETREATMENT AND ENZYMATIC HYDROLYSIS	São fornecidos métodos de processamento de biomassa lignocelulósica a açúcares fermentáveis que dependem do Pré-Tratamento hidrotérmico.
34	US9976195B2	METHOD FOR PROCESSING VEGETABLE BIOMASS	A presente invenção refere-se a um Processo energeticamente eficiente para o tratamento de biomassa vegetal, particularmente cana-de-açúcar, para a produção de carboidratos e etanol, utilizando técnicas Físico-químicas e de extração, bem como configurações de moagem. A biomassa tratada é submetida a um Processo de Fermentação para a produção de etanol.
35	US10266610B2	METHOD OF PROCESSING AND FRACTIONATING BIOMASS AND USE OF FRACTIONS THUS OBTAINED	Método de tratamento de biomassa, que inclui: adição de água e um agente Alcalino, com um agente oxidante a uma temperatura elevada, até que uma parte notável da lignina seja solubilizada.

36	US10072253B2	Liquefied cellulosic biomass for enzyme production	<p>A competitividade industrial do etanol 2G (celulose) depende da obtenção de uma produção eficiente e do uso de enzimas celulase. A invenção propõe métodos para a liquefação de bagaço de cana pré-tratado e esterilizado para aumentar a produção de endoglucanase através de Fermentação submersa por <i>Aspergillus niger</i>.</p>
----	--------------	--	--

APÊNDICE B – Logomarca dos *players* estudados

Este apêndice contém as logomarcas de cada uma das empresas, centros de pesquisa e universidades analisados. Os quadros foram separados por tipo de instituição que representam, no caso das empresas são apresentados além das logomarcas os resumos das mesmas.

Quadro B. 1 - Logomarcas dos Centros de Pesquisa

Ator	Logomarca
	
CEPESQ	
CNPEM	
COFCO	
Council of Scientific & Industrial Research	
CTBE	
IAC	
Instituto Mexicano del Petróleo	
Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca	
International Institute for Applied Systems Analysis	
Iranian Research Organization for Science and Technology	
National Institute for Agricultural Research	
Paper and Fibre Research Institute (PFI)	
Vasantdada Sugar Institute	

Quadro B. 2 - Logomarcas das Empresas e Resumo

Ator	Logomarca	Resumo
Andritz		Grupo austríaco de engenharia de fábricas com sede em Graz.
API		Empresa especializada no desenvolvimento de tecnologias para a produção de etanol, açúcar e bioquímicos a partir de biomassa, em 2019 foi adquirida pela empresa brasileira GranBio.
BASF Enzymes		Focada no desenvolvimento e comercialização de enzimas de alto desempenho para uso em Processos industriais.
Beta Renewables		È um dos principais nomes no setor de biomassa não alimentar para a produção de biocombustíveis e bioquímicos.
BP		Iniciou suas atividades de biocombustíveis em 2008, por meio da <i>joint venture</i> Tropical Bioenergia.
CTC		O Centro de Tecnologia Canavieira ou CTC é o maior centro de tecnologia de cana-de-açúcar do mundo. Sua sede está localizada em Piracicaba, São Paulo.
Cobalt Technologies		Start-up da Mountain View que se especializou na criação de biobutanol usando várias matérias-primas celulósicas.
DANISCO / DU PONT		Empresa dinamarquesa de base biológica com atividades na produção de alimentos, enzimas e outros bioprodutos, bem como uma ampla variedade de excipientes de grau farmacêutico.
DEDINI		Tradicional fabricante brasileira de equipamentos para usinas de cana-de-açúcar.

DIREVO		Foco na indústria de conversão de biomassa e fornece soluções personalizadas para várias indústrias.
DSM		Multinacional com foco na ciência em Nutrição, Saúde e Vida Sustentável,
EMBRAPA		A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária é uma Empresa Pública de pesquisa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil.
GE		Conglomerado multinacional sediado em Boston, com atuação nos segmentos: aviação, software, pesquisa global, assistência médica, iluminação, petróleo e gás, energia renovável, transportes e capital, ciências da vida, produtos farmacêuticos e indústria automotiva e de engenharia.
GranBio		Empresa pioneira de biotecnologia industrial com o propósito de desenvolver soluções inovadoras.
Guangxi Nongken Sugar Group		Foco na pesquisa e desenvolvimento da área da agropecuária.
HONDA Motors		Um dos mais importantes fabricantes de automóveis e motocicletas do mundo.
Inbicon		Empresa dinamarquesa que produz etanol celulósico.
Iogen Energy Corp		Empresa líder em biotecnologia especializada em etanol celulósico e enzimas.
JGC		Empresa japonesa, cujos principais domínios de negócio situam-se nas áreas de engenharia e construção de plantas industriais.
LEAF ENERGY		Empresa de investimento em energia renovável e tecnologia sustentável que fornece capital de risco e de crescimento em todo o setor de energia renovável.

Microvi BIOTECHNOLOGIES		Empresa que desenvolve, fabrica e comercializa tecnologias biocatalíticas nas indústrias de água, energia e química.
NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING		Empresa japonesa com especialidade na engenharia de construção de edifícios de instalações industriais.
NOVOZYMES		Multinacional de origem dinamarquesa da área de biotecnologia, especializada na produção e comercialização de enzimas.
ODEBRECHT		Conglomerado empresarial brasileiro que atua em diversas partes do mundo nas áreas de construção e engenharia, química e petroquímica e energia.
Petrobras		Empresa brasileira estatal de economia mista, que opera prioritariamente no setor de energia como um todo.
PRAJ Industries		Empresa de engenharia de Processos e projetos, com sede na Índia.
PRENEXUS HEALTH		Fabricante de ingredientes prebióticos focada em saúde e bem-estar digestivo, com atuação em P&D.
PURDUE RESEARCH FOUNDATION		Organização independente que age em benefício da Purdue University, atuando principalmente na área de gerenciamento de patentes.
Raízen		A Raízen é uma empresa brasileira com presença nos setores de produção de açúcar e etanol, transporte e distribuição de combustíveis e geração de bioeletricidade. Fundada a partir da Joint Venture (JV) entre Shell e Cosan.
Sekab E-Technology		Tradicional empresa produtora de etanol, que está migrando para a nova geração de biocombustíveis e energia renovável.
SK innovation		Conglomerado industrial coreano, com seus maiores negócios envolvidos principalmente nas indústrias químicas, petrolíferas e de energia.

SYNGENTA		Empresa suíça especializada em sementes e produtos químicos voltados para o agronegócio.
TORAY		Empresa multinacional com sede no Japão, especializada em produtos industriais centrados em tecnologias de química sintética orgânica, química de polímeros e bioquímica.
Valicor		Um dos maiores fornecedores de serviços de tratamento de águas residuais da América do Norte.
VERENIUM CORPORATION		Subsidiária da BASF, é uma empresa de biotecnologia especializada em enzimas para a produção de biocombustíveis.
Vertichem		Vertichem é uma inovadora empresa de especialidades em químicas verdes com tecnologia patenteada que converte a lignina de baixo custo das fábricas de papel e celulose em produtos químicos verdes.
VIGNIS		Empresa brasileira de biotecnologia voltada para o setor da cana-de-açúcar.
Virent Inc		Empresa de tecnologia norte-americana que desenvolve a produção de biocombustíveis e hidrogênio com base em matéria orgânica.
VTT Teknologian tutkimuskeskus		Empresa finlandesa voltada para P&DI.
VYSKUMNY USTAV PAPIERA A CELULOZY		Especialistas em Fabricação e Exportação de Papel.
WATER AND SOIL REMEDIATION		Especializada em recuperação de terras, recuperação de águas subterrâneas e descontaminação.

Quadro B. 3 - Logomarcas das Universidades

Ator	Logomarca
Aarhus University	
Anna University	
Bahir Dar University	
Bannari Amman Institute of Technology	
Chinese Academy of Sciences	
Chonnam National University	
Estácio de Sá	
Hanyang University	

Huazhong Agricultural University	
Government College of Technology	
Instituto Politécnico Nacional	
Jawaharlal Nehru University	
Jinan University	
KAIST	
KEIMYUNG University	
KTH Royal Institute of Technology	
Korea University	
Kyushu University	

Maharshi Dayanand University	
Michigan State University	
National Institute of Technology Durgapur	
Nong Lam University	
North Carolina State University	
Norwegian University of Science and Technology	
Quaid-i-Azam University	
RIDESA	
Sardar Patel University	
Shahed University	

Shanghai Jiao Tong University	
South China Agricultural University	
Technical University of Denmark	
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
Tsinghua University	
UCS	
UENF	
UFP	
UFPB	
UFRJ	

UFSCAR	
UFU	
UFV	
UNESP	
UNICAMP	
UNIDA	
Universidad Autónoma de Bucaramanga	
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	
Universidad de Caldas	
Universidad de Guadalajara	

<p>Universidad de Vigo</p>	 <p>UNIVERSIDADE DE VIGO</p>
<p>Universidad del Cauca</p>	 <p>Universidad del Cauca</p>
<p>Universidad del Tolima</p>	 <p>Universidad del Tolima</p>
<p>Université Mohammed VI Polytechnique</p>	 <p>MOHAMMED VI POLYTECHNIC UNIVERSITY</p>
<p>University of Calabria</p>	 <p>UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA</p>
<p>University of Copenhagen</p>	
<p>University of Huddersfield</p>	 <p>University of HUDDERSFIELD</p>
<p>University of Illinois</p>	 <p>I ILLINOIS</p>
<p>University of Lincoln</p>	 <p>UNIVERSITY OF LINCOLN</p>
<p>University of the Philippines</p>	

<p>University of Stellenbosch</p>	 The logo for the University of Stellenbosch, featuring a stylized 'S' with a leaf-like element, and the text 'UNIVERSITEIT STELLENBOSCH UNIVERSITY' below it.
<p>University of Tennessee</p>	 The logo for The University of Tennessee Knoxville, featuring a large orange 'T' on a white background, with the text 'THE UNIVERSITY OF TENNESSEE KNOXVILLE' below it.
<p>University of York</p>	 The logo for the University of York, featuring a heraldic crest on the left and the text 'UNIVERSITY of York' on the right.
<p>USP</p>	 The logo for USP, consisting of the letters 'USP' in a bold, stylized, outlined font.
<p>Wollo University</p>	 The logo for Wollo University, featuring a circular emblem with a book and a lamp, surrounded by Amharic text and the words 'WOLLO UNIVERSITY' at the bottom.

APÊNDICE C – Artigo para submissão (Requisito do Programa EPQB para Defesa de Dissertação)

TECHNOLOGICAL PROSPECTION OF ETHANOL PRODUCED FROM SUGARCANE

Mariane de Poli¹, Suzana Borschiver²

¹ *Master student in Chemical and Biochemical Process Engineering – EQ/UFRJ*

² *PhD in Sciences and Full Professor at EQ/UFRJ in the Area of Management and Technological Innovation*

Abstract

Unrestricted use of fossil fuels has been gradually replaced by renewable biofuels. In recent years, the share of the global energy matrix from renewable energy sources has grown annually. Thus, the mapping of technological innovations in this area becomes essential for observing the behavior of the world energy market. Brazil is the world's largest producer of sugarcane ethanol, this biofuel has been studied for years and it's an alternative to petroleum-based fuels. In this article we used the methodology of technological prospection, in which the innovation trends were evaluated from the analysis of scientific articles and patents. The chronological evolution analysis of the sector has shown a great increase of interest on the subject over the years since 2002. The main countries investing in the sector are China, Brazil and United States. The technology of second-generation ethanol can also be observed in the research, through patents in the area of biochemistry and enzyme studies.

Key words: Bioethanol. Sugar cane. Technological Prospecting. Patents.

Introduction

Representing even more than 80% of the world's energy matrix, fossil fuels generate great concern for their undeniable damage to the environment and also for their non-renewable energy sources (IEA, 2018). In 2018, world energy demand increased by 2.3%, which corresponds to record annual growth over the last ten years. As result, global CO₂ emissions increased by 1.7% in the same year. Therefore, biofuels are a fundamental change vector and

they are indispensable for achieving the goals of sustainable development worldwide. (CANILHA et al., 2010)

Ethanol produced from biomass is a large-scale biofuel with growth prospects for the coming years, since it is able to compete with oil-based products (MILANEZ et al., 2008). The International Energy Agency's energy report estimate that ethanol will make up two-thirds of the worldwide biofuel production increase between 2018 and 2023 (IEA, 2018). The world ethanol production in 2018 was about 108 billion liters, with Brazil and the United States accounting for 84%. Only Brazil produces 28% of the world's ethanol, its biofuel is derived mainly from sugarcane, since the country is the largest world's producer of this biomass (RFA, 2019).

Therefore, the ethanol produced from sugarcane was chosen for the technological prospecting. This methodology allows the mapping of world technological innovations and trends for this biofuel. It evaluates through a macro analysis of the researched documents: the evolution of the publication of articles and patenting over the years, the main players involved in the sector and the Brazilian situation in the studied subject.

Material and Methods

The scientific articles survey was performed through search for keywords in the Scopus database, which is the reference base of Elsevier publisher. The patent and patent application surveys were conducted at the Derwent Innovations Index patent database, which is considered the world's most comprehensive regarding international patents, with 47 patent-issuing agencies. Searches were performed with the keywords and their respective Boolean logical operators: "ethanol", "OR", "bioethanol", "AND", "sugarcane", "OR", "cane" in the patent (or article) title, summary, and keywords fields to get as many documents as possible.

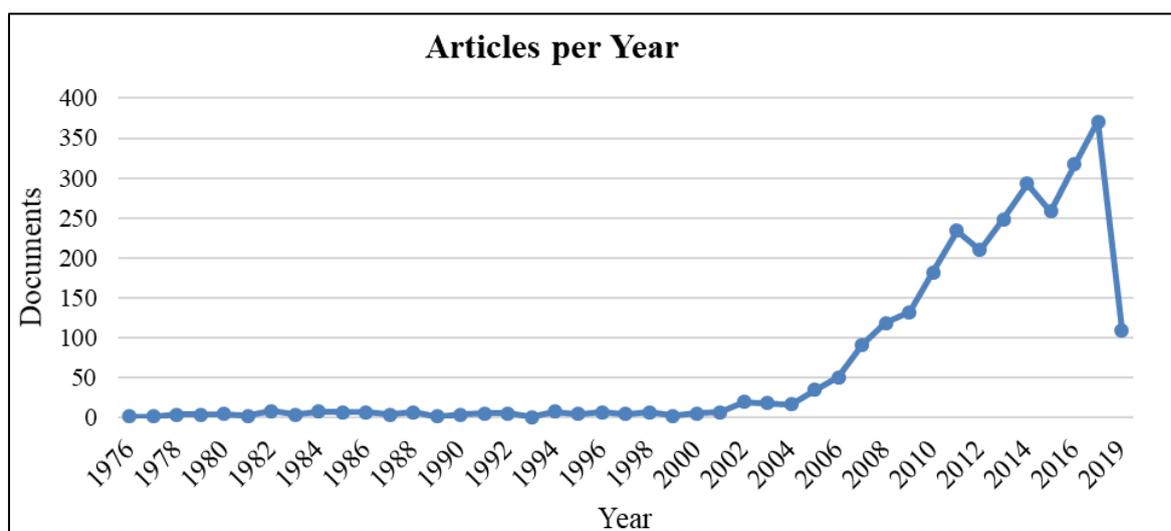
In the case of articles, the results categorized in the area of Social Sciences were excluded. The strategy to reduce non-pertinent patents was to filter and exclude results that contained International Patent Classification (IPC) codes irrelevant to the study. Thus, patents that didn't have one of the following three codes were excluded from the study: C12P 7/06 (Fermentation or enzyme-using processes to synthesize ethanol, i.e. non-beverage), C12P 7/08 (Preparation of oxygen-containing organic compounds produced as by-product or from waste or cellulosic

material substrate), C12P 7/10 (Preparation of oxygen-containing organic compounds substrate containing cellulosic material) and C07C-031/08 (Saturated compounds having hydroxyl or O-metal groups attached to acyclic carbon atoms, i.e. ethanol).

Results and Discussions

The macro analysis of the articles approaches the countries with the largest number of documents, the publications historic series, the most important authors and the area of knowledge. The total number of files analyzed was about 3,042 articles and 486 patents.

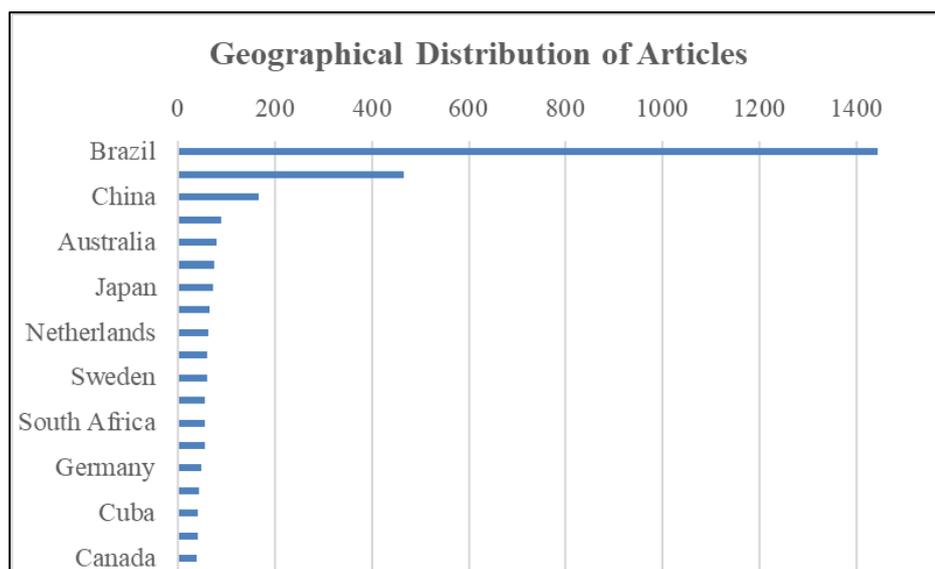
Figure 1 – Publications on sugarcane ethanol from 1976 to May. 2019.



Source: Scopus Database.

Figure 1 shows how this number of publications has grown and shows that interest in this biofuel type has been growing every year. The first recorded article on the subject dates from 1976, in the previous year had been created in Brazil the National Alcohol Program to stimulate the production of sugarcane ethanol. However, the first significant increase occurs only in 2002, which coincides with the increase in the price of oil barrel in the 2000s, stimulating the development of research that would make sugarcane ethanol more competitive.

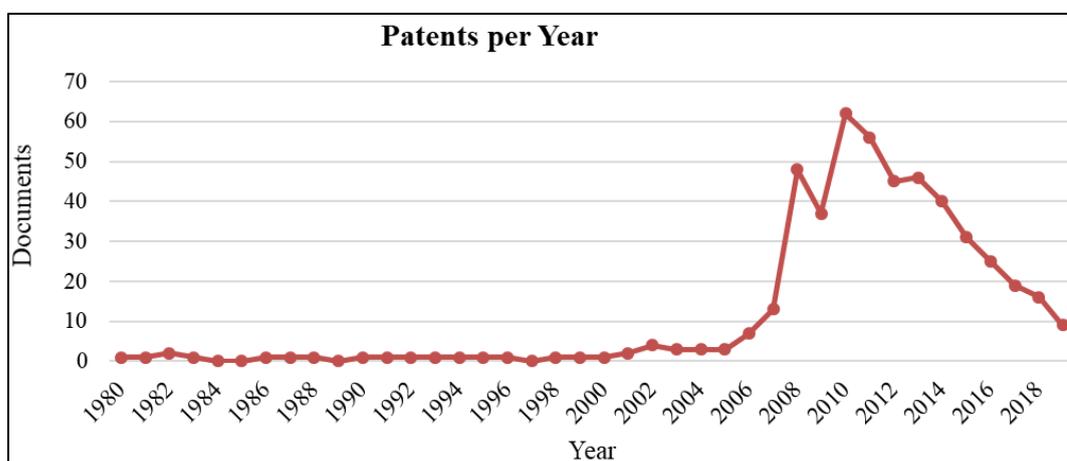
Figure 2 – Geographical distribution of scientific papers.



Source: Scopus Database.

Figure 2 shows the twenty countries with the largest number of publications on the subject studied. As the research was conducted only about ethanol produced from sugar cane, Brazil appears in first place, with a much higher number of publications than the others countries, totalizing 1,445 articles. Then it can be observed that United States, despite having its focus on ethanol production from corn, also shows interest in researching this variation of biofuel production. It is also worth highlighting the presence of China and India in this ranking, countries that are always poles of academic and industrial innovation.

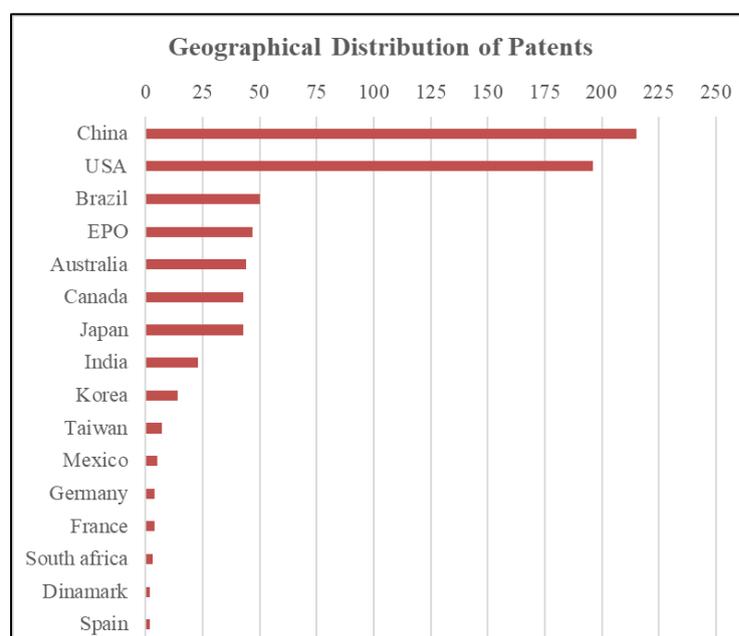
Figure 3 - Patents on sugarcane ethanol from 1963 to May, 2019.



Source: Derwent Innovations Index.

Patents analysis generated the graphic, which is displayed in Figure 3. This graphic shows the distribution of filed patents by priority year. The first patent registration dates to 1980. As with articles, there is also a growing interest in protecting biofuel technologies studied. Since 2006 there has been an upward trend in the number of deposits, although it has fallen after 2010. This recent decline can be explained by the end of government subsidies given for ethanol production and the decrease in oil prices.

Figure 4 – Geographical distribution of patents.



Source: Derwent Innovations Index.

Figure 4 shows the main patent filing countries, especially China and the United States. In this graph there is an inversion in comparison to articles, although Brazil is the largest producer of sugarcane ethanol and publishes the largest number of articles, it ranks only third in the number of patents, with much lower values those of China and the United States. This fact demonstrates the difficulty of approximation between the academic community and the Brazilian industry, generating an extremely significant discrepancy between the ability to produce articles and the generation of patents.

As previously discussed, the expansion of the ethanol market is associated with government incentives for the creation and establishment of new regulatory frameworks that foster biofuel

production, this factor has been most strongly United States, Brazil and Japan. Not to mention the constant presence of China, which is the top three in the ranking with 215 deposits on the subject with respect to the development of new technologies in the field of renewable energies, due to the growing demand for energy in that country.

It is important to note that in this analysis same patent document can be counted more than once as it can be filed in several countries (patent family). The EPO acronym that appears in the graphic refers to the European Patent Office, some authors choose to file patents in the former to ensure document protection in all member countries.

Table 1. Major International Patent Codes found.

IPC	Patents
C12P-007/06	288
C12P-007/10	282
C12P-019/14	106
C12P-019/02	105
C12P-007/08	70
C12P-007/14	67
C12P-007/16	67
C12P-019/00	65
C12P-007/02	59
C13K-001/02	56
C12P-000/00	48

Source: Derwent Innovations Index.

Another analysis that can be performed in this study is the International Patent Classification (IPC) codes, as shown in Table 1. Most patents found have been classified under subclass code C12P (C12P-007 and C12P-019), which covers fermentation processes or processes that use

enzymes to synthesize a desired chemical composition or compound. Another subclass that also appears in dozens of patents is C12N (C12N-001, C12N-015, C12N-009), which corresponds to microorganism and enzyme studies. This last classification (C12N) indicates the increase in research on the so-called second-generation ethanol or lignocellulosic ethanol, which uses sugarcane bagasse and straw to produce biofuel. The use of these residues is a way to increase bioethanol production without having to increase the planted area, making the most of the raw material.

Table 2. Major assignee institutions extracted throughout the period from 1963 to May. 2019.

IPC	Patents
DuPont	28
Mascoma	28
BP	21
Lallemand	13
Danisco	11
Syngenta	11
Butamax Advanced Biofuels	11
Xyleco Inc	8
Api Intellectual Property Holdings	7
Sweetwater Energy	7
University Of Tsinghua	7
Codexis	6
Qteros	6
Alliance Sustainable Energy	5
Danisco	5
Direvo	5

DSM	5
Inbicon	5
MRI Global	5
Novozymes	5

Source: Derwent Innovations Index.

Finally, aiming at a perspective view on the worldwide patent filings, in the Table 2 are showed the main assignee institutions concerning sugarcane ethanol applications. In this sense, it is possible to observe that among the main players shown there is the strong presence of companies that operate in biotechnology and enzymes sector. This tendency pointed out in this study is justified by the fact that the research for ethanol production is focused on the production of second-generation ethanol, produced from lignocellulosic raw materials. It is known that one of the major barriers to second generation ethanol production is the breakdown of the fractions containing sugars in the making these monomers available for fermentation requires, in addition to a pretreatment to enzymatic action.

Based on the above, corroborating the explanation, it can be seen in Table 2, the presence of companies in the enzyme sector, such as DuPont and Mascoma. The main players who filed patents on the subject matter are detailed below.

Currently, Genencor and Danisco are part of the holding company Dupont. Danisco is also a Danish biotechnology company with activities in the production of food, enzymes and other bioproducts, was established in 1989. The company has a joint venture with DuPont (DuPont Danisco Cellulosic Ethanol LLC) focusing on the production of cellulosic ethanol. In 2018, a year after announcing its plans to sell its cellulosic ethanol plant, DuPont reached an agreement with the german Verbio Bioenergy AG.

Mascoma Corporation, founded in 2005, is a renewable fuel company that has developed innovative and highly adaptable technology for converting low cost biomass into cellulosic ethanol and renewable chemicals. Together with its affiliates in the Lallemand group and using its consolidated bioprocessing technology (CBP) platform, Mascoma has developed bioengineered yeasts and other microorganisms to reduce costs and improve yields in the production of fuels and renewable chemicals. The company operates a demonstration facility

in Rome, New York, to evaluate new technologies and conduct large-scale process demonstrations (BIOFUELSDIGEST, 2015).

Company BP, which appears third in patent filing, was the first international energy company to invest in biofuels produced from sugarcane in Brazil. This relationship began in 2008 after the joint venture with Tropical BioEnergia. However, bioethanol production units currently use sugarcane bagasse only for energy cogeneration. Internationally, BP entered into a joint venture with Dupont and formed Butamax, together they built a commercial 2G ethanol plant in the state of Iowa in 2012 (BP, 2019).

Syngenta, a multinational founded in 2000 with headquarters in Switzerland, is a company specialized in agribusiness seeds and chemicals. In 2019, it launched a new technology for sugarcane artificial seed consisting of capsules, that have inside some vegetative propagules protected from physical damage and moisture loss, the Plene Emerald. The technology's main objective is to provide cost reduction per ton of biomass, compared to conventional tillage systems, and eliminate the need for soil compaction, benefiting the environment (SYNGENTA, 2019).

Xyleco is a privately held scientific research and manufacturing company in Wakefield, Massachusetts. Xyleco is developing a process to convert biomass into useful products, including cellulosic ethanol (XYLECO, 2019).

API Intellectual Property Holdings is a combined biotechnology and engineering company, founded by PhD in chemical engineer Theodora Retsina in 1995. Initially, API's area of expertise was engineering consulting for the forest products industry. Subsequently, he began working in the field of R&D on biomass transformation, focusing on biofuels. The American Process brand is currently owned by Theodora Retsina, as are some US patents and businesses. The part of the company that was bought by GranBio changed its name to GranBio LLC (ABBI, 2019).

Sweetwater Energy is a US company specializing in the production of concentrated sugar from multiple non-food plant materials. The company also has a research line for the production of cellulosic ethanol (SWEETWATER ENERGY, 2017).

Conclusion

Technological prospecting attempts to predict possible future scenarios and trends from past scientific and technological data. This methodology is an important tool for mapping the state of the art of technological innovations, as it demonstrates the main avant-garde and the intentions and propensities of countries regarding the subject in question.

This study pointed to the emergence of patents involving microorganisms and enzymes, which indicates the progress of research to make second generation ethanol viable and economically competitive. This technology is relatively recent and has been become increasingly significant, requiring a high level of integration between the chemistry and biochemistry areas due to the complexity of the projects.

Another important point is the existence of a gap between theoretical scientific research and practical industrial results, such as patent production, especially in the Brazilian case. Since, even though it is the largest producer of ethanol from sugar cane, Brazil ranks only third in terms of patent filing. Therefore, an organizational transformation is necessary, using tools and prospective studies to help governments and investors to support new technologies and bring them closer to academia, making the process of technological innovation faster.

References

ABBI. **Empresa brasileira de biotecnologia industrial, GranBio adquire americana American Process Inc.** Retrieved may 21, 2019, from <<http://www.abbi.org.br/pt/noticia/empresa-brasileira-de-biotecnologia-industrial-granbio-adquire-americana-american-process-inc/>>.

BIOFUELSDIGEST. **Mascoma: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide.** Retrieved April 21, 2019, from <<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/02/15/mascoma-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>>.

CANILHA, L.; MILAGRES, A. M. F.; SILVA, S. S.; SILVA, J. B. A.; FELIPE, M. G. A.; ROCHA, G. J. M.; CARVALHO, W. **Sacarificação da biomassa lignocelulósica através de pré-hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal.** Rev. Analytica. p. 44-48, 2010.

ETHANOL PRODUCER MAGAZINE. **Sweetwater Energy brings lignin-based activated carbon to market.** Retrieved may 25, 2019, from <<http://ethanolproducer.com/articles/14815/sweetwater-energy-brings-lignin-based-activated-carbon-to-market>>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Word Energy Outlook. 2018.** Retrieved April 20, 2019, from

<<https://www.iea.org/weo/>>.

MILANEZ, A. Y.; FILHO, P. S. C.; ROSA, S. E. S. **Perspectivas para o Etanol Brasileiro**. Estudo Setorial, BNDES, 2008.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION – RFA. **World Fuel Ethanol Production. 2018**. Retrieved April 20, 2019, from <<https://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1549569130196-da23898a-53d8>>.

SYNGENTA. **Resultados de áreas plantadas com a tecnologia Emerald serão apresentados pela Syngenta durante o Ethanol Summit 2019**. Retrieved may 20, 2019, from <<https://www.syngenta.com.br/press-release/sustentabilidade/resultados-de-areas-plantadas-com-tecnologia-emerald-serao>>.

XYLECO. **About us**. Retrieved may 20, 2019, from <<https://www.xyleco.com/>>.