UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

ANÁLISE DE MODELOS DE NEGÓCIOS PARA A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO EM ESCALA COMERCIAL

TESE DE DOUTORADO

ANTONIO CALIL NETO

RIO DE JANEIRO

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

ANÁLISE DE MODELOS DE NEGÓCIOS PARA A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO EM ESCALA COMERCIAL

ANTONIO CALIL NETO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências e Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientadores: Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães, D.Sc.

Estevão Freire, D.Sc.

Rio de Janeiro

Julho / 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Calil Neto, Antonio

Análise de modelos de negócios para a produção brasileira de bioetanol de segunda geração em escala comercial - Rio de Janeiro: UFRJ / EQ, 2017.

xviii 187f.

Orientadora: Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães.

Co-orientador: Estevão Freire.

Tese (doutorado) – UFRJ / Escola de Química. Programa de Pósgraduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2017.

Referências Bibliográficas: f.161-187.

1. Processo de produção de bioetanol de segunda geração. 2. Modelo de Negócios. 3. Empresas brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração. I. Guimarães, Maria José de Oliveira Cavalcanti. II. Freire, Estevão. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. IV. Título.

ANÁLISE DE MODELOS DE NEGÓCIOS PARA A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO EM ESCALA COMERCIAL

Antonio Calil Neto

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (D. Sc.)

Data: 31 de julho de 2017.

Aprovado por:

_____

Doutora CRISTIANE MASCARENHAS DA SILVA SAMPAIO, D. Sc.
(INMETRO / RJ)

_____

Doutora LUCIA GORENSTIN APPEL, D. Sc.
(INT / RJ)

_____

Prof. SILVIO CARLOS ANIBAL DE ALMEIDA, D. Sc.
(EP / UFRJ)

_____

Profª. ELIANA MOSSÉ ALHADEFF, D. Sc.
(EQ / UFRJ)

_____

Prof. PETER RUDOLF SEIDL, PhD.
(EQ / UFRJ)

Orientado por:

_____

MARIA JOSÉ DE OLIVEIRA CAVALCANTI GUIMARÃES, D. Sc.
(EQ / UFRJ)

_____

ESTEVÃO FREIRE, D. Sc.
(EQ / UFRJ)

DEDICATÓRIA

Ao Eterno.

À minha esposa Christina Calil, exemplo de determinação e companheirismo.

Ao Daniel Calil, meu filho, pelo inestimável incentivo e amizade.

AGRADECIMENTOS

Ao Eterno, por estar sempre presente em minha vida me proporcionando saúde e força para seguir com meus objetivos.

À minha esposa e meu filho, meus principais incentivadores. Ao meu irmão pela amizade e apoio.

À ilustre Professora-orientadora Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães, por quem tenho imensa admiração, por sua competência e contribuição sem par.

Ao estimado Professor-orientador Estevão Freire que, pelo grande profissionalismo acadêmico, contribuiu de forma exemplar na realização desta Tese.

Aos professores e funcionários da EQ e aos colegas do programa que, direta ou indiretamente, me ajudaram nessa caminhada.

Resumo da tese apresentada à Escola de Química/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

ANÁLISE DE MODELOS DE NEGÓCIOS PARA A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO EM ESCALA COMERCIAL

Antonio Calil Neto

Julho/2017

Orientadores: Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães (D.Sc.)
Estevão Freire (D.Sc)

Programa: Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos

Face à perspectiva de esgotamento de fontes não renováveis de combustíveis fósseis e das preocupações relacionadas à emissão de substâncias que comprometem o meio ambiente, os biocombustíveis e, em especial, o bioetanol tem atraído a atenção de pesquisadores, empresas e governos. Especificamente, a segunda geração do bioetanol possui etapas críticas no processo de produção, as quais têm representado limitação para as empresas alcançarem a produção em escala comercial. Embora pesquisas tenham procurado superar tais restrições, focalizando nos desafios tecnológicos, tem sido reconhecido que a maior ou menor capacidade de absorção de inovações tecnológicas se encontra relacionada ao modelo de negócio utilizado. Assim, esta Tese teve como objetivo a análise de modelos de negócios utilizados pelas empresas brasileiras que atingiram a produção em escala comercial de bioetanol de segunda geração, estudando os seus modelos de negócios como instrumentos de viabilidade comercial das tecnologias. A pesquisa foi realizada por meio de metodologia própria baseada na técnica de análise de conteúdo, a qual forneceu os seguintes parâmetros que serviram de base para a análise dos modelos de negócios: foco da empresa, matéria-prima, custos, certificação, tecnologia e unidades de produção. Também foram analisados, em caráter complementar, os parâmetros capacidade organizacional, vantagem e controle estratégicos, além do potencial do negócio. Dentre as sete principais usinas de etanol de segunda geração em escala comercial no mundo - GranBio, Raízen, Poet-DSM, BetaRenewables, Abengoa (planta comprada pela Synata Bio), DuPont e Enerkem - duas são brasileiras: GranBio e Raízen. Para alcançar a produção de etanol de segunda geração em escala comercial, as duas empresas brasileiras utilizam, principalmente, o bagaço e a palha de cana-de-açúcar, respectivamente, para os processos de produção do bioetanol de segunda geração. O estudo demonstrou que ambas as empresas apresentam vantagens competitivas que se equivalem na maior parte dos parâmetros estudados, com o modelo de negócios da GranBio sido melhor em alguns parâmetros, devido às parcerias estratégicas que estabeleceu com algumas das principais empresas do segmento, melhor explorando os benefícios do ambiente de inovação aberta que caracteriza a arena competitiva.

Palavras-chave: bioetanol, tecnologias de conversão, modelos de negócios, produção comercial.

Abstract of Thesis presented to School of Chemistry/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ANALYSIS OF BUSINESS MODELS FOR COMMERCIAL SCALE SECOND-GENERATION BIOETHANOL BRAZILIAN PRODUCTION

Antonio Calil Neto

July/2017

Advisors: Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães (D.Sc.)
Estevão Freire (D.Sc)

Program: Technology of Biochemical and Chemical Processes

Due to the prospect of depletion of non-renewable sources of fossil fuels and concerns about the emission of environmentally harmful substances, biofuels, and in particular bioethanol, have attracted the attention of researchers, companies and governments. Specifically, the second generation of bioethanol has critical steps in the production process, which have been a limitation for companies to achieve production on commercial scale. Many researchers have sought to overcome these limitations by focusing only on technological challenges. Greater or lesser capacity to absorb technological innovations is related to the business model used. Thus, this thesis had the objective of analyzing business models used by Brazilian companies that reached commercial scale production of second generation bioethanol, which are instruments for the commercial viability of the technologies. The research was performed through own methodology based on the content analysis, which provided the following parameters that served as the basis for the analysis of the business models: company focus, raw material, costs, certification, technology and production units. The parameters organizational capacity, strategic advantage and control, as well as business potential, were also analyzed in a complementary manner. Among the seven main second-generation ethanol plants on commercial scale in the world - GranBio, Raízen, Poet-DSM, BetaRenewables, Abengoa (plant purchased by Synata Bio), DuPont and Enerkem - two are Brazilian: GranBio and Raízen. To achieve second-generation commercial scale bioethanol production, the two Brazilian companies use sugarcane bagasse and sugarcane straw from first-generation bioethanol production processes. The study demonstrated that both companies have competitive advantages that are equivalent in most of the studied parameters, with GranBio's business model being better, in some parameters, due to the strategic partnerships it has established with some of the main players in the segment, better exploiting the benefits of the open innovation environment that characterizes the competitive arena.

Keywords: bioethanol, conversion technologies, business models, commercial production.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1
INTRODUÇÃO e OBJETIVOS 1
1.1. Introdução 1
1.2. Objetivos 5
1.3. Estruturação da Tese 6
CAPÍTULO 2 8
PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO 8
2.1. Mapeamento do mercado de biocombustíveis 8
2.2. Biorrefinaria 15
2.3. Matérias-primas 19
2.4. Pré-tratamento 21
2.5. Processo Produtivo 23
2.5.1 Configurações 25
2.5.1.1. Sacarificação e fermentação separada (SHF) 28
2.5.1.2. Sacarificação e fermentação simultâneas (SSF) 29
2.5.1.3. Sacarificação e co-fermentação simultâneas (SSCF) 30
2.5.1.4. Sacarificação e co-fermentação separadas (SHCF) 31
2.5.1.5. Bioprocesso consolidado (CBP) 32
2.6. Etapas Críticas 32
CAPÍTULO 3 41
MODELO DE NEGÓCIOS 41
3.1. Conceito 41
3.2. Tipologia 42
3.3. Ruptura de modelo de negócios 44
3.4. Inovação aberta e modelo de negócios 46
3.5. Instrumento de viabilização da tecnologia 51
CAPÍTULO 4 55
PARÂMETROS EM CENÁRIO DE INOVAÇÃO ABERTA 55
4.1.1. Maturidade tecnológica 57
4.1.2. Capacidade de absorver inovações 57
4.1.3. Capacidade dos recursos humanos 58
4.1.4. Desenho estrutural 59
4.1.5. Recursos de apoio ao desenvolvimento tecnológico 60

4.1.6. Facilidade de adoção de novos processos 60
4.2. Fatores de negócio 60
4.2.1. Proposta de valor 61
4.2.2. Manutenção e ampliação do controle estratégico 62
4.3. Indução competitiva 62
4.3.1. Potencial de retorno 63
4.3.2. Potencial de expansão do mercado atual e para abrir novo mercado 64
4.3.3. Potencial para incrementar o domínio tecnológico da empresa e política de domínio tecnológico 64
CAPÍTULO 5 66
ANÁLISE DE CONTEÚDO 66
5.1. Abordagem qualitativa 66
5.2. Técnicas de análise de dados 66
5.3. Conceito 68
5.4. Fases 70
CAPÍTULO 6 74
EMPRESAS PRODUTORAS DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO EM ESCALA COMERCIAL 74
6.1. Empresas estrangeiras 74
6.1.1. Poet-DSM 75
6.1.2. Abengoa e Synata Bio 81
6.1.3. Beta Renewables 87
6.1.4. Dupont 92
6.1.5. Enerkem 97
6.2. Empresas brasileiras 101
6.2.1. GranBio 105
6.2.2. Raízen 107
CAPÍTULO 7 110
METODOLOGIA 110
7.1. Introdução 110
7.2. Procedimento de Análise 116
7.2.1. Pré-análise 116
7.2.1.1. Leitura flutuante 116
7.2.1.2. Formulação de objetivos e Dimensão da análise 117
7.2.1.3. Seleção de documentos 117

7.2.1.4. Formação do *corpus* 118
7.2.1.5. Preparação do material 121
7.2.1.6. Definição de critérios 122
7.2.1.7. Regras de codificação e categorização 123
7.2.2. Exploração do Material 127
7.2.2.1. Codificação: unidades de registro 127
7.2.2.2. Categorização progressiva 128
7.2.2.2.1. Categorias iniciais 129
7.2.2.2.2. Indicadores e parâmetros 130
7.2.2.2.3. Categorias finais 131
7.3. Procedimento de Categorização 134
7.3.1 Categorias iniciais 134
7.3.2 Categorias finais 135
CAPÍTULO 8 139
ANÁLISE DOS MODELOS DE NEGÓCIOS DAS EMPRESAS BRASILEIRAS 139
8.1. Com parâmetros do Procedimento de Análise 139
8.1.1. Foco da empresa 141
8.1.2. Matéria-prima 142
8.1.3. Custos 144
8.1.4. Certificação 146
8.1.5. Tecnologia 147
8.1.6. Unidades de produção 151
8.2. Com parâmetros do Procedimento de Categorização 153
8.2.1. Capacidade organizacional 153
8.2.2. Vantagem e controle estratégicos 154
8.2.3. Potencial do negócio 155
CAPÍTULO 9 158
CONSIDERAÇÕES FINAIS 158
CAPÍTULO 10 160
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 160
CAPÍTULO 11 161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 161

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Evolução da produção de biocombustíveis no mundo na década 2000-2010.	8
Figura 2.2: Custo de biocombustíveis x custo da gasolina (cenário de baixo custo).	11
Figura 2.3: Custo de biocombustíveis x custo da gasolina (cenário de alto custo).	12
Figura 2.4: Cenários de produção de bioetanol em biorrefinarias.	17
Figura 2.5: Processo de produção integrada de etanol de segunda geração.	25
Figura 2.6: Etapas do processo de produção para cada tecnologia de conversão.	27
Figura 2.7: Esquema representativo do processo de fermentação e hidrólise separadas.	28
Figura 2.8: Esquema representativo do processo de fermentação e hidrólise simultâneas.	29
Figura 2.9: Esquema representativo do processo de hidrólise e co-fermentação simultâneas.	30
Figura 2.10: Esquema representativo do bioprocesso consolidado.	32
Figura 2.11: Etapas Críticas do processo de produção.	40
Figura 3.1: Matriz da Inovação.	52
Figura 4.1: Indicadores do parâmetro desenho organizacional.	57
Figura 4.2: Indicadores do parâmetro fatores de negócio.	61
Figura 4.3: Indicadores do parâmetro indução competitiva.	63
Figura 6.1: Esquema representativo do processo de produção da Enerkem pela rota termoquímica.	100
Figura 7.1: Metodologia da Tese.	110
Figura 7.2: Técnicas utilizadas em cada procedimento.	111
Figura 7.3: Objetivos de cada procedimento.	112
Figura 7.4: Principais etapas do Procedimento de Análise.	114
Figura 7.5: Principais etapas do Procedimento de Categorização.	115
Figura 7.6: Modelo de codificação e registro de informações.	121

Figura 7.7: Critérios definidos para interpretação do material coletado. 123
Figura 7.8: Exemplo de codificação e registro de informações. 128
Figura 7.9: Categorização progressiva: indicador – parâmetro. 130
Figura 8.1: Resultados destacados da análise do modelo de negócios da GranBio. 156
Figura 8.2: Resultados destacados da análise do modelo de negócios da Raízen. 157

ÍNDICE DE TABELAS

Página

Tabela 2.1: Tecnologias de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica. 34
Tabela 2.2: Características de tecnologias de pré-tratamento. 36
Tabela 2.3: Vantagens e desvantagens de métodos de hidrólise ácida. 38
Tabela 4.1: Parâmetros e indicadores obtidos na literatura. 56
Tabela 6.1: Características das principais plantas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial. 75
Tabela 6.2: Características da unidade de produção da Poet-DSM. 78
Tabela 6.3: Características da tecnologia da POET-DSM. 79
Tabela 6.4: Características da unidade de produção da Abengoa, adquirida pela Synata Bio. 84
Tabela 6.5: Características da tecnologia da Abengoa, adquirida pela Synata Bio. 86
Tabela 6.6: Características da unidade de produção da Beta Renewables. 90
Tabela 6.7: Características da tecnologia da Beta Renewables. 91
Tabela 6.8: Características da unidade de produção da Dupont. 94
Tabela 6.9: Características da tecnologia da Dupont. 95
Tabela 6.10: Características da unidade de produção da Enerkem. 99
Tabela 6.11: Características das duas empresas brasileiras. 102
Tabela 7.1: Categorias iniciais do Procedimento de Análise. 129
Tabela 7.2: Categorias finais do Procedimento de Análise. 132
Tabela 7.3: Categorias iniciais do Procedimento de Categorização. 135
Tabela 7.4: Categorias finais do Procedimento de Categorização. 136
Tabela 8.1: Comparação de resultados. 140

LISTA DE SIGLAS, TERMOS E ABREVIATURAS

ABDI: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABS: Anti-lock Braking System

ACV: Análise de Ciclo de Vida

AEC: Advanced Ethanol Council

AFEX: Ammonia Fiber Explosion

API: American Process Incorporated

apud: Palavra latina usada para citações indiretas, que significa “citado por”

ARB: Air Resources Board

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BONSUCRO: Better Sugarcane Initiative

BPX: Broin Project X

BTL: Biomass-to-Liquids

C5: Fração de açúcares que possuem 5 átomos de carbono

C6: Fração de açúcares que possuem 6 átomos de carbono

CAPEX: Capital Expenditure

CBP: Consolidated Bioprocess

CF: Co-fermentação

CGEE: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CMMAD: Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CNPEM: Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais

CO_2: Dióxido de carbono

CTBE: Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

DGS: Destillers Dried Grains

DS: Desenvolvimento Sustentável

DSM: Dutch State Mines

EBITDA: Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization (Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização)

EPA: United States Environmental Protection Agency

EPC: Engineering, procurement and construction

et al.: Abreviatura de *et alii*, expressão latina que significa “e outros”.

EUA: Estados Unidos da América

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos

FP: Framework Program

GEE: Gases de Efeito Estufa

GW: Giga-watt

H_2SO_4: Ácido sulfúrico

IAC: Informativo Agropecuário Camrey

IEA: International Energy Agency

in situ: Expressão latina que significa “no lugar” (na própria planta)

KWh/TC: Quilowatt-Hora por Tonelada de Cana

L/TC: Litros por Tonelada de Cana

LGE: Litre per gasoline equivalent (ou Litro por equivalente à gasolina)

M&G: Grupo Mossi & Ghisolfi

MDIC: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MW: Mega-watt

MWh: Mega-watt-Hora

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NREL: United States National Renewable Energy Laboratory

P+L: Produção Mais Limpa

p/p: Percentual peso por peso – equivale a quantidade em gramas de soluto em 100 g de solução.

PAISS: Plano conjunto BNDES-Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico.

PC: Personal Computer

PI: Propriedade Intelectual

PROÁLCOOL: Programa Nacional do Álcool

RIN: Renewable Identification Number

RIDESA: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SDTC: Sustainable Development Technology Canada

SEC: Securities and Exchange Commission

SHF: Separated Hydrolysis and Fermentation (Sacarificação e Fermentação Separada)

SHCF: Separate Hydrolysis and Co-fermentation (Sacarificação e Co-fermentação Separada)

SIFAEG: Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás

SPE: Sociedade de Propósito Específico

SSCF: Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation (Sacarificação e Co-fermentação Simultâneas)

SSF: Simultaneous Saccharification and Fermentation (Sacarificação e Fermentação Simultâneas)

SSFF: Simultaneous Saccharification, Filtration and Fermentation (Sacarificação, Filtração e Fermentação Simultâneas)

TIR: Taxa Interna de Retorno

TRL: Technology Readiness Level

UNCTAD: United Nations Conference on Trade and Development (Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento)

USD: Dólar Americano

USDA: United States Department of Agriculture

USDOE: United States Department of Energy

Website: Página da internet

WEF: World Economic Forum

Parte desta Tese foi submetida ao seguinte periódico e se encontra em análise:

- CALIL NETO, A.; GUIMARAES, M. J. O. C.; FREIRE, E. Business Models for Commercial Scale Second-generation Bioethanol Production. **Journal of Cleaner Production** (Impact factor: 5,715; Year Impact Factor: 6,207; Classificação QUALIS: A1; ISSN: 0959-6526).

Parte desta Tese foi publicada no seguinte periódico:

- CALIL NETO, A.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; FREIRE, E. Panorama tecnológico da produção de bioetanol de 1ª e 2ª geração. **Revista Alcoolbrás.** Edição nº 142, pp. 39-41, 2013**.**

Parte desta Tese foi apresentada nas seguintes reuniões científicas:

- CALIL NETO, A.; GUIMARAES, M. J. O. C.; FREIRE, E. Avaliação de modelos de negócio para produção de bioetanol em escala comercial. In: **XII CNEG - Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III INOVARSE.** Responsabilidade Social Aplicada, Rio de janeiro, 2016.

- CALIL NETO, A.; GUIMARAES, M. J. O. C.; FREIRE, E. A indústria do etanol a partir da análise de *roadmaps* tecnológicos. **Rio Oil & Gas Expo and Conference 2012.** Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP. Rio de janeiro, 2012.

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO e OBJETIVOS

1.1. Introdução

As economias do mundo dependem significativamente do petróleo, a principal fonte de energia da Terra. No entanto, esta dependência tem causado graves danos ao meio ambiente. Uma delas é a ameaça à vida na Terra decorrente do aquecimento global e do efeito estufa. No entanto, o problema da dependência do petróleo não se limita às preocupações ambientais, uma vez que está também intrinsecamente relacionado com o planejamento econômico. Considerando que o petróleo não é uma fonte renovável, cada barril processado representa alguma perda nas reservas globais implicando o fim deste recurso em algum ponto no futuro.

Em 1972, realizou-se, o primeiro marco referencial do desenvolvimento sustentável, a Conferência de Estocolmo, tendo sido gerada, na ocasião, a "Declaração de Estocolmo", um documento em que se afirma que a proteção e a melhoria do meio ambiente é uma questão fundamental que influencia o bem-estar e o desenvolvimento econômico dos povos, um dever dos governos (GOMES *et al.*, 2005). Desde 1980, novas orientações teóricas e práticas surgiram tais como o Desenvolvimento Sustentável (DS), a Produção Mais Limpa (P+L[1]), dentre outras. Com o fim desta década, as questões do meio ambiente passaram a afetar a tomada de decisão de todos os setores empresariais. Nesse contexto, somente em 1987, a idéia de desenvolvimento sustentável ganha reconhecimento com a edição do relatório "Our Common Future", também conhecido como "Relatório ou Informe Brundtland", publicado pela CMMAD - Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Tendo em vista que o petróleo está concentrado em poucos países e por não ser uma fonte renovável, há flutuações sucessivas no seu preço no mercado internacional, o que gera riscos e incertezas que afetam diretamente

[1] P+L (Produção Mais Limpa) é aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada e preventiva para processos e produtos, a fi m de se reduzirem os riscos para as pessoas e o meio ambiente (BAAS, 1995)

as políticas econômicas adotadas por empresas e países. O bioetanol tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores, governos e empresas principalmente por causa das pressões sobre os preços, da perspectiva de esgotamento de fontes não renováveis de combustíveis fósseis e das preocupações relacionadas à emissão de substâncias que comprometem o meio ambiente (BASTOS, 2007).

O Brasil tem defendido internacionalmente que a bioenergia moderna pode ser uma alternativa de energia renovável superior, especialmente para os países em desenvolvimento, pois gera benefícios notáveis nos três pilares do desenvolvimento sustentável, como estabelecido na Cúpula Rio-92: pilares sociais, ambientais e econômicos. Além de reduzir substancialmente as emissões de carbono, a produção de bioetanol, biodiesel e outros biocombustíveis modernos também promovem a geração de empregos e renda, especialmente nas regiões rurais, onde as maiores concentrações de pobreza e pobreza extrema são encontradas em todo o mundo. O maior objetivo consiste em promover a "comoditização" dos biocombustíveis. Em outras palavras, o objetivo é criar um mercado global para esses produtos, com múltiplos produtores e consumidores, e preços determinados pelas forças de mercado. Essa política baseia-se na compreensão de que a bioenergia é uma alternativa de energia que é tanto sustentável como mais facilmente acessível aos países em desenvolvimento, o que poderia aumentar sua segurança energética no médio e longo prazo, gerando receita, especialmente através de exportações de combustíveis líquidos, como bioetanol e biodiesel, e substituição de combustíveis fósseis importados (CGEE, 2012).

A sustentabilidade dos processos de produção baseados na cana-de-açúcar depende de políticas e legislação; e sua implementação precisa de tecnologia e investimento. Sendo o primeiro biocombustível comercial de grande escala, o bioetanol da cana-de-açúcar, entre todos os biocombustíveis, detém a melhor posição em termos de desempenho ambiental e sustentabilidade econômica (CGEE, 2012).

Com o objetivo de agregar valor ao bagaço e à palha da cana-de-açúcar, que são subprodutos dos processos de produção de bioetanol de primeira geração e aumentar a produtividade de energia sustentável, a indústria de

produção de bioetanol de segunda geração utiliza esses resíduos como matéria-prima em seu processo produtivo.

Até o início de 2010, as tecnologias de segunda geração de produção dos biocombustíveis com base na biomassa lignocelulósica, tal como o bioetanol celulósico, ainda se encontravam em P & D, em plantas piloto ou eram de demonstração. Atualmente já é uma realidade a existência de empresas produtoras em escala comercial do bioetanol de segunda geração. Limitações tecnológicas têm sido a principal barreira à produção em escala comercial de bioetanol de segunda geração, e poucas empresas em todo o mundo alcançaram produção neste nível. São sete as principais plantas de etanol de segunda geração em escala comercial existentes, destacam-se sete: GranBio, Raízen, Poet-DSM, Beta Renewables, Abengoa, DuPont e Enerkem (NOVACANA, 2016aa).

No início da década de 2000, o foco sobre estudos de inovação e do ambiente tenderam a se distanciar do nível da empresa. Estes estudos tornaram-se mais amplos, reorientados para os processos que ligam os sistemas e tecnologias às necessidades sociais. A importância estava em transformar estes sistemas sócio-técnicos em configurações sustentáveis (BERKHOUT, 2002).

A maior ou menor capacidade de absorção de inovações tecnológicas está relacionada ao modelo de negócio. Portanto, a compreensão das tecnologias e dos modelos de negócios das empresas que se dedicam à produção em escala comercial de bioetanol de segunda geração é um passo necessário.

No Brasil, em particular, há uma predominância de bioetanol de cana-de-açúcar devido à abundante disponibilidade de terra adequada para o cultivo dessa matéria-prima. Além disso, entre as unidades de produção de etanol de segunda geração em escala comercial, em todo o mundo, duas são brasileiras - GranBio e Raízen – as quais atingiram escala comercial em 2014.

Assim, esta Tese busca estudar as categorias do modelo de negócios de duas empresas brasileiras a fim de determinar por que elas são as únicas empresas no Brasil que produzem bioetanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar em escala comercial.

O diagnóstico a ser realizado referente aos modelos de negócios das referidas empresas permitirá identificar se as práticas adotadas e respectivos resultados são convergentes ou não, ou seja, se é fato que os elementos utilizados por ambas as empresas evidenciam uma solução comum para superar os entraves tecnológicos à produção em escala comercial do bioetanol de segunda geração.

Considerando que o objetivo deste trabalho inclui o diagnóstico e a avaliação de modelos de negócios das empresas brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, se revela como fundamental a utilização de técnica que seja apropriada para estudos organizacionais. Assim, há de se ressaltar que a importância da análise de conteúdo - técnica desenvolvida por Bardin (2006) - para os estudos organizacionais tem sido cada vez maior e tem evoluído em virtude da preocupação com o rigor científico e a profundidade das pesquisas. Entretanto, a constituição de novos paradigmas científicos impõe outras dinâmicas também à análise dos dados das pesquisas científicas. Em geral, as sucessivas transformações pelas quais têm passado a ciência revelam irregularidades e também rupturas, que exigem revisitar as abordagens metodológicas. Nessa lógica, se insere a análise de conteúdo, a qual cada vez mais adquire legitimidade nas pesquisas qualitativas no campo da gestão de empresas, razão por que deve entrar na pauta das discussões científicas (MOZZATO e GRZYBOVSKI, 2011).

Considerando que as publicações referentes às empresas objeto da presente Tese se encontram em textos impressos ou dispostos em mídia digital, a análise de conteúdo se apresenta como uma técnica comprovadamente adequada ao fim a que se propõe esta Tese. Bauer e Gaskell (2008) indicam que os materiais textuais escritos são os mais tradicionais na análise de conteúdo, podendo ser manipulados pelo pesquisador na busca por respostas às questões de pesquisa. Com abordagem semelhante, Flick (2009) afirma que a análise de conteúdo é um dos procedimentos clássicos para analisar o material textual, não importando qual a origem desse material.

Esta pesquisa também possibilitará verificar pontos relacionados à concessão de subsídios e ao estabelecimento de políticas governamentais, que

se destinam a apoiar o financiamento da implantação de novas unidades e possibilitar o desenvolvimento de novas pesquisas, tanto no campo empresarial quanto no acadêmico. Além disso, o uso de modelos de negócios como instrumentos para viabilizar comercialmente tecnologias selecionadas.

Assim sendo, a presente Tese considerará a análise e caracterização dos modelos de negócio das empresas estudadas, a identificação das etapas do processo de produção do bioetanol de segunda geração e a seleção de parâmetros e indicadores que permitam a adequado diagnóstico de cada modelo de negócio. Ressalte-se a originalidade do tema por não se ter identificado, até o momento, pesquisa com a amplitude desta proposta.

1.2. Objetivos

Com base no referencial teórico existente sobre a temática dos modelos de negócios das empresas produtoras de bioetanol de segunda geração, as seguintes questões se apresentaram na origem da pesquisa:

"Como os modelos de negócios podem viabilizar tecnológica e economicamente a produção de bioetanol de segunda geração em escala comercial no Brasil?"

E ainda: *"Por que a GranBio e a Raízen são as únicas empresas no Brasil que produzem bioetanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar em escala comercial?"*

Estas questões, que se encontram no cerne das primeiras ideias formadas com base no aludido referencial teórico, gerou o objetivo geral da presente Tese.

Objetivo Geral

"Diagnosticar e avaliar os modelos de negócios das duas únicas empresas brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar em escala comercial."

Outros objetivos de natureza específica decorreram do objetivo geral, os quais se encontram a seguir relacionados:

Objetivos Específicos

1. Identificar rotas tecnológicas de produção comercial de bioetanol de segunda geração.
2. Estudar os diversos tipos de configurações do processo industrial de bioetanol de segunda geração.
3. Caracterizar as empresas estrangeiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial.
4. Avaliar a interdependência entre modelo de negócio e tecnologia.
5. Estudar as técnicas de análise de dados e selecionar a que melhor se adequa ao desenvolvimento deste trabalho.
6. Identificar e analisar os pontos estratégicos do modelo de negócio de cada empresa nacional.
7. Comparar o panorama de produção comercial de bioetanol de segunda geração das empresas brasileiras frente às estrangeiras.

1.3. Estruturação da Tese

Esta Tese está estruturada em onze capítulos incluindo este primeiro capítulo, introdutório de contextualização do tema e objetivos.

No segundo capítulo foi realizada revisão sobre o processo de produção de bioetanol de segunda geração, tendo sido apresentadas considerações acerca das matérias-primas utilizadas, bem como de cada etapa do processo produtivo, além das etapas críticas para a produção de bioetanol de segunda geração em escala comercial.

No terceiro capítulo, são mostrados o conceito de modelo de negócios, seus elementos, bem como sua aplicação como viabilizador de tecnologias, além de sua importância para trazer ao mercado uma tecnologia disruptiva.

O quarto capítulo apresentou indicadores e parâmetros de modelos de negócios de empresas conforme estudo onde foi proposto modelo de seleção de tecnologias por empresas que atuam em cenário de inovação aberta. Neste capítulo, também foi realizada a revisão conceitual de cada indicador.

O quinto capítulo apresenta uma revisão sobre temas que tangem a temática da técnica de análise de conteúdo tal como sua aplicabilidade a pesquisas de natureza qualitativa, assim como aborda as principais técnicas de análise dados, além de conceituar análise de conteúdo e explicar as fases que a compõem.

O sexto capítulo efetuou revisão sobre aspectos atinentes às principais empresas estrangeiras e brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, apresentando aspectos comerciais e tecnológicos inerentes a cada empresa.

O sétimo capítulo apresentou a metodologia, baseada na técnica de análise de conteúdo, utilizada para a busca de informações para obtenção dos parâmetros utilizados na análise dos modelos de negócios das empresas brasileiras objeto desta Tese.

O oitavo capítulo mostrou os resultados e a discussão dos modelos de negócios das empresas brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, GranBio e Raízen, tendo sido dividido em duas partes. Na primeira parte, foi efetuada a análise dos modelos de negócios com base nos parâmetros fornecidos pelo Procedimento de Análise de Conteúdo descrito no capítulo sétimo. Na segunda parte, a título de complementação das informações, foi realizada a análise dos aludidos modelos de negócio com base nos parâmetros fornecidos pelo Procedimento de Categorização também apresentado do capítulo sete.

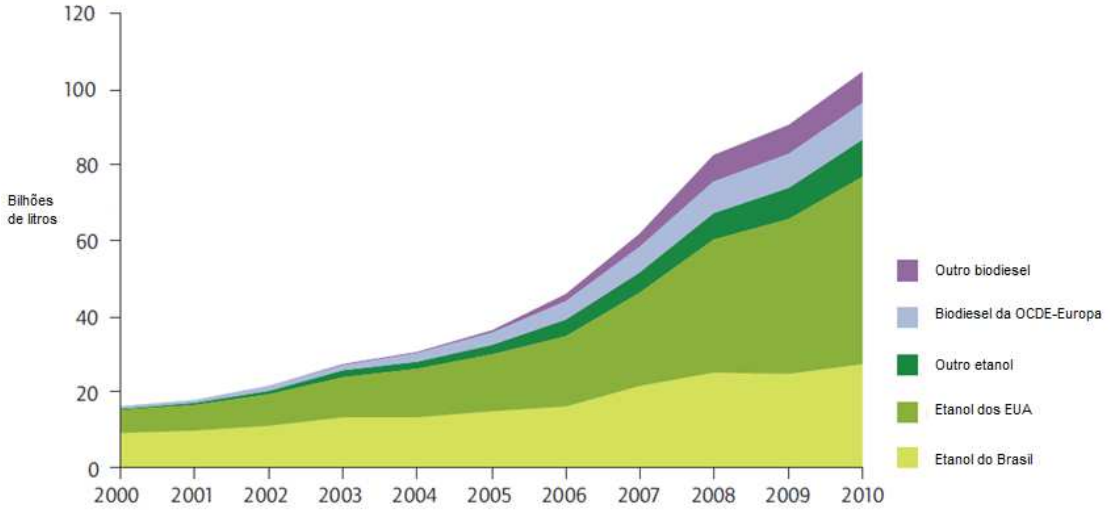
O nono capítulo mostra as considerações finais após as análises efetuadas, enquanto o capítulo dez expõe sugestões de trabalhos futuros.

As referências bibliográficas utilizadas para dar embasamento textual ao trabalho estão listadas no décimo-primeiro capítulo.

CAPÍTULO 2
PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

2.1. Mapeamento do mercado de biocombustíveis

A produção de biocombustíveis no mundo cresceu substancialmente na última década, tendo se elevado a partir de 16 bilhões de litros em 2000 para mais de 100 bilhões de litros (volumétricos) em 2010 (Figura 2.1).



Fonte: IEA, 2010[2].

Figura 2.1: Evolução da produção de biocombustíveis no mundo na última década.

No que se refere à sustentabilidade, os papéis dos sistemas de bioenergia na redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) devem ser avaliados por comparação com os sistemas de energia que eles substituem usando a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV[3]). Tendo sido feitas comparações das emissões de GEE de diferentes biocombustíveis em relação ao combustível fóssil que substitui, envolvendo tecnologias maduras, emergentes, ou inovadoras, chegou-se a algumas conclusões: em geral,

[2] Permitida a reprodução da figura de acordo com os termos de proteção contidos no endereço http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap.pdf

[3] Análise de Ciclo de Vida consiste na compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2009).

produzir etanol a partir de cana-de-açúcar (ex. no Brasil ou na Tailândia) mostra potencial significativo para redução de emissões de GEE (100% de redução emissões de GEE em relação à gasolina), se nenhuma mudança indireta no uso da terra[4] ocorrer. Os níveis de redução associados a outros biocombustíveis convencionais são mais modestos (cerca de 90% de redução de emissões de GEE para o etanol de trigo em relação à gasolina; e cerca de 60% de redução de emissões de GEE para o etanol de milho em relação à gasolina). Estes níveis podem ser melhorados através de uma melhor utilização de co-produtos e uso de energia oriundos de processos de fontes renováveis e não de combustíveis fósseis (IEA, 2011).

O destaque de algumas tecnologias emergentes e inovadoras para biocombustíveis avançados está relacionado ao etanol produzido a partir de biomassa lignocelulósica, o bioetanol de segunda geração e o biodiesel. Em alguns casos, a redução das emissões de GEE chegou a mais de 100% quando co-produtos são usados para produzir calor e energia, substituindo os combustíveis fósseis, como é o caso do bioetanol de segunda geração (120% de redução de emissões de GEE em relação à gasolina), o biobutanol (110% de redução de emissões de GEE em relação à gasolina), e o biodiesel (120% de redução de emissões de GEE em relação ao diesel). Contudo, as estimativas para esses processos são teóricas ou com base em plantas piloto, gerando incertezas quanto à reprodutibilidade destes percentuais de redução quando em operação em escala comercial (IEA, 2011).

Para que os biocombustíveis sejam amplamente utilizados, eles não devem apenas ser sustentáveis em relação ao meio ambiente e a impactos sociais, mas também no que se refere a aspectos econômicos. Isso significa que eles devem acabar por se tornar competitivos com a gasolina e/ou diesel. Os governos também podem criar sistemas fiscais diferenciados para refletir diferentes custos externos para combustíveis distintos; ainda assim, alguns combustíveis coexistem, com sucesso, com combustíveis menos caros nos mercados. Considerando que os biocombustíveis produzidos de forma

[4] Mudança indireta do uso da terra ocorre quando a produção de biomassa substitui o cultivo de alimentos (ou qualquer outra atividade agropecuária), de modo que, como a demanda por esses permanece necessária, a produção de alimentos será transferida para outras áreas, as quais podem ter um elevado teor de carbono (p.ex. florestas e pântanos), que acaba sendo reduzido (liberado para a atmosfera na forma de GEE) quando do cultivo dos alimentos (SAMPAIO, 2013).

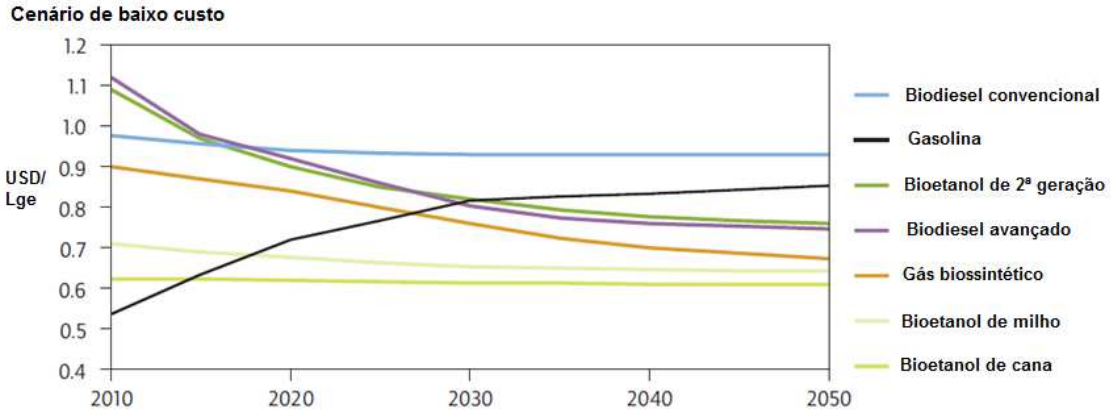
sustentável são justificados por razões ambientais ou em decorrência de outros objetivos - como o desenvolvimento econômico rural - pode fazer sentido perceber esta agregação de valor através de um sistema fiscal diferenciado para promover seu uso. Um sistema de tributação baseado no desempenho ambiental e energético de combustíveis individuais, incluindo um imposto sobre o carbono (como já é o caso na Suécia) é uma forma de agregar valor à contribuição ambiental e social dos biocombustíveis, e de reduzir o vácuo de competitividade em relação aos combustíveis fósseis.

A *International Energy Agency – IEA* (2011) apresenta uma estimativa de custos detalhada para uma variedade de combustíveis com projeção até 2050 com base na análise das cadeias de suprimentos. Estas estimativas de custo refletem equivalentes de preço de varejo e levam em conta todos os passos-chave na produção de biocombustíveis, incluindo a produção e o transporte de matéria-prima, a conversão em combustível final, o transporte do combustível e o armazenamento. Além disso, a análise considera o custo da produção de biocombustíveis representado pelo uso do petróleo (para o transporte) e o efeito das mudanças no preço do petróleo sobre os preços de outros combustíveis e sobre os preços das *commodities* (como culturas). Os custos estimados de produção de biocombustíveis mostram diferenças significativas dependendo de fatores como escala da planta, complexidade tecnológica e custos da matéria-prima. Há poucos dados detalhados disponíveis sobre os custos de produção de biocombustíveis avançados, já que essa informação geralmente é confidencial. As estimativas de custos de produção de 2020-30 são baseadas nos menores custos fixos e variáveis de combustíveis, que podem ser alcançados (IEA, 2011).

No tocante ao bioetanol de primeira geração, o fator principal de custo é a matéria-prima, respondendo por 45% a 70% dos custos totais de produção. Em relação ao bioetanol de segunda geração, o fator principal de custo é o capital (35% a 50%), depois a matéria-prima (25% a 40%), sendo que, em longo prazo, a redução de volatilidade de custos de matéria-prima lhe deverá proporcionar uma vantagem vital (IEA, 2009).

A seguir são apresentadas duas análises de custos diferentes a fim de que sejam levadas em conta incertezas como a dinâmica entre o aumento dos preços do petróleo e os custos de produção de biocombustíveis.

Na Figura 2.2, são apresentadas as trajetórias de custo de cada combustível, considerando-se um cenário de baixo custo. No eixo vertical, está expresso o custo em dólares americanos por Lge[5]. Este cenário antecipa o impacto mínimo da subida dos preços do petróleo nos custos de produção de biocombustíveis. Os custos de produção de biocombustíveis caem com o aumento de escala e eficiência. Os custos (preço de varejo equivalente, não tributado) de biocombustíveis avançados, como o bioetanol de segunda geração e o biodiesel (BTL) alcança a paridade com o custo da gasolina de petróleo, em cerca de 2030 (IEA, 2011). O bioetanol de cana-de-açúcar continua sendo o biocombustível de menor custo ao longo do período.



Fonte: IEA, 2011[6].

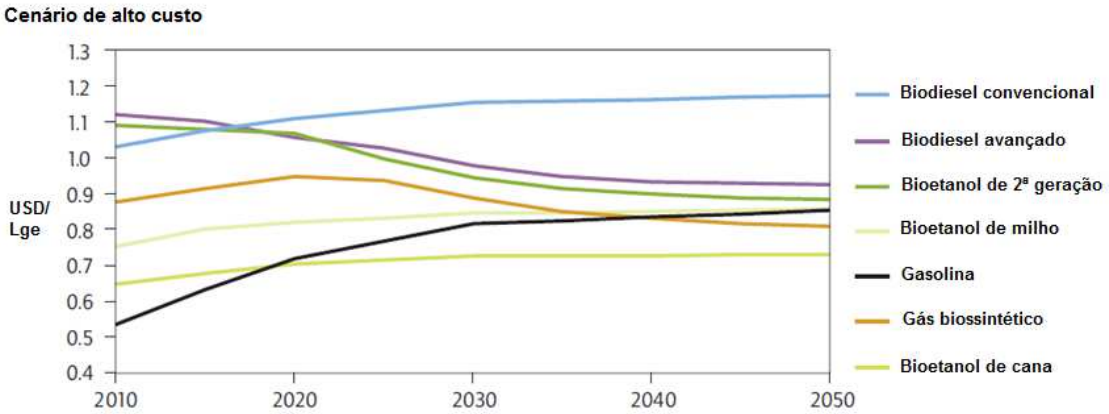
Figura 2.2: Custo de biocombustíveis x custo da gasolina (cenário de baixo custo).

Na Figura 2.3, são apresentadas as trajetórias de custo de cada combustível, considerando-se um cenário de alto custo. Neste cenário, os preços do petróleo têm um maior impacto na matéria-prima e nos custos de produção e a maioria dos biocombustíveis permanecem um pouco mais caros do que a gasolina / diesel, com óleo em US$ 120 o barril em 2050. No entanto, a diferença de custo total por litro em comparação com gasolina fóssil e diesel é de menos de US$ 0,10 em 2050 (com exceção do biodiesel convencional),

[5] Lge (*Litre per gasoline equivalent*) ou Litro por equivalente à gasolina

[6] Permitida a reprodução da figura de acordo com os termos de proteção contidos no endereço http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap.pdf

sendo que o gás biossintético e o bioetanol de cana-de-açúcar podem ser produzidos com custos bem menores.



Fonte: IEA, 2011[7].

Figura 2.3: Custo de biocombustíveis x custo da gasolina (cenário de alto custo).

A partir de 2030, a previsão do custo do bioetanol de milho é se encontrar próximo ao da gasolina, enquanto o custo do bioetanol de cana-de-açúcar se encontrará bem abaixo. Se os biocombustíveis avançados poderão atingir o custo dos combustíveis convencionais, esta questão depende de vários fatores que ainda geram incertezas. Se os preços do petróleo subirem acima de US$ 120 o barril, os biocombustíveis avançados alcançarão a competitividade mesmo no cenário de alto custo. Mesmo quantificando a economia de CO_2 em torno de US$ 50 por tonelada, também assim a maioria dos biocombustíveis atingirá o mesmo custo ou menor (IEA, 2011). Vale ressaltar que, embora outros estudos também apontem que os custos de produção do bioetanol de cana (próximo a US$ 0,25/litro) ainda se mantenham inferiores aos do bioetanol de milho (perto de US$ 0,28/litro) (MANOCHIO, 2014), alguns fatores no último período (2016/2017) têm contribuído para que o preço do bioetanol de cana, no Brasil, viesse a superar o custo do bioetanol de milho: os preços mais elevados do açúcar têm incentivado as usinas brasileiras a priorizar a

[7] Permitida a reprodução da figura de acordo com os termos de proteção contidos no endereço http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap.pdf

produção de açúcar ao invés de bioetanol de cana (NOVACANA, 2017h); e a colheita recorde de milho nos EUA favoreceu um aumento da produção de bioetanol de milho naquele país. Vale frisar que o bioetanol de milho americano, na primeira metade do mês de janeiro de 2017, era negociado com as distribuidoras pelo equivalente a R$ 1,66 o litro, enquanto o etanol de cana brasileiro estava, na mesma época, sendo negociado perto de R$ 2,09 por litro (sem considerar a incidência de PIS e Cofins) (RAMOS, 2017). Vale frisar que foi inaugurada, em agosto de 2017, uma usina para produção de bioetanol de milho em escala comercial em Mato Grosso com capacidade para produzir 240 milhões de litros por ano. Também em Mato Grosso, funcionam outras três usinas que usam o milho para fazer o bioetanol, mas estas são "flex" e processam também a cana-de-açúcar (GLOBO RURAL, 2017).

Com base no mapeamento tecnológico realizado pela IEA (2011), foi recomendada como estratégia para o aumento da eficiência e redução de custos do bioetanol de segunda geração a pesquisa e o desenvolvimento de melhoramentos de micro-organismos e enzimas; uso de açúcares C5, tanto para fermentação como para melhoramento de coprodutos; e utilização da lignina como provedor de energia ou matéria-prima, agregando valor.

No que tange às políticas dos países/blocos incentivadores dos biocombustíveis avançados, a Diretiva “Energias Renováveis” - DER[8] da União Europeia estabelece que, até 2020, cada Estado-Membro deve assegurar que a quota de energia proveniente de fontes renováveis utilizadas em todos os meios de transporte represente, pelo menos, 10% do consumo final de energia nos transportes. Na prática, considerando o presente estágio de desenvolvimento técnico, este objetivo só poderá ser alcançado através da utilização substancial de biocombustíveis. Em 2014, a taxa de incorporação de biocombustível no combustível utilizado nos transportes da União Europeia ficou em torno de 5% (TCE, 2016). Uma vez que os biocombustíveis produzidos a partir de culturas agrícolas concorrem com a produção alimentar, em 2015, o legislador europeu introduziu um limite máximo de 7% para a contribuição dos biocombustíveis produzidos a partir de culturas alimentares

[8] DER - Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE (TCE, 2016)

para a realização do objetivo de 10% para os transportes a ser alcançado até 2020, por meio da Diretiva (UE) 2015/1513[9] (TCE, 2016).

A DER inclui, em seu Art. 17º (Critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis e biolíquidos) um conjunto exigente de critérios a serem cumpridos para que os biocombustíveis sejam contabilizados para o alcance das metas nacionais referentes à energia renovável, e possam receber apoio financeiro. Entre os critérios de sustentabilidade estão (EC, 2009):

· A redução das emissões de GEE resultante da utilização de biocombustíveis deve ser de, pelo menos, 35%, passando a um mínimo de 50% (a partir de 01/01/2017). A partir de 01/01/2018, a redução deve ser de 60% para os biocombustíveis provenientes de usinas que iniciem suas atividades em 01/01/2017 (ou após essa data); e

· Os biocombustíveis não devem ser produzidos a partir de matérias-primas provenientes de terrenos ricos em biodiversidade, isto é, terrenos que em janeiro de 2008 (ou após essa data) tivessem um dos seguintes estatutos, independentemente de o terem ou não atualmente:

a) Floresta primária e outros terrenos arborizados;

b) Zonas designadas: i) por lei ou pela autoridade competente para fins de proteção da natureza, ou ii) para a proteção de espécies ou ecossistemas raros, ameaçados ou em risco de extinção, reconhecidas por acordos internacionais ou incluídas em listas elaboradas por organizações intergovernamentais ou pela União Internacional para a Conservação da Natureza.

c) Terrenos de pastagem ricos em biodiversidade, isto é: i) terrenos de pastagem naturais, ou seja, que continuariam a ser terrenos de pastagem caso não tivesse havido intervenção humana, e que mantêm a composição de espécies e as características e processos ecológicos naturais, ou ii) terrenos de pastagem não naturais, ou seja, terrenos de pastagem que deixariam de ser terrenos de pastagem caso não tivesse havido intervenção humana, com grande variedade de espécies e não degradados, a menos que se comprove

[9] Diretiva (UE) 2015/1513 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de setembro de 2015, que altera a Diretiva 98/70/CE relativa à qualidade da gasolina e do combustível para motores diesel e a Diretiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis (JO, 2015).

que a colheita de matérias-primas é necessária para a preservação do seu estatuto de terrenos de pastagem (SAMPAIO, 2013).

Em 2007, foi publicada nos EUA a Lei Federal *Energy Independency and Security Act* (EISA), que contém vários itens que visam primordialmente à segurança energética do país, via redução da dependência do petróleo e diversificação da matriz energética, mas também busca reduzir as emissões de GEE. Dentro deste item, se destaca o *Renewable Fuel Standard* revisado (RFS2) para estender o alcance da versão anterior contida no *Energy Policy Act* de 2005 (SAMPAIO, 2013).

As quatro categorias de combustível renovável sob o RFS são: Diesel à base de biomassa; Biocombustível celulósico; Biocombustível avançado; e Combustível total renovável. A promulgação da EISA em 2007 aumentou significativamente o tamanho do programa e incluiu mudanças importantes, incluindo: aumento dos objetivos de longo prazo para 36 bilhões de galões de combustível renovável; e extensão dos requisitos de volume anual até 2022 (EPA, 2017).

2.2. Biorrefinaria

O desenvolvimento da biorefinaria tem dois objetivos estratégicos: a substituição de petróleo importado por renováveis baseados em matérias-primas domésticas (um objetivo de energia) e o estabelecimento de uma indústria robusta de biocombustíveis (um objetivo econômico). Apesar do seu alto volume, o combustível é produto de baixo valor. Como resultado, o retorno do investimento em operações apenas para biocombustíveis representam uma barreira significativa para a realização do objetivo econômico da biorrefinaria. O alto valor de produtos bioquímicos de menor volume fornece este incentivo. (BOZELL e PETERSEN, 2010).

No que concerne às inovações de produtos com base em matérias-primas renováveis, as biorrefinarias integram uma visão multiproduto, em que se exploram diversas correntes e processos, onde os produtos energéticos aparecem ao lado de produtos químicos (BOMTEMPO e COUTINHO, 2011). As biorrefinarias podem, potencialmente, fazer uso de uma ampla variedade de fontes de biomassa e permitir uma utilização mais eficiente dos recursos do

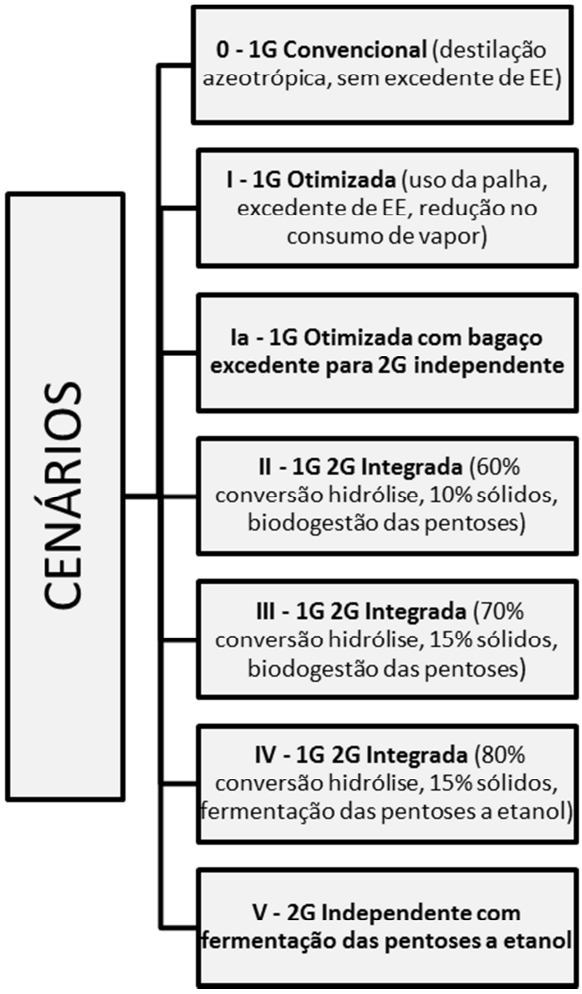
que as atuais unidades de produção de biocombustíveis, reduzindo a concorrência entre os diferentes usos da biomassa, assim como os conflitos e competição por terra e matéria-prima (IEA, 2011). Frisa o WEF (2010), por sua vez, que as biorrefinarias podem ter um papel importante a desempenhar no combate às alterações climáticas, complementando a demanda por energia sustentável, por produtos químicos e materiais, auxiliando potencialmente a segurança e independência energética, criando, portanto, novas oportunidades e mercados em um movimento no sentido da produção de base biológica.

O conceito de biorrefinaria consiste em produzir uma variedade de produtos, combustíveis e energia, a partir de matéria-prima de fonte renovável ou resíduo da agroindústria por rota química ou biotecnológica. A competitividade econômica da operação baseia-se na produção de coprodutos de alto valor e de baixo volume, além de biocombustíveis comparativamente de menor valor. As biorrefinarias podem processar diferentes matérias-primas de biomassa em energia, além de um espectro de produtos intermediários e finais comercializáveis, como alimentos e produtos químicos (de JONG e VAN REE, 2009). Duas categorias principais podem ser definidas: as biorrefinarias orientadas por energia, que incluem unidades de biocombustíveis; e biorrefinarias orientadas por produtos, que se concentram na produção de alimentos, produtos químicos e podem gerar energia ou calor como coproduto (DE JONG e JUNGMEIER, 2015).

Uma biorrefinaria pode consistir em uma única unidade como, por exemplo, uma fábrica de papel que produz polpa e papel e ainda gera eletricidade a partir de resíduos de processamento. Também pode ser formada por um conjunto de instalações que processam subprodutos ou resíduos das instalações vizinhas. As biorrefinarias podem potencialmente fazer uso de uma variedade mais ampla de matérias-primas de biomassa e permitir um uso mais eficiente dos recursos do que as atuais unidades de produção de biocombustíveis e reduzir a concorrência entre diferentes usos da biomassa. Atualmente estão sendo desenvolvidos e implementados vários conceitos inovadores de biorrefino. Alguns desses conceitos atingiram altos graus de complexidade, utilizando simultaneamente diferentes matérias-primas (por exemplo, algas, miscanthus e microplaquetas de madeira de baixa rotação) para coproduzir um amplo espectro de produtos diferentes (por exemplo,

etanol, fenol, ácidos graxos, biodiesel). Não é uma tarefa fácil para indústria, governo e investidores decidir a configuração mais adequada de uma biorrefinaria para a obtenção dos melhores resultados no curto, médio ou longo prazo, além de avaliar a tecnologia e riscos econômicos inerentes (IEA, 2017b).

Destaque-se o estudo realizado por Bonomi (2011), em que são comparados os desempenhos de sete cenários, conforme Figura 2.4, os quais, na essência, revelam a confrontação entre dois modelos relacionados à biorrefinaria: Produção Integrada à Primeira Geração x Unidade Independente.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de BONOMI, 2011.

Figura 2.4: Cenários de produção de bioetanol em biorrefinarias.

No estudo de Bonomi (2011), foram avaliados quatro tópicos principais para cada um dos cenários apresentados:

a) Produção de Bioetanol (em L/TC, ou seja, litros por tonelada de cana) e de Eletricidade (em KWh/TC);
b) Investimento (em milhões de reais);
c) TIR (Taxa Interna de Retorno)[10] ao ano;
d) Custo de produção de etanol (R$/L)

Os resultados mostraram que o cenário IV de integração da produção do etanol de 2ª geração com a produção de etanol de cana-de-açúcar, com 80% de conversão na hidrólise e com a fermentação das pentoses a etanol, revelou o melhor desempenho em volume de produção de etanol (cerca de 120 litros por tonelada de cana), bem como o menor custo de produção de etanol (cerca de R$ 0,54 por litro produzido), como também a melhor performance em termos de taxa interna de retorno (17% ao ano).

Considerando para o cenário Ia (Primeira Geração Otimizada com Bagaço Excedente para Segunda Geração Independente), o valor de R$ 100 por tonelada de biomassa (bagaço excedente) fornecida à unidade de segunda geração, verifica-se que a taxa interna de retorno dos cenários I (Primeira Geração Otimizada) e Ia se equivalem em torno de 15% ao ano, só perdendo para o cenário IV com 17% ao ano. Vale notar que aquilo que representa receita para o cenário Ia representa custo para o cenário V (Segunda Geração Independente e Fermentação de Pentoses) fazendo com que a taxa interna de retorno deste último, cerca de 10% ao ano, seja a pior dentre todos os cenários estudados.

A maximização da geração de bioeletricidade na biorrefinaria se encontra verificada no cenário I (Primeira Geração Otimizada) com produção de cerca de 170 KWh por tonelada de cana, representando aproximadamente o dobro do segundo melhor desempenho de cerca de 85 KWh por tonelada de cana

[10] A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros (desconto) que iguala, em determinado momento do tempo, o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) previstas de caixa. A TIR é usada como método de análise de investimentos, onde o investimento será economicamente atraente se a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade (taxa de retorno esperada pelo investimento). A TIR também é utilizada na comparação entre dois ou mais projetos de investimentos. O projeto que apresentar o maior valor da TIR será o projeto economicamente mais atraente. (PEREIRA e ALMEIDA, 2008)

apresentado pelo cenário II (Primeira e Segunda Geração Integrada com 60% de conversão na hidrólise e biodigestão das pentoses).

Como estratégias de aproveitamento para a produção integrada primeira e segunda geração na biorrefinaria, pode-se considerar o aproveitamento de resíduos para geração de energia, incluindo a produção de biogás por meio da biodigestão da vinhaça (previamente ao seu uso na fertirrigação da lavoura) e o uso dos resíduos da produção de etanol de 2ª geração como combustíveis em caldeiras: liberando todo bagaço e toda palha disponibilizada para produção de etanol de 2ª geração (BONOMI, 2011).

Biocombustíveis avançados assumirão um papel cada vez mais importante no desenvolvimento de biorrefinarias a curto prazo, complementando bioetanol e biodiesel de primeira geração. O sucesso depende de se encontrar a combinação certa entre os esforços contínuos em biocombustíveis com integração gradativa e tempestiva de produtos bioquímicos. Neste sentido, combinações apropriadas de produtos e processos de seleção de tecnologia com planos de desenvolvimento de negócios razoáveis irão proporcionar semelhante resultado dentro de uma indústria de biorrefino madura (BOZELL e PETERSEN, 2010).

2.3. Matérias-primas

Dentre as matérias-primas utilizadas para a produção de bioetanol de segunda geração, destacam-se o bagaço da cana-de-açúcar (Raízen), a palha da cana-de-açúcar (GranBio), a palha de milho (Poet-DSM, Abengoa e Dupont), a palha de trigo (BetaRenewables), e resíduos sólidos urbanos (Enerkem) (NOVACANA, 2016a). Embora, no Brasil, já houvesse projetos para produzir etanol a partir de madeira desde a década de 1970 (NOVACANA, 2013), atualmente, no cenário brasileiro, se sobressai a cana-de-açúcar devido à sua disponibilidade.

A cana-de-açúcar é composta essencialmente de caule e palha. A palha da cana-de-açúcar é composta por folhas verdes, folhas secas e pelo ponteiro da cana-de-açúcar. Os caules da cana-de-açúcar são moídos para obtenção do caldo de cana, o qual é posteriormente utilizado para a produção de açúcar ou etanol. A fração residual da moagem do caule da cana é designada por

bagaço. O bagaço e a palha da cana-de-açúcar são normalmente queimados nas indústrias para fornecer toda a energia necessária ao processo. Se, em vez disso, ambos fossem utilizados para a produção de etanol, maior quantidade de etanol seria produzido a partir do processamento da cana-de-açúcar (CANILHA *et al.*, 2012).

O bagaço e a palha da cana-de-açúcar são compostos quimicamente de celulose, hemicelulose e lignina. As frações de celulose e de hemicelulose são constituídas por uma mistura de polímeros de carboidratos. Várias estratégias diferentes foram visualizadas para converter os polissacarídeos em açúcares fermentáveis. Uma estratégia hidrolisa a fração de hemicelulose com ácidos diluídos, seguido da hidrólise de celulose com enzimas. A fração celulósica é sólida e rica em glicose e a fração hemicelulósica é líquida e rica em xilose, glicose e arabinose e ambas (sólida e líquida) podem ser fermentadas para produzir etanol (CANILHA *et al.*, 2012). A fermentação das hexoses pode ser realizada com a utilização de leveduras tradicionais, as mesmas utilizadas na produção do bioetanol de segunda geração. Entretanto, a fermentação das pentoses é mais complexa e requer a utilização de microrganismos geneticamente modificados (BNDES e CGEE, 2008). A fermentação das pentoses ainda apresenta rendimentos bem inferiores à fermentação das hexoses revelando assim um espaço para futuros ganhos de produtividade na produção do bioetanol de segunda geração (YU, 2016). No desenvolvimento de leveduras capazes de fermentar pentoses ou simultaneamente pentoses e hexoses, há a presença de grandes empresas de biotecnologias, como Dupont e DSM. Também é significativa a participação de empresas menores, como a Leaf Tecnologies, C5 Yeast Company e Iogen, que atuam em parcerias com outras empresas com maiores recursos financeiros e/ou recursos produtivos complementares (SOARES, 2016).

O bagaço da cana-de-açúcar - que é um material complexo e principal subproduto da indústria de cana-de-açúcar, é composto por aproximadamente 50% de celulose, 25% de hemicelulose e 25% de lignina (PANDEY *et al.*, 2000). E a palha da cana-de-açúcar possui composição média de 45 a 48% de celulose, 26 a 31% de hemicelulose e 7 a 20% de lignina (SINGH *et al*., 2008).

2.4. Pré-tratamento

O pré-tratamento de materiais lignocelulósicos consiste no primeiro passo com vistas a amenizar a interação existente entre os principais componentes da fitobiomassa. Seu objetivo está em alterar ou remover barreiras estruturais e fazer esses materiais mais propensos à conversão em biocombustíveis e/ou insumos para a indústria química (CHIARAMONTIA *et al*., 2012; GÁMEZ *et al.*, 2006). De acordo Balat *et al.* (2008), um adequado método de pré-tratamento deve atender os seguintes requisitos: melhorar a produção de açúcares ou gerar substratos que possam ser facilmente convertidos a açúcares livres por hidrólise ácida ou enzimática; evitar a perda de carboidratos por reações de desidratação; impedir a formação de subprodutos que possam inibir as etapas subsequentes de hidrólise enzimática e fermentação; ser economicamente viável; e ser correto em termos ambientais.

Diversos métodos de pré-tratamento têm sido propostos na literatura, os quais se baseiam em processos físicos, químicos, biológicos ou na combinação destes. Dentre os vários processos apresentados na literatura, os mais frequentes são explosão a vapor (PITARELO *et al*., 2012; MARTÍN *et al.*, 2008); hidrólise ácida (TAHERZADEH e KARIMI, 2007; ZHANG *et al*., 2007); baseados no emprego de álcali (PARK e KIM, 2012; HERNÁNDEZ-SALAS *et al*., 2009); amônia liquida (AFEX) (BALAT *et al.,* 2008); líquidos iônicos (LI *et al*., 2010; NGUYEN *et al*., 2010); e moagem (BUABAN *et al*., 2010; INOUE *et al*., 2009). Estes métodos têm como objetivo desagregar a estrutura associativa da lignocelulose a fim de produzir biocombustíveis ou insumos químicos derivados da biomassa.

Os pré-tratamentos físicos visam a redução do tamanho das partículas por meio de moagem, ampliando a área superficial e o acesso do substrato aos processos de hidrólise (ALVIRA *et al*., 2010). A principal vantagem deste processo reside na não geração de produtos de desidratação de carboidratos resultantes, geralmente, de processos termoquímicos baseados no efeito da hidrólise ácida (BUABAN *et al.*, 2010), embora não seja atraente devido ao seu alto custo energético (HENDRIKS e ZEEMAN, 2009).

Os pré-tratamentos biológicos, em geral, utilizam fungos para solubilizar a lignina (BALAT *et al*., 2008), sendo considerados lentos, apresentando baixos rendimentos e baixo acesso à hidrólise enzimática. No entanto, possuem a vantagem de consumir pouca energia, podendo ocorrer em condições ambientes (GRAF & KOEHLER, 2000).

Dentre os pré-tratamentos utilizados para a produção de bioetanol de segunda geração, destacam-se o pré-tratamento com ácido diluído (Raízen, Poet-DSM e Abengoa), com explosão à vapor (GranBio e BetaRenewables), e pré-tratamento alcalino (Dupont) (NOVACANA, 2016a). No âmbito brasileiro se destacam o pré-tratamento com ácido diluído e o com explosão à vapor.

Assim, considerando que as principais unidades produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial no mundo utilizam como pré-tratamento os tipos com ácidos diluídos, de explosão a vapor e o alcalino, serão abordados a seguir aspectos inerentes a cada um destes três tipos de pré-tratamento.

Os pré-tratamentos com ácidos podem ser realizados tanto em meio diluído como em meio concentrado. Este processo objetiva solubilizar as hemiceluloses, tornando a celulose de mais fácil acesso a agentes externos (HENDRIKS e ZEEMAN, 2009). Entretanto, o uso de ácido concentrado é menos aceitável devido à necessidade de utilização de etapas de neutralização anteriores à hidrólise enzimática, além de desvantagens relativas ao elevado custo operacional e à possível corrosão de equipamentos (WYMAN, 1996). Por outro turno, o pré-tratamento com ácido diluído se revela mais atraente para emprego industrial e tem sido estudado no processamento de várias biomassas lignocelulósicos (HSU, *et al*., 2010).

O pré-tratamento com ácido diluído tem sido um dos mais estudados (MOSIER *et al*., 2005). No processo, uma solução de ácido mineral é aquecida juntamente com a biomassa em temperaturas que variam de 140 a 200°C. Entretanto, o pré-tratamento com ácido diluído exige o uso de matérias-primas previamente moídas e com baixo teor de cinzas. Em que pese o pré-tratamento com ácido diluído hidrolisar quase toda a hemicelulose, seu custo é geralmente mais alto do que o de outros processos como a explosão a vapor. Também é importante a neutralização do hidrolisado para ajustamento das etapas seguintes de hidrólise enzimática e fermentação (CONDE-MEJÍA *et al*., 2012).

O pré-tratamento com ácido diluído pode ser combinado com outro processo, podendo o ácido diluído funcionar como catalisador, a exemplo do ácido sulfúrico, que é o catalisador mais comumente utilizado no processo de explosão a vapor (CHEN *et al*., 2011).

O pré-tratamento por explosão a vapor tem sido considerado um dos métodos mais propícios para separar os principais constituintes do material lignocelulósico (CHIARAMONTI *et al*., 2012; RAMOS, 2003). Este processo opera tanto química como fisicamente na transformação do material lignocelulósico envolvendo o tratamento da biomassa com vapor saturado em temperaturas que variam de 160 e 240°C. A adição de catalisadores pode levar a uma remoção mais completa das hemiceluloses, tornando a biomassa mais suscetível aos processos de hidrólise ácida ou enzimática (CHIARAMONTI *et al*., 2012). O pré-tratamento por explosão a vapor possui a vantagem de demandar baixo consumo de energia, quando comparado aos processos físicos, apresenta menor impacto ambiental e necessita de pouco investimento de capital (RUIZ *et al*., 2008).

O principal efeito dos processos alcalinos consiste na remoção da lignina da biomassa, promovendo maior conversão das fibras de celulose durante a etapa de hidrólise enzimática. Tais processos utilizam condições moderadas de operação (temperatura e pressão), em comparação com sistemas ácidos. No entanto, quando utilizadas baixas temperaturas, os tempos de pré-tratamento podem variar dias ou mesmo semanas (PARK e KIM, 2012). O tratamento alcalino também pode ser realizado por agentes oxidantes como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que normalmente eleva o rendimento de remoção da lignina (CARVALHEIRO *et al*., 2008).

2.5. Processo Produtivo

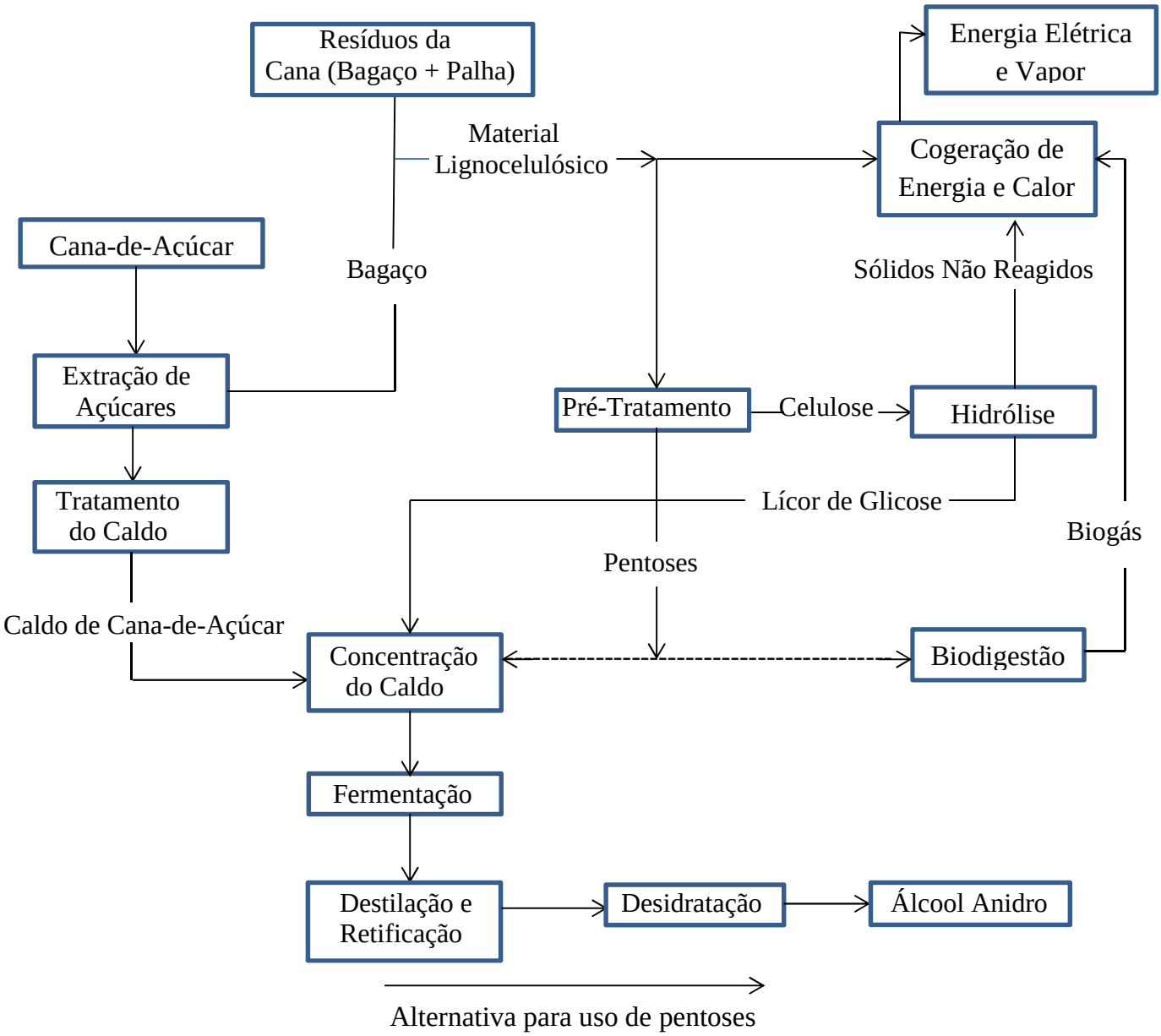
A produção de etanol de segunda geração do bagaço e da palha da cana-de-açúcar foi avaliada em plantas integradas de produção de etanol de primeira e segunda geração e em plantas independentes de produção de etanol de segunda geração. Atualmente, o excedente de palha e bagaço é pré-tratado pela ação de explosão a vapor, seguida ou não por uma etapa alcalina de

deslignificação[11]. Bagaço e palha de cana são excelentes alternativas de produção de energia para o Brasil. O crescimento da produção de etanol de segunda geração está alimentando a produtividade do etanol brasileiro sem a necessidade de expansão das áreas cultivadas (ABIMAQ, 2009).

O volume excedente dos resíduos da colheita da cana, comumente conhecido como palha da cana-de-açúcar, tem uma composição similar à do bagaço em termos de celulose e hemicelulose. Por outro lado, a palha da cana apresenta menor teor de lignina, que é aproximadamente 30% menor que o do bagaço (SOARES e ROSSEL, 2007).

O material pré-tratado sofre hidrólise enzimática durante a qual a celulose é convertida em glicose. Após o pré-tratamento, realiza-se a deslignificação e a hidrólise, ocorrendo uma separação sólido-líquido. Após o pré-tratamento, é obtido o licor de pentoses, o qual pode ser biodigerido ou fermentado para etanol. Após deslignificação, a solução de lignina obtida é acidificada e a lignina sólida é recuperada em outro sistema de separação sólido-líquido. Depois da hidrólise enzimática, a celulose não reagida é enviada para cogeração juntamente com a lignina recuperada e o biogás oriundo da biodigestão de pentoses. O licor de glicose é concentrado juntamente com o caldo de cana (no processo integrado de primeira geração), e ambos fermentados em etanol. A Figura 2.5 mostra um diagrama de blocos de fluxo de processo de produção de etanol de segunda geração, integrado com a primeira geração.

[11] Deslignificação ou polpação é um processo químico que tem por objetivo a remoção da lignina e individualização das fibras no tecido vegetal. Processos de deslignificação alcalina se caracterizam por promoverem reduzida transformação estrutural nas moléculas sacarídicas, diferentemente dos processos ácidos e oxidativos (CALDAS, 2011).



Fonte: Adaptado de DIAS *et al.* 2012.

Figura 2.5: Processo de produção integrada de etanol de segunda geração.

2.5.1 Configurações

Há diferentes estratégias para a produção de etanol a partir da biomassa; que consistem em processos biotecnológicos (rota bioquímica) e processos catalíticos (rota termoquímica) (SOUSA-AGUIAR e DA SILVA, 2010).

A rota bioquímica se constitui em preparar a biomassa para que seus carboidratos fiquem acessíveis à ação de micro-organismos, que geram etanol

como produto de seu metabolismo. Esses açúcares também podem ser utilizados como matéria-prima base para a produção de diferentes substâncias químicas nas biorrefinarias (WERPY e PETERSEN, 2004).

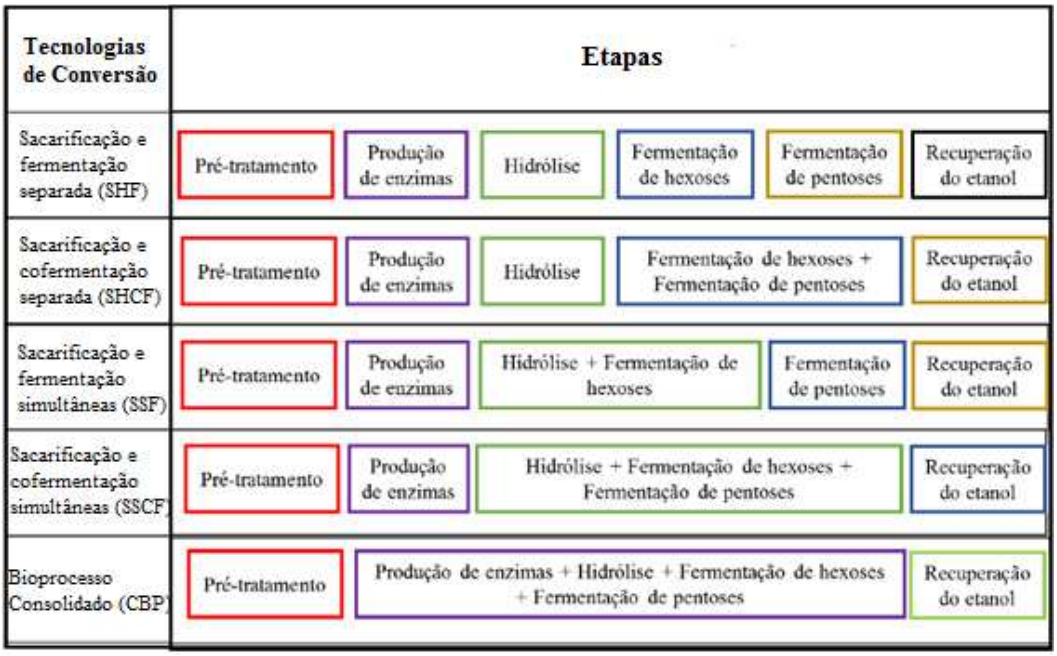
A rota termoquímica envolve processos térmicos, que podem ser combinados a processos catalíticos, para a conversão de materiais carbonáceos em combustíveis, químicos e energia. Esses processos incluem a combustão, a gaseificação e a pirólise. A combustão consiste na queima do material a altas temperaturas e excesso de ar ou oxigênio, gerando gases e energia. A gaseificação se constitui em processo similar em condições limitadas e controladas de oxigênio para a geração de gás de síntese, um importante intermediário químico. A pirólise é um processo térmico em ausência de oxigênio, com geração de bio-óleo, um intermediário precursor da formação de sólidos (carvão), líquidos (alcatrão) e gases (metano, monóxido de carbono e dióxido de carbono) (CRUZ, 2012; SOUZA-AGUIAR e DA SILVA, 2010; MATAR e HATCH, 2005).

Existem também os processo híbridos resultantes da combinação das rotas acima mencionadas, os quais podem ocorrer de modo sequencial ou em paralelo. Na forma sequencial, ocorre a gaseificação da biomassa e, em seguida, a fermentação do gás de síntese realizada por bactérias do gênero *Clostridium* (GNANSOUNOU, 2010). No modo em paralelo, as etapas de fermentação de açúcares e gaseificação de materiais carbonáceos ocorrem de forma independente, de maneira que o produto do metabolismo do micro-organismo e o gás de síntese são submetidos a reações catalíticas, gerando etanol como produto final (CUNHA, 2013).

No cenário mundial, dentre as vias utilizadas para a produção de bioetanol de segunda geração, destaca-se a via bioquímica, a qual é usada pelas principais empresas produtoras, sendo a via termoquímica usada por poucas empresas, a exemplo da Enerkem. A via bioquímica é realizada segundo algumas configurações, dentre as quais têm se realçado a sacarificação e fermentação simultâneas – SSF (Poet-DSM, Abengoa e Dupont), e a sacarificação e co-fermentação simultâneas – SSCF (Raízen, GranBio e BetaRenewables) (NOVACANA, 2016a). No Brasil, predomina a configuração sacarificação e co-fermentação simultâneas – SSCF, usada pelas duas principais empresas produtoras de bioetanol celulósico.

Na produção de bioetanol de segunda geração, destaca-se a via bioquímica, por meio da qual são utilizadas duas etapas (hidrólise e fermentação) para converter a lignocelulose em etanol ou uma única etapa reunindo as duas anteriormente mencionadas.

O processo de produção de bioetanol celulósico é realizada por meio de quatro etapas sucessivas: o pré-tratamento da biomassa, que objetiva elevar a acessibilidade dos carboidratos à conversão; a hidrólise enzimática, que converte os carboidratos em açúcares fermentescíveis; a fermentação, a qual é responsável pela produção de bioetanol; e, por fim, a recuperação do bioetanol por destilação. Estas etapas podem ser realizadas segundo cinco configurações principais: em unidades independentes, como por exemplo, o processo de sacarificação e fermentação separada (SHF) ou de forma integrada, como os processos de Sacarificação e fermentação simultâneas (SSF), sacarificação e co-fermentação separada (SHCF), sacarificação e co-fermentação simultâneas (SSCF) e, por fim, o bioprocesso consolidado (CBP) (GÍRIO *et al*., 2010). A descrição das etapas de processo envolvidas em cada configuração é ilustrada na Figura 2.6.



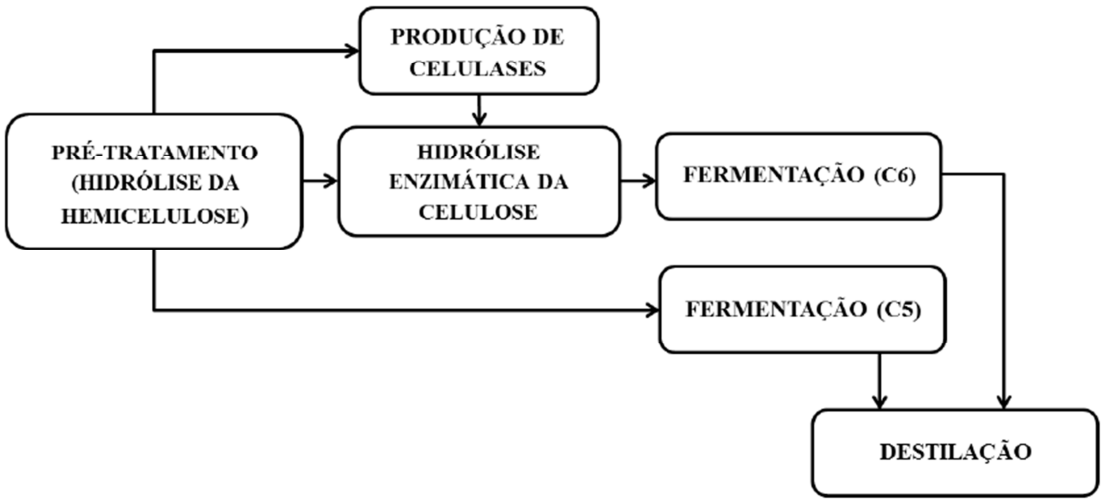
Fonte: Adaptado de COSTA, 2016.

Figura 2.6: Etapas do processo de produção para cada tecnologia de conversão.

As diferentes configurações de processos podem ser definidas conforme a integração das etapas de hidrólise enzimática e fermentação, conforme a seguir disposto.

2.5.1.1. Sacarificação e fermentação separada (SHF)

No processo de Fermentação e Hidrólise Separadas (SHF), cujo esquema representativo se encontra na Figura 2.7, o sólido resultante do pré-tratamento, após ser conduzido às etapas posteriores de lavagem para remoção dos inibidores, é submetido à etapa de hidrólise enzimática pela adição de enzimas celulolíticas. O hidrolisado, então, é convertido em etanol por leveduras de fermentação convencionais ou outros micro-organismos em potencial. Neste caso, os processos de hidrólise e fermentação podem ocorrer em diferentes temperaturas, observando-se as mais favoráveis para cada processo, 45-50 °C para hidrólise e em torno de 32-37 °C para fermentação (BRETHAUER e WYMAN, 2010).



Fonte: RODRIGUES, 2014.

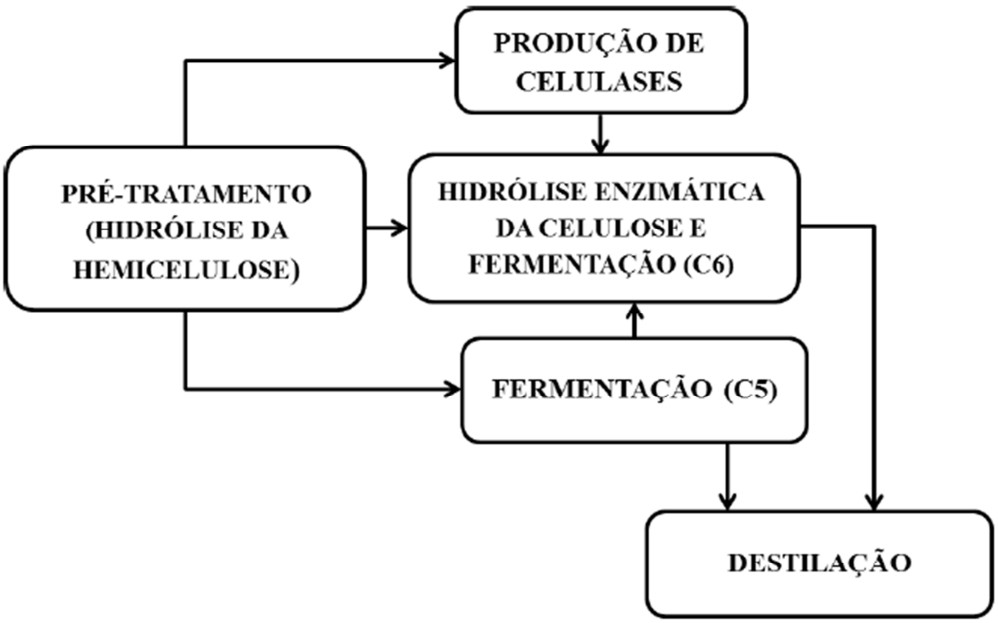
Figura 2.7: Esquema representativo do processo de fermentação e hidrólise separadas.

No processo SHF, o material lignocelulósico resultante do pré-tratamento é conduzido à hidrólise enzimática. Após a sacarificação da celulose, o hidrolisado decorrente é fermentado e convertido a etanol em um reator separado (SANCHEZ e CARDONA, 2008). A maior vantagem desta

configuração é permitir que os processos de hidrólise enzimática e fermentação ocorram em condições ótimas. Por outro turno, a grande desvantagem desta configuração se relaciona à inibição do complexo celulotítico pelos seus produtos de hidrólise, glucose e celobiose, que se reúnem no meio reacional, provocando rendimentos baixos em razão da hidrólise incompleta da celulose (WINGREN *et al*., 2005). Outra desvantagem da configuração SHF consiste na possibilidade de contaminação, uma vez que, como a etapa de hidrólise demanda tempos muito extensos, o hidrolisado rico em açúcares torna-se uma fonte acessível para fermentações secundárias (TAHERZADEH e KARIMI, 2007).

2.5.1.2. Sacarificação e fermentação simultâneas (SSF)

Na configuração SSF (Fermentação e Hidrólise Simultâneas), cujo esquema se encontra representado na Figura 2.8, a hidrólise enzimática e fermentação são realizadas em um único equipamento. Neste caso, a glicose resultante da ação de celulases é convertida diretamente para etanol o que reduz os efeitos de inibição pelo produto.



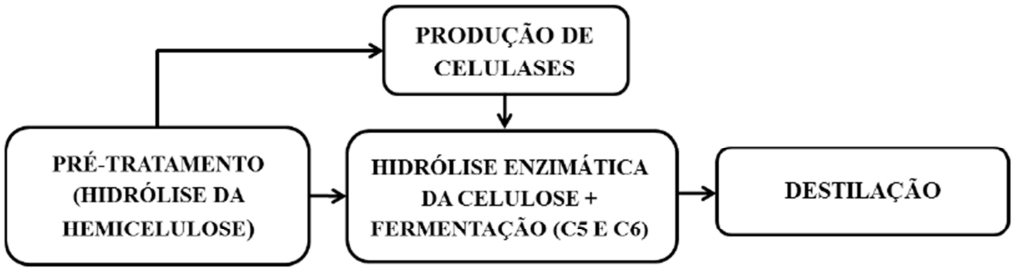
Fonte: RODRIGUES, 2014.

Figura 2.8: Esquema representativo do processo de fermentação e hidrólise simultâneas.

No processo SSF, as enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator, reduzindo o tempo de processamento e a inibição das celulases pelo acúmulo de seus produtos (celobiose e glucose), tendo em vista que a glucose liberada por hidrólise é aceleradamente convertida a etanol pelos microrganismos da fermentação (WATANABE *et al*., 2010; OLSSON *et al*., 2006). A configuração SSF é menos complexa e exige menor investimento de capital, se comparada à SHF, pois diminui o número de reatores e reduz o risco de contaminação em virtude da manutenção de pequenas concentrações de açúcar livre no meio reacional (VÁSQUEZ *et al*., 2007). A desvantagem desta configuração está relacionada à diferença entre as temperaturas ótimas para as enzimas hidrolíticas e para os microrganismos de fermentação (BINOD *et al*., 2010). No entanto, uma estratégia para solucionar esta desvantagem consiste em fazer uma etapa de pré-sacarificação, onde o complexo celulolítico é adicionado ao substrato e, depois de certo tempo, a temperatura é reduzida e a levedura adicionada ao meio para a produção de etanol (MESA *et al*., 2011).

2.5.1.3. Sacarificação e co-fermentação simultâneas (SSCF)

No processo Hidrólise e Co-fermentação Simultâneas (SSCF), cujo esquema se encontra representado na Figura 2.9, a hidrólise enzimática da celulose e co-fermentação de pentoses e hexoses são realizadas em um mesmo biorreator com auxílio de micro-organismos apropriados para a fermentação tanto de pentoses quanto de hexoses.



Fonte: RODRIGUES, 2014.

Figura 2.9: Esquema representativo do processo de hidrólise e co-fermentação simultâneas.

A configuração sacarificação e co-fermentação simultâneas (SSCF) representa a integração dos processos de SSF e de CF (CARDONA *et al*., 2010). A co-fermentação (CF) de hidrolisados lignocelulósicos compreende a utilização de microrganismos capazes de fermentar pentoses e hexoses de modo indiscriminado. Como esta capacidade é raramente identificada na natureza, a realização deste processo necessita da modificação genética de microrganismos hospedeiros, como alguns tipos de leveduras industriais (SCHLITTLER *et al*., 2012). A co-fermentação pode também ocorrer pelo uso simultâneo de duas ou mais leveduras, capazes de fermentar pentoses ou hexoses individualmente. Além disso, a remoção dos hidrolisados hemicelulósicos após o pré-tratamento pode diminuir eventuais efeitos inibitórios sobre as etapas de hidrólise enzimática e fermentação.

Outra configuração vem sendo estudada para a produção de etanol de segunda geração envolvendo a sacarificação, filtração e fermentação simultâneas (SSFF). Neste processo, a biomassa, após o pré-tratamento, é hidrolisada por enzimas em um reator e o hidrolisado resultante é filtrado por meio de uma membrana de fluxo cruzado (*cross-flow membrane*) para o tanque de fermentação. A configuração SSFF permite que as enzimas e as leveduras possam ser utilizadas em suas condições ótimas. Também é possível reaproveitar os microrganismos de fermentação por diversas vezes (ISHOLA *et al*., 2013).

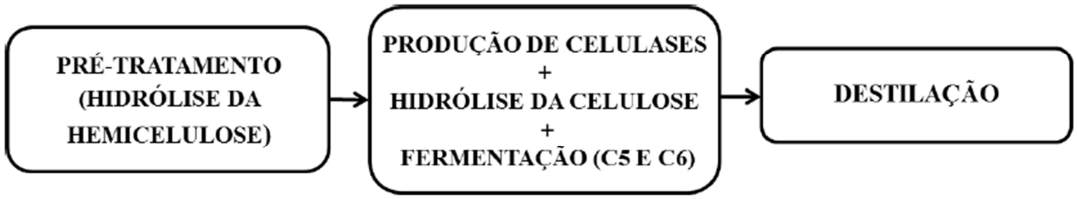
2.5.1.4. Sacarificação e co-fermentação separadas (SHCF)

Uma alternativa à tecnologia de conversão SSCF, denominada sacarificação e co-fermentação separadas (SHCF), consiste na hidrólise enzimática do sólido, previamente pré-tratado e separado do hidrolisado hemicelulósico, em condições ótimas para a ação das enzimas, seguida pela co-fermentação dos açúcares contidos nos hidrolisados celulósico e hemicelulósico, também em condições ótimas para a ação dos micro-organismos (ZHAO *et al.*, 2012). Outra estratégia utilizada para contornar os efeitos negativos provocados pelas condições adversas de temperatura e pH, bem como pelos inibidores existentes no hidrolisado hemicelulósico, consiste em conduzir a fermentação deste hidrolisado previamente à hidrólise

enzimática do sólido pré-tratado, que, por sua vez, precede a bioconversão da glicose, oriunda da celulose, em bioetanol, também por fermentação (TENGBORG *et al.*, 2001).

2.5.1.5. Bioprocesso consolidado (CBP)

Na produção de etanol por meio do bioprocesso consolidado (CBP), cujo esquema se encontra representado na Figura 2.10, a produção da enzima, hidrólise enzimática e fermentação integram um único processo. É considerada a estratégia mais promissora na produção de etanol celulósico, uma vez que os custos de investimento de capital, matérias-primas e utilitários relacionados à produção de enzimas pode ser evitada (XU *et al.*, 2009; HASUNUMA e KONDO, 2012).



Fonte: RODRIGUES, 2014.

Figura 2.10: Esquema representativo do bioprocesso consolidado.

Finalmente, a última estratégia, consiste no bioprocesso consolidado (CBP) onde a co-fermentação (CF) e a produção de enzimas são realizadas por um único micro-organismo. Entretanto, os processos de SSCF e CBP são inteiramente dependentes de técnicas genéticas para serem consolidados (SCHLITTLER *et al.*, 2012).

2.6. Etapas Críticas

Há um critério reconhecido que mede, em uma escala de 1 a 9, o grau de maturidade de uma dada tecnologia, atribuído originalmente à NASA – o TRL (*technology readiness level*). Cada nível corresponde ao atendimento de

determinado número de requisitos, sendo 1 o nível mais elementar (estágio de pesquisa básica) e 9 o nível de tecnologias prontas para serem utilizadas comercialmente. O estágio de comercialização do bioetanol de segunda geração situa-se no nível TRL 8, o qual significa que os problemas de produção se encontram resolvidos tendo sido atingida a escala comercial, entretanto, não se pode considerar ter sido atingida a plena comercialização do produto (EUROPEAN COMISSION, 2015).

O escalonamento da produção de etanol de segunda geração envolve fases críticas e tecnologias complexas, que se encontram especificadas a seguir.

A. Tecnologias de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica

O pré-tratamento apresenta os maiores desafios a serem ainda superados a fim de consolidação da produção. Existem diversos processos sendo utilizados - conforme tecnologias de pré-tratamento de biomassa lignocelulósicas apresentadas na Tabela 2.1 - todos com graus de maturidade ainda abaixo de 9. Os que apresentam maior grau de maturidade são as tecnologias de explosão a vapor (TRL 6-8), de ácido diluído (TRL 5-7) e pré-tratamento alcalino com amônia diluída (TRL 5-7). Os de menor grau de maturidade são as tecnologias de líquidos iônicos (TRL 2-3) e pré-tratamento supercrítico – CO_2 (TRL 2-4). No desenvolvimento dos pré-tratamentos devem ser enfrentados, em primeiro lugar, os problemas específicos de cada matéria-prima, além de se buscar pré-tratamentos flexíveis que possam operar com diferentes matérias-primas (HARMSEN *et al*., 2010; GARCIA *et al*., 2014).

Tabela 2.1: Tecnologias de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica.

TECNOLOGIAS	TRL	OPORTUNIDADES	BARREIRAS
Explosão a vapor	6 – 8	- Economicamente viável - Elevados rendimentos de glicose - Remoção de lignina e hemicelulose	- Frequentemente, o catalisador precisa otimizar o pré-tratamento - Formação de inibidores e compostos tóxicos
Pré-tratamento com ácido diluído	5 – 7	- Boa remoção de hemiceluloses	- Subprodutos de degradação (sais) e inibidores - Corrosão
Hidrólise ácida concentrada	4 – 5	- Não são necessárias enzimas - Boa remoção de hemiceluloses	- Alto uso de produtos químicos - Corrosão e perigo tóxico - Subprodutos de degradação (sais) e Inibidores
Auto-catálise/ hidrotérmica	4 – 6	- Sem uso de produtos químicos ou resíduos - Elevados rendimentos de glicose	- Maior temperatura de operação - Formação de inibidores
Tratamento Organosolv	4 – 6	- Hidrolisa a lignina e a hemicelulose	- Elevados custos operacionais e capital
Pré-tratamento alcalino (com amônia diluída)	5 – 7	- Baixo custo de capital - Baixa formação de inibidores	- Formação de resíduos - Ajuste enzimático necessário
Explosão com fibra de amônia	3 – 5	- Baixa formação de inibidores - Elevada área de superfície acessível	- Alto custo devido ao solvente
Pré-tratamento supercrítico (CO_2)	2 – 4	- Aumenta a área de superfície acessível	- Não afeta a lignina e as hemiceluloses
Líquidos iônicos	2 – 3	- Dissolução eficaz de todos os Componentes lignocelulósicos	- Tecnologia de alto custo
Fungo microbiano	3 – 4	- Baixo consumo de energia - Sem corrosão	- Demorado - Algumas perdas de sacarídeos
Moagem mecânica	5 – 6	- Reduz a cristalinidade da celulose - Sem inibidores ou resíduos	- Alto consumo de energia - Baixa produção de açúcar

Fonte: Adaptado de HARMSEN *et al*., 2010; GARCIA *et al*., 2014.

Verifica-se que existem numerosos processos de pré-tratamento em desenvolvimento. Apenas considerando o caso de ácido diluído, existem versões diferentes, em um ou dois estágios. No atual estágio da indústria, tem sido verificado que cada produtor desenvolve o pré-tratamento que lhe parece mais adequado à sua matéria-prima.

Quanto ao pré-tratamento físico-químico do bagaço, após a lavagem e limpeza do bagaço de cana-de-açúcar, este pode ser pré-tratado por diversos processos: explosão com vapor, explosão com vapor catalisada, hidrólise com ácido diluído e termohidrólise. O processo de termohidrólise apresenta pouca formação de inibidores, enquanto os demais formam inibidores, sob condições severas. Dependendo da aplicação do hidrolisado, a presença de inibidores pode ser crucial às etapas subseqüentes do processo, acarretando a necessidade de etapas de destoxificação. De acordo com CGEE (2010), os principais inibidores são derivados dos seguintes produtos:

(i) ácidos orgânicos oriundos da hemicelulose (acético, fórmico, glucurônico e galacturônico);
(ii) produtos da degradação de açúcares (furfural e hidroxi-metilfurfural);
(iii) produtos da degradação da lignina (cinamaldeído e p-hidroxi-benzaldeído, entre outros); e
(iv) produtos decorrentes da corrosão dos equipamentos (íons metálicos). Os rejeitos gerados são mais significativos na hidrólise com ácido diluído e a corrosividade do meio é mais alta neste mesmo processo.

Na Tabela 2.2, são apresentadas características de algumas tecnologias de pré-tratamento.

Tabela 2.2: Características de tecnologias de pré-tratamento.

Características	Tecnologias de Pré-Tratamento			
	Explosão com Vapor	Explosão com Vapor Catalisada	Hidrólise com Ácido Diluído	Termohidrólise
Formação de Inibidores	Sim, sob condições severas	Sim, sob condições severas	Sim, sob condições severas	Pouca
Eficiência da Hidrólise Enzimática da Celulose	> 70%	> 80%	> 90%	> 80%
Geração de Rejeitos	Pouco Significativos	Medianos	Significativos	Pouco Significativos
Corrosividade do Meio	Baixa	Baixa a Moderada	Moderada a Alta	Baixa

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de CGEE, 2010

No tocante às etapas bioquímicas do processo, incluindo a hidrólise enzimática e a fermentação, o TRL se situa mais próximo de 9. Embora estas etapas se encontrem em estágio mais avançado e convergente do que a etapa de pré-tratamento, as tecnologias não são identificadas como completamente desenvolvidas. Por exemplo, na hidrólise enzimática dos materiais lignocelulósicos mais explorados como bagaço, palhas e resíduos agrícolas o TRL é 8 (sistema incorporado num projeto) (NOVACANA, 2016a). A tecnologia de hidrólise para produzir bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos ainda não se encontra no estágio comercial e, portanto, os dados de desempenho usados em simulações são valores esperados para essas tecnologias no estágio maduro, provavelmente em torno de 2020 (CGEE, 2012). Quanto à etapa de fermentação, os açúcares C5 ainda dependem de desenvolvimentos e apresentam TRL 7 (sistema demonstrado em piloto) (NOVACANA, 2016a).
A seguir, serão tratadas estas etapas bioquímicas.

B. Biossíntese de hidrolases

Processo complexo enzimático (hidrolases) para conversão do material celulósico em açúcares fermentáveis, a exemplo de uma hidrolase fúngica empregando um fungo geneticamente modificado. Os custos de celulases e hemicelulases contribuem substancialmente para o preço do bioetanol e, por isso, a compreensão e o melhoramento da eficiência e da produtividade dessas enzimas são de fundamental importância para assegurar sua estabilidade e atividade nas condições impostas pela indústria (MURAKAMI, 2013).

C. Hidrólise ácida:

A história das pesquisas em hidrólise no Brasil nos remete, inicialmente, aos estudos desenvolvidos em hidrólise ácida pela Companhia de Desenvolvimento Tecnológico (Codetec) da Unicamp, no final da década de 1970. Esses trabalhos chegaram a ter uma planta-piloto montada no *campus* da Unicamp, mas o projeto foi descontinuado em função da falta de recursos a partir do início da década de 1980 (CORTEZ *et al.*, 2016).

Ainda no final da década de 1970, por iniciativa do governo federal, para aproveitar saldos comerciais com a antiga União Soviética, foi criada a empresa Coalbra**,** cujo objetivo era utilizar uma tecnologia de hidrólise ácida obtida da antiga União Soviética a fim de converter celulose em etanol tendo como subproduto ração animal (proteína de levedura). Nesse projeto, foi montada uma planta de demonstração de 30 mil litros/dia no Triângulo Mineiro. Entretanto, a planta da Coalbra apresentou problemas técnicos, tendo em vista que a lignina de eucalipto não era facilmente desumidificada pelo filtro prensa, enquanto dificultava a fermentação do hidrolisado, que só ocorria com a fração de celulose, como já era previsto pela tecnologia importada. Assim, o elevado investimento (materiais especiais e caros), o elevado custo de produção e a baixa valoração da lignina como combustível inviabilizaram a iniciativa do ponto de vista econômico (CORTEZ *et al*., 2016).

Na hidrólise ácida, podem ser utilizados métodos de ácido concentrado e de ácido diluído. Enquanto o primeiro possui alto rendimento em glicose, o segundo necessita de reatores mais sofisticados para obtenção de altos

rendimentos. Por outro lado, enquanto o primeiro requer equipamento caro devido a problemas de corrosão, o segundo possui menos problemas com corrosão, conforme apresentado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Vantagens e desvantagens de métodos de hidrólise ácida

Método	Vantagens	Desvantagens
Ácido Concentrado	* Alto rendimento de glicose * Pouca formação de inibidores * Realizado à temperatura ambiente	* Alto custo na recuperação do ácido utilizado * Equipamento caro devido a problemas de corrosão
Ácido Diluído	* Menos problemas com corrosão * Método de duas etapas: bom rendimento de glicose e de açúcares de hemicelulose	* Formação de produtos de degradação * Necessidade de reatores mais sofisticados para obtenção de altos rendimentos * Concentração baixa de açúcar no fluxo de saída

Fonte: Adaptado de OGEDA e PETRI, 2010

Na reação de hidrólise ácida, o íon hidrônio ataca o oxigênio que faz ligação entre os monômeros de açúcares formadores da cadeia de celulose, quebrando esta ligação e formando a glicose.

A hidrólise da celulose catalisada por ácido é, entretanto, uma reação complexa e heterogênea, envolvendo fatores físicos e químicos seguindo o mecanismo de clivagem das ligações glicosídicas β-1,4. Este método apresenta, porém, vantagens importantes sobre o processo enzimático, face a disponibilidade, garantia de fornecimento e menor custo dos reagentes, além da maturidade tecnológica e menores restrições no tocante à propriedade intelectual. Todavia, existem algumas desvantagens devidas à possibilidade de corrosão do reator, à necessidade da recuperação de ácido, ao menor rendimento de reação (entre 50 % e 60 % em condições ideais) e à geração de compostos inibidores da fermentação durante a hidrólise. Os processos de hidrólise ácida são realizados de modo em geral com ácido sulfúrico, com

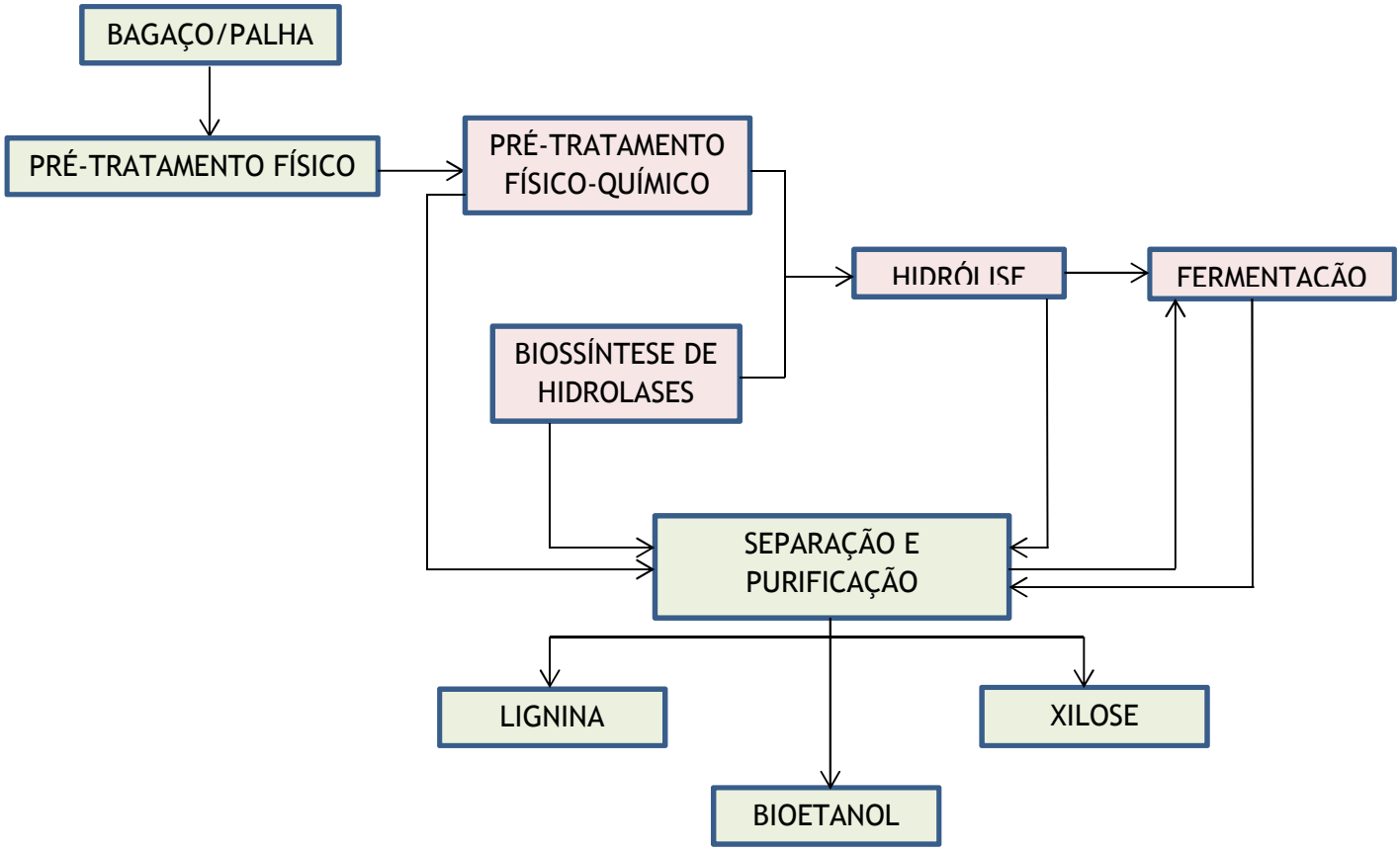
aquecimento, em condições de pressão elevada, em reatores que requerem maior sofisticação tecnológica (GRASEL *et al.*, 2017).

D. Leveduras para fermentação das pentoses em etanol

No que tange à fermentação de açúcares, vale ressaltar que a fermentação contínua chegou ao Brasil no final da década de 1970, tendo a Usina Vale do Rosário implantado um sistema de fermentação contínua com tecnologia adquirida da empresa austríaca Vogelbusch. O interesse se deveu à possibilidade de redução de custos. Inicialmente, o processo era feito com um sistema semicontínuo, sendo a primeira dorna por batelada e mais outras duas interligadas. Os resultados foram muito bons, e outras duas linhas foram montadas em meados dos anos 1980, com uma produção total de 1,2 milhão de litros de etanol por dia. No entanto, devido aos maiores problemas de contaminação bacteriana e ao “choque” causado no levedo durante a alimentação do mosto, a fermentação contínua nunca chegou a ter rendimentos iguais aos alcançados por batelada, tendo sido desativada no final da década de 1990 naquela usina. Ainda assim, a iniciativa da Vale do Rosário não foi isolada. A fermentação contínua chegou a atingir 30% das destilarias brasileiras entre 1989 e 1995. Hoje, no Brasil, a fermentação contínua responde por cerca de 10% do total. Nos EUA, também prevalece a fermentação por batelada (CORTEZ *et al*., 2016).

Atualmente existem poucas leveduras capazes de fermentar pentoses (principalmente xilose) em etanol. Leveduras tais como *Saccharomyces cerevisiae* 424A (LNH-ST), *Zymomonas mobilis* AX101 e *Escherichia coli* KO11 ATCC 55124 apresentam baixos rendimentos de conversão destes açucares em etanol em comparação com as leveduras que fermentam hexoses e sacarose. É necessário, portanto, o estudo de cepas geneticamente melhoradas combinado ao desenvolvimento de processos biotecnológicos capazes de melhorar os parâmetros cinéticos destes microrganismos (NEITZEL, 2013).

A Figura 2.11 esquematiza as etapas críticas no processo de produção de bioetanol de segunda geração.



Fonte: Adaptado de LIMA, 2010.

Figura 2.11: Etapas Críticas do processo de produção.

Após as considerações acerca do processo de produção do bioetanol de segunda geração, cumpre apresentar os elementos que compõem um modelo de negócio. Desta forma, no capítulo seguinte será apresentado o conceito de modelo negócio como elemento que viabiliza comercialmente a tecnologia, tendo em vista a relevância da temática para a posterior avaliação, objeto da presente Tese.

CAPÍTULO 3

MODELO DE NEGÓCIOS

3.1. Conceito

Christensen *et al.* (2009) apresentaram o conceito de modelo de negócio como um sistema interdependente composto por quatro elementos: proposta de valor, recursos, processos e uma fórmula de lucro. O primeiro e mais importante elemento é a “proposta de valor”, que é o ponto de partida para um bem sucedido modelo de negócio e representa um produto ou serviço conveniente, acessível e que ajuda o mercado-alvo a atuar com mais eficiência. Em seguida, os gestores geralmente precisam usar um conjunto de recursos - incluindo pessoas, produtos, equipamentos, instalações, dinheiro e assim por diante - em determinados processos, os quais são necessários para fornecer propostas de valor aos clientes-alvo. Isso materializa o que foi estabelecido na fórmula de lucro, ou seja, o preço exigido, as margens de lucro bruto e líquido e os volumes necessários para cobrir vantajosamente os custos dos recursos e processos necessários para entregar a proposta de valor.

Por sua vez, Teece (2010) entende que um modelo de negócios descreve, em termos gerais, como a empresa cria valor para seus clientes, entrega esse valor em troca de pagamentos e converte parte desses pagamentos em lucro. Em termos gerais, entende que um modelo de negócios descreve a lógica pela qual uma organização cria, entrega e captura valor.

Chesbrough (2010), por sua vez, aponta que um modelo de negócios: a) articula a proposição de valor; b) identifica o segmento de mercado, especifica e detalha o mecanismo de geração de receitas; c) define a estrutura da cadeia de valor necessária para criar e distribuir oferta e ativos complementares; d) estima a estrutura de custos e potencial lucro; e) descreve a posição da firma na cadeia de valor ligando a fornecedores e clientes; f) formula a estratégia competitiva.

Em suma, o modelo de negócio descreve como gerar, capturar e entregar valor à organização (OSTERWALDER e PIGNEUR, 2011).

3.2. Tipologia

Pouco há na literatura sobre classificação de modelos de negócios, tendo se detectado a tipologia de modelo de negócios apresentada por Christensen *et al.* (2009), segundo a qual há três tipos genéricos: “lojas de soluções”, “processo de agregação de valor” e “redes facilitadoras”. O modelo de negócios do tipo “lojas de soluções” emprega especialistas experientes, intuitivamente treinados, cujas funções são diagnosticar problemas e recomendar soluções, tendo como exemplos: consultorias de alto nível e atividades diagnósticas de médicos especialistas de hospitais. A capacidade dessas empresas de fornecer valor aos clientes depende, em grande parte, das pessoas que ali trabalham; processos padronizados são incomuns.

As empresas de manufatura, varejo e serviços de alimentação, por seu turno, são citadas como exemplos de empresas de “processo de agregação de valor”, as quais colocam insumos de materiais em um dos extremos de seu processo, realizam sua transformação, agregando-lhes valor, e fornecem produtos de valor mais alto aos seus clientes na outra ponta do processo. Em contraste com as “lojas de soluções”, boa parte da capacidade de entregar valor em uma empresa “agregadora de valor” está embutida em processos sólidos e padronizados.

No terceiro tipo de modelo de negócios, “redes facilitadoras”, os clientes fazem intercâmbio entre si. A indústria de telecomunicações é mencionada pelos autores como uma rede facilitadora, pois as pessoas enviam e recebem informações umas das outras. A participação na rede não constitui a maior fonte de rendimentos dos participantes, que dela se utilizam como infraestrutura de apoio a compradores/vendedores atuando em diversos setores.

Tidd e Bessant (2009) estabeleceram uma classificação de espaços de pesquisa de elementos desencadeadores de inovação. Assim sendo, os autores definiram quatro classificações: a) a primeira, denominada “Utilização”, em que predomina inovação incremental em ambiente de baixa complexidade (de maior previsibilidade), negócios habituais, com pouca perturbação no modelo de negócios; b) a segunda classificação, chamada de “Investigação Limitada”, envolve pesquisa dentro de nova posição, porém ainda limitada por

uma estrutura estabelecida – um “modelo de negócios habitual” – em que, embora a atividade seja arriscada e exploratória, é também dirigida fortemente pela estrutura do setor – tal como Pavitt (1984) observou que há certos padrões que modelam o comportamento de todos os atores em termos de estratégias de inovação. Vale ressaltar que os autores sugerem como método de pesquisa o aumento da abordagem em “inovação aberta” – conceito abordado por Chesbrough (2003) - para ampliar recursos de pesquisa em conhecimento estratégico; c) a terceira, denominada “Redefinição”, envolve pesquisa em um espaço onde estruturas alternativas são geradas, explorando diferentes permutações e combinações de elementos do ambiente não incluídos no modelo de negócios estabelecido; e d) Co-Evolução, a quarta classificação, segundo os autores, envolve o surgimento da inovação como um produto de um processo de co-evolução, não sendo o resultado de uma trajetória pré-definida. Ocorre na fase fluida, antes de um projeto dominante emergir e definir o padrão.

Tidd e Bessant (2009), ao tratarem dos espaços de pesquisa de elementos desencadeadores de inovação, na classificação “Redefinição”, entenderam que a pesquisa se desenvolve em um espaço onde são exploradas diversas combinações de elementos não inseridos no modelo de negócios estabelecido, a exemplo dos *usuários extremos*[12] de Von Hippel (*apud* TIDD e BESSANT, 2009) e dos *mercados marginais*[13] de Christensen *et al.* (2009). Importa também ressaltar que Tidd e Bessant (2009), ao abordarem os aludidos espaços de pesquisa, na classificação “Co-Evolução”, a entenderam como se desenvolvendo na fase fluida, antes de um projeto dominante emergir e definir o padrão, dialogando, assim, com o modelo de dinâmica da inovação[14] desenvolvido por Utterback (1994).

---

[12] Usuários que, nos ambientes mais difíceis, podem ter necessidades extremas de modo que a solução inovadora que atenda a essas necessidades poderão ter possíveis aplicações no mercado estabelecido, a exemplo do sistema de freio anti-bloqueio (ABS) (VON HIPPEL, *apud* TIDD e BESSANT, 2009).

[13] Mercados cujas necessidades não são vistas como relevantes pelas empresas estabelecidas em relação às suas atividades tradicionais e, por isso, elas tendem a ignorar ou rejeitar tais necessidades (CHRISTENSEN *et al.*, 2009).

[14] Modelo baseado na hipótese de que as inovações dos produtos e dos processos seguem um padrão geral ao longo do tempo: fase fluida (alta taxa de inovação no produto), fase transitória (redução do número de inovações no produto e aumento do número de inovações no processo) e fase específica (redução da taxa de inovações tanto no produto como no processo) (UTTERBACK, 1994).

3.3. Ruptura de modelo de negócios

Vale ressaltar que, segundo Christensen *et al.* (2009), ocasionalmente, emerge em uma indústria a inovação disruptiva, a qual ao invés de sustentar a trajetória tradicional de melhoria no plano original de competição, traz ao mercado um produto ou serviço que - embora possa não exibir o mesmo desempenho do produto ou serviço das empresas estabelecidas - apresenta maior simplicidade e acessibilidade, estabelecendo, assim, uma base de clientes em um plano diferente da concorrência. De acordo com o conceito desenvolvido em Christensen *et al*. (2009), as inovações disruptivas são elementares quando comparadas às tecnologias e processos que as antecedem, e sua arquitetura geralmente é baseada numa combinação de elementos pouco valorizados pelas empresas estabelecidas. As inovações disruptivas são caracterizadas por oferecer menos que os consumidores de mercados estabelecidos estão acostumados a receber, e por isso, inicialmente ocupam espaços em mercados emergentes que, por diversas razões como falta de recursos ou excesso de sofisticação, não utilizam os produtos/serviços disponíveis até então. Embora muitas vezes as ideias de ruptura tenham origem em empresas estabelecidas, na maior parte das vezes são rejeitadas por elas devido ao baixo grau de atratividade financeira que oferecem em relação aos seus produtos de linha, abrindo caminho para que significativa parcela dos conceitos de ruptura sejam desenvolvidos por firmas entrantes no mercado (CHRISTENSEN *et al.*, 2009). Assim sendo, ao longo do tempo, as inovações disruptivas que, a princípio, serviam a um nicho de mercado emergente devido às limitações em relação aos produtos tradicionais, passam a atender as necessidades do mercado estabelecido, tendo, por vezes, ainda a vantagem de oferecer uma operação com menor grau de complexidade atrelado, a exemplo dos PCs - caso clássico de inovação disruptiva - os quais, tendo seus primeiros modelos utilizados por amadores, sendo mais simples e acessíveis, acabaram por substituir gradativamente os mainframes e minicomputadores.

Christensen *et al.* (2009) tratam de ruptura “dentro” ou “através” de modelos de negócios. De acordo com os autores, a maioria dos exemplos históricos de inovação disruptiva tem ocorrido dentro de um único tipo de

modelo de negócio, seja do tipo “lojas de soluções” (*Boston Consulting Group* inovando com ruptura em relação a *McKinsey*), “processo de agregação de valor” (*Toyota* inovando com ruptura em relação a *Ford*) e “redes facilitadoras” (operadoras de telefonia móvel inovando com ruptura em relação às empresas de telefonia fixa). Os autores expõem, entretanto, que uma ruptura mais fundamental ocorre quando levada a efeito em diferentes tipos de modelos de negócios – como é o caso do “Google” - gerando ganhos de disponibilidade e acessibilidade ainda mais profundos do que quando a ruptura ocorre dentro do mesmo tipo de modelo de negócio.

Aplicando a inovação de ruptura baseada em modelos de negócios na área de saúde, Christensen *et al.* (2009) propuseram três fases, sendo que a primeira não levaria em consideração os tipos de modelos de negócios, a segunda levaria em conta rupturas dentro de cada tipo de modelo de negócios, e a terceira consideraria as rupturas que ocorrem através dos modelos de negócios. Por exemplo, dentro da segunda fase, Christensen *et al.* (2009) classificaram como “loja de soluções” uma instituição de telemedicina que funcionaria como modelo de negócio de ruptura para as atividades de diagnóstico de certos hospitais. Na terceira fase, citaram as clínicas de varejo em que as rupturas mudaram o tipo de modelo de negócio de “lojas de soluções” para “processos de agregação de valor”.

De acordo com Christensen *et al*. (2009), uma tecnologia de ruptura é capaz de converter intuição complexa em tarefas baseadas em regras. Segundo os autores, o tratamento da maioria das doenças, inicialmente, reside no âmbito da experimentação com base na intuição, passando, em seguida, para o campo da medicina probabilística ou empírica, e, finalmente, tornando-se medicina de precisão, a qual definem como aquela em que as doenças podem ser diagnosticadas com precisão, cujas causas são compreendidas, e que, consequentemente, podem ser tratadas com terapias baseadas em regras que são previsivelmente eficazes.

Vale ressaltar que, na teoria da inovação disruptiva apresentada por Christensen *et al.* (2009), nota-se alguma relação ao que Schumpeter (1943) desenvolveu em sua teoria da “destruição criadora” - a qual prevê a substituição de antigos produtos e hábitos de consumir por novos – haja vista que esta substituição de produtos e/ou hábitos enfatizada por Schumpeter

(1943) pode decorrer de uma inovação disruptiva definida segundo a teoria apresentada por Christensen *et al.* 2009.

Também importa frisar que tanto a inovação disruptiva cujo conceito foi desenvolvido por Christensen *et al.* (2009) como a inovação radical[15] mencionada por Utterback (1994) provocam quebra de paradigmas. Por outro lado, enquanto Kline e Rosenberg (1986) propõem um modelo de inovação baseado em numerosos feedbacks[16], enfatizando mais o processo dentro da empresa; Christensen *et al.* (2009) definem um modelo de inovação de ruptura, focado no modelo de negócio, segundo o qual para que haja ruptura, não basta ter tecnologia disruptiva, mas que seja trazida ao mercado através de um modelo de negócio.

Por fim, vale registrar que Tidd e Bessant (2009), ao tratarem da necessidade como fonte de inovação, abordando que as diferenças entre os potenciais usuários também podem gerar inovação em novas direções, aludem à inovação disruptiva - abordada por Christensen *et al.* (2009) - a relacionando a empresas que trabalham à margem de um mercado estabelecido.

3.4. Inovação aberta e modelo de negócios

De acordo com Chesbrough (2003), a inovação aberta é apresentada como um paradigma segundo o qual as empresas podem e devem usar ideias, tanto externas como internas, na busca do avanço de sua tecnologia. Dahlander e Gann (2010), por seu turno, apresentam uma abordagem em que argumentam que, apesar de predominar na literatura a ideia de que a abertura da inovação é vantajosa, há pontos - os quais serão abordados mais adiante - que podem torná-la desvantajosa. Teece (2010), por sua vez, busca avançar na compreensão da importância do modelo de negócios, explorando sua

[15] A inovação radical caracteriza-se por gerar uma descontinuidade na indústria e destrói grande parte do valor dos investimentos, dos produtos, conhecimentos, das técnicas de produção, dos projetos, dos equipamentos e das fábricas. Esse valor é transferido para a empresa que lançou a inovação radical (uma vez encontrado o caminho do mercado) (UTTERBACK, 1994).

[16] Modelo de processo de inovação tecnológica representada pelo “Chain-Linked Model”, um modelo de caráter multidisciplinar, com forte presença de “feedbacks” e racionalização de recursos aplicados à pesquisa onde a inovação é contextualizada pelas interações entre oportunidades de mercado e os conhecimentos internos da firma.

relação com a estratégia de negócios e a gestão da inovação. Por fim, Chesbrough (2010) busca abordar a inovação do modelo de negócios.

Segundo Chesbrough (2003), o importante consiste em fazer conexão entre conhecimento interno e externo de modo rápido, combinando tais conhecimentos em novos e diferentes caminhos para criação de produtos e serviços.

Chesbrough (2003) enumera alguns princípios contrastantes entre “inovação fechada” e “inovação aberta”, como p. ex.: a) enquanto, na inovação fechada, para lucrar com P&D, a própria empresa precisa descobrir, desenvolver e distribuir; na inovação aberta, P&D externo pode gerar grande valor e P&D interno é necessário para reivindicar parte desse valor; b) enquanto, na inovação fechada, entende-se que, se a própria empresa descobrir, chegará ao mercado primeiro; na inovação aberta, prevalece a ideia de que não se precisa originar a pesquisa para se lucrar com ela; c) enquanto, na inovação fechada, a empresa deve controlar sua Propriedade Intelectual, de modo que seus concorrentes não lucrem com suas ideias; na inovação aberta, a empresa deve lucrar com o uso por terceiros de sua própria Propriedade Intelectual, e ela mesma deve usar a Propriedade Intelectual de outros para melhorar seu modelo de negócio.

Dahlander e Gann (2010), por sua vez, argumentam que o conceito de Chesbrough (2003) para inovação aberta é amplo e apresenta diversos benefícios para empresas e acadêmicos, sendo o principal deles agregar diferentes conceitos e práticas em um só conceito: o de inovação aberta.

No entanto, Dahlander e Gann (2010) entendem que predomina na literatura a ideia de que a inovação aberta é vantajosa, razão pela qual se propuseram a realizar pesquisa na literatura de modo a ponderar que há pontos em que a abertura pode não ser benéfica. Citam, por exemplo, que, quando uma empresa participa de uma relação colaborativa, surgem os custos de coordenação e de competição, que podem ser grandes o bastante para tornar desvantajosa a utilização de práticas de inovação aberta. Ao seu ver, os custos de coordenação ocorrem quando a colaboração ocorre entre empresas diferentes, sendo difícil transpor as barreiras organizacionais, de tal forma que manter relacionamento com muitas empresas pode ser muito custoso e demandar a atenção de muitos gestores. Já os custos de competição, segundo

os autores, surgem à medida que há a possibilidade de algum participante do processo colaborativo agir de maneira oportunista, obtendo informações sigilosas relacionadas à propriedade intelectual e utilizando-as de má fé ou em benefício exclusivo próprio.

Dahlander e Gann (2010) também entendem que não há dicotomia entre inovação fechada e inovação aberta. Segundo os autores, as empresas utilizam estratégias que estão situadas entre os extremos de um processo de inovação totalmente fechado e totalmente aberto, podendo utilizar, portanto, diferentes graus de abertura no seu processo inovativo.

No contexto da inovação aberta, importa frisar outro princípio enunciado por Chesbrough (2003), segundo o qual construir um melhor modelo de negócios é mais vantajoso do que chegar primeiro ao mercado.

Por outro lado, de acordo com Teece (2010), um modelo de negócios não é suficiente para garantir vantagem competitiva, já que, quando implantado, seus elementos podem se tornar transparentes o bastante para que competidores rapidamente possam imitá-lo. Segundo Teece (2010), a combinação de análise estratégica com análise do modelo de negócios é, portanto, necessária para garantir vantagem competitiva e criar mecanismos que possam ser utilizados para prevenir a empresa da ameaça de que seus competidores possam imitar seu modelo de negócio ou de que seus clientes possam encontrar substitutos para o valor que lhes é entregue pelo modelo de negócio da empresa. Assim sendo, o autor entende que, para se implementar um modelo de negócios sustentável, são necessários processos, sistemas e recursos que sejam difíceis de se copiar.

Segundo Teece (2010), o próprio modelo de negócios pode representar uma inovação, além das tradicionais inovações de produto e processo. Nesse sentido, o modelo de negócios é visto tanto como um veículo para a inovação, como também uma fonte de inovação. Cita o exemplo da Dell de como a inovação do modelo de negócios pode ajudar a estabelecer vantagem competitiva. A inovação estava no modelo de negócios propriamente dito: a venda direta de computadores pessoais, enquanto os competidores utilizavam distribuidores e varejistas. Destarte, segundo Teece (2010), esse modelo de negócios era uma inovação difícil de ser copiada pelos competidores,

permitindo que a Dell obtivesse vantagem competitiva considerável, o que se refletiu em resultados superiores ao longo dos anos.

Chesbrough (2010) identifica duas principais barreiras à inovação de um modelo de negócio já estabelecido: uma relacionada à configuração dos recursos e outra de cunho cognitivo. A primeira refere-se a um conflito com a configuração tradicional dos recursos da empresa, cuja alteração poderá comprometer o valor da empresa; ao passo que a segunda barreira prende-se à percepção do atual contexto - relacionado ao modelo de negócio atual - que tem o efeito de excluir abordagens diferentes da estabelecida. Segundo o autor, uma forma de ultrapassar essas barreiras consiste na utilização de experimentação - cita a 3Com como exemplo de inovação de modelo de negócio com base em experimentação - e na construção de mapas de modelos de negócios para clarificar os processos subjacentes aos mesmos.

Chesbrough (2010) ainda conclui que as empresas devem adotar uma atitude eficaz com vistas à experimentação dos modelos de negócios, de forma a modelarem as incertezas e atualizarem as suas projeções financeiras à medida que seus experimentos criam novos dados que podem apontar em direção a oportunidades anteriormente latentes. Também frisa que as organizações devem identificar líderes internos a fim de gerenciar os resultados desses processos e entregar um novo e melhor modelo de negócios à companhia.

Von Hippel (1988) chama a atenção para os usuários como fonte de inovação, além de fornecedores e produtores. O autor observou que há muitos casos em que é o usuário, e não o fabricante do produto, quem reconhece a necessidade, resolve o problema por meio de uma invenção, constrói um protótipo e demonstra seu valor, concluindo, portanto, que, nestes casos, o *locus* do processo de inovação está centrado no usuário. O autor ressalta a relevância do usuário como agente de inovação, frisando que a relação de um fabricante com uma inovação pode, em alguns casos, ganhar ênfase devido à publicidade que é dada a esta relação, gerando uma indevida presunção de que o fabricante seja o inovador.

Von Hippel (1988) entende que, no tocante à difusão de inovações de empresas usuárias para empresas produtoras, a transferência de inovações de equipamentos desenvolvidas pelo usuário para a primeira empresa produtora

comercialmente se encaixa em um dos seguintes padrões gerais: a) múltiplas interações entre equipes das empresas usuárias e empresas produtoras tornando impossível isolar os acontecimentos que envolveram a transferência; b) nenhuma transferência identificada retrospectivamente, embora um usuário tenha sido o primeiro a desenvolver o equipamento utilizado comercialmente; c) um usuário transfere o projeto da inovação juntamente com um pedido de compra de unidades produzidas para aquele projeto; e d) um usuário do equipamento também assumiu o papel de fabricante e começou a produzir a inovação para venda para outras empresas usuárias.

Assim sendo, Von Hippel (1988) dialoga com Chesbrough (2003), ao revelar que, devido a múltiplas interações entre as equipes das empresas usuárias e empresas produtoras, ocorre a difusão de inovação entre empresas, tal como prevê a inovação aberta proposta pelo segundo em um estudo mais abrangente e sistemático dos modelos internos corporativos de gestão desses processos de inovação voltados para fora da organização. Ainda analisando as propostas de Von Hippel (1988) e Chesbrough (2003), se verifica que tanto na inovação pelo usuário como na inovação aberta, o domínio tecnológico não reside, *a priori*, dentro da empresa, mas fora dela.

Enquanto Chesbrough (2003) frisa os benefícios da inovação aberta; Dahlander e Gann (2010) ponderam que há pontos em que a abertura pode não ser benéfica, quando, por exemplo, surgem os custos de coordenação e de competição, que podem ser grandes o bastante para tornar desvantajosa a inovação aberta. Vale frisar ainda que, enquanto Chesbrough (2003) enfatiza os princípios contrastantes entre inovação fechada e inovação aberta; Dahlander e Gann (2010) entendem que não há dicotomia entre inovação fechada e inovação aberta, tendo em vista que, segundo alegam, as empresas podem utilizar diferentes graus de abertura no seu processo inovativo.

Importa frisar que Teece (2010) e Chesbrough (2010) chegam a dialogar um com o outro na medida em que, enquanto o primeiro entende que o próprio modelo de negócios pode representar uma inovação; o segundo foca na inovação dos modelos de negócios. E também, enquanto Teece (2010) defende a combinação de análise estratégica com análise do modelo de negócios para garantir vantagem competitiva; Chesbrough (2010) inclui a

formulação da estratégia competitiva como um dos elementos de sua definição de modelo de negócios.

Por fim, no tocante à questão da Propriedade Intelectual, vale ressaltar que: a) enquanto Chesbrough (2003), ao defender a inovação aberta, entende que a empresa deva lucrar com o uso por terceiros de sua própria Propriedade Intelectual; b) Dahlander e Gann (2010), por sua vez, entendem que a possibilidade de deslealdade por algum participante do processo colaborativo, em relação ao uso da Propriedade Intelectual, possa gerar, na empresa, receio de compartilhar informações; e Teece (2010), por seu turno, ao defender a ideia de que o modelo de negócios seja não-imitável pela concorrência, indica que um dos meios para tornar difícil essa imitação consiste no uso de forte proteção da Propriedade Intelectual.

3.5. Instrumento de viabilização da tecnologia

Embora se considere que, quando um produto está desenvolvido e se torna comercial, o ciclo de P&D, em tese, terminaria, há inúmeros casos de produtos que não conseguiram atender às expectativas e fracassaram em face de razões tecnológicas ou comerciais (NOVACANA, 2016a).

No contexto do binômio Tecnologia x Modelo de Negócios, Davila *et al.* (2006) propõem uma matriz de inovação em que são considerados elementos de tecnologia e de modelo de negócios. Nesta matriz, é disposta uma classificação das inovações, em acréscimo à classificação já realizada por Freeman e Perez (1988), os quais classificaram as inovações em radicais e incrementais. As primeiras sendo definidas como o desenvolvimento e a introdução de um novo produto, processo ou forma de organização da produção inteiramente nova, originando novas tecnologias, indústrias e mercados, ao passo que as inovações incrementais são definidas como a introdução de qualquer tipo de melhoria em um produto, processo ou forma de organização da produção dentro de uma empresa sem que haja uma modificação significativa na estrutura já existente da empresa e do mercado.

Davila *et al.* (2006) acrescentam à classificação de Freeman e Perez (1988) a inovação semi-radical, cuja taxa de novidade é grande no modelo de negócio ou na tecnologia, mas não em ambos concomitantemente. A matriz da

Figura 3.1 representa os tipos de inovação definidos pelos autores, na qual o eixo vertical mede Conhecimento e Tecnologia e o eixo horizontal mede Modelo de Negócio, sendo que em ambos os eixos as medições variam de “Existente” a “Nova”:

Fonte: Davila *et al.* (2006).

Figura 3.1: Matriz da Inovação.

De acordo com Davila *et al.* (2006), as inovações radical, semi-radical e incremental podem ser assim definidas:

Inovação Incremental: este tipo de inovação provoca pequenas ou moderadas mudanças em produtos ou processos. Embora não cause grandes impactos, este tipo de inovação é muito importante para o desenvolvimento contínuo dos processos e produtos das empresas, de modo a manter a competitividade das empresas que seguem esta forma de inovação. As empresas que investem em pequenos desenvolvimentos, tanto em tecnologia como em modelo de negócio, podem manter uma boa participação no mercado ou lucratividade. Este tipo de inovação, por envolver normalmente custos menores e por serem menos complexas de desenvolver, é o mais utilizado na maior parte das empresas.

Inovação Semi-Radical: Este tipo de inovação implica mudanças de grande impacto nas empresas no tocante à tecnologia ou ao modelo de negócio, entretanto, não em ambos. Apesar de tecnologia e modelo de negócio se

apresentarem, hipoteticamente, neste tipo de inovação, como mutuamente excludentes, ambos se inter-relacionam de tal forma que, ao inovar em um desses domínios, é possível gerar oportunidades no outro.

Inovação Radical: É aquela mudança significativa que afeta simultaneamente tanto o modelo de negócios como a tecnologia de uma empresa. Inovações radicais geralmente significam mudanças fundamentais na arena competitiva de um setor de indústrias. Quando ocorre muda a face da indústria e, normalmente, leva a uma série de inovações semi-radicais e incrementais em cascata.

Reconhecendo a relevância do modelo de negócio para a tecnologia, Chesbrough (2010) afirma que a tecnologia por si só não tem valor objetivo, haja vista que permanece latente até ser comercializada por meio de um modelo de negócios. Segundo o autor, a mesma tecnologia comercializada de duas maneiras diferentes renderá dois retornos diferentes, de forma que, a menos que um modelo adequado de negócios possa ser encontrado, a tecnologia deverá render menos valor para a empresa. Também entende que, se outras pessoas, fora da empresa, descobrirem um adequado modelo de negócios, poderão perceber muito mais valor do que a empresa que originalmente descobriu a tecnologia.

Nessa mesma linha de pensamento, pode-se entender que a função do modelo de negócio é transformar tecnologia selecionada em valor econômico para a organização (CHESBROUGH e ROSENBLOOM, 2002);

Segundo Zott *et al.* (2011), além de utilizar tecnologias para desenvolver produtos e serviços bem aceitos e inovadores, as empresas devem desenvolver seus próprios modelos de negócios que alavanquem o potencial econômico e comercial das tecnologias de mercado. Além disso, conforme anteriormente visto, de acordo com Chesbrough (2003), construir um modelo de negócio melhor é mais vantajoso do que ser o primeiro a entrar em um mercado.

Considerando que, em um ambiente tecnológico de inovação aberta, as tecnologias podem ser compartilhadas em forma de parceria ou comercializadas (CHESBROUGH, 2003; 2006), e considerando que as duas

empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial se utilizam frequentemente de parcerias para superar eventuais entraves tecnológicos, operando, portanto, em um contexto de inovação aberta, buscou-se na literatura indicadores que pudessem fundamentar a análise de um modelo de negócio que viabilizasse tecnologias em um ambiente de inovação aberta, a exemplo dos apontados por Rechziegel e Rodrigues (2013).

CAPÍTULO 4

PARÂMETROS EM CENÁRIO DE INOVAÇÃO ABERTA

De acordo com Rechziegel e Rodrigues (2013), um modelo de negócio pode ser examinado a partir de três parâmetros: desenho organizacional, fatores de negócio e indução competitiva, que são mensurados pelos seus respectivos indicadores, com vistas à seleção de tecnologias em um ambiente de inovação aberta. Justifica-se a utilização dos parâmetros e indicadores definidos pelos citados autores, tendo em vista que, analisando-se o conteúdo de publicações referentes às empresas GranBio e Raízen, observou-se o estabelecimento de parcerias entre estas e outras empresas com vistas à obtenção de tecnologias usadas no processo de produção de bioetanol de segunda geração.

A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros e indicadores constantes em Rechziegel e Rodrigues (2013):

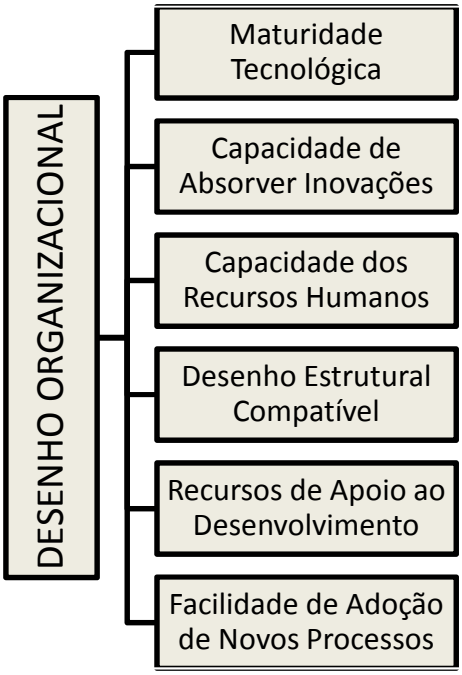
Tabela 4.1: Parâmetros e indicadores obtidos na literatura.

PARÂMETRO / INDICADOR	DESENHO ORGANIZACIONAL	FATORES DE NEGÓCIOS	INDUÇÃO COMPETITIVA
Maturidade Tecnológica	X		
Capacidade de Absorver Inovações	X		
Capacidade dos Recursos Humanos	X		
Desenho Estrutural Compatível	X		
Recursos de Apoio ao Desenvolvimento	X		
Facilidade de Adoção de Novos Processos	X		
Proposta de Valor		X	
Manutenção do Controle Estratégico		X	
Ampliação do Controle Estratégico		X	
Potencial de Retorno			X
Potencial de Expansão do Mercado Atual			X
Potencial para Abrir Novo Mercado			X
Potencial para Incrementar o Domínio Tecnológico			X
Política do Domínio Tecnológico			X

Fonte: Elaborado a partir de RECHZIEGEL e RODRIGUES, 2013.

4.1. Desenho organizacional

De acordo com Rechziegel e Rodrigues (2013), o parâmetro Desenho Organizacional, conforme Figura 4.1, compreende os seguintes indicadores: maturidade tecnológica da empresa, capacidade de absorver inovações, capacidade dos recursos humanos, desenho estrutural compatível, recursos de apoio ao desenvolvimento tecnológico e facilidade de adoção de novos processos.



Fonte: Elaborado a partir de RECHZIEGEL e RODRIGUES, 2013.

Figura 4.1: Indicadores do parâmetro desenho organizacional.

4.1.1. Maturidade tecnológica

No contexto do *desenho organizacional*, a *maturidade tecnológica da empresa* pode ser entendida como relacionada à capacidade da empresa desenvolver e gerenciar projetos em termos de metodologia e gestão estratégica (FIATES *et al.,* 2008). Corresponde, em suma, ao status de prontidão tecnológica (capacidade de materializar conhecimento) demonstrado pela evolução do projeto em relação à fronteira tecnológica de seu segmento econômico.

4.1.2. Capacidade de absorver inovações

Também no âmbito do *desenho organizacional*, quanto à *capacidade de absorver inovações*, importa frisar que a presunção que guiou as organizações no passado, segundo a qual elas podiam controlar o seu próprio destino e operavam em um cenário relativamente estável e previsível, não mais existe atualmente (BECKHARD e PRITCHARD, 1991).

Segundo Passos (1999), com o *toyotismo*[17], desenvolveram-se empresas com enorme capacidade de absorver inovações, tanto as resultantes do esforço interno em pesquisa e desenvolvimento, como as adquiridas de terceiros. As empresas passam a ser consideradas como unidades sócio-técnicas de produção, uma vez que, se por um lado, se constituem em conjunto de relações sociais entre os seres humanos internos das empresas e de relações com fornecedores, clientes e outros, por outro lado, se constitui em conjunto de regras que conduzem os seres humanos a agir e mobilizar equipamentos e materiais em processos produtivos de bens e serviços.

A capacidade de absorver inovações ganhou novos contornos nas estratégias empresariais com a difusão por Chesbrough (2003) do conceito de inovação aberta, segundo o qual as empresas exploram novos conhecimentos para além dos limites internos de sua organização e onde a cooperação com empresas e profissionais externos passa a ter um papel preponderante, surgindo, desta forma, um novo paradigma que assume que as empresas podem e devem usar conhecimentos externos, assim como ideias e meios internos e externos para alcançar os mercados e desenvolver sua tecnologia. A inovação aberta alia conhecimentos internos e externos dentro de arquiteturas e sistemas, cujos requisitos são definidos por um modelo de negócio (CHESBROUGH, 2003).

4.1.3. Capacidade dos recursos humanos

No tema *desenho organizacional*, no tocante à importância da *capacidade dos recursos humanos*, importa frisar que Tornatzky e Fleischer (1990), em seu modelo com vista à adoção e difusão de tecnologia, realçam que a tecnologia consiste em um sistema de ferramentas derivado do conhecimento humano com vistas a atender propósitos humanos, enfatizando que a inovação

[17] Método de gestão da produção, impulsionado, em sua gênese sócio-histórica, pelo sistema Toyota, que conseguiu assumir um valor universal para o capital em processo, tendo em vista as próprias exigências do capitalismo mundial e das novas condições de concorrência e de valorização do capital surgidas a partir da crise capitalista dos anos 70, tendo sido considerado mais tarde como a ideologia orgânica da produção capitalista sob a mundialização do capital, tendo como cerne a busca do engajamento estimulado do trabalho, principalmente do assalariado estável, para que ele possa operar uma série de dispositivos organizacionais que sustentem a produção, e tendo como exemplos os programas de Gerenciamento pela Qualidade Total, a busca da produção *just-in-time e a* difusão da terceirização (ALVES, 2001).

tecnológica envolve muitos eventos, muitas decisões e comportamentos da parte de indivíduos e de unidades sociais. Destacam a necessidade de se compreender as pessoas como unidades isoladas e pesquisar como ocorre o desempenho de seus papéis em um sistema social, os quais estão relacionados ao desempenho da função e são definidos explicita e implicitamente em um determinado contexto organizacional. É fato que o papel explícito formal relacionado à descrição das atividades pode inibir o potencial da pessoa, pois está ligado a normas e procedimentos estabelecidos *a priori*. Por outro lado, o papel implícito pressupõe um desempenho esperado no sentido de competência ou desempenho profissional.

4.1.4. Desenho estrutural

Também no contexto do *desenho organizacional*, vale destacar o indicador *desenho estrutural compatível*, que, segundo Carley *et al.* (2008), consiste, para a organização, no adequado relacionamento entre seu pessoal, conhecimento, recursos e atividades. Como explicado por Hoffman & Kaplinsky (*apud* AMATO NETO, 1995), um dos principais mecanismos organizacionais para a melhoria da competitividade é a adequação da estrutura ao foco de atenção da empresa, ou seja, aos objetivos que se quer atingir, buscando a obtenção de vantagens decorrentes da diferenciação estrutural.

Para enfrentar a necessidade de flexibilização dos processos produtivos, empresas têm promovido mudanças em sua estrutura organizacional. Em muitos casos, a formação de equipes de trabalho se encontra na base das mudanças estruturais. Algumas empresas tendem a modificar a quantidade de seus níveis hierárquicos em face de mudanças no processo produtivo. Não raro, empresas têm terceirizado atividades que não agregam valor ao produto, tais como fornecimento de matéria-prima, segurança, limpeza etc., em outros casos, por exemplo, priorizam *layout celular* (organização por produtos) no lugar de *layout funcional* (organização por máquinas), terceirizando algumas atividades que não pertenciam ao *know-how* da organização, em todos estes casos há forte impacto no desenho estrutural, o que, por fim, repercute no desenho organizacional. Há ainda casos em que empresas se estruturam por processos (manufatura, mercados, assessoria de apoio), de forma a superar

estruturas estanques em departamentos independentes (SACOMANO NETO e ESCRIVÃO FILHO, 2000).

Também ocorre a substituição, em várias empresas, de uma estrutura baseada em uma linha única de produção, o que gera dificuldades na identificação, por exemplo, de gargalos, por uma estrutura matricial, onde se cruzam as necessidades dos produtos nas linhas verticais e as habilidades funcionais nas linhas horizontais (SACOMANO NETO e ESCRIVÃO FILHO, 2000).

4.1.5. Recursos de apoio ao desenvolvimento tecnológico

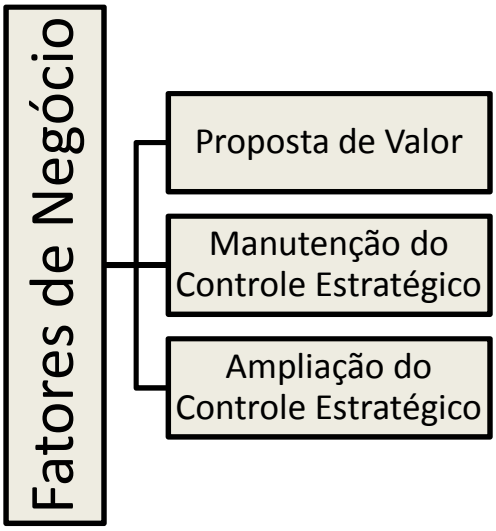
No contexto do parâmetro *desenvolvimento organizacional*, dentre os *recursos de apoio ao desenvolvimento tecnológico*, pode ser citado o acesso a créditos, incentivos fiscais e ações de coordenação, com vistas a melhorias de qualidade e produtividade (ERBER e CASSIOLATO, 1997).

4.1.6. Facilidade de adoção de novos processos

Por fim, no âmbito no *desenvolvimento organizacional*, ainda deve ser destacada a *facilidade de adoção de novos processos*, a qual pode ser alcançada através da implantação de uma Arquitetura Corporativa de modo a garantir, por exemplo, o alinhamento da área de Tecnologia da Informação com a área de negócios, constituindo uma forma abrangente de buscar soluções para questões gerenciais da organização. Ela também facilita a organização nos momentos de mudança ou na incorporação de novas formas de gestão ou ainda na adaptação às novas tecnologias, de forma a assim manter o seu potencial competitivo (LIMBERGER *et al.*, 2010) .

4.2. Fatores de negócio

De acordo com Rechziegel e Rodrigues (2013), o parâmetro Fatores de Negócio, conforme Figura 4.2, compreende os seguintes indicadores: proposta de valor, manutenção do controle estratégico e ampliação do controle estratégico.



Fonte: Elaborado a partir de RECHZIEGEL e RODRIGUES, 2013.

Figura 4.2: Indicadores do parâmetro fatores de negócio.

4.2.1. Proposta de valor

Quanto ao parâmetro *fatores de negócio*, seu principal indicador consiste na *proposta de valor.* Teece (2010) identifica modelo de negócio como um conjunto de dados e outras evidências que apresentam a proposta de valor aos clientes, a estrutura viável de receitas e os custos para entregar esse valor. Para Magretta (2002), a proposta de valor de um empreendimento se constitui na junção das diversas partes do negócio, de forma a criar um valor apropriado. Em suma, é o produto e/ou serviço a ser vendido. Conforme afirmam Churchill e Peter (2000) há diversos fatores que podem influenciar o processo de compra do consumidor, dentre eles, pode-se frisar o aspecto de novidade do produto, a complexidade, qualidade percebida, a aparência do produto, além da embalagem e rótulo.

Outro valor a ser agregado na proposta reside na sustentabilidade. O desenvolvimento da estratégia tecnológica - como uma resultante de simultâneos desenvolvimentos funcionais (produção de bens e serviços que consistem na proposta de valor) e valores do negócio - permitirá o desenvolvimento da sustentabilidade (desde o primeiro esboço até a disposição final de resíduos de uma organização). Esse vasto ciclo inclui desde os objetivos estratégicos através da compreensão do ambiente de negócio, análise da organização (pontos fracos, fortes e os que devem ser mudados),

gestão da inovação (tecnologias disponíveis e as que precisam ser desenvolvidas), competências e, por último, a sua implantação (PERDIGÃO *et al*., 2012)

4.2.2. Manutenção e ampliação do controle estratégico

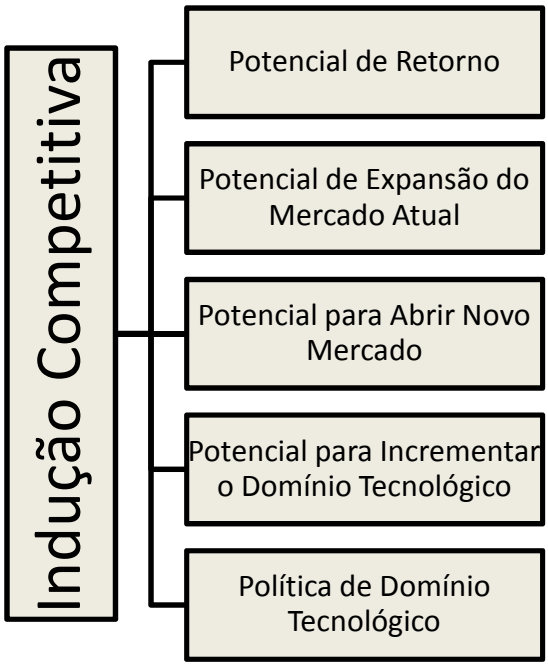
No contexto *fatores de negócio*, indicadores *manutenção e ampliação do controle estratégico*, importa realçar que o controle estratégico é um tipo especial de controle organizacional, o qual se concentra na monitoração e avaliação do processo de administração estratégica no sentido de melhorá-lo e assegurar um funcionamento adequado. A administração estratégica pode ser entendida como um processo contínuo e interativo com vistas a manter uma organização como um conjunto apropriadamente integrado a seu ambiente. Desta forma, a manutenção e ampliação do controle estratégico se encontram relacionadas com a administração estratégica da organização, a qual pode ser compreendida como um processo dividido em etapas, a saber:

a) Execução de análise do ambiente, que consiste em monitorar o ambiente organizacional para identificar riscos e oportunidades presentes e futuras;
b) Estabelecimento de diretriz organizacional, que consiste na identificação da missão (razão de ser da organização) e dos objetivos organizacionais (metas a serem atingidas);
c) Formulação de uma estratégia organizacional, que consiste no curso de ação com vistas a garantir que a organização alcance seus objetivos, residindo seu enfoque central em como lidar satisfatoriamente com a concorrência;
d) Implementação da estratégia organizacional, que consiste em se colocar em ação as estratégias desenvolvidas; e
e) Controle estratégico, com vistas à monitoração e avaliação do processo de administração estratégica (ALDAY, 2000).

4.3. Indução competitiva

De acordo com Rechziegel e Rodrigues (2013), o parâmetro Indução Competitiva, conforme Figura 4.3, compreende os seguintes indicadores:

potencial de retorno, potencial de expansão do mercado atual, potencial para abrir novo mercado, potencial para incrementar o domínio tecnológico e política de domínio tecnológico.



Fonte: Elaborado a partir de RECHZIEGEL e RODRIGUES, 2013.

Figura 4.3: Indicadores do parâmetro indução competitiva.

4.3.1. Potencial de retorno

No âmbito da *indução competitiva,* verifica-se que o indicador *potencial de retorno* pode ser mensurado também pelo reaproveitamento dos resíduos gerados pelo processo produtivo que poderão retornar à produção como matéria-prima secundária gerando economia (SCHNEIDER *et al.*, 2003). Vale citar que mudanças de caráter estrutural podem impactar a produção rural trazendo outros cenários a respeito de seu potencial competitivo, com ênfase para a tendência de concentração do setor produtivo, em função da inerente economia de escala na maioria das atividades agropecuárias (NEVES *et al.*, 1997).

4.3.2. Potencial de expansão do mercado atual e para abrir novo mercado

No parâmetro *indução competitiva,* é importante frisar que a abordagem dos indicadores *potencial de expansão do mercado atual* e *potencial para abrir novo mercado* deve levar em conta, por exemplo, se o mercado alvo é interno ou externo, uma vez que pode haver um forte potencial de expansão em um destes mercados ou mesmo abertura de novos mercados, tendo em vista a possível existência de elementos balizadores de cada um deles tais como mercado consumidor interno ou demanda de outros países por *commodities.*

4.3.3. Potencial para incrementar o domínio tecnológico da empresa e política de domínio tecnológico

No parâmetro *indução competitiva*, se destacam os indicadores *potencial para incrementar o domínio tecnológico da empresa* e *política de domínio tecnológico*. Vale citar um modelo desenvolvido por Chesbrough (2006) que ilustra a mudança de paradigma da *inovação aberta*, com repercussão nas estratégias da empresa, em especial quanto à sua política de domínio tecnológico, baseado no modelo do funil de desenvolvimento de produtos proposto por Clark e Wheelwright (1993), no qual são selecionadas apenas ideias com real potencial de retorno financeiro, dentro do modelo de negócio pré-determinado da empresa. Este modelo serviu perfeitamente para a inovação fechada. Entretanto, por apresentar uma série de inconsistências, foi necessária sua retificação, com base no conceito de inovação aberta, de forma a possibilitar que ideias internas as quais, no modelo fechado, seriam filtradas e eliminadas, pudessem buscar lugar em outros modelos de negócio, com a participação da empresa que gerou a ideia, por meio de licenciamento ou royalties (CHESBROUGH, 2006). Assim, por esse funil “poroso”, torna-se possível o fluxo de ideias externas para que sejam absorvidas e incorporadas no modelo de negócio da empresa. Por se constituir em uma mudança de paradigma, envolve uma mudança em uma série de aspectos da empresa, entre eles a gestão de sua Propriedade Intelectual (PI). Neste passo, modelos de negócio abertos tornam possível uma empresa ser mais eficiente na criação e na captura de valor, repercutindo no potencial para incrementar o domínio

tecnológico da empresa. Ajudam-na a criar valor ao alavancarem muitas ideias, em face de sua inclusão em uma maior variedade de conceitos externos. Também permitem maior captura de valor pela utilização dos ativos, recursos e reputação de uma empresa não somente em suas operações próprias, mas também no negócio de outras empresas (CHESBROUGH, 2007). Em suma, através da inovação aberta, também se torna possível a visualização de diversas práticas de colaboração já conhecidas e praticadas, tais como *co-design*, parceria universidade-empresa, desenvolvimento em *open source*, entre outras, baseadas em uma política forte e não-trivial de domínio tecnológico que regulamente todas essas relações, contextualizando-as dentro de um mesmo cenário econômico que as possibilita e, inclusive, até as exige para assegurar o retorno sobre o investimento em inovação. (ARMELLINI e KAMINSK, 2009).

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE CONTEÚDO

5.1. Abordagem qualitativa

Os estudos de abordagem qualitativa vêm ganhando notoriedade no campo da gestão, uma vez que, temas emergentes relacionados à subjetividade no trabalho, comportamento organizacional, e outros ainda não consolidados ou novos, os quais são examinados por meio de estudos exploratórios, que em sua maioria precisam ser visualizados através da abordagem qualitativa (DENZIN e LINCOLN, 2000; MOZZATO e GRZYBOVSKI, 2011; SHAH e CORLEY, 2006).

Destarte, os dados oriundos das pesquisas de abordagem qualitativa, precisam ser analisados, de forma diferente dos dados provenientes de estudos de abordagem quantitativa, os quais se valem de *softwares* estatísticos, teste de hipóteses, estatística descritiva e multivariada. Assim sendo, as técnicas de análise de dados e, em especial, a análise de conteúdo, têm sido amplamente difundidas e empregadas, a fim de analisar os dados qualitativos (FOSSÁ e SILVA, 2015).

5.2. Técnicas de análise de dados

O conhecimento dos diversos métodos de análise de dados existentes torna-se indispensável para que o pesquisador tenha condições de realizar a escolha mais adequada ao que se propõe estudar, visando ao avanço na temática e, consequentemente, no campo de estudo.

No que tange aos diferentes métodos de análise de dados, há muitos métodos de análise que o pesquisador pode escolher, os quais variam em extensão (PERÄKYLÄ, 2008).

Contudo, por mais que não constitua o foco principal deste trabalho, é pertinente revisar rapidamente as técnicas de análise de dados mais utilizadas nos estudos organizacionais. Desse modo, apresenta-se breve contextualização a respeito da análise do discurso, análise da conversa e análise de narrativas.

A análise do discurso consiste em uma técnica de análise que explora as relações entre discurso e realidade, verificando como os textos são elaborados, considerando os significados e os processos sociais. Os textos podem ser considerados tanto uma unidade discursiva como manifestação material do próprio discurso; podem ter grande variedade de formas, a saber, escritos, palavras, fotos, símbolos, entre outros. Os textos, na essência, só possuem significância, considerando a natureza de sua produção, disseminação e consumo. Dessa forma, Phillips e Hardy (2002) entendem que a análise do discurso é, simultaneamente, método e metodologia, sendo sempre uma análise crítica. Por sua vez, Bardin (2006) enquadra a análise do discurso como pertencente ao campo da análise de conteúdo, salientando limitações inerentes à primeira.

Em suma, considera-se que a análise de conteúdo procura estudar os significantes e a análise de discurso, o significado. Para tanto, esta última faz uso da linguística. Por mais que, supostamente, a análise de conteúdo e a linguística tenham a linguagem como objeto, há uma importante distinção entre língua e palavra. Dessa forma, o objeto da linguística é a língua e o da análise de conteúdo, a palavra (BARDIN, 2006).

Pode-se, assim, afirmar que a análise do discurso é uma vertente da análise da conversa, havendo até visões diferentes a respeito. No que tange à análise da conversa, há menor interesse pela interpretação do conteúdo de textos que tenham sido produzidos explicitamente para fins de pesquisa, como, por exemplo, as respostas de uma entrevista, sendo que, em vez disso, o interesse se concentra na análise formal de situações cotidianas. Um dos pontos-chave desta técnica reside no fato de que a análise da conversa foi originalmente planejada para o estudo da interação cotidiana com um foco formal (FLICK, 2009).

Por mais que a análise da conversa leve em conta a estrutura da argumentação produtiva e tenha a língua como objeto de análise, ainda apresenta características mais pragmáticas. Flick (2009) afirma que a análise do discurso aproxima-se mais dos estudos das ciências sociais do que a análise da conversa.

No que tange à análise de narrativas, utiliza-se as narrativas (falas) dos participantes da pesquisa. De um modo em geral, a vida é considerada como

narrativa para possibilitar a análise da construção narrativa da realidade (BRUNER, 1987, 1991) sem a utilização de um procedimento de coleta de dados que almeje expressamente à indução de narrativas (FLICK, 2009). Como ocorre em quaisquer uma das outras técnicas de análise de dados, a análise de narrativas também segue uma sequência de etapas, visando à análise prática. Conforme Bauer e Gaskell (2008), as narrativas se tornaram um método de pesquisa muito difundido nas ciências sociais.

Para finalizar a contextualização dos métodos, cabe citar Thompson (1995), o qual esclarece que, por mais que os métodos de análises sejam rigorosos e sistemáticos, não invalidam a necessária construção criativa do significado, ou seja, uma interpretação apropriada do que está sendo dito ou representado. Essa é uma premissa válida para toda e qualquer técnica de análise de dados, especialmente, nos debates contemporâneos.

5.3. Conceito

Considerando que as demais técnicas de análise dados abordadas não se demonstraram apropriadas ao presente estudo, verificou-se que a análise de conteúdo, cujo conceito a seguir se expõe, se adequou ao propósito da presente pesquisa.

A técnica de análise de conteúdo alcançou notoriedade a partir de Bardin (1977). No início de sua utilização, a objetividade da análise era buscada com empenho. Aos poucos, a técnica foi interessando a pesquisadores de diferentes áreas. O conceito da análise de conteúdo pode ser concebido de diferentes formas, considerado o rumo teórico e o projeto do pesquisador que a desenvolve, seja utilizando conceitos relacionados à semântica estatística do discurso, ou ainda, visando à inferência por meio da identificação objetiva de características das mensagens (WEBER, 1985; BARDIN, 1977).

A análise de conteúdo consiste em técnica de análise das comunicações, que irá analisar o que foi observado pelo pesquisador. Na análise do material, busca-se classificá-los em temas ou categorias que auxiliam na compreensão do que está por trás dos textos. Em sua trajetória percorrida ao longo dos anos, a análise de conteúdo tem se valido de diversas fontes de dados, como:

publicações, notícias de jornais, relatórios oficiais, entrevistas, vídeos, filmes, fotografias, revistas, relatos biográficos, dentre outros (FOSSÁ e SILVA, 2015).

A fim de definir análise de conteúdo, foram selecionados os conceitos de dois estudiosos do assunto. O primeiro é Berelson, um dos pioneiros a sintetizar a análise de conteúdo como técnica de estudo, na década de 40 e apresentava uma definição fortemente apoiada no modelo cartesiano de pesquisa, ao considerar “análise de conteúdo” como uma técnica de pesquisa que visa uma descrição do conteúdo manifesto de comunicação de maneira objetiva, sistemática e quantitativa (BERELSON, 1984).

Segundo Freitas *et al.* (1997) análise de conteúdo é uma técnica refinada, que exige muita dedicação, paciência e tempo do pesquisador, o qual tem de se valer da intuição, imaginação e criatividade, principalmente na definição de categorias de análise.

Segundo Bardin (2006), análise de conteúdo consiste em um conjunto de técnicas de análise das comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens. A intenção da análise de conteúdo é a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção (ou eventualmente, de recepção), inferência esta que recorre a indicadores.

Segundo Chizzotti (2006), o objetivo da análise de conteúdo é compreender criticamente o sentido das comunicações, seu conteúdo manifesto ou latente, as significações explícitas ou ocultas.

Bardin (2006) rejeita a ideia de rigidez e de completude da análise de conteúdo, deixando claro que a sua proposta da análise de conteúdo acaba oscilando entre dois polos que envolvem a investigação científica: o rigor da objetividade, da cientificidade, e a riqueza da subjetividade. Nesse sentido, a técnica tem como propósito o ultrapassar o senso comum do subjetivismo e alcançar o rigor científico necessário, mas não a rigidez inválida, que não condiz mais com tempos atuais.

A análise de conteúdo pode ser definida como um conjunto de instrumentos metodológicos, em constante aperfeiçoamento, que se destina a analisar diferentes fontes de conteúdos (verbais ou não-verbais). No tocante à interpretação, a análise de conteúdo transita entre dois polos: o rigor da objetividade e a fecundidade da subjetividade. É uma técnica refinada, que exige do pesquisador, disciplina e dedicação. Faz-se necessário também, certo

grau de imaginação e criatividade, sobretudo na definição das categorias de análise (FREITAS *et al*., 1997).

5.4. Fases

A realização da análise dos dados envolve várias etapas, a fim de que se possa conferir significação aos dados coletados (ALVES-MAZZOTTI e GEWANDSZNAJDER, 1998). No tocante às diferentes fases relacionadas à análise de conteúdo, embora autores diferenciem o uso de terminologias, entretanto, apresentam certas semelhanças (TRIVIÑOS, 1987). Assim sendo, optou-se por utilizar nesta Tese as etapas da técnica propostas por Bardin (2006), as quais são definidas segundo as seguintes fases: 1) pré-análise, 2) exploração do material e 3) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A primeira fase de *pré-análise* é desenvolvida para estruturar as ideias iniciais colocadas pelo quadro referencial teórico e estabelecer indicadores para a interpretação das informações coletadas. A fase compreende a leitura geral do material selecionado para análise, consistindo, de modo geral, na organização do material a ser investigado (BARDIN, 2006). Esta fase compreende:

a) Leitura flutuante: é o primeiro contato com os documentos da coleta de dados, ocasião em que se dá início ao conhecimento dos textos e demais fontes a serem analisadas;
b) Seleção dos documentos: consiste na definição do *corpus* de análise;
c) Formulação de objetivos: a partir da leitura inicial dos dados;
d) Elaboração de indicadores: com vistas a interpretar o material coletado;

É essencial ressaltar que a seleção dos dados a serem analisados, respeite a orientação dos seguintes princípios:

- Exaustividade: faz alusão à consideração de todos os componentes constitutivos dos documentos selecionados. Bardin (1977) descreve

esse princípio como significando não deixar fora da pesquisa qualquer um de seus elementos.

- Representatividade: na hipótese de seleção de um elevado número de dados, pode se utilizar uma amostra representativa do universo inicial (BARDIN, 2006).
- Homogeneidade**:** os documentos selecionados devem guardar homogeneidade, respeitando padrões precisos de seleção e não apresentando excessiva singularidade que os distanciem dos objetivos da análise.
- Pertinência: consiste em se verificar se a fonte documental corresponde apropriadamente ao objetivo da análise (BARDIN, 1977).

Observados os princípios de seleção do *corpus* de análise, composto por todos os documentos selecionados tais como relatórios, publicações, regimentos, normas e rotinas, registros, ofícios, ressalta-se a necessidade de preparação do material selecionado, importando destacar que as observações realizadas pelo pesquisador possuem um cunho enriquecedor quando da análise dos textos, considerando que tais observações expressam com autenticidade outra esfera de comunicação (FOSSÁ e SILVA, 2015).

Acabada a primeira fase, inicia-se a segunda fase, a de exploração do material, que consiste na elaboração das operações de codificação, considerando-se parte dos textos selecionados como unidades de registro, assim como a definição de regras de contagem, bem como a classificação e agregação das informações em categorias temáticas. Nessa fase, todo o material coletado é separado em unidades de registro (palavras, frases, parágrafos ou o próprio texto). Dessas unidades de registro, as palavras-chaves são identificadas e faz-se o resumo de cada uma destas unidades para realizar uma primeira categorização, em conformidade com temas afins, dando origem às categorias iniciais. As categorias iniciais, por sua vez, são agrupadas tematicamente dando origem às categorias intermediárias, as quais também são associadas tematicamente resultando nas categorias finais. Em suma, o texto dos documentos selecionados são separados em unidades de registro (palavras, frases, parágrafos, textos), as quais são agrupadas tematicamente em categorias iniciais, intermediárias e finais, as quais possibilitam a realização

de inferências, de forma que, por este processo indutivo ou inferencial, procura-se não apenas compreender o sentido de cada texto, mas também se busca outro significado relacionado ao mesmo (FOSSÁ, 2003).

A terceira fase compõe-se de tratamento dos resultados, inferência e interpretação, ou seja, consiste em compreender os conteúdos manifestos e latentes contidos em todo o material coletado, utilizando-se de análise comparativa das diversas categorias existentes em cada análise, com ênfase aos aspectos semelhantes e aos diferentes.

Em síntese, o método de análise de conteúdo compreende as seguintes fases:

1) Leitura geral do material coletado;
2) Codificação para formulação de categorias de análise, utilizando o quadro referencial teórico e as indicações obtidas pela leitura geral;
3) Separação do material em unidades de registro (palavras, frases, parágrafos, texto) comparáveis e com conteúdo semântico comum;
4) Formulação, nas unidades de registro, de categorias que se diferenciam tematicamente (passagem de dados brutos para dados organizados) - esta formulação deve seguir os princípios da homogeneidade e da pertinência na mensagem transmitida (não distorção), da subjetividade (para as inferências) e da objetividade (compreensão e clareza);
5) Agrupamento das unidades de registro em categorias comuns;
6) Agrupamento progressivo das categorias (iniciais → intermediárias → finais);
7) Inferência e interpretação, com base no referencial teórico.

Deve-se ressaltar que a sequência de etapas para realização da análise de conteúdo preconizada por Bardin (1977) não deve ser considerada rígida, tendo sido detalhada nesta revisão em razão de sua maior difusão no meio acadêmico.

Outros autores também propõem modelos de análise de conteúdo semelhantes ao proposto por Bardin (1977), os quais, se observados, poderão conduzir a resultados proveitosos e confiáveis (FOSSÁ e SILVA, 2015).

Em relação à seleção do procedimento de análise de dados, a decodificação de um documento pode se valer de diferentes procedimentos para atingir o significado relevante das comunicações nele cifradas. A escolha do procedimento mais adequado depende do material a ser analisado e dos objetivos da pesquisa (CHIZZOTTI, 2006).

Dellagnelo e Silva (2005) reconhecem que a utilização da análise de conteúdo está crescendo no Brasil, excepcionalmente nas pesquisas que se particularizam por abordagem predominantemente qualitativa.

Denzin e Lincoln (2000) ressaltam que também no século XXI a pesquisa qualitativa precisa fazer parte da agenda acadêmica como geradora de resultados das investigações científicas, revelando o seu caráter crítico.

CAPÍTULO 6

EMPRESAS PRODUTORAS DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO EM ESCALA COMERCIAL

6.1. Empresas estrangeiras

Restrições tecnológicas têm sido a principal barreira à produção em escala comercial de bioetanol de segunda geração, de tal modo que poucas empresas, em todo o mundo, alcançaram produção neste patamar. Atualmente, existem 200 milhões de galões de biocombustíveis celulósicos produzidos nos Estados Unidos, embora em grande parte feitos de biogás e não de etanol celulósico (SCHILL, 2016d).

Conforme dito anteriormente, entre as poucas plantas de etanol de segunda geração em escala comercial existentes, destacam-se sete: GranBio, Raízen, Poet-DSM, Beta Renewables, Abengoa (Synata Bio), DuPont e Enerkem (NOVACANA, 2016a).

Na Tabela 6.1, são comparados os principais projetos – Raízen, Poet/DSM, Granbio, Abengoa, Dupont, Betarenewables e Enerkem – conhecidos como em escala comercial e em início de operação. A variedade dos projetos é perceptível nas dimensões críticas do processo.

Tabela 6.1: Características das principais plantas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial.

Raízen	Poet-DSM	Granbio	Abengoa	Dupont	BetaRenewables	Enerkem
Brasil	EUA	Brasil	EUA	EUA	Itália	Canadá
Capacidade (milhões litros/ano)						
40	94	82	95	113	75	38
Potencial de geração de eletricidade (MW)						
7	17	16	21	Não realiza	13	Não realiza
Matérias-primas						
Bagaço de cana	Palha de milho	Palha de cana	Palha de milho	Palha de milho	Palha de trigo	RSU
Fornecedores						
Raízen	Fazendeiros locais	Grupo Carlos Lyra	Fazendeiros locais	Fazendeiros locais	Fazendeiros locais	Cidade de Edmonton
Logística (alguns desenvolvedores)						
Não há	PoetBiomass, NREL, Pacific Ag	CNH, New Holland, Granbio	Abengoa, Pacific Ag, Universidades	Dupont, universidades, Genera Energy, NRLE	Agriconsulting; Biochemtex agro	Waste Management
Tecnologias de conversão						
Hidrólise enzimática-SSCF	Hidrólise enzimática-SSF	Hidrólise enzimática-SSCF	Hidrólise enzimática-SSF	Hidrólise enzimática-SSF	Hidrólise enzimática-SSCF	Gaseificação
Pré-tratamento						
Ácido diluído	Ácido diluído	Explosão à vapor	Ácido diluído	Alcalino	Explosão à vapor	
Iogen	Andritz	BetaRenewables	Abengoa	Dupont	BetaRenewables	
Enzimas						
Novozymes	DSM	Novozymes	Dyadic	Dupont	Novozymes	
Leveduras						
Iogen	DSM	DSM	Abengoa	Dupont*	Leaf Technologies	

Fonte: NOVACANA, 2016.

6.1.1. Poet-DSM

A empresa POET-DSM *Advanced Biofuels* se originou da joint venture entre a empresa Poet, empresa americana líder de produção de bioetanol primeira geração de milho, e a DSM, empresa holandesa de base científica global ativa em saúde, nutrição, energia e materiais. Esta parceria visa à criação de biocombustíveis avançados, em especial etanol celulósico e também licenciar a tecnologia para outras plantas. (GRANDO *et al.*, 2015). A *joint venture* foi constituída em 2012 com o objetivo de produzir de modo competitivo o bioetanol de segunda geração, demonstrando assim a viabilidade de sua tecnologia, a qual planeja licenciar. Embora formada recentemente, a

empresa agrega conhecimentos acumulados há muitos anos por ambas as empresas formadoras. E, no tocante, a produção do bioetanol de segunda geração, tais conhecimentos se revelam complementares.

A DSM[18] iniciou suas atividades como empresa estatal em 1902 e como uma grande mineradora, especialmente de carvão. Com o transcorrer do tempo, a empresa começou a se voltar para química e petroquímica e, gradativamente, foi abandonando seu perfil de mineradora, até que em 1973 encerrou suas atividades exploratórias. A partir dos anos 80, a empresa passou a operar na indústria farmacêutica e de biotecnologia, sendo que, em 2002, decidiu se concentrar no desenvolvimento de bioprodutos e energias renováveis (DSM, 2016).

A partir de 2011, a empresa passou a atentar para o segmento de biocombustíveis e, em particular, o bioetanol de segunda geração, especialmente, em face da possibilidade de expansão na venda de enzimas e leveduras, alguns de seus principais produtos. Acrescido ao desenvolvimento de tecnologias próprias, a DSM, em 2011, adquiriu a C5 *Yeast Company*, uma empresa de biotecnologia ocupada com o desenvolvimento de leveduras capazes de fermentar açúcares C5, combinando os negócios dessa empresa com suas próprias tecnologias avançadas de leveduras e enzimas para biocombustíveis de segunda geração, aumentando ainda mais sua posição de liderança neste campo (DSM, 2011). Mais tarde, em 2012, a DSM expandiu seu negócio de enzimas com a aquisição do segmento desenvolvedor e produtor de enzimas da Cargill e da Verenium, incluindo as licenças para enzimas (DSM, 2012). A DSM produz enzimas e leveduras para a sua fábrica de bioetanol de segunda geração (DSM, 2013), fornecendo leveduras para a GranBio (GRANBIO, 2014).

A Poet é uma das maiores produtoras de bioetanol de primeira geração do mundo. Atua de forma integrada desde a produção do milho, principal matéria-prima utilizada em suas usinas, até a distribuição do bioetanol e demais subprodutos. A empresa produziu aproximadamente 1,7 bilhões de galões de etanol de primeira geração em 2015 (URBANCHUK, 2015).

[18] DSM é a abreviação de *Dutch State Mines* (Minas do Estado Holandês, traduzido para o português)

A Poet surgiu como empresa de origem agrícola em 1983, ano em que iniciou a produção de bioetanol de primeira geração em baixa escala. Sua produção em escala comercial teve início em 1986, em sua planta em Scotland, Dakota do Sul. A partir de 1990, a Poet começou seu processo de expansão, de forma que, em 1998, contava com sete usinas de etanol, todas construídas pela própria empresa (POET, 2016).

Até 1988, já constavam entre suas inovações a primeira mistura de DGS[19] do mercado, e o BPX[20], tecnologia que permitiu a produção de bioetanol de primeira geração sem a necessidade do cozimento do amido, o que refletia em menores custos de produção e maior rendimento produtivo (POET, 2016). O desenvolvimento do BPX se valeu do uso de novas enzimas, representando o início da participação da empresa com o segmento de biotecnologia.

A parceria entre a Poet e a DSM foi concretizada em 2012 por meio do *Project Liberty*[21], embora este projeto já viesse sendo desenvolvido desde 2007, tendo a Poet recebido do USDOE[22] subsídios no valor de US$ 100 milhões para apoiar os custos de engenharia e construção, assim como a colheita de biomassa e de infraestrutura, a serem liberados de acordo com o seu avanço, bem como tendo recebido do Estado de Iowa um valor de US$ 20 milhões na forma de assistência financeira (SOUSA, 2015). No âmbito logístico, destaca-se a criação em 2009 da Poet Biomass, subsidiária da empresa, cuja função consiste em administrar a colheita e o transporte de biomassa até a unidade de bioetanol de segunda geração, além de cuidar da administração de contratos com os fornecedores de matérias-primas e do desenvolvimento, junto a fazendeiros e outros parceiros, de formas mais eficientes de executar a logística da matéria-prima (ENERGYAGWIRED, 2009). Ressalte-se a existência de parcerias com empresas que atuam na logística de matérias-primas, como a Pacific Ag (PACIFICAG, 2016).

---

[19] Destillers Dried Grains (DGS), um complexo proteico utilizado como ração animal (BNDES e CGEE, 2008).

[20] Broin Project X (BPX), inovação de processo que reduz o consumo de energia, melhora a taxa de conversão de milho para etanol, e reduz as emissões das plantas (POET, 2006).

[21] Este projeto consiste em uma planta de etanol celulósico comercial planejada para usar espigas de milho, folhas, casca e alguns talos para produzir etanol (POET-DSM, 2012).

[22] Departamento de Energia do Governo dos Estados Unidos encarregado de formular políticas em matéria de energia e segurança no manejo de materiais nucleares. Suas responsabilidades incluem o programa de armas nucleares da nação, produção de reator nuclear para a Marinha americana, conservação de energia, pesquisa relacionada à energia, eliminação de resíduos radioativos e produção de energia doméstica.

Produção comercial

A unidade de segunda geração da Poet-DSM, em Emmetsburg (Iowa - EUA), utiliza a rota bioquímica para a produção de bioetanol de segunda geração e resíduos da colheita de milho (palha de milho) como matéria-prima, conforme demonstra a Tabela 6.2, a qual apresenta outras características relacionadas à unidade e ao fornecimento da respectiva matéria-prima.

Tabela 6.2: Características da unidade de produção da Poet-DSM.

Tipo de Rota	Bioquímica
Localização	Emmetsburg (Iowa - EUA)
Capacidade	94 milhões de litros por ano
Matéria-prima	Resíduos da colheita de milho
Fornecedores	Fazendeiros da região e Unidade de primeira geração da Poet
Apoio Logístico	Poet Biomass, Pacific Ag e NREL[23]
Energia	Biogás produzido gera energia para ambas as plantas

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de YU, 2016; POET-DSM, 2017; NOVACANA, 2016; PACIFICAG, 2016; CUNHA, 2013.

Resultado da associação com a DSM em 2012, a Poet-DSM deu continuidade ao *Project Liberty*, tendo sua unidade comercial inaugurada em 2014. A DSM contribuiu de forma complementar ao projeto, haja vista que detém a tecnologia e conhecimentos indispensáveis para a produção de

[23] O National Renewable Energy Laboratory (NREL) ou Laboratório Nacional de Energia Renovável é um laboratório localizado na cidade de Golden, Colorado, e que pertence ao Departamento de Energia dos Estados Unidos, sendo um dos mais importantes centros de pesquisa e desenvolvimento de energias renováveis e eficiência energética dos Estados Unidos.

leveduras e enzimas necessárias ao processo de produção do bioetanol de segunda geração.

A primeira unidade comercial da Poet-DSM foi erguida no Estado de Iowa, utilizando como matéria-prima resíduos de milho fornecidos por fazendeiros da região. A palha é recolhida e transportada até a unidade de segunda geração de bioetanol pela Poet Biomass ou pelos próprios fazendeiros. O custo avaliado por tonelada métrica seca de resíduo de milho é de US$ 90 (YU, 2016). O processo de abastecimento da usina foi aprimorado em parceria com diversas empresas (NREL, Pacific Ag), governos e com os próprios fazendeiros, sendo sua capacidade de processamento anual estimada em 285 mil toneladas (POET-DSM, 2016).

Tecnologia

A unidade de segunda geração da Poet-DSM utiliza pré-tratamento com base em ácido diluído para a produção de bioetanol de segunda geração e tecnologia de conversão SSF em que enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator, conforme demonstrado na Tabela 6.3:

Tabela 6.3: Características da tecnologia da POET-DSM.

Tipo de Rota	Bioquímica
Matéria-prima	Palha de milho
Pré-tratamento	Com ácido diluído (H_2SO_4) – empresa Andritz
Enzimas e leveduras	Produção *in situ*
Tecnologia de conversão	SSF - enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de YU, 2016; NOVACANA, 2016; CUNHA, 2013.

A capacidade anual de produção de bioetanol de segunda geração é de 94 milhões de litros, e a tecnologia utilizada é a de hidrólise enzimática (YU, 2016). O pré-tratamento utiliza tecnologia com base em ácido diluído desenvolvida pela Andritz, empresa de engenharia, e as enzimas e leveduras são fornecidas pela própria DSM (NOVACANA, 2016a). A hidrólise enzimática ocorre de acordo com a configuração SSF (Fermentação e Hidrólise Simultâneas), onde a hidrólise enzimática e fermentação são realizadas em um único equipamento (NOVACANA, 2016a). A produção de enzimas é efetuada na própria unidade que foi edificada em anexo a uma unidade de bioetanol de primeira geração da Poet (CUNHA, 2013). A lignina disponibilizada durante o processo é queimada e utilizada para gerar bioeletricidade e calor, sendo a capacidade de geração de eletricidade da ordem de 17 MW (NOVACANA, 2016a). O custo de capital da usina foi de US$ 275 milhões.

O preço de venda projetado do bioetanol de segunda geração é de US$ 3,31 por galão (LUX RESEARCH, 2016). O custo estimado de produção do biocombustível é de US$ 2,01 por galão (YU, 2016).

Poet-DSM planeja instalações de fabricação de enzimas no Projeto Liberty em Emmetsburg, Iowa, pendente de aprovação estadual e local. A instalação será integrada no pacote de tecnologia do Projeto Liberty, replicável em instalações futuras. A instalação de fabricação de enzimas irá direcionar diretamente as enzimas para o processo de produção Liberty, sem exigir o processamento a jusante, estabilizadores e outros produtos químicos necessários para o transporte de enzimas. Novas enzimas desenvolvidas pela DSM também deverão melhorar a eficácia da mistura de enzimas, reduzindo os custos para o processo (POET-DSM, 2017).

Ao longo dos últimos 18 meses, em relação ao Projeto Liberty, foram feitas melhorias significativas no projeto para a unidade e outros investimentos para melhorar os rendimentos e tornar o processo mais consistente e confiável. A instalação está produzindo a uma taxa de 70 galões por tonelada de biomassa seca, perto da taxa de conversão alvo de 72 galões, e atualmente está em fase de aceleração (POET-DSM, 2017).

A Poet-DSM planeja expandir sua tecnologia para outras instalações, mas não foram fornecidos detalhes sobre cronogramas. A Poet alertou, no entanto, que as discussões sobre a revisão dos Padrões de Combustíveis Renováveis

adicionam riscos adicionais no mercado e podem afetar essas decisões de investimento (SAPP, 2017b).

6.1.2. Abengoa e Synata Bio

Tendo sido criada em 1941 na Espanha, a Abengoa, iniciou seu processo de internacionalização, na década de 1960, se expandindo para outros países da Europa e das Américas, de modo que em 2014, a Abengoa já se fazia presente em 50 países (SEC, 2014).

No desenvolvimento das tecnologias de segunda geração, seu interesse se deu a partir de 2003 com a criação da *Abengoa Bioenergia Novas Tecnologias*, subsidiária da Abengoa que incorporou toda a atividade de P&D da empresa em biocombustíveis. (ABENGOA, 2014). A Abengoa celebrou, em 2004, parceria com a SunOpta para o desenvolvimento de sua tecnologia de explosão a vapor no pré-tratamento de palha de milho e trigo (SUNOPTA, 2004). Outra parceria foi firmada, em 2006, com a Dyadic, uma empresa de biotecnologia, através da qual foi obtida uma licença para utilizar e modificar os micro-organismos, desenvolvidos pela Dyadic, responsáveis pela produção das enzimas necessárias à conversão de celulose em açúcar (SOUSA, 2015; ABENGOA, 2014). Tendo em vista se tratar de uma etapa crítica do processo de produção, a Abengoa lançou também um programa de desenvolvimento da produção de enzimas em larga escala, com o apoio da Antibioticos S.A, empresa espanhola do ramo farmacêutico (ABENGOA, 2011).

A primeira unidade piloto de bioetanol de segunda geração da Abengoa foi inaugurada em 2007 em Nebraska, EUA, com o financiamento do USDOE. Em 2009, foi inaugurada sua unidade de demonstração, em Salamanca, na Espanha, a qual contou com financiamento da Comissão Europeia, tendo sido construída próxima a uma unidade de primeira geração da Abengoa. Mais tarde, em 2012, a unidade foi adaptada para produzir bioetanol de segunda geração fazendo uso de resíduos sólidos urbanos, dispondo de uma capacidade anual de produção de 5 milhões de litros e utilizando 35 mil toneladas de biomassa por ano (BACOVSKY *et al*., 2013).

A Abengoa iniciou procedimentos de falência em novembro de 2015 nos EUA e está vendendo seus ativos de biocombustíveis. A empresa tem citado

que os atrasos na ampliação das tecnologias de segunda geração de biocombustíveis como um dos responsáveis pela suspensão do desenvolvimento industrial de biocombustíveis até uma mudança potencial no contexto do mercado de biocombustíveis (VOEGELE, 2016).

Em setembro de 2016, cinco unidades de bioetanol de primeira geração da Abengoa tiveram suas vendas fechadas: A Green Plains Inc. adquiriu três das plantas vendidas em processos de falência, a ICM Inc. comprou a fábrica ao lado de sua sede e a KAAPA Ethanol comprou a outra unidade. A Abengoa Bioenergy Biomass LLC, a unidade produtora de bioetanol de segunda geração em Hugoton, no Kansas, estava em fase de venda em um processo separado (SCHILL, 2016b). Por fim, em novembro de 2016, o tribunal de falência do distrito de Kansas aprovou a melhor oferta para a unidade da Abengoa Bioenergy Biomass do Kansas, tendo sido colocada a melhor oferta pela Synata Bio Inc. no valor de US$ 48,5 milhões, superando a proposta feita anteriormente pela Shell Oil Co. De acordo com os documentos judiciais, a venda incluiu a instalação de produção de etanol celulósico e a planta de cogeração elétrica em Hugoton, Kansas, juntamente com cerca de 400 hectares de terra, bem como mobiliário e equipamentos, suprimentos e veículos, e estoque de matéria-prima, tendo sido excluída a propriedade intelectual contida no processo e os acordos de licença com a Abengoa Bioenergy New Technologies LLC (SCHILL, 2016c).

Em 2017, na Espanha, a Abengoa finalizou seu acordo com a Trilantic Europe para vender as quatro plantas de etanol restantes da empresa na Europa, além de uma empresa que comercializa DGS e adquire grãos. A capacidade total instalada para as usinas espanholas é de 145 milhões de galões por ano e outros 66 milhões de galões em uma instalação em Pirineus Atlânticos, na França. Seguindo os procedimentos de falência e reestruturação da empresa, foram vendidas, em 2016, suas instalações de etanol com sede nos Estados Unidos, juntamente com outros ativos em todo o mundo, em um esforço para cobrir cerca de US$ 1 bilhão em dívidas (SAPP, 2017c).

A Abengoa hoje aplica soluções tecnológicas inovadoras para a sustentabilidade nos setores da energia e do ambiente, gerando eletricidade a partir de recursos renováveis, convertendo a biomassa em biocombustíveis e

produzindo água potável a partir da água do mar. Atualmente, os negócios da Abengoa estão estruturados em torno de três atividades (ABENGOA, 2017):

a) Engenharia e construção: inclui suas atividades tradicionais de engenharia nos setores da energia e da água, com mais de 70 anos de atuação. Especializou-se na realização de projetos complexos *turn-key*[24] para usinas solares térmicas, usinas híbridas de gás solares, usinas de geração convencional, usinas de biocombustíveis e infraestruturas hídricas, bem como grandes usinas de dessalinização e linhas de transmissão, entre outras.
b) Infra-estruturas de tipo concessão: possui uma carteira de ativos de concessão proprietária que geram receitas que são regidas por contratos de vendas de longo prazo com formatos como contratos *take-or-pay*[25], contratos de tarifas ou contratos de compra de energia. Esta atividade inclui a operação de usinas de geração de energia elétrica (solar, cogeração ou eólica) e linhas de transmissão.
c) Produção industrial: foco no desenvolvimento da tecnologia solar.

Synata Bio

A Synata Bio opera no setor de energia, tendo sido incorporada em 2015, com sede em Warrenville, Illinois. A Synata Bio absorveu a tecnologia anteriormente pertencente à Coskata, empresa de energia que iniciou suas atividades em 2006. A Coskata saiu do mercado em 2015 e teve sua tecnologia reconduzida para a nova empresa Synata Bio. A Coskata tinha seu foco, por meio da fermentação de gás, na conversão de gás natural em combustíveis. Devido aos baixos preços do petróleo, a Synata Bio pode dirigir essa tecnologia para oportunidades atraentes em produtos químicos, possivelmente ácido acético, propanol ou n-butanol. A Synata apresentou um formulário para SEC -

[24] Tipo de projeto que é construído de modo que possa ser vendido a qualquer comprador como um produto concluído, em que o desenho essencial emana ou é fornecido pelo fabricante e não pelo contratante (WALLACE, 1984).
[25] Tipo de contrato ou cláusula contratual, normalmente utilizada no setor de energia, em que o comprador paga por uma quantidade mínima de produção especificada contratualmente, independentemente de a entrega ser efetivamente realizada, pagamento este que funciona como uma espécie de garantia indireta para financiamento de projetos (MASTEN e CROCKER, 1985).

Securities & Exchange Commission -, detalhando um investimento de US$ 10 milhões, tendo arquivado seu endereço no aludido órgão com sendo o antigo endereço da sede da Coskata, tendo também adquirido a tecnologia da Coskata (LANE, 2016b). Frise-se o *website* da Synata Bio: www.coskata.com, demonstrando a relação entre a Synata Bio e empresa que adquiriu.

A Synata Bio, ao comprar a unidade de produção de bioetanol de segunda geração da Abengoa, em Hugoton, além de outros ativos, no valor de US$ 48,5 milhões, em dezembro de 2016, no contexto do processo de falência e reestruturação da Abengoa, acabou por adquirir uma das poucas plantas no mundo com potencial para atingir a escala comercial (SCHILL, 2016c).

Produção comercial

A unidade de segunda geração da Abengoa, em Hugoton (Kansas, Estados Unidos), adquirida pela Synata Bio, utiliza a rota bioquímica para a produção de bioetanol de segunda geração e resíduos da colheita de milho (palha de milho) como matéria-prima, conforme demonstra a Tabela 6.4, a qual apresenta outras características relacionadas à unidade e ao fornecimento da respectiva matéria-prima.

Tabela 6.4: Características da unidade de produção da Abengoa, adquirida pela Synata Bio.

Tipo de Rota	Bioquímica
Localização	Hugoton (Kansas - EUA)
Capacidade	95 milhões de litros por ano
Matéria-prima	Resíduos da colheita de milho
Fornecedores	Fazendeiros da região
Apoio Logístico	Advanced Feedstocks of Kansas (*join venture* entre Abengoa e Pacific Ag)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de YU, 2016; NOVACANA, 2016; SANTOS, 2014; CUNHA, 2013.

Em que pese o grande apoio governamental, o projeto de expansão da Abengoa, que se iniciou na década de 2000, foi em grande parte conduzido por meio de financiamentos privados. Considerando que, ao final de 2015, o total de dívida da empresa beirava € 8,9 bilhões, e considerando que a Gonvarri Corporación, cancelou um projeto de injeção de € 350 milhões na Abengoa, o mercado financeiro percebeu, em novembro daquele ano, que a Abengoa estava passando por dificuldades financeiras, gerando, como consequência, uma drástica queda das ações da empresa fazendo com que o seu valor de mercado se reduzisse a € 300 milhões. Outro complicador residiu na queda da geração de caixa da empresa, com forte implicação em seu segmento de produção de biocombustíveis. Apesar de as receitas se manterem no mesmo patamar com a venda de biocombustíveis, entre os anos de 2014 e 2015, o EBITDA[26] entre esses dois anos caiu de € 271 milhões para € 40 milhões. No Brasil, desde 2013, a empresa já havia contabilizado prejuízos em suas operações com etanol (NOVACANA, 2015c).

No Brasil, investimentos do BNDES e da FINEP, através do PAISS[27], contemplaram a Abengoa e a ETH Bioenergia (atual Odebrecht Agroindustrial) sendo que a primeira tinha previsão de iniciar a construção de uma unidade comercial de bioetanol de segunda geração ao final de 2016 (RIBEIRO, 2015). A ETH Bioenergia, entretanto, não prosseguiu com a operação, de forma que a Abengoa anunciou, no primeiro trimestre de 2016, que colocaria à venda sua divisão de bioenergia e encerraria suas atividades na área no Brasil (MILANEZ, 2015).

A unidade comercial de bioetanol de segunda geração em Hugoton, Kansas nos EUA, já se encontra parada desde o final de 2015, quando vários de seus empregados foram dispensados (RICO, 2015). Esta unidade utilizava como matéria-prima palha de milho fornecida por produtores da região. No

[26] EBITDA da sigla "*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*", que significa "Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização", é um indicador que mensura o potencial operacional de caixa que o ativo operacional de uma empresa é capaz de gerar não sendo levado em consideração o custo de eventual capital tomado emprestado, e nem computadas as receitas e despesas financeiras, os eventos extraordinários e os ganhos ou perdas não operacionais (IÇO e BRAGA, 2001).

[27] Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico cuja execução decorreu de um acordo de cooperação técnica entre o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a FINEP firmado em 2011.

âmbito logístico, o abastecimento da unidade com a palha era realizada pela *Advanced Feedstocks of Kansas*, uma *joint venture* formada pela Abengoa e pela Pacific AG (SANTOS, 2014).

Tecnologia

A unidade de segunda geração da Abengoa, adquirida pela Synata Bio, utilizava pré-tratamento com base em ácido diluído para a produção de bioetanol de segunda geração e tecnologia de conversão SSF em que enzimas e leveduras eram inseridas simultaneamente no reator, conforme apresentado na Tabela 6.5:

Tabela 6.5: Características da tecnologia da Abengoa, adquirida pela Synata Bio.

Tipo de Rota	Bioquímica
Matéria-prima	Palha de milho
Pré-tratamento	Com ácido diluído (H_2SO_4)
Enzimas e leveduras	Enzimas produzidas com tecnologia licenciada da Dyadic; e leveduras produzidas com tecnologia própria.
Tecnologia de conversão	SSF - enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de YU, 2016; NOVACANA, 2016; FRANÇOSO, 2014; CUNHA, 2013.

A unidade tem capacidade anual de processamento de 350 mil toneladas, gerando cerca de 95 milhões de litros por ano de bioetanol de segunda geração, tendo seu custo estimado em US$ 500 milhões (YU, 2016). A unidade também é capaz de produzir 21 MW de bioeletricidade (NOVACANA, 2016a).

O pré-tratamento utilizado era conduzido em duas etapas, o primeiro com o uso de ácidos diluídos, e o segundo com aplicação de explosão a vapor. Logo após, a hemicelulose disponibilizada era fermentada em um tanque em separado, ao passo que a celulose era direcionada para outro tanque onde seria hidrolisada e, posteriormente, fermentada (CUNHA, 2013). As enzimas, desenvolvidas em parceira com a Dyadic, e as leveduras eram produzidas pela Abengoa.

De acordo com YU (2016), o custo de produção do bioetanol de segunda geração da Abengoa era de US$ 2,04 por galão. No entanto, se computados os retornos sobre o capital investido, o preço mínimo de venda do biocombustível se elevaria substancialmente, atingindo US$ 4,54 por galão. A empresa produziu em 2015 aproximadamente 1,89 milhões de litros de bioetanol de segunda geração (quase 2% de sua capacidade total) e, desde dezembro de 2015, as atividades na unidade de Hugoton estão praticamente paradas (YU, 2016).

A planta de Hugoton, com intensidade de capital da Abengoa, se comparada com as demais plantas comerciais, possuía o preço mais alto de bioetanol celulósico US$ 4,55, sendo o custo da matéria-prima a variável mais crítica (LUX RESEARCH, 2016). O custo[28] da palha de milho, principal matéria-prima para a produção de bioetanol de segunda geração naquela unidade, importava para a Abengoa em cerca de US$ 90 por tonelada métrica seca (LUX RESEARCH, 2016).

6.1.3. Beta Renewables

Beta Renewables é uma *joint venture* gerada em 2011 entre a Biochemtex e a *Texas Pacific Group* e, embora relativamente nova, foi a primeira empresa a inaugurar uma unidade de produção comercial de bioetanol de segunda geração, em 2013 na Itália. Esse marco se deveu basicamente à dedicação do setor de pesquisa e desenvolvimento da Biochemtex, que desde

[28] Em relação ao preço da matéria-prima de produtos ou subprodutos agrícolas, vale ressaltar que o mesmo é influenciado por diversos fatores, tais como os níveis de estoque existentes, a oferta e a demanda do próprio produto e de seus produtos substitutos e complementares, aspectos climáticos, logísticos, política agrícola, dentre outros (MARTINS, 2009).

sua fundação, em 2006, desenvolve sua tecnologia com base na hidrólise enzimática (M&G, 2016).

A Biochemtex, subsidiária do grupo italiano Mossi Ghisolfi, tem como principal área de atuação a produção de petroquímicos, com ênfase na produção de PET - Poli (tereftalato de etileno). Este produto é comercializado pelo grupo desde sua fundação, em 1953, sendo um dos seus maiores produtores, com fábricas na Europa, nos EUA, no Brasil e no México. Desde 2004, o grupo Mossi Ghisolfi tem diversificado sua área de atuação, tendo entrado para o segmento de engenharia e desenvolvimento de novos produtos químicos com a aquisição da Chemtex (M&G, 2016).

A Beta Renewables desenvolveu e implantou uma tecnologia de baixo custo de biocombustíveis celulósicos, conhecida como PROESA[29], cujo desenvolvimento da tecnologia contou com o apoio de diversas empresas e universidades, materializado sobre o nome de Consórcio BioLyfe. A Chemtex emprega aproximadamente 1000 funcionários localizados em centros-chave em todo o mundo - Tortona e Rivalta na Itália, Wilmington, Carolina do Norte, e Sharon Center, Ohio nos EUA, Xangai e Pequim na China e Mumbai, Bangalore e Baroda na Índia (LANE, 2015d).

Chemtex é um fornecedor de soluções de projetos que oferece tecnologias de ponta (licenciadas e próprias), desenvolvimento de tecnologia (em suas instalações de P&D nos EUA e Itália) e uma gama completa de gerenciamento de projetos, engenharia, logística estratégico e serviços de construção para seus clientes em todo o mundo (LANE, 2015d).

O Consórcio Biolyfe, projeto que visou demonstrar a produção de bioetanol de segunda geração em larga escala, financiado com recursos do edital FP7[30], recebeu apoio financeiro da Comissão Europeia com investimentos de aproximadamente € 8,6 milhões, bem como recebeu do

[29] Tecnologia de pré-tratamento com explosão a vapor, licenciada pela Beta Renewables para a Bioflex 1 (unidade de produção da GranBio) (NORIEGA, 2016).

[30] FP (Framework Program). No continente europeu foram criados alguns fundos para apoiar o desenvolvimento de tecnologias para produção de bioetanol de segunda geração. Cerca de 13 grandes projetos foram suportados com recursos dos Programas – Quadro (Framework Program) de Apoio Tecnológico (FP5, FP6 e FP7), dos quais alguns incentivaram a formação de parcerias entre países europeus e latino-americanos, entre eles o Brasil (SCHLITTER, 2012).

programa NER300[31] investimentos de € 28,4 milhões na construção da planta comercial de bioetanol de segunda geração da Beta Renewables. Outro parceiro governamental foi o ENEA[32], agência nacional do governo italiano, que junto com a Novozymes desenvolveu o coquetel enzimático específico utilizado pela Beta Renewables, e que, em parceria com a Universidade de Lund, na Suécia, colaboraram para aumentar a eficiência da fermentação dos açúcares C5 e C6 (BIOLYFE, 2012; CHIARAMONTI, 2013). Destaque também para a Inbicon, que auxiliou no desenvolvimento da tecnologia de pré-tratamento, e a Agriconsulting, que auxiliou na criação da cadeia de abastecimento de matéria-prima (BIOLYFE, 2016).

A *Texas Pacific Group*, como parceira na formação da Biochemtex, contribuiu para o desenvolvimento da tecnologia PROESA, limitando-se à área financeira. A Novozymes que, em 2012, passou a integrar a Beta Renewables, ao adquirir 10% das ações da empresa, se destacou por apoiar o desenvolvimento da referida tecnologia, assim como por proporcionar as enzimas aplicadas (SOARES, 2016).

Produção comercial

A unidade de segunda geração da Beta Renewables, em Crescentino na Itália, utiliza a rota bioquímica para a produção de bioetanol de segunda geração e palha de trigo como matéria-prima, conforme demonstra a Tabela 6.6, a qual apresenta outras características relacionadas à unidade e ao fornecimento da respectiva matéria-prima.

[31] NER 300 é um programa de financiamento para projetos inovadores de demonstração de energia com baixa emissão de carbono. O programa é concebido como um catalisador para a demonstração de captura e armazenamento de carbono ambientalmente segura e tecnologias inovadoras de energia renovável a uma escala comercial na União Europeia.

[32] Organização pública italiana destinada a pesquisa e inovação tecnológica, bem como a prestação de serviços avançados às empresas, administração pública e cidadãos nas áreas de energia, meio ambiente e desenvolvimento económico sustentável.

Tabela 6.6: Características da unidade de produção da Beta Renewables.

Tipo de Rota	Bioquímica
Localização	Crescentino (Itália)
Capacidade	75 milhões de litros por ano
Matéria-prima	Palha de trigo
Fornecedores	Fazendeiros da região
Apoio Logístico	Agriconsulting e Biochemtex Agro

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de BIOCHEMTEX, 2016; BIOLYFE, 2016; NOVACANA, 2016; SOARES, 2016; CUNHA, 2013.

A unidade de produção em escala comercial da Beta Renewables foi inaugurada em 2013, embora testes com o uso da tecnologia PROESA tenham sido já realizados na unidade piloto da Biochemtex situada em Rivalta (Itália), inaugurada em 2009, com capacidade anual de processamento de 250 toneladas de biomassa, como parte do Centro de P&D da Biochemtex, encarregada da análise de novas matérias-primas e desenvolvimento de novos processos e microrganismos. Em outro centro de P&D da empresa, localizado em Bari (Itália), é realizado o desenvolvimento da tecnologia MOGHI, a qual será capaz de converter a lignina, resíduo proveniente da produção do bioetanol de segunda geração, em produtos químicos de maior valor agregado como xileno, benzeno e tolueno (BIOCHEMTEX, 2016).

Com base no *Alpha Project*, a construção de outra unidade comercial se encontra em curso, no Estado da Carolina do Norte (EUA), com capacidade anual de produção de 75 milhões de litros de bioetanol de segunda geração, a partir da utilização, essencialmente, de *energy crops*[33]. No Brasil, a Beta Renewables licenciou sua tecnologia PROESA para Granbio que inaugurou sua planta comercial em 2014. (SOARES, 2016).

[33] São culturas produzidas com o expresso propósito de usar sua biomassa energeticamente, sendo desejáveis altos teores de lignina e celulose na sua biomassa (LEWANDOWSKI *et al.*, 2003)

A primeira unidade comercial de bioetanol de segunda geração a entrar em operação, construída em Vercelli (Itália), utiliza principalmente palha de trigo como matéria-prima, a qual é fornecida por produtores de trigo da região a um custo de aproximado de US$ 75 (YU, 2016). A unidade também faz uso da *Arundo Donax*[34], uma *energy crops*, e da palha de arroz, ambas produzidas na região (SOARES, 2016). O apoio logístico para entrega da matéria-prima é realizada pelos fornecedores com o apoio da Biochemtex Agro (NOVACANA, 2016a).

Tecnologia

A unidade de segunda geração da Beta Renewables utiliza pré-tratamento de explosão à vapor para a produção de bioetanol de segunda geração e tecnologia de conversão SSCF em que enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator, conforme demonstrado na Tabela 6.7:

Tabela 6.7: Características da tecnologia da Beta Renewables.

Tipo de Rota	Bioquímica
Matéria-prima	Palha de trigo
Pré-tratamento	Explosão com vapor
Enzimas e leveduras	Enzimas produzidas pela Novozymes; e leveduras fornecidas pela Lesaffre
Tecnologia de conversão	SSCF - enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de YU, 2016; NOVACANA, 2016; SOARES, 2016; CUNHA, 2013.

[34] A Cana-do-reino ou cana (Arundo donax) é uma planta perene alta, nativa do sul e este da Ásia, e da bacia do Mediterrâneo (DUDLEY *et al.*, 2008).

Atualmente a unidade da Beta Renewables tem capacidade de processamento de 270 mil toneladas de matéria-prima transformadas em 75 milhões de litros de bioetanol de segunda geração e 13 MW de bioeletricidade. O levantamento da fábrica, suportado com investimentos de cerca de US$ 200 milhões, ficou a cargo da Biochemtex que desenvolveu com tecnologia própria o processo de pré-tratamento à explosão a vapor (NOVACANA, 2016a; SOARES, 2016).

A configuração utilizada no processo de produção é o da sacarificação e co-fermentação simultâneas, no qual após o pré-tratamento da biomassa, os açúcares liberados seguem para um mesmo tanque onde enzimas e leveduras serão adicionadas, para que ocorram, respectivamente, a hidrólise da celulose e a fermentação dos açúcares (NOVACANA, 2016a; CUNHA, 2013). As enzimas são obtidas junto à Novozymes e as leveduras, capazes de fermentar simultaneamente os açúcares C5 e C6, são obtidas da Lesaffre, empresa de biotecnologia com foco em leveduras (NOVACANA, 2016a; SOARES, 2016).

O custo da palha de trigo, principal matéria-prima da Beta Renewables para a produção de bioetanol de segunda geração, é de US$ 75 por tonelada métrica seca (LUX RESEARCH, 2016). Isto reflete em seu custo estimado por galão de bioetanol de segunda geração na unidade, o qual é de US$ 1,97, superior aos US$ 1,14 por galão estimados para a GranBio que, embora faça uso da tecnologia licenciada da Beta Renewables, se utiliza de matéria-prima mais barata e de leveduras fornecidas pela DSM. O preço mínimo de venda previsto é de US$ 3,29 por galão (YU, 2016). O preço de venda projetado do biocombustível é de US$ 3,31 por galão (LUX RESEARCH, 2016).

6.1.4. Dupont

Fundada em 1802, a Dupont, originalmente uma empresa fabricante de pólvora e explosivos, teve suas primeiras fábricas inauguradas em 1804, nos EUA, tendo como produto principal uma nova variedade de pólvora que representava uma inovação na indústria do armamento (DUPONT, 2017).

A Primeira Guerra Mundial propiciou a Dupont ser uma das empresas de maior crescimento nos EUA na época, tendo gerado condições para que fosse

dado início ao seu processo de diversificação. A partir da década de 1960, a Dupont começou a entrar na indústria farmacêutica (DUPONT, 2017).

Na década de 1980, foi criada a Genencor, *joint venture* formada por Corning Glass e Genentech, mais tarde adquirida pela Dupont, com o objetivo de desenvolver e produzir enzimas para químicos e alimentos (HAMILTON, 1985). A Genencor tem sua importância devido à sua experiência na concepção e operação de fábricas (HILL, 2013).

Entretanto, somente na década de 1990, a empresa passou a atuar de modo mais intenso na indústria farmacêutica e na biotecnologia, sendo que, nesta última área, no biênio 1998-1999, a Dupont adquiriu integralmente a empresa Pioneer Hi-Bred, passando a ter acesso às suas capacidades de P&D, especialmente em biotecnologia agrícola (WEST, 1998; DUPONT, 2017).

A Pioneer é atualmente a subsidiaria de maior relevância para a Dupont, atraindo em torno de 55% do investimento em P&D da empresa e gerenciando todo o setor de defensivos agrícolas, sementes (incluindo as geneticamente modificadas) e fertilizantes, o qual respondeu por 27% do total das vendas da Dupont em 2014 e 2015 (SEC, 2015). A Pioneer tem se destacado devido ao conhecimento de agricultura e relacionamento com produtores (HILL, 2013).

A participação da empresa no desenvolvimento do bioetanol de segunda geração começou em 2003, quando recebeu do USDOE financiamento no valor de US$ 19 milhões com vistas a dar início ao projeto *Integrated Corn-Based Biorefinery*, cujo foco consistia no desenvolvimento de toda a cadeia produtiva do bioetanol de segunda geração, a partir do uso de resíduos da produção do milho e utilização da tecnologia de hidrólise enzimática. Também agregaram esforços no projeto a empresa Deere Company, fabricante de máquinas e equipamentos agrícolas e o NREL (DUPONT, 2017).

Em 2009, inaugurou sua unidade de demonstração de etanol celulósico no Tennessee, trabalho este que culminou na construção de uma instalação de 30 milhões de galões por ano em Nevada, Iowa, a qual se tornou comercial em 2016, e que utiliza resíduos de milho e *switchgrass*[35] (USDOE, 2016a).

[35] Também conhecida como *Panicum Virgatum*, é uma gramínea com raízes profundas e perene que começa o crescimento no final da primavera, sendo que suas folhas são 30-90 cm de comprimento, com uma nervura central proeminente. Utiliza fixação de carbono C4, dando-lhe uma vantagem em condições de seca e de alta temperatura, tendo sido pesquisada como uma cultura renovável de bioenergia desde meados da década de 1980 (SILZER, 2000; McLAUGHLIN e KZOS, 2005).

Em 2013, a Pioneer efetuou uma série de parcerias com o objetivo de estimular o desenvolvimento de seu ramo de melhorias genéticas das matérias-primas utilizadas no processo de produção de bioetanol de segunda geração, dentre as quais se destaca a parceria com a Arcadia, empresa de biotecnologia, para o desenvolvimento do sorgo sacarino, e a parceria com a Mendel Biotechnology, para melhoria do milho (LANE, 2013). Também em 2013, foi firmado um acordo – denominado *Stover Collection Project* – junto com o USDA e a Universidade de Iowa para o desenvolvimento da cadeia de abastecimento da então futura unidade comercial de biotanol de segunda geração (PROVINE, 2014).

Produção Comercial

A unidade de segunda geração da Dupont, em Nevada (Iowa, Estados Unidos), utiliza a rota bioquímica para a produção de bioetanol de segunda geração e palha de milho como matéria-prima, conforme demonstra a Tabela 6.8, a qual apresenta outras características relacionadas à unidade e ao fornecimento da respectiva matéria-prima.

Tabela 6.8: Características da unidade de produção da Dupont.

Tipo de Rota	Bioquímica
Localização	Nevada (Iowa - EUA)
Capacidade	113 milhões de litros por ano
Matéria-prima	Palha de milho
Fornecedores	Fazendeiros da região
Apoio Logístico	Dupont, Genera Energy e NREL

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de BIOCHEMTEX, 2016; BIOLYFE, 2016; NOVACANA, 2016; SOARES, 2016; CUNHA, 2013.

A unidade, inaugurada em 2014 em Nevada, Iowa, e construída adjacente a uma unidade de primeira geração da *Lincolnway Energy,* recebeu financiamento de cerca de US$ 19 milhões do estado de Iowa, e de cerca de US$ 50 milhões do USDOE e atingiu a produção comercial em 2016 (USDOE, 2016a; USDOE, 2010; LANE, 2013).

Outros progressos consistiram na celebração do contrato com a *Quad County Corn Processor*, por meio do qual a Dupont ficou incumbida do fornecimento das enzimas usadas na unidade de demonstração de bioetanol de segunda geração da empresa; e na aquisição do segmento de enzimas da Dyadic, no montante de US$ 75 milhões (LANE, 2015a; LANE, 2016a).

Tecnologia

Embora tenham sido obtidas importantes informações relacionadas à tecnologia utilizada pela Dupont na produção de bioetanol de segunda geração, muitas informações se encontram protegidas pela confidencialidade, como se pode comprovar em USDOE (2016a).

A unidade de segunda geração da Dupont utiliza pré-tratamento alcalino para a produção de bioetanol de segunda geração e tecnologia de conversão SSF em que enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator, conforme demonstrado na Tabela 6.9:

Tabela 6.9: Características da tecnologia da Dupont.

Tipo de Rota	Bioquímica
Matéria-prima	Palha de milho
Pré-tratamento	Alcalino
Enzimas e leveduras	Enzimas e leveduras produzidas pela Dupont
Tecnologia de conversão	SSF - enzimas e leveduras são inseridas simultaneamente no reator

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de YU, 2016; NOVACANA, 2016; JESSEN, 2015; PROVINE, 2014.

Com uma capacidade de processamento de 375 mil toneladas secas de palha de milho, armazenadas e fornecidas por agricultores locais, cultivadas em cerca de 190 mil hectares de terras agrícolas a uma distância de 30 milhas da unidade comercial, e uma capacidade produtiva de aproximadamente 113 milhões de litros, a unidade de bioetanol de segunda geração não produz bioeletricidade, ao contrário das demais empresas que produzem em escala comercial. A lignina liberada, ao invés de ser queimada, é processada e transformada em *pellets*[36] para ser vendida a terceiros (USDOE, 2016a; JESSEN, 2015; NOVACANA, 2016; PROVINE, 2014).

O processo da Dupont utiliza amônia e vapor diluídos como tecnologia de pré-tratamento (USDOE, 2016a).

A unidade de segunda geração de bioetanol foi construída nas proximidades de uma unidade de primeira geração pertencente à *Lincolnway Energy*, com um custo de capital estimado em US$ 200 milhões. A tecnologia própria de pré-tratamento alcalino foi desenvolvida em parceria com universidades. A configuração da tecnologia de conversão segue o modelo sacarificação e fermentação simultâneas (NOVACANA, 2016a).

Mesmo sem créditos de energia elétrica, a Dupont tem um preço de venda projetado de US$ 3,31 por galão, semelhante a Beta Renewables e Poet-DSM, em sua planta de 30 milhões de galões por ano. Ela usa processos melhorados de agregação de matéria-prima, reduzindo o custo da produção da palha de milho de US$ 90 para US$ 52 por tonelada métrica seca (LUX RESEARCH, 2016).

O custo estimado por galão de bioetanol de segunda geração é de US$ 2,38, sendo o preço mínimo de venda estimado em US$ 3,33 por galão (YU, 2016).

[36] O *pellet* de madeira é hoje a biomassa sólida para fins energéticos mais negociada no mundo, em razão de a peletização diminuir o teor de umidade da madeira e aumentar sua densidade, ampliando as possibilidades de comércio internacional, em face das diminuições do custo relativo do frete (VIDAL e HORA, 2011).

6.1.5. Enerkem

A Enerkem é uma empresa fundada em 2000 com o objetivo específico de produzir bioetanol e outros químicos por rota termoquímica utilizando resíduo sólido urbano como matéria-prima (ENERKEM, 2017; AEC, 2012). Sendo uma *start-up* canadense, teve sua origem nas universidades, em especial, na Universidade de Sherbrooke. A tecnologia desenvolvida pela Enerkem é de gaseificação (ENERKEM, 2017).

Apesar de a empresa já ter testado sua tecnologia em laboratórios, a evolução para sua comercialização demandava recursos financeiros, operacionais e mercadológicos que a empresa não dispunha, problema este que solucionado através de parcerias realizadas com outras empresas e com o apoio do governo.

A primeira etapa com vistas à comercialização de sua tecnologia foi a construção de sua unidade piloto inaugurada em 2003. O projeto, denominado *Sherbrooke Pilot Plant and Research Center*, funciona em estreita relação com a Universidade de Sherbrooke, tendo como foco principal o teste de novas matérias-primas com utilização da tecnologia da Enerkem (BACOVSKY *et al.*, 2013). A construção da unidade teve substancial apoio financeiro do Governo Canadense por meio da SDTC[37] (SDTC, 2017). A unidade possui capacidade de processamento de cerca 5 toneladas por dia, tendo já comprovado ser a tecnologia da Enerkem capaz de processar mais de 25 tipos diferentes de matérias-primas (BACOVSKY *et al.*, 2013).

Em 2009, foi inaugurada sua primeira planta de demonstração, embora a Enerkem já houvesse realizado alguns avanços, dentre os quais se destaca a parceria firmada, em 2008, com a *GreenFields Ethanol*, uma das maiores produtoras de etanol do Canadá, parceria essa da qual obteve além de apoio financeiro, o comprometimento da *GreenFields Ethanol* a adquirir o bioetanol produzido pela planta de demonstração (SEC, 2012).

Ainda em 2008, a Enerkem juntamente com a prefeitura da cidade de Edmonton, Alberta, Canadá, anunciaram o plano de construir a primeira planta

[37] SDTC - Sustainable Development Technology Canada é uma fundação independente criada pelo Governo do Canadá para financiar novas tecnologias limpas economicamente viáveis e trazê-las para o mercado, por meio de investimos em empresas canadenses globalmente competitivas que produzem benefícios ambientais tangíveis (SDTC, 2017).

comercial de bioetanol de segunda geração do Canadá, que foi inaugurada em 2014, passando a escala comercial em 2016 (ABDI e CGEE, 2016).

Os progressos da Enerkem atraíram o interesse de outras grandes empresas oriundas de diversos setores, como é o caso da Waste Management, a qual investiu, em 2010, C$ 53 milhões na Enerkem, tornando-se uma de suas principais acionistas (ENERKEM, 2017). A Waste Management é uma grande empresa americana que funciona em diferentes países, atuando na administração de aterros sanitário e centros de reciclagem, bem como na remoção de resíduos hospitalares, desenvolvendo soluções para tratamento de resíduos urbanos e industriais (LANE, 2014). A Valero, empresa refinadora de petróleo e grande produtora de bioetanol de primeira geração nos EUA, também passou a ser acionista da Enerkem, após investir cerca de C$ 75,5 milhões (ENERKEM, 2017).

Essas duas parcerias, renderam à Enerkem, além do suporte financeiro, acordos de licenciamentos das tecnologias das empresas parceiras. A parceria com Waste Management dispõe sobre a venda de sistemas utilizando a tecnologia da Enerkem em até seis locais, representando o equivalente a uma capacidade de produção de bioetanol de segunda geração oscilando de 370 a 444 milhões de litros por ano. A parceria com a Valero prevê que a empresa utilize a tecnologia da Enerkem na construção de novas plantas comerciais, independentes ou em anexo a unidades de primeira geração da Valero (SEC, 2012).

Produção Comercial

A unidade de segunda geração da Enerkem, em Edmonton (Alberta - Canadá), utiliza a rota termoquímica para a produção de bioetanol de segunda geração e resíduos sólidos urbanos como matéria-prima, conforme demonstra a Tabela 6.10, a qual apresenta outras características relacionadas à unidade e ao fornecimento da respectiva matéria-prima.

Tabela 6.10: Características da unidade de produção da Enerkem.

Tipo de Rota	Termoquímica
Localização	Edmonton (Alberta - Canadá)
Capacidade	38 milhões de litros por ano
Matéria-prima	Resíduos Sólidos Urbanos
Fornecedores	Cidade de Edmonton
Apoio Logístico	Waste Management

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ABDI e CGEE, 2016; SDTC, 2017; ENERKEM, 2017; NOVACANA, 2016.

Em 2014, foi inaugurada a unidade comercial da Enerkem em Edmonton, Alberta, Canadá. A unidade que usa como matéria-prima resíduos sólidos urbanos foi construída nas proximidades de um aterro da cidade, embora somente viesse a produzir o bioetanol de segunda geração em escala comercial em 2016 (ABDI e CGEE, 2016).

A empresa governamental *Alberta Innovates* investiu C$ 20 milhões no projeto e administra a unidade em conjunto com a Enerkem, ao passo que o SDTC participou com investimentos de C$ 63 milhões em um total de C$ 174 milhões, valor de custo do projeto (SDTC, 2017).

A unidade da Enerkem utiliza como matéria-prima resíduos sólidos urbanos oriundos de um aterro sanitário da cidade de Edmonton, Alberta, Canadá. A prefeitura da cidade se responsabilizou contratualmente pelo fornecimento da matéria-prima por um período de 25 anos (BACOVSKY *et al.*, 2013). O custo por tonelada de matéria-prima utilizada foi calculado em US$ 75 negativos, ao passo que o custo por galão de bioetanol de segunda geração produzido foi computado em cerca de US$ 1,25 negativos, valores estes negativos explicáveis pelo fato de que a Enerkem recebe para processar a matéria-prima utilizada (JACOBS CONSULTANCY, 2013).

Embora não tenha sido necessário o desenvolvimento de toda uma nova logística de abastecimento de matéria-prima - haja vista que a coleta de

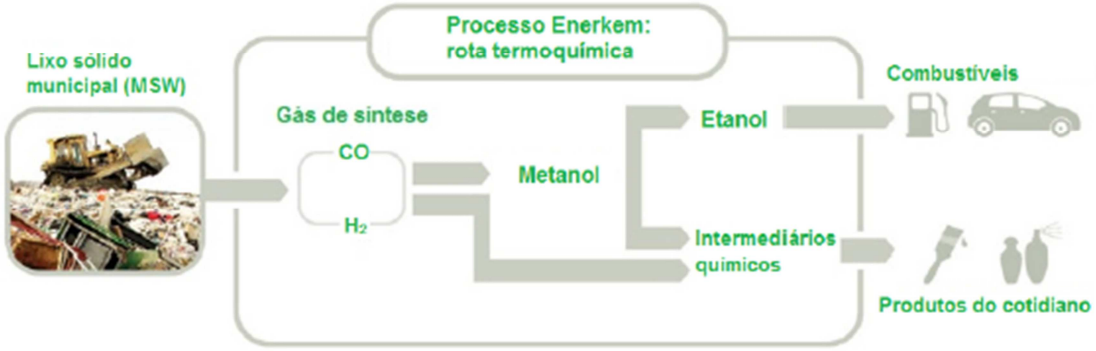
resíduos sólidos urbanos já era efetuada -, os conhecimentos da Waste Management foram determinantes para que a cadeia de abastecimento fosse finalizada, principalmente para superar a dificuldade na separação dos diferentes tipos de resíduos que chegam ao aterro (ENERKEM, 2017).

A capacidade de processamento anual é de 100 mil toneladas de matéria-prima (MILES, 2015).

Tecnologia

A produção de bioetanol de segunda geração, conforme esquema representativo na Figura 6.1, é realizada por rota termoquímica, sendo que o processo consiste essencialmente em quatro etapas principais (ENERKEM, 2017; USDOE, 2012):

- Preparo da biomassa: remoção de metais e redução do tamanho das partículas;
- Gaseificação;
- Limpeza e remoção de indesejáveis do gás de síntese, tais como cinzas e dióxido de carbono;
- Síntese catalítica em duas etapas: conversão do gás de síntese a metanol, seguido de conversão de metanol a etanol.



Fonte: Adaptado de ENERKEM, 2017.

Figura 6.1: Esquema representativo do processo de produção da Enerkem pela rota termoquímica.

A planta comercial da Enerkem em Alberta, que custou aproximadamente US$ 100 milhões, utiliza a tecnologia de gaseificação e possui capacidade de produção de 38 milhões de litros por ano (NOVACANA, 2016a; MILES, 2015). Embora a empresa não tenha divulgado o custo de produção, o custo de produção estimado por galão de bioetanol de segunda geração foi de aproximadamente US$ 1,44 (JACOBS CONSULTANCY, 2013).

6.2. Empresas brasileiras

No segundo semestre de 2014, duas empresas brasileiras produtoras de etanol de segunda geração começaram a operar em escala comercial. As duas utilizam a celulose como matéria-prima derivada do bagaço e da palha da cana-de-açúcar.

A primeira unidade a entrar em operação foi a Bioflex 1 da GranBio em setembro de 2014 em S. Miguel dos Campos, Alagoas, com uma capacidade inicial de produção de 82 milhões de litros de etanol por ano (21,6 milhões de galões). A GranBio investiu US$ 190 milhões para a construção da usina (GRANBIO, 2014; BATISTA, 2013).

Com investimentos estimados em aproximadamente US$ 130 milhões, a usina da Raízen foi construída em Piracicaba, no estado de São Paulo, junto à Usina Costa Pinto da mesma empresa. A fábrica da Raízen entrou em operação em dezembro de 2014, foi oficialmente inaugurada em julho de 2015 e, uma vez que ela seja totalmente operacional, produzirá cerca de 10,5 milhões de galões (cerca de 40 milhões de litros) de etanol celulósico por ano de bagaço de cana-de-açúcar e palha, com os custos de produção que se espera caírem abaixo da etanol de primeira geração em cinco anos. O projeto está entre as primeiras plantas de escala comercial no mundo a converter celulose em bioetanol de segunda geração e pode levar a novas plantas após 2017 (PHILLIPS, 2016).

Atualmente, os biocombustíveis celulósicos e o etanol de segunda geração ainda estão em sua infância. Mas uma vez que os engenheiros e especialistas técnicos consolidam a escala comercial, os preços de produção cairão e o etanol celulósico poderia aumentar drasticamente o volume de combustível renovável usando a mesma quantidade de terras aráveis e

nenhuma nova competição para o abastecimento de alimentos (PHILLIPS, 2016).

A Tabela 6.11 apresenta as principais características das duas empresas brasileiras.

Tabela 6.11: Características das duas empresas brasileiras.

Característica da Empresa	GranBio	Raízen
Área de atuação	Biotecnologia	Energia
Época de operação em escala comercial	Operando desde setembro de 2014	Operando desde novembro de 2014
Valor estimado da planta	US$ 190 milhões	US$ 130 milhões
Capacidade de produção da unidade	82 milhões de litros anuais	40 milhões de litros anuais

Fonte: Adaptado de GRANBIO, 2014; RAÍZEN, 2017b; REUTERS, 2014; BATISTA, 2013.

Vale frisar que especialistas sobre o assunto acreditam que os problemas superam em muito o pré-tratamento, principal argumento das indústrias para justificar o moroso avanço do bioetanol de segunda geração nacional (CNPEM, 2016).

A Novozymes, que fornece enzimas para ambas as empresas brasileiras, tem argumentado sobre a necessidade de forte presença política para fomentar a indústria do etanol de segunda geração no Brasil. Embora este apoio demonstre confiança no setor, por outro lado, também evidencia que os agentes governamentais pouco têm se mobilizado para impulsionar a tecnologia. No Brasil, o BNDES tem sido uma instituição governamental dedicada ao desenvolvimento do bietanol de segunda geração. O Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), por seu turno, tem contribuído com estudo sobre políticas públicas para o setor (CNPEM, 2016).

Vale ressaltar que o apoio governamental à indústria do bioetanol no Brasil ocorreu de forma mais expressiva a partir da década de 70,

principalmente devido às crises do petróleo, tendo em vista que este respondia por cerca de 42% da matriz energética em 1974, sendo importado 80% do necessário (SPERLING, 1990). A resposta à primeira Crise do Petróleo consistiu no Programa Nacional do Álcool (Proálcool[38]), o qual foi instituído pelo Decreto nº 76.593/1975. Em 1979, com a segunda Crise do Petróleo, o Proálcool foi reforçado: uma nova meta de produção foi estabelecida para 1985, o consumo de etanol hidratado passou a ser estimulado e houve a liberação de US$ 5 bilhões a serem investidos no curso de seis anos para implementação de infraestrutura capaz de suportar o aumento de produção e a distribuição do etanol hidratado (SPERLING, 1990).

Apesar dos bons resultados apresentados em 1985, esse ano assinala o início da trajetória de declínio do Proálcool, devido à queda do preço do barril do petróleo e ao fato de os preços internacionais do açúcar terem subido, fazendo com que as usinas se dedicassem mais à produção de açúcar (BNDES e CGEE, 2008). A partir de então, o governo suspendeu os subsídios à produção de etanol e foram interrompidos novos financiamentos às destilarias. O controle de preços se manteve até 1999. Das medidas originais de incentivo ao etanol apenas foram mantidos os mandatos de mistura obrigatória e tributação diferenciada do etanol hidratado (SOARES, 2016).

Entretanto, a tendência de declínio começou a se reverter no início dos anos 2000, quando questões de caráter ambiental passaram a ganhar maior relevância em relação a questões de dependência energética. Neste contexto, foi aprovada a Lei 10.336/2001, que criou a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE), aplicada sobre a comercialização e importação de combustíveis, o que beneficiou a indústria do etanol (BACCARIN *et al.*, 2009).

Todavia, a crise internacional de 2009 elevou muito os custos financeiros das empresas, que se encontravam endividadas em decorrência do período anterior de grandes investimentos, fato este que dificultou ainda mais o acesso a novos créditos (MILANEZ *et al.*, 2012). Se, por um lado, o preço do etanol estava se elevando com os aumentos de custo; por outro, o preço da gasolina

[38] Programa Nacional do Álcool (Proálcool) foi lançado em 1975 pelo governo tendo sido o principal projeto de industrialização da agricultura promovido no país até 1990, tendo destinado créditos subsidiados ao setor no montante de cerca de 7 bilhões de dólares até 1990, com o objetivo de ampliar a produção de etanol anidro e hidratado, fomentando a mecanização do setor e a industrialização do refino, colocando a cana-de-açúcar em um novo patamar de modernização (PITTA, 2011).

mantinha-se baixo, sendo monitorado pelo governo brasileiro com o objetivo de controlar a inflação, tendo sido adotada a medida de zerar a CIDE em 2012 (OLIVEIRA e ALMEIDA, 2014).

Embora a crise pela qual passa a indústria brasileira de etanol ainda não tenha acabado, alguns avanços já podem ser observados como a volta da CIDE em 2015 e o aumento no preço da gasolina. Desta forma, como as usinas de etanol também geram bioeletricidade, através da queima do bagaço de cana, e vendem o excesso dela para a rede, os elevados preços da eletricidade registrados a partir de 2012 se transformaram em importante fonte de receitas (SOARES, 2016).

Quanto à participação governamental no desenvolvimento do bioetanol de segunda geração, vale ressaltar que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Florestas trabalha desde 2008 no desenvolvimento do bioetanol de segunda geração a partir da madeira e outros resíduos florestais, como lodos gerados nas estações de tratamento da indústria de papel e celulose. A entidade quer ofertar a tecnologia às empresas, mas ainda lida com certa insegurança das companhias, receosas em aportar os recursos necessários para dominar o conhecimento (NOVACANA, 2016b).

Segundo estudo da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), a capacidade instalada do Brasil, atualmente, para a produção de bioetanol de segunda geração é de 177,3 milhões de litros (NOVACANA, 2016b). De acordo com as mais recentes projeções do governo para os próximos dez anos, as expectativas em relação ao etanol celulósico continuam aquém do esperado pelo setor. A produção de bioetanol de segunda geração passará a ser significativa apenas no final da próxima década, atingindo 634 milhões de litros em 2026, segundo técnicos do governo. Vale frisar que o número está distante dos 2,5 bilhões de litros estimados para 2030. Esse montante, projetado no ano passado pelo próprio governo, implicaria um aumento de produção de 1,8 bilhão de litros no período de quatro anos entre 2027 e 2030 (NOVACANA, 2017g).

6.2.1. GranBio

A GranBio é uma empresa brasileira de biotecnologia que desenvolve soluções para transformar biomassa em produtos renováveis: biocombustíveis e bioquímicos. A empresa é a única do setor que atua em toda a cadeia produtiva - integrando tecnologias desde a aquisição de matérias-primas até a distribuição do produto final (GRANBIO, 2015). Criada em junho de 2011, a GranBio opera a primeira usina de etanol de segunda geração em escala comercial no hemisfério sul. A produção de biocombustível a partir de bagaço e de palha da cana-de-açúcar, matéria-prima que costumava ser descartada ou queimada nos campos de cana, coloca a empresa entre as organizações mais sustentáveis em seu setor em todo o mundo (LANE, 2015c).

Eleita uma das empresas mais inovadoras da América do Sul em 2013 pela revista Fast Company, a GranBio mantém um Centro de Pesquisa em Biologia Sintética (BioCelere) e uma Estação Experimental (BioVertis) para o desenvolvimento de novas fontes de biomassa.

Desde 2013, a empresa tem participação com a empresa americana de tecnologias limpas, American Process Incorporated, ou API. Na indústria bioquímica, a GranBio é parceira da Rhodia - membro do Grupo Solvay - em um projeto líder mundial para produzir bio n-butanol, que é usado na fabricação de tintas e solventes. A GranBio é controlada pela GranInvestimentos S.A., holding da família Gradin, e tem o BNDESPar, empresa de participações do BNDES, como acionista minoritário, com 15% do capital total (GRANBIO, 2015).

O modelo de negócio da GranBio integra um complexo arranjo que envolve a construção da fábrica através da modalidade de contratos de engenharia, aquisição e construção (*Engineering, Procurement and Construction Contracts - EPC*), contratos de construção de obras de grande porte, as quais, em sua quase totalidade, são financiadas por estruturas de financiamento de projetos. De acordo com essas estruturas de financiamento, os financiadores observam principalmente a estabilidade e a consistência do fluxo de caixa da empresa financiada. Isso implica que o financiamento não será baseado no valor dos ativos incorporados ao projeto, mas na capacidade de gerar receitas da operação e manutenção do projeto ligado a esses ativos.

Tal modalidade de financiamento altera substancialmente a ótica de análise de risco dos financiadores, uma vez que quaisquer riscos inerentes ou relativos ao projeto ganham uma relevância ainda maior, de tal forma que sua materialização afeta inevitavelmente a estabilidade e consistência do fluxo de caixa, o que vale dizer a própria capacidade de pagamento das obrigações referentes ao empréstimo pelo tomador. Este arranjo inclui também o desenvolvimento de matérias-primas e tecnologias para a produção de energia renovável, a venda garantida ao cliente final e a estrutura de capital criada para mitigar o risco de investimento. A parceria da GranBio com as unidades de primeira geração se dá por meio de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE), um modelo de organização empresarial pelo qual se constitui uma nova empresa limitada ou sociedade anônima com um objetivo específico (PINTO, 2002; GRANBIO, 2013).

Vale ressaltar a SGBio, uma *joint venture* entre a GranBio e a Rhodia - uma empresa do Grupo Solvay - na qual cada uma detém uma participação de 50%. A empresa foi formada em outubro de 2014 com foco na produção e comercialização de bio n-butanol, um composto químico usado em particular na fabricação de tintas e solventes. O processo industrial será de segunda geração, utilizando palha de cana e bagaço para produzir açúcares celulósicos que são convertidos para o produto final. Esta estratégia também inclui a melhoria das cepas adquiridas, que serão realizadas pela equipe de P & D da empresa. O objetivo é criar uma plataforma que permita a incorporação de uma grande variedade de fontes de biomassa e o desenvolvimento de outros produtos.

O custo da palha da cana-de-açúcar, principal matéria-prima da GranBio para a produção de bioetanol de segunda geração, é de US$ 40 por tonelada métrica seca, o que contribui para que o seu preço mínimo de venda projetado seja um dos menores dentre as empresas produtoras em escala comercial no mundo (LUX RESEARCH, 2016).

6.2.2. Raízen

O caminho para a comercialização do bietanol celulósico pela Raízen tem sido longo e tortuoso. A Iogen Corp. foi uma das primeiras empresas a chegar à fase de demonstração de sua tecnologia de etanol celulósico em sua sede canadense em Ottawa. Em 2004, a empresa anunciou que estava vendendo álcool celulósico comercialmente da fábrica e, em 2009, disse que era a primeira a vender o etanol celulósico em uma estação de varejo, embora apenas por um mês. Em 2010, a Iogen tinha mais de 300 funcionários e estava trabalhando ativamente no desenvolvimento de projetos no oeste do Canadá. A empresa formou a Iogen Energy, uma *joint venture* com o parceiro *Deep Dutch Shell* (SCHILL, 2016d). A Shell, entretanto, chegou à conclusão de que era muito cara a instalação nesse local e que não teria sido realizada a escolha certa, razão pela qual transferiu sua participação na *joint venture* Iogen Energy, para a Raízen, sua *joint venture* brasileira, com um dos maiores produtores de açúcar do país, a Cosan SA. A Iogen mudou o foco para o bagaço e palha de cana-de-açúcar e o design de uma instalação de 10 milhões de galões por ano (SCHILL, 2016d).

Assim sendo, a Raízen foi criada através de uma parceria entre a Shell e a Cosan. A Raízen é uma empresa de energia que atualmente é uma das três maiores distribuidoras de combustíveis no Brasil, a maior produtora de etanol de cana-de-açúcar do país e a maior exportadora individual de açúcar de cana-de-açúcar no mercado internacional. A empresa utiliza um processo integrado, atuando em todas as etapas envolvidas no setor sucroenergético: cultivo de cana-de-açúcar, produção de etanol (de primeira e segunda geração) e de açúcar, logística interna e de exportação, distribuição e comercialização.

A empresa investe em pesquisa e desenvolvimento de fontes de energia alternativas de matrizes renováveis para a produção de bioeletricidade a partir de coprodutos de cana-de-açúcar, e o reaproveitamento de parte destes coprodutos na produção de etanol de segunda geração (RAÍZEN, 2013). Raízen é a maior produtora de eletricidade a partir da biomassa de cana-de-açúcar no país. A empresa utiliza tecnologia de geração de bioeletricidade fazendo uso de coprodutos de cana-de-açúcar (bagaço, palha e folhas) gerados pela produção de etanol e açúcar de suas usinas de primeira geração.

A Raízen possui 13 usinas termoelétricas associadas às suas unidades de produção com uma capacidade total instalada de 940 MW para as 24 unidades. Isso representa uma comercialização anual de aproximadamente 2,2 milhões de MWh de eletricidade, o suficiente para atender as demandas de eletricidade para uma cidade de cinco milhões de habitantes. O volume de energia produzida, além de atender plenamente às necessidades de suas unidades de produção, fornece um excedente que é vendido no mercado gerando retorno para a empresa (RAÍZEN, 2017c). A grande oferta de biomassa - cerca de 25 milhões de toneladas por safra - garante a rentabilidade e sustentabilidade da cogeração de energia e representa uma alternativa importante para o setor energético brasileiro, pois complementa a produção hidrelétrica do país. O período da colheita da cana-de-açúcar e da produção bioeletricidade corresponde ao período em que é baixa a vazão dos reservatórios (RAÍZEN, 2017d).

O custo do bagaço da cana-de-açúcar, principal matéria-prima da Raízen para a produção de bioetanol de segunda geração, é de US$ 38 por tonelada métrica seca, o que contribui para que o seu preço mínimo de venda projetado de US$ 2,17 por galão seja o menor dentre as empresas produtoras em escala comercial no mundo (LUX RESEARCH, 2016).

De acordo com a direção da Raízen, os desafios operacionais enfrentados por todas as empresas de segunda geração deverão ser atendidos e os custos operacionais atenderão aos objetivos visados, pois todos se concentram na redução de custos de capital, embora reconheça que a redução no preço do petróleo gere preocupações para quem trabalha com desenvolvimento de energia (SCHILL, 2016d).

No Brasil, a Shell e a Cosan concordaram em abandonar seu período experimental para a Raízen e decidiram continuar a operar juntas indefinidamente. Desta forma, as opções de compra em prazo mútuo incluídas no acordo original de 2011 que criou a Raízen foram descartadas, permitindo que as empresas se concentrassem conjuntamente na produção de bioetanol, juntamente com a cogeração de eletricidade e de açúcar. Em 2015, a Raízen produziu mais de 2 bilhões de litros de etanol, juntamente com 4 milhões de toneladas de açúcar e 2.2 GW de eletricidade (SAPP, 2016).

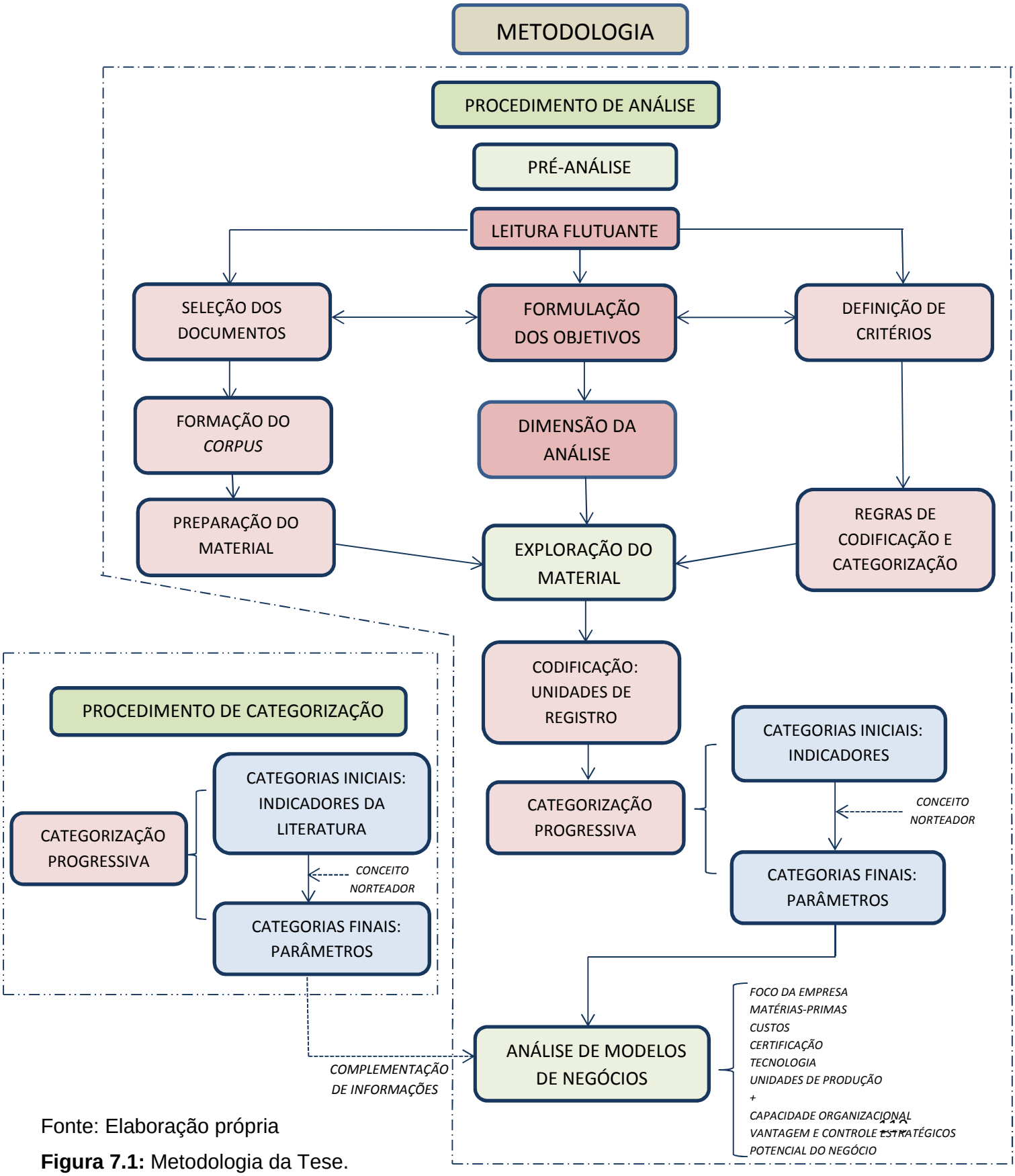
Entretanto, os resultados do 1º quadrimestre/2017 da Raízen dificilmente terão atingido os preços e vendas mínimos de etanol. No Brasil, o EBITDA do primeiro trimestre da Raízen atingiu um patamar 19% menor nas vendas de bioetanol em 12 meses e 2% menor nos preços do bioetanol, o que resultou em uma queda de 21% em sua receita líquida. A empresa viu seu EBITDA cair 36% no ano em relação ao período. Para 2016/17, os preços do etanol subiram 4%, por isso, embora os volumes tenham sido cerca de 1% menor, a receita líquida do etanol para o ano agrícola foi 4% maior no ano (SAPP, 2017a).

Tecidos os comentários que se destinaram a possibilitar a adequada compreensão do perfil e demais características das empresas brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração, proceder-se-á, no próximo capítulo, à apresentação dos parâmetros e indicadores obtidos na literatura relevantes para analise de modelos de negócios em um ambiente de inovação aberta, tal qual o caracteriza a arena competitiva em que se situam as empresas brasileiras objeto da presente Tese.

CAPÍTULO 7
METODOLOGIA

7.1. Introdução

A Figura 7.1 mostra diagrama de blocos que representa metodologia própria baseada na técnica de análise de conteúdo usada no desenvolvimento desta Tese.



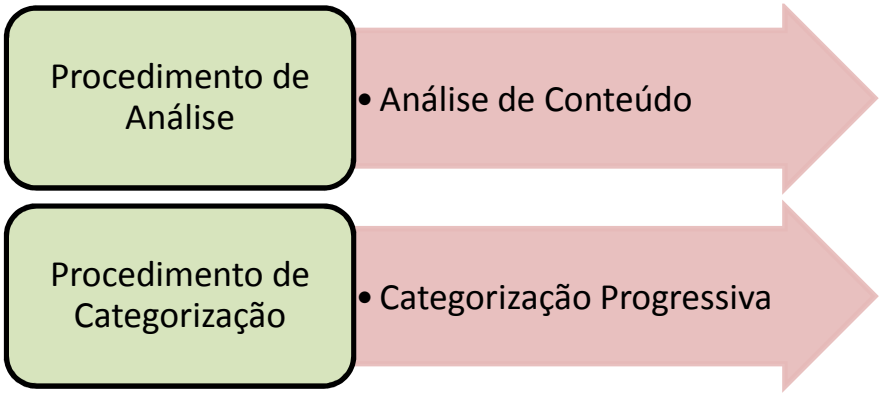
Fonte: Elaboração própria

Figura 7.1: Metodologia da Tese.

A metodologia da presente pesquisa se fundamenta na determinação de parâmetros que serviram de base para a análise dos modelos de negócios das empresas brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração.

Para fins desta metodologia, se considerou que um determinado parâmetro se compôs de vários indicadores, a exemplo dos parâmetros e indicadores apresentados no Capítulo 4 – "Parâmetros e indicadores de modelos de negócios de empresas geradoras de inovação tecnológica em ambiente de inovação aberta". Assim sendo, por exemplo, o parâmetro 1 foi formado a partir do indicador 1, do indicador 2 e do indicador 3; o parâmetro 2 foi formado a partir do indicador 4 e do indicador 5, e assim por diante.

Estes parâmetros foram identificados por meio da realização de dois procedimentos distintos. No primeiro procedimento, foi aplicada a técnica de análise de conteúdo na íntegra, razão pela qual foi denominado de Procedimento de Análise. No segundo procedimento, foi aplicada a técnica de categorização progressiva, uma das etapas da técnica de análise de conteúdo, razão pela qual foi chamado de Procedimento de Categorização, conforme indicado na Figura 7.2:

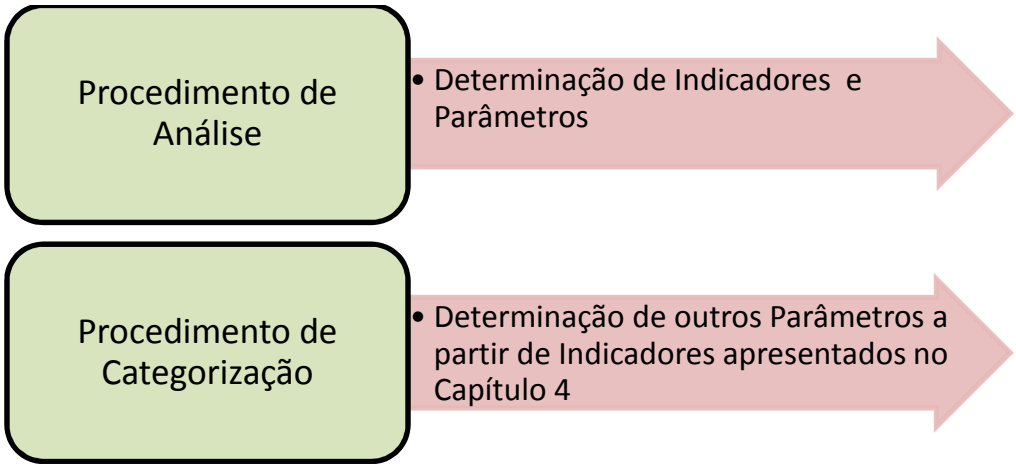


Fonte: Elaboração própria.

Figura 7.2: Técnicas utilizadas em cada procedimento.

O Procedimento de Análise - com vistas a definir os parâmetros, segundo os quais foram avaliados os modelos de negócio das duas empresas brasileiras objeto da presente Tese – objetivou a identificação de indicadores e parâmetros para análise dos aludidos modelos de negócio. O Procedimento de Categorização, por sua vez, objetivou a identificação apenas de parâmetros -

conforme indicado na Figura 7.3 - os quais também foram utilizados para análise dos citados modelos de negócios, a título de complementação de informações. No segundo procedimento, foram utilizados indicadores apresentados no Capítulo 4, por se referirem à proposta de um modelo de seleção de tecnologias que contempla parâmetros e indicadores condizentes com a realidade dos negócios e as premissas da inovação aberta. Assim sendo, considerando que os indicadores ali estabelecidos não se limitaram a um determinado segmento tecnológico, mas foram delineados para um ambiente tecnológico de inovação aberta, tal qual aquele em que atuam as empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial no mundo, optou-se pela utilização dos aludidos indicadores como ponto de partida do Procedimento de Categorização, com vistas a obter novos parâmetros adequados ao objeto desta Tese, via aplicação de categorização progressiva.



Fonte: Elaboração própria.

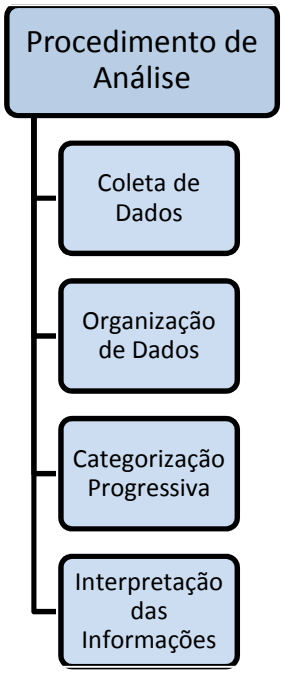
Figura 7.3: Objetivos de cada procedimento.

Ressalte-se que todos os parâmetros fornecidos pelo Procedimento de Análise se demonstraram importantes para a análise objeto da presente pesquisa uma vez que guardaram sólida relação com os objetivos formulados e com a dimensão desta análise.

Registre-se também o caráter complementar dos parâmetros fornecidos pelo Procedimento de Categorização à análise objeto da presente pesquisa,

tendo em vista que os tais resultaram da aplicação de parte da técnica da análise de conteúdo. Vale ressaltar que a ideia de se recorrer à complementaridade das informações é prevista em Bardin (2006).

Na realização do Procedimento de Análise, após a realização de leitura flutuante do conjunto de documentos e publicações atinentes ao tema da pesquisa, foram selecionados os documentos a serem analisados, os quais constituíram o *corpus* da análise, preparado para ser explorado, tendo em vista os objetivos formulados - os quais, em suma, correspondem aos objetivos desta Tese - bem como considerando a dimensão desta análise e os critérios definidos para interpretação do material coletado, à luz das regras de codificação e categorização estabelecidas. Neste procedimento, os dados foram coletados em: documentos relacionados às empresas nacionais e estrangeiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial; documentos governamentais; publicações especializadas em temas afins à produção de bioetanol de segunda geração, além de outros documentos. Também neste procedimento, conforme indicado na Figura 7.4, foram realizadas, em síntese, as seguintes etapas: organização dos dados (codificação baseada no registro de repetições de palavras que se constituíram em unidades de registro), categorização progressiva e a subsequente interpretação das informações, fase última da análise de conteúdo, a qual corresponde, em suma, à análise de modelos de negócios das empresas brasileiras objeto da presente Tese.



Fonte: Elaboração própria.

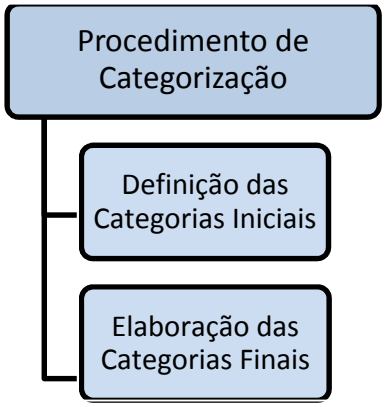
Figura 7.4: Principais etapas do Procedimento de Análise.

O Procedimento de Categorização, por sua vez, utilizou os indicadores constantes em pesquisa relacionada ao estudo de modelo de seleção de tecnologias por empresas geradoras de inovação tecnológica em ambiente de inovação aberta – tal qual a arena competitiva em que se inserem as empresas estudadas -, visando, em última instância, complementar o diagnóstico e a avaliação dos resultados. Os indicadores utilizados neste segundo procedimento, estudados no Capítulo 4, serviram de base para se obter outros parâmetros de análise dos modelos de negócio das empresas objeto da presente Tese, além daqueles parâmetros obtidos no primeiro procedimento. Vale ressaltar que os parâmetros obtidos, por meio da aplicação deste segundo procedimento, foram diferentes dos constantes da revisão efetuada no Capítulo 4, pelas seguintes razões:

- os parâmetros apresentados no Capítulo 4 não resultaram da aplicação da técnica de análise de conteúdo;
- a revisão constante no Capítulo 4 se refere a pesquisa cujos objetivos são diferentes da presente pesquisa; e

- os parâmetros apresentados no Capítulo 4 servem para empresas geradoras de inovação tecnológica em ambiente de inovação aberta, independente do segmento tecnológico a que pertençam tais empresas; ao passo que os parâmetros resultantes da aplicação da categorização progressiva, nos termos do Procedimento de Categorização, se aplicam à análise de modelos de negócios de empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, segmento específico inserido em uma arena competitiva, na qual funciona ambiente de inovação aberta.

Assim sendo, neste segundo procedimento, conforme indicado na Figura 7.5, foram realizadas, em síntese, as seguintes etapas: definição das categorias iniciais, a partir de elementos obtidos na literatura; e elaboração das categorias finais, resultante da aplicação da técnica de categorização progressiva



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7.5: Principais etapas do procedimento de categorização.

Assim sendo, enquanto o Procedimento de Análise contempla toda a técnica de análise de conteúdo aplicada com base em diversas fontes de pesquisa relacionadas à indústria do bietanol de segunda geração e às empresas produtoras em escala comercial no âmbito mundial, com vistas à obtenção de indicadores e parâmetros de análise dos modelos de negócio objeto desta Tese; o Procedimento de Categorização contempla parte da

mencionada técnica, especificamente a categorização progressiva, com vistas à obtenção de parâmetros, uma vez que os indicadores foram aproveitados de pesquisa não limitada a um determinado segmento tecnológico, conforme disposto no Capítulo 4.

7.2. Procedimento de Análise

Consistiu na identificação de indicadores e parâmetros a partir do exame de documentos e publicações, por meio da aplicação da técnica de análise de conteúdo, os quais deram suporte à análise de modelos de negócios objeto da presente Tese. Este procedimento se compôs das seguintes etapas: Pré-ánálise, Exploração do Material e Análise dos Modelos de Negócio a partir dos parâmetros determinados na etapa de Exploração do Material, que corresponde, em suma, ao objetivo geral da presente Tese.

7.2.1. Pré-análise

Consistiu na fase de organização propriamente dita. Teve por objetivo tornar operacionais as ideias iniciais e sistematizá-las, de maneira a conduzir o esquema preciso do desenvolvimento das operações sucessivas, num plano de análise.

Compôs-se esta primeira fase de três metas: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação dos objetivos e a elaboração de critérios que fundamentem a interpretação do material coletado.

Teve início com leitura flutuante de todos os textos resultantes da coleta de dados.

7.2.1.1. Leitura flutuante

Como primeiro contato com os textos oriundos da coleta de dados, foi realizada leitura em todo o material relacionado ao quadro referencial teórico acima revisado, que tratasse de temas atinentes a modelos de negócios, à produção de bioetanol de segunda geração e às empresas produtoras de bioetanol de segunda geração.

A partir desta leitura, foi possível a formulação dos objetivos, a seleção de documentos e a definição de critérios com o fim de interpretar o material coletado.

7.2.1.2. Formulação de objetivos e Dimensão da análise

A partir dos objetivos formulados no Capitulo 1, estabeleceu-se que a dimensão da análise seria balizada pela arena competitiva de produção de bioetanol de segunda geração em escala comercial, considerando os modelos de negócios e tecnologias dos principais *players* que atuam neste segmento, e a utilização destes modelos de negócios com vistas a viabilizar comercialmente as tecnologias atinentes a este segmento tecnológico.

Com base nos objetivos formulados, procedeu-se à seleção de documentos e à definição de critérios para interpretação do material coletado.

A seleção de documentos, a ser tratada no próximo tópico, possibilitou a realização da etapa de formação do *corpus*, composto de todos os documentos escolhidos para análise, e a subsequente etapa de preparação do material a ser submetido à etapa de exploração do material.

A definição de critérios para interpretação do material coletado foi sucedida pela etapa de definição de regras de codificação e categorização.

7.2.1.3. Seleção de documentos

A metodologia da pesquisa foi baseada em análise de documentos segundo uma sequência de etapas predefinidas envolvendo a coleta e organização de dados, análise e interpretação e complementação de informações. A coleta e organização dos dados incluíram a seleção de fontes de pesquisa, revisão e depuração de dados. As pesquisas foram realizadas em *websites* corporativos das empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial estudadas, inclusive o da Synata Bio, que adquiriu, em dezembro de 2016, a unidade de bioetanol de segunda geração da Abengoa, em Hugoton, Kansas, EUA. Também foram pesquisados *websites* órgãos governamentais, de revistas e periódicos especializados, inclusive os especializados no segmento de biocombustíveis, além de outros documentos

institucionais. Os documentos institucionais foram analisados segundo a ótica preconizada por Vergara (2005), segundo a qual tais documentos representam o sistema e a estrutura das organizações.

Dentre os documentos analisados se incluem relatórios anuais das empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, assim como relatórios sobre o uso de novas tecnologias e inovações, relatórios de sustentabilidade, questionários formulados por órgãos de controle, práticas de produção sólidas, e outros documentos informativos.

7.2.1.4. Formação do *corpus*

A pesquisa objeto da presente Tese demandou abordagem de natureza qualitativa, tendo se procedido à coleta de dados com base no objetivo geral da presente pesquisa.

O esforço de coleta de dados foi realizado através de pesquisa documental (em *websites* e material impresso). Como instrumento de coleta de dados, foram pesquisados *websites* e documentos, dentre os quais, se destacam:

- *Websites* Corporativos das empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial:
  - www.granbio.com.br/ (Granbio);
  - www.raizen.com.br/ (Raízen);
  - www.poet-dsm.com/ (Poet-DSM);
  - www.abengoa.com/ (Abengoa);
  - www.coskata.com/ (Synata Bio);
  - www.dupont.com/ (Dupont);
  - www.betarenewables.com/ (Beta Renewables); e
  - http://enerkem.com/ (Enerkem).

- *Websites* de órgãos governamentais:
  - https://energy.gov/ (USDOE - *U. S. Departament of Energy*);

- https://www.sec.gov/ (SEC - *Securities & Exchange Commission*);
- https://www.usda.gov/ (USDA - *U. S. Departamento of Agriculture*)
- https://www.epa.gov/ (EPA: United States Environmental Protection Agency)

➢ Publicações da Editora Elsevier:
- Journal of Cleaner Production
- Bioresource Technology
- Enzyme and Microbial Technology
- Progress in Energy and Combustion Science
- Journal of Bioscience and Bioengineering
- Journal of Biomedicine and Biotechnology
- Biomass and Bioenergy (ScienceDirect)
- Process Safety and Environmental Protection
- Industrial Biorefineries & White Biotechnology (ScienceDirect)
- Technology in Society
- Process Biochemistry
- Chemical Engineering Journal

➢ Publicações de entidades relacionadas à gestão da inovação: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE); Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI);

➢ Artigos de Centros de Pesquisa: Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM); Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE);

➢ Teses de Doutoramento: Universidade Federal do Rio de Janeiro (Escola de Química); Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade de S. Paulo (USP); Universidade Federal do Ceará (UFC);

➢ Relatórios anuais das empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial;
➢ Relatório anual de 2016 da IEA (Agência Internacional de Energia);

- Relatório final da Direção-Geral de Energia da Comissão Europeia de 2015;
- Relatórios de sustentabilidade das mencionadas empresas;
- Questionários formulados pelos órgãos governamentais dos Estados Unidos;

Também foram pesquisadas publicações especializadas:

- No segmento de produção de bietanol (http://ethanolproducer.com/ *Ethanol Producer Magazine*);
- Em tecnologias emergentes (www.luxresearchinc.com/ *Lux Research*);
- No segmento de produção ou utilização de energia da biomassa e de biocombustíveis avançados, biogás, pellets de madeira e produtos bioquímicos (http://biomassmagazine.com/ *Biomass Magazine*);
- No segmento de biocombustíveis (http://www.biofuelsdigest.com/ *Biofuels Digest*);
- Em etanol, cana e cogeração (https://www.novacana.com/ *NovaCana*);
- No setor sucroenergético (http://www.canaonline.com.br/ *CanaOnline);*
- Em energias renováveis (https://www.energias-renovables.com/ *Revista Energías Renovables*); (http://latinoamericarenovable.com/ *Latino America Renovable);*
- No segmento de química e derivados (*Revista Química e Derivados*)

Além de outras fontes, tais como:

- Informes de Sindicatos da Indústria do Bioetanol (http://www.sifaeg.com.br/ *Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás);*
- Jornal Valor Econômico;
- Revista Exame, dentre outras fontes.

7.2.1.5. Preparação do material

Antes da análise propriamente dita, o material reunido teve de ser preparado. Trata-se de preparação material e formal, onde os artigos tiveram seus textos de interesse recortados ou selecionados (no caso de ambiente virtual), conforme os objetivos formulados.

Nesta etapa, foram separados e numerados os elementos do *corpus* e os textos selecionados. Suportes materiais facilitaram a manipulação da análise: textos de artigos dispostos em folhas dispondo de duas colunas vazias à esquerda e à direita para a realização de codificação e registro de informações, conforme Modelo de Codificação e Registro de Informações constante na Figura 7.6:

MODELO DE CODIFICAÇÃO E REGISTRO DE INFORMAÇÕES		
CÓDIGO	TEXTO EXTRAÍDO DO ARTIGO: *Coskata's technology re-emerges as Synata Bio.*	UNIDADES DE REGISTRO
	In Illinois, the technology formerly belonging to Coskata has re-merged as the newly-minted Synata Bio, which was formed last year. Synata filed a Red D form with the Securities & Exchange Commission, detailing a $10 million investment, which sources have identified as coming from True North Venture Partners. Coskata had been focused, via gas fermentation, on converting natural gas to fuels. We suspect that, given low oil prices, Synata Bio may steer that technology towards attractive opportunities in chemicals. Possibly acetic acid, propanol or n-butanol. Sources have also told The Digest the as much as "half of the old Coskata scientific staff" have been hired on by Synata Bio to continue the company's research. Sources also indicated that Synata acquired the Coskata technology.	

Fonte: Elaboração própria.

Figura 7.6: Modelo de codificação e registro de informações.

7.2.1.6. Definição de critérios

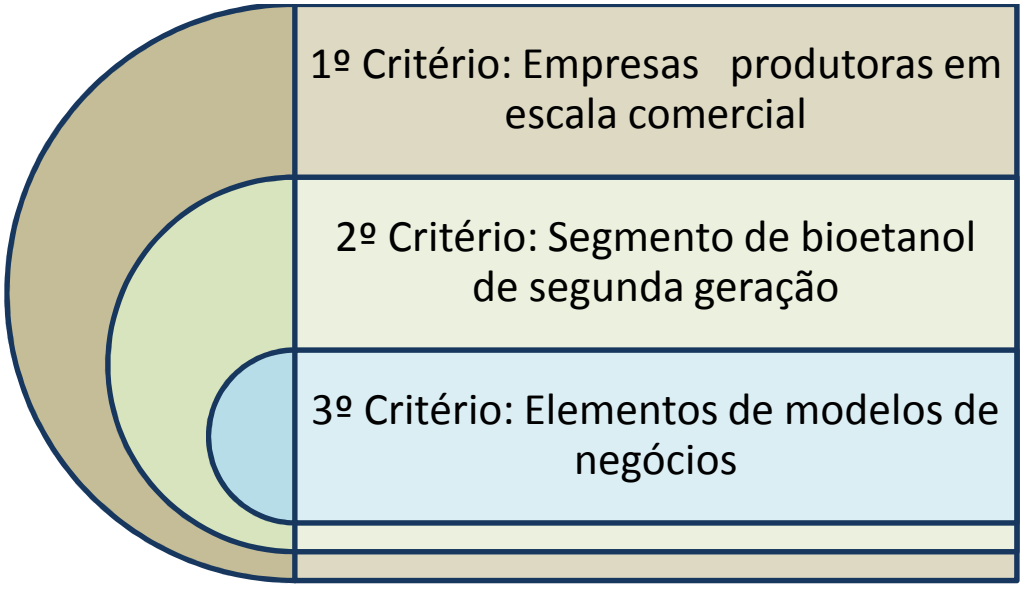
Preliminarmente, é importante destacar que, no desenvolvimento da técnica de análise de conteúdo, Bardin (1977) tratou da elaboração de *indicadores* para serem utilizados a fim de interpretar o material coletado. Ocorre que, para efeito desta metodologia, optou-se por denominar os *indicadores* de Bardin (1977) como *critérios*, uma vez que efetivamente funcionam como tais e, também, a fim de manter a clareza do texto, tendo em vista que os *indicadores* utilizados na etapa de categorização progressiva, já mencionados na introdução desta metodologia, não correspondem aos *indicadores* de Bardin (1977).

Considerando que o referencial teórico informou que são poucas as empresas no mundo que produzem bioetanol de segunda geração em escala comercial, se definiu, como critério inicial de interpretação do material coletado, a seleção de textos que tratassem das empresas informadas pelo referencial teórico: GranBio, Raízen, Poet-DSM, Abengoa, Synata Bio, Dupont, Beta Renewables e Enerkem. É importante frisar que a seleção das empresas estrangeiras se justifica tendo em vista o cenário tecnológico de inovação aberta que caracteriza a arena em que atuam as empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, as quais, não raro, estabelecem entre si parcerias, inclusive com vistas a co-desenvolvimento de tecnologias.

Também foi definida, como critério de interpretação do material coletado, em consonância com o referencial teórico, a seleção de textos de cada uma destas empresas que abordassem o segmento de bioetanol de segunda geração.

Além disso, foi estabelecida, como critério de interpretação do material coletado, em conformidade com o referencial teórico revisado, a seleção de textos de cada uma destas empresas, no contexto do segmento de bioetanol de segunda geração, que versassem sobre elementos de seus respectivos modelos de negócios, a saber, proposta de valor, processos, recursos e resultados.

A Figura 7.7 sintetiza os critérios definidos para a interpretação do material coletado.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7.7: Critérios definidos para interpretação do material coletado.

7.2.1.7. Regras de codificação e categorização

Na sequência do Procedimento de Análise, foram definidas as regras de codificação e de categorização.

Regras de Codificação

As regras de codificação compreenderam dois conjuntos de regras, tendo em vista a análise qualitativa que se propõe nesta metodologia: Recorte (seleção das unidades de registro); e Enumeração (definição das regras de contagem).

a) Recorte: seleção das unidades de registro.

A codificação foi feita a partir de unidades de codificação ou unidades de registro, as quais podem ser, de acordo com Bardin (2006), a palavra ou a frase, por exemplo.

Neste trabalho, em virtude do tipo de material coletado, estabeleceu-se como regra de codificação a utilização de *palavra* ou de *frase* como *unidade de registro*. Também se definiu que, quando existir ambiguidade na referência ao sentido dos elementos codificados, seriam estabelecidas *unidades de contexto*, superiores às unidades de registro, e necessárias para compreensão dos itens obtidos, repondo-os no seu contexto.

Por exemplo, ao se recortar textos do *corpus*, e se identificar como unidade de registro a palavra *tecnologia* em dois recortes, pode ser que seu significado de interesse para a pesquisa não seja o mesmo nos dois recortes e, neste caso, considerou-se mais adequado o estabelecimento de unidades de contexto para que se possa extrair o melhor conteúdo para análise. Assim sendo, um recorte pode tratar de uma nova tecnologia desenvolvida no processo produtivo de bioetanol de segunda geração; ao passo que outro recorte pode versar sobre uma tecnologia menos onerosa resultante de parceria entre duas empresas. Neste caso, a *unidade de contexto* possibilita a compreensão de que a unidade de registro *tecnologia*, em um recorte, se refere à informação da própria *tecnologia* desenvolvida, enquanto, em outro recorte, a unidade de registro *tecnologia* se refere à informação de que apresenta um *custo* menor.

Estabeleceu-se, assim, para fins da presente pesquisa, que uma unidade de contexto se comporia de, no mínimo, três parágrafos de texto, com vistas a possibilitar a adequada representação do conteúdo analisado. Também foi definido que, em caso de artigos de, no máximo, uma lauda, o próprio artigo poderia ser tratado como unidade de contexto.

b) Enumeração: definição das regras de contagem

É importante fazer a distinção entre a unidade de registro - o que se conta -, tratada no tópico anterior, e a regra de enumeração - o modo de contagem, que será abordada neste tópico.

Destarte, foi definida como regra de enumeração a medição realizada por meio da frequência, segundo a qual a importância de uma unidade de registro aumenta de acordo com o número de vezes em que é exibida no texto. Vale ressaltar que as unidades de registro submetidas à contagem foram

estabelecidas segundo o referencial teórico revisado e em conformidade com os objetivos formulados.

Também foi estabelecido que a frequência de contagem seria ponderada. Considerando que, de acordo com os critérios definidos no item 7.2.1.6, o primeiro deles consiste na seleção de textos em que figure uma das empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial no mundo, as unidades de registro, que se referiram às empresas brasileiras GranBio ou Raízen, foram ponderadas com peso 3, uma vez que o objetivo geral da presente Tese alude à avaliação dos modelos de negócios das empresas brasileiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, sendo ponderado com peso 1 as unidades de registro alusivas às empresas estrangeiras.

Vale ressaltar que, embora ponderadas com peso 1, as unidades de registro relacionadas às empresas estrangeiras, são de particular importância, principalmente no cenário de inovação aberta em que operam as empresas que atuam, comercialmente, no segmento de bioetanol de segunda geração.

Também se ponderou com peso 2 as unidades de registro que figurassem nos títulos dos artigos e textos dos documentos selecionados, tendo em vista que sua relevância pode ser inferida por meio do destaque conferido àquela unidade de registro na apresentação do artigo a que pertence.

Regras de Categorização

As regras de categorização compreenderam regras de Classificação e de Agregação com vistas à escolha das categorias.

a) Escolha das Categorias

A categorização tem como principal objetivo fornecer, por condensação, uma representação simplificada dos dados brutos. A categorização é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, em seguida, por reagrupamento (agregação), com base em regras previamente definidas. As categorias são rubricas ou classes que reúnem unidades de registro sob um título genérico, as quais são agrupadas

em razão de seus caracteres comuns. Destarte, classificar elementos em categorias impõe a investigação do que cada um deles possui em comum com os outros, de forma que o que vai permitir o seu agrupamento é a parte comum existente entre eles.

Utilizou-se, nesta pesquisa, a regra de *categorização semântica* segundo a qual as unidades de registro (ou categorias de categorização anterior) foram agrupadas (ou reagrupadas) em categorias temáticas. Outra regra de categorização definida para esta pesquisa consiste na utilização de *classificação analógica e progressiva* dos elementos (unidades de registro ou categorias), ficando o título conceitual de cada categoria para ser definido ao final da operação.

Por exemplo, as unidades de registro relacionadas a preços, custos e lucros relacionados a novas tecnologias foram agregadas na categoria inicial a*cesso a tecnologias de menor custo*, uma vez que o referencial teórico apontou que as empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial têm investido no desenvolvimento de novas tecnologias com vistas ao aumento da rentabilidade, através da redução de custos.

Vale ressaltar que, de acordo, com Fossá e Silva (2015), não existem regras tanto para a nomeação das categorias, quanto para a determinação do número de categorias, uma vez que essas questões ficam contingentes a quantidade do *corpus* de dados coletados. Assim sendo, na realização da presente pesquisa, as categorias foram nomeadas, de acordo com a relevância apontada pela frequência ponderada de exibição das unidades de registro que as originaram, sendo consideradas importantes as unidades de registro que apresentassem maior frequência, as quais, após agregadas, geraram as categorias iniciais.

Ainda vale frisar, como regra de categorização para a presente pesquisa, que - ressalvada eventual necessidade revelada, no curso da aplicação da técnica de categorização progressiva, que recomendasse a aplicação de um novo procedimento de categorização – o Procedimento de Análise deve ser conduzido de tal forma que sejam realizadas duas categorizações: uma geradora das categorias iniciais, a partir da classificação e agrupamento das unidades de registros resultantes da codificação; e outra geradora das categorias finais a partir da classificação e agrupamento das categorias iniciais.

Esta regra se deve à necessidade de se observar a pertinência quanto à realização de nova categorização, uma vez que a efetuação de nova categorização poderá implicar que o Procedimento de Análise corra o risco de se afastar do objetivo a que se destina.

7.2.2. Exploração do Material

Concluídas as operações da pré-análise, foi realizada a fase de exploração do material, por meio da administração sistemática das regras e definições estabelecidas na fase anterior. Consiste esta fase, essencialmente, de operações de codificação e categorização em função das regras previamente formuladas. Ao final desta fase, foram obtidos os parâmetros com base nos quais foi realizada a análise dos modelos de negócios das empresas brasileiras objeto desta pesquisa.

7.2.2.1. Codificação: unidades de registro

Com base nas regras de codificação estabelecidas no item 7.2.1.7, foi efetuada a codificação por meio da seleção das unidades de registro nos termos especificados naquele item, utilizando-se, para tal, modelos para realização de codificação e registro de informações. Na Figura 7.8, é apresentado exemplo de codificação realizada com base no Modelo de Codificação e Registro de Informações mostrado no item 7.2.1.5, tendo sido apontadas as unidades de registro do texto avaliado, o qual recebeu o código *Synata 1*, representando que o mesmo consistia no primeiro texto codificado referente à empresa Synata Bio.

MODELO DE CODIFICAÇÃO E REGISTRO DE INFORMAÇÕES		
CÓDIGO	TEXTO ESTRAÍDO DO ARTIGO: *Coskata's technology re-emerges as Synata Bio.*	UNIDADES DE REGISTRO
SYNATA 1	In Illinois, the technology formerly belonging to Coskata has re-merged as the newly-minted Synata Bio, which was formed last year. Synata filed a Red D form with the Securities & Exchange Commission, detailing a $10 million investment, which sources have identified as coming from True North Venture Partners. Coskata had been focused, via gas fermentation, on converting natural gas to fuels. We suspect that, given low oil prices, Synata Bio may steer that technology towards attractive opportunities in chemicals. Possibly acetic acid, propanol or n-butanol. Sources have also told The Digest the as much as "half of the old Coskata scientific staff" have been hired on by Synata Bio to continue the company's research. Sources also indicated that Synata acquired the Coskata technology.	Transferência de tecnologia Arquivamento do valor no SEC Processo Produtivo (Outros processos) Transferência de P & D

Fonte: Elaboração própria.

Figura 7.8: Exemplo de codificação e registro de informações.

Identificadas as unidades de registro nos Modelos de Codificação e Registro de Informações, as mesmas foram submetidas à enumeração segundo sua frequência ponderada de exibição, as quais deram origem às categorias iniciais, as quais foram nomeadas, de acordo com a relevância apontada pela frequência ponderada de exibição das unidades de registro que as originaram, sendo consideradas importantes, para fins de categorização, as unidades de registro que apresentassem maior frequência.

7.2.2.2. Categorização progressiva

Com base nas regras de categorização estabelecidas no item 7.2.1.7, foi efetuada a categorização progressiva, utilizando-se as unidades de registro que foram exibidas com maior frequência ponderada, segundo as regras de ponderação previamente definidas, para geração das categorias iniciais.

7.2.2.2.1. Categorias iniciais

As unidades de registro selecionadas foram submetidas à classificação analógica e progressiva e, em seguida, experimentaram agregação de natureza semântica com base nos temas a que se relacionaram, considerando o quadro teórico revisado. A Tabela 7.1 apresenta o nome dado a cada categoria inicial do Procedimento de Análise.

Tabela 7.1: Categorias iniciais do Procedimento de Análise.

CATEGORIAS INICIAIS
1. Foco em bioetanol de segunda geração
2. Foco em superar etapas críticas
3. Desenvolvimento de novas fontes de biomassa
4. Logística da matéria-prima
5. Acesso a tecnologias de menor custo
6. Integração de processos para reduzir custos
7. Redução das emissões de dióxido de carbono
8. Sustentabilidade da proposta de valor
9. Desenvolvimento de tecnologias próprias
10. Co-desenvolvimento de tecnologias de terceiros
11. Expansão física
12. Capacidade instalada x capacidade ocupada

Fonte: Elaboração própria

Na sequência, procedeu-se ao agrupamento progressivo das categorias iniciais resultando no surgimento das categorias finais.

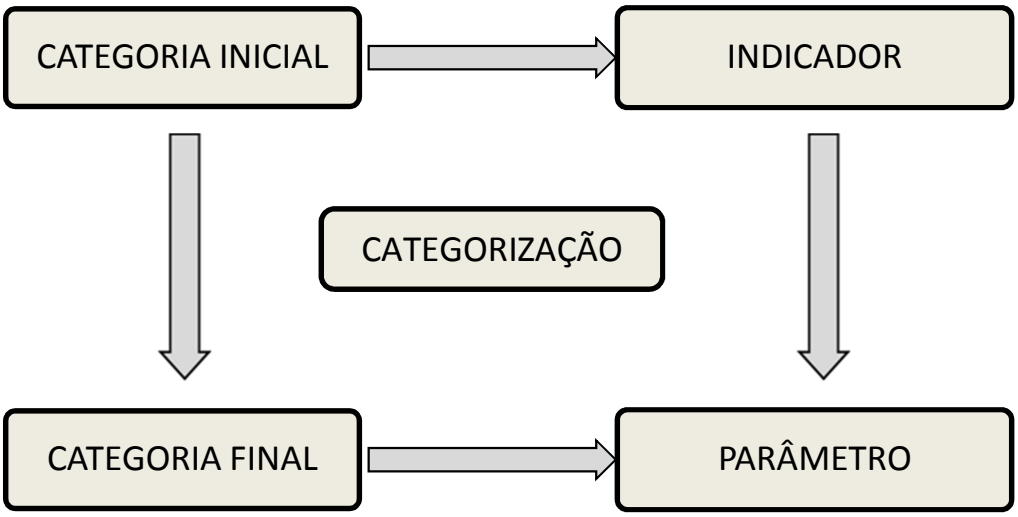
Vale frisar que, em conformidade com a regra de categorização referente ao número de categorizações, constante no item 7.2.1.7, não se verificou a necessidade de aplicação de um novo procedimento de categorização além daqueles previstos. Assim, tendo sido obtido um total de doze categorias iniciais, por meio da primeira categorização, observou-se que o Procedimento de Análise poderia ser conduzido por mais uma categorização, totalizando dois procedimentos de categorização conforme disposto na aludida regra de categorização. Desta forma, se objetivou preservar a consistência dos dados analisados no Procedimento de Análise, evitando, assim, que um novo

procedimento de categorização, além dos previstos, viesse a desconsiderar categorias importantes já obtidas.

7.2.2.2.2. Indicadores e parâmetros

Para abordar o problema e os objetivos da pesquisa, os dados previamente coletados foram analisados por meio de análise categórica, que, de acordo com Bardin (2006), agrupa os textos em categorias de forma análoga. A análise categórica tem se revelado o melhor método para o estudo de valores e opiniões usando dados qualitativos (FOSSÁ e SILVA, 2015). As categorias foram formadas com base em Bardin (2006). Após a seleção e leitura do material, foi realizada codificação baseada no registro de frequência ponderada de palavras ou frases que se constituíram em unidades de registro, procedimento este que foi seguido pela categorização progressiva.

Aplicando-se a técnica de análise de conteúdo aos objetivos da presente pesquisa, atribuíram-se os indicadores como sendo as categorias iniciais do método de Bardin (2006); ao passo que categorias finais resultantes se constituíram nos parâmetros que serviram de base para a análise dos modelos de negócios das empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, conforme indicado na Figura 7.9.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7.9: Categorização progressiva: indicador – parâmetro.

7.2.2.2.3. Categorias finais

As primeiras categorias foram criadas e nomeadas de acordo com os dados de origem. Destas doze categorias iniciais, seis categorias finais emergiram do agrupamento das iniciais com base nos objetivos formulados e no referencial teórico revisado. Portanto, as categorias finais foram geradas por meio da utilização de conceitos norteadores tendo em vista os valores iniciais mostrados na primeira coluna da Tabela 7.2.

Tabela 7.2: Categorias finais do Procedimento de Análise.

CATEGORIA INICIAL	CONCEITO NORTEADOR	CATEGORIA FINAL
1. Foco em bioetanol de segunda geração	Evidencia o grau de relevância para a empresa do segmento de bioetanol de segunda geração	1. Foco da empresa
2. Foco em superar etapas críticas	Evidencia o grau de relevância para a empresa na superação das etapas críticas	
3. Desenvolvimento de novas fontes de biomassa	Indica atenção com as fontes de matéria-prima	2. Matérias-primas
4. Logística da matéria-prima	Indica o valor do apoio logístico no fornecimento de matéria-prima	
5. Acesso a tecnologias de menor custo	Denota a necessidade de acesso a tecnologias para viabilização comercial	3. Custo
6. Integração de processos para reduzir custos	Indica a integração de processos de primeira e segunda geração para viabilização comercial	
7. Redução das emissões de dióxido de carbono	Denota a importância da redução de gases de efeito estufa no processo	4. Certificação
8. Sustentabilidade da proposta de valor	Indica o grau de sustentabilidade do processo produtivo que gerou o produto final	
9. Desenvolvimento de tecnologias próprias	Mostra o desenvolvimento das tecnologias próprias da empresa.	5. Tecnologia
10. Co-desenvolvimento de tecnologias de terceiros	Mostra o co-desenvolvimento de tecnologias de empresas parceiras.	
11. Expansão física	Indica a expansão das instalações em número e capacidade.	6. Unidades de produção
12. Capacidade instalada x capacidade ocupada	Evidencia a relação entre o volume produzido e a capacidade instalada.	

Fonte: Elaboração própria.

Assim sendo, após a discussão e apresentação das categorias iniciais, emergiram seis categorias finais, as quais se encontraram fundamentadas no referencial teórico revisado, nos objetivos formulados e na dimensão da análise.

Para obtenção das categorias finais, realizou-se o reagrupamento analógico das categorias iniciais por meio da investigação dos temas a que se referem, em consonância com Bardin (2006), segundo a qual a análise temática é eficaz quando aplicada a textos diretos e simples.

A primeira categoria final ou parâmetro se referiu ao foco da empresa. As categorias iniciais que lhe deram origem evidenciaram valores relativos ao foco da empresa, seja no segmento de bioetanol de segunda geração, seja em superar os entraves tecnológicos que dificultam a obtenção dos resultados previstos.

A segunda categoria final ou parâmetro consistiu na matéria-prima. As categorias iniciais que lhe deram origem evidenciaram valores relativos à matéria-prima, seja no tocante ao desenvolvimento de novas fontes de bioamassa, seja no que se refere ao apoio logístico para recebimento tempestivo da matéria-prima na unidade de produção.

A terceira categoria final ou parâmetro consistiu nos custos (de matéria-prima, de produção e do produto). As categorias iniciais que lhe originaram denotaram valores relativos aos custos, seja no que concerne ao acesso a tecnologias menos dispendiosas, seja na redução de custos resultante da integração dos processos de primeira e segunda geração.

A quarta categoria final ou parâmetro se constituiu na certificação. As categorias iniciais que lhe geraram indicaram valores relativos à sustentabilidade e à redução de GEE, fatores estes aptos a agregar valor ao produto por meio de reconhecida certificação.

A quinta categoria final ou parâmetro se constitui na tecnologia. As categorias iniciais que lhe deram origem evidenciaram valores relativos à tecnologia. Vale ressaltar que, embora as categorias iniciais que lhe originaram tenham se referido ao desenvolvimento tecnológico, outros temas relacionados à tecnologia, diferentes de desenvolvimento tecnológico foram identificados nas respectivas unidades de registro, razão pela qual se optou por nomear este parâmetro como *Tecnologia* ao invés de *Desenvolvimento Tecnológico*.

A sexta categoria final ou parâmetro consistiu nas unidades de produção. As categorias iniciais que lhe geraram indicaram valores relacionados às unidades de produção das empresas estudadas, seja em relação às suas respectivas capacidade de produção, seja em relação à previsão de construção de novas unidades de produção.

7.3. Procedimento de Categorização

Este procedimento visou alimentar, a título de informações complementares, a análise dos modelos de negócios das empresas objeto desta pesquisa, fornecendo outros parâmetros obtidos a partir da aplicação de categorização progressiva aos indicadores apresentados no Capítulo 4, os quais foram assumidos como categorias iniciais.

A realização deste procedimento também se justifica tendo em vista os aludidos indicadores se relacionam a modelo de seleção de novas tecnologias por empresas que operam em um cenário tecnológico de inovação aberta independentemente do segmento tecnológico a que pertençam. Destarte, considerando que os principais *players* na arena competitiva de produção de bioetanol de segunda geração em escala comercial operam em um contexto de inovação aberta, tendo em vista que, não raro, estabelecem parcerias entre si, conforme informou o referencial teórico da presente pesquisa, optou-se por aproveitar como categorias iniciais deste Procedimento de Categorização os indicadores estudados no Capítulo 4.

7.3.1 Categorias iniciais

Foram considerados como categorias iniciais os indicadores estudados no Capítulo 4, os quais foram submetidos à categorização progressiva, com vistas à obtenção de parâmetros que melhor se adequassem aos objetivos formulados.

A Tabela 7.3 apresenta o nome de cada categoria inicial do Procedimento de Categorização.

Tabela 7.3: Categorias iniciais do Procedimento de Categorização.

CATEGORIAS INICIAIS
1. Maturidade Tecnológica
2. Capacidade de Absorver Inovações
3. Capacidade dos Recursos Humanos
4. Desenho Estrutural Compatível
5. Recursos de Apoio ao Desenvolvimento
6. Facilidade de Adoção de Novos Processos
7. Proposta de Valor
8. Manutenção do Controle Estratégico
9. Ampliação do Controle Estratégico
10. Potencial de Retorno
11. Potencial de Expansão do Mercado Atual
12. Potencial para Abrir Novo Mercado
13. Potencial para Incrementar o Domínio Tecnológico
14. Política do Domínio Tecnológico

Fonte: Elaboração própria.

Destas categorias iniciais, por meio da aplicação de agrupamento progressivo, resultou no surgimento das categorias finais, que são apresentadas a seguir.

7.3.2 Categorias finais

Do agrupamento destas catorze categorias iniciais, com base no referencial teórico revisado e nos objetivos formulados, emergiram três categorias finais. Assim, as categorias finais foram geradas por meio da utilização de conceitos norteadores tendo em vista os valores iniciais mostrados na primeira coluna da Tabela 7.4.

Tabela 7.4: Categorias finais do procedimento de categorização.

CATEGORIAS INICIAIS	CONCEITO NORTEADOR	CATEGORIAS FINAIS
1. Maturidade Tecnológica	Evidencia capacidade da empresa desenvolver e gerenciar projetos em termos de gestão estratégica	1. Capacidade Organizacional
2. Capacidade de Absorver Inovações	Evidencia a capacidade de absorver inovações em ambiente inovação aberta	
3. Capacidade dos Recursos Humanos	Denota a capacidade dos indivíduos da empresa em gerar conhecimento de interesse organizacional	
4. Desenho Estrutural Compatível	Indica o adequado relacionamento entre pessoal, conhecimento, recursos e atividades da organização	
5. Recursos de Apoio ao Desenvolvimento	Denota a capacidade da organização de acessar créditos e incentivos fiscais	
6. Facilidade de Adoção de Novos Processos	Indica a capacidade da organização em manter seu potencial competitivo em momentos de adaptação a novas tecnologias	
7. Proposta de Valor	Evidencia as diversas partes do negócio, de forma a criar valor que gere vantagem estratégica	2. Vantagem e Controle Estratégicos
8. Manutenção do Controle Estratégico	Enfatiza a manutenção do controle organizacional sobre o processo de administração estratégica no sentido assegurar funcionamento adequado.	
9. Ampliação do Controle Estratégico	Ressalta a ampliação do controle organizacional sobre o processo de administração estratégica no sentido melhorar seu funcionamento.	
10. Potencial de Retorno	Indica reaproveitamento dos resíduos gerados pelo processo produtivo que poderão retornar à produção como matéria-prima secundária gerando economia	
11. Potencial de Expansão do Mercado Atual	Evidencia se há aumento de demanda no mercado atual, seja interno ou externo.	

12. Potencial para Abrir Novo Mercado	Evidencia se há demanda em novos mercados que justifique sua abertura	3. Potencial do Negócio
13. Potencial para Incrementar o Domínio Tecnológico	Indica o potencial da empresa na geração e na captura de valor para incrementar seu domínio tecnológico	
14. Política do Domínio Tecnológico	Denota a política de domínio tecnológico da empresa em um ambiente de inovação aberta	

Fonte: Elaboração própria.

Assim sendo, após a discussão e apresentação das categorias iniciais, emergiram três categorias finais, as quais se encontram fundamentadas no referencial teórico revisado, nos objetivos formulados e na dimensão da análise.

A primeira categoria final ou parâmetro deste procedimento consistiu na capacidade organizacional. As categorias iniciais que lhe deram origem evidenciaram valores relativos à capacidade organizacional, seja no tocante ao status de prontidão tecnológica da empresa demonstrada pela sua capacidade de materializar conhecimento (*maturidade tecnológica*), bem como no que tange à sua *capacidade de absorver inovações*, seja no tocante à sua capacidade de acessar créditos e incentivos fiscais (*recursos de apoio ao desenvolvimento tecnológico*), ou ainda no que se refere à sua capacidade de adaptação a novas tecnologias (*facilidade de adoção de novos processos*).

A segunda categoria final ou parâmetro consistiu na vantagem e controle estratégicos. As categorias iniciais que lhe deram origem evidenciaram valores relativos à arena competitiva que atuam as empresas, seja no tocante à vantagem competitiva por meio de agregação de valor ao produto (proposta de valor), seja na manutenção e ampliação do controle estratégico, com vistas a manter a organização como um conjunto apropriadamente integrado a seu ambiente tecnológico.

A terceira categoria final ou parâmetro consistiu no potencial do negócio. As categorias iniciais que lhe originaram evidenciaram valores relativos ao potencial do negócio das empresas, seja no que tange ao reaproveitamento

dos resíduos gerados pelo processo produtivo (*potencial de retorno*), seja no tocante ao *potencial de expansão do mercado atual e de abertura de novos mercados* internos ou externos, ou ainda no que se refere ao *potencial para incrementar o domínio tecnológico da empresa e à política de domínio tecnológico*, principalmente por meio de parcerias, tendo em vista o ambiente de inovação aberta em que operam as empresas.

CAPÍTULO 8

ANÁLISE DOS MODELOS DE NEGÓCIOS DAS EMPRESAS BRASILEIRAS

8.1. Com parâmetros do Procedimento de Análise

O Procedimento de Análise foi utilizado para fornecer os parâmetros obtidos nas respectivas seis categorias finais (foco da empresa, matérias-primas, tecnologia, custos, certificação e unidades de produção) de acordo com a metodologia apresentada no Capítulo 7.

Com base no parâmetro *foco da empresa*, buscou-se compreender, por exemplo, se a empresa estaria focando no segmento de bioetanol de segunda geração, ou se estaria dividindo seu foco com outros segmentos industriais que poderiam estar sendo, inclusive, priorizados. Também se buscou entender se há preocupação da empresa, por exemplo, em superar os entraves tecnológicos e mercadológicos que caracterizam, respectivamente, o processo produtivo de bioetanol de segunda geração e a arena competitiva em que atuam as empresas objeto da presente pesquisa.

Com base no parâmetro *matéria-prima*, e considerando que as matérias-primas utilizadas por ambas as empresas brasileiras decorrem da cana-de-açúcar, se procurou saber se as empresas têm adotado providências para superar as dificuldades de obtenção de biomassa no período da entressafra, com vistas a reduzir ou evitar a capacidade ociosa da unidade de produção. Também se procurou identificar, neste parâmetro, se há dificuldades logísticas em relação ao fornecimento de matéria-prima para as usinas de produção.

Em relação ao parâmetro *custos*, se buscou saber quais providências as empresas têm adotado com vistas a reduzir os custos de matérias-primas, de produção e do produto.

No tocante ao parâmetro *certificação*, considerando que a sustentabilidade consiste em valor de elevada importância conforme revelado na categorização progressiva realizada, se procurou identificar a existência de certificações que reconheçam a sustentabilidade da produção de bioetanol de segunda geração das empresas estudadas.

No que tange ao parâmetro tecnologia, se buscou conhecer, por exemplo, as estratégias de desenvolvimento e co-desenvolvimento utilizadas pelas empresas com vistas a otimizar cada etapa da cadeia produtiva de bioetanol de segunda geração, bem como se a política da empresa inclui a aquisição ou acesso a tecnologias de terceiros.

No que concerne ao parâmetro *unidades de produção*, se procurou identificar, por exemplo, a capacidade de cada unidade de produção e se há capacidade ociosa; ou ainda se há previsão pela empresa para construir ou obter outras unidades de produção de bioetanol de segunda geração.

Na avaliação comparativa dos modelos de negócios da Raízen e GranBio são consideradas as seguintes categorias: foco da empresa, matérias-primas, custos, certificação e tecnologia e unidades de produção. A Tabela 8.1 apresenta, em síntese, comparação entre os resultados para cada parâmetro (categoria final) analisado para cada empresa brasileira.

Tabela 8.1: Comparação de resultados.

PARÂMETRO	GRANBIO	RAÍZEN
Foco da empresa	Foco em biotecnologia cria vantagem competitiva.	Foco da empresa dividido entre bioeletricidade e etanol de segunda geração.
Matérias-primas	Desenvolvimento da cana-energia: redução de custo e ociosidade.	Utilização da sua própria estrutura de primeira geração.
Custos	Realização de parcerias nas fases críticas do processo de produção, para reduzir custos.	Sinergia e proximidade entre unidades de 1ª e 2ª geração para obter ganhos logísticos.
Certificação	O combustível mais limpo do mundo (*Air Resources Board*).	A unidade de produção de etanol de 2ª geração certificada com selo de sustentabilidade da Bonsucro.
Tecnologia	Desenvolve própria tecnologia. Co-desenvolve a de terceiros. Parcerias estratégicas.	Licenciamento de tecnologia desenvolvida pela *joint venture*, da qual é acionista. Parcerias.
Unidades de Produção	Apresenta capacidade ociosa principalmente devido a desafios no pré-tratamento.	Apresenta capacidade ociosa principalmente devido a desafios no pré-tratamento.

Fonte: Elaboração própria.

8.1.1. Foco da empresa

GranBio é uma empresa de biotecnologia que busca soluções para transformar a biomassa em produtos renováveis, como biocombustíveis e bioquímicos. A empresa atua integrando tecnologias em toda a cadeia de produção - desde a aquisição de matérias-primas até a distribuição do produto final (GRANBIO, 2015). Há etapas críticas no processo de produção de bioetanol de segunda geração, como a "biossíntese de hidrolases", e o custo de celulases e hemicelulases tem um impacto significativo no preço do bioetanol (MURAKAMI, 2013). No entanto, o "desenvolvimento de processos biotecnológicos" pode melhorar os parâmetros cinéticos de leveduras utilizadas na fermentação de pentoses a etanol (NEITZEL, 2013). O foco da empresa na área de biotecnologia confere à GranBio uma vantagem competitiva neste segmento industrial, inclusive por meio do estabelecimento de parcerias com outras empresas tal como a DSM, que lhe fornece leveduras, com vista a superar os entraves tecnológicos. Ressalte-se que, em 2015, a GranBio anunciou ter recebido a aprovação de sua própria levedura proprietária capaz de fermentar os açúcares C5 e C6 presentes nas fontes de biomassa.

Raízen é uma empresa de energia criada a partir de uma parceria entre a Shell e a Cosan. Raízen é uma das cinco maiores empresas em termos de faturamento e uma das três maiores distribuidoras de combustíveis no Brasil. A empresa também é a principal produtora de etanol de primeira geração no país e a maior exportadora individual de açúcar de cana no mercado internacional. O foco da Raízen é principalmente a pesquisa e o desenvolvimento de energia alternativa baseada em matrizes renováveis, como a produção de bioeletricidade a partir de coprodutos da cana-de-açúcar e a reutilização de alguns desses coprodutos na produção de etanol de segunda geração, produto este que tem recebido cada vez mais atenção da empresa (RAÍZEN, 2013).

Quanto a este parâmetro, verifica-se que o foco da GranBio, centrado em biotecnologia e no segmento de biocombustíveis, lhe confere maior vantagem competitiva, acrescido ao fato de que a Raízen, embora invista no segmento de bioetanol de segunda geração, tenha seu foco dividido em outras atividades que lhe proporcionam maiores retornos do ponto de vista comercial, a exemplo da bioeletricidade e do próprio segmento de bioetanol de primeira geração.

8.1.2. Matéria-prima

A GranBio mantém alianças com unidades de produção de primeira geração para o fornecimento de matéria-prima, que é uma importante categoria de competitividade relacionada à produção de renováveis, permitindo que uma parte da palha de cana seja coletada e convertida em etanol e outros produtos renováveis em escala comercial. A usina é alimentada por insumos de plantas do Grupo Carlos Lyra, que são instaladas em áreas próximas. A GranBio e seus parceiros que fornecem equipamentos agrícolas, CNH, Valtra e Implanor, desenvolveram um sistema efetivo para gerenciar a colheita, armazenamento e processamento de palha de cana-de-açúcar (ZAPAROLLI, 2015). A GranBio pode utilizar em seu processo produtivo qualquer resíduo de cana-de-açúcar, tendo, entretanto, utilizado a palha de cana-de-açúcar (topos e folhas) como matéria-prima, com a composição de glucano 35-40% (p/p) e xilano 15-20% (p/p) em base seca. (USDOE, 2016b).

Para reduzir os custos e ociosidade durante a entressafra, a GranBio busca o desenvolvimento tecnológico de novas fontes de biomassa como a cana-de-energia. Esta é uma matéria-prima altamente competitiva devido aos seguintes fatores:

(i) alta capacidade de conversão de carbono atmosférico em carbono orgânico na formação de biomassa;
(ii) alta densidade energética, pois é uma matéria-prima mais eficiente do que as plantas alimentícias quando analisada economicamente e energicamente;
(iii) as plantas de cana-de-energia se adaptam às condições de estresse e são resistentes a micro-organismos nocivos;
(iv) a “cana energia” não compete com a produção de alimentos, pois pode ser plantada em regiões degradadas ou de expansão, inadequadas para outras culturas, e também pode ser usada para controlar a erosão;
(v) a colheita pode ser feita durante todo o ano, e o produto pode ser armazenado com vistas a uma utilização prolongada (MATSUOKA *et al.*, 2012).

A cana-energia da GranBio é a CanaVertix, desenvolvida na Estação Experimental BioVertis no município de Barra de S. Miguel, em Alagoas. O projeto tem como parceiros o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa).

A usina da Raízen usa sua estrutura de primeira geração já existente, tendo sua unidade de segunda geração sido construída em anexo às plantas de primeira geração. Se a Raízen pretende utilizar toda a sinergia dos processos industriais de primeira e segunda geração, a fábrica corre o risco de ser paralisada durante a entressafra devido à falta de suprimento de biomassa, em razão da perecibilidade da cultura da cana-de-açúcar (SCHILL. 2016d). A Raízen é sócia do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), principal centro de pesquisa em cana-de-açúcar do mundo, localizado em Piracibaca (SP), no qual se busca o desenvolvimento contínuo da matéria-prima e o aumento da produtividade agrícola e industrial (RAÍZEN, 2017a).

A Raízen também tem desenvolvido sua cana-energia, em parceria com a Vignis, empresa de biotecnologia, com previsão de ser processada, em projeto-piloto, até setembro ou outubro de 2017, em sua usina Bom Retiro, localizada no município de Capivari, S. Paulo. O processamento nos referidos meses visa aproveitar os meses em que a cana-energia está em seu período fisiológico ideal de maturação, valendo ressaltar que o uso da cana-energia exigiria adaptações do maquinário industrial e agrícola das usinas, uma vez que possui um formato diferente e mais fibras que a variedade tradicional (NOVACANA, 2017f).

Vale ressaltar que a cana-energia tem previsão para ser usada em escala industrial na safra de 2017/2018 (RAMOS, 2016).

Quanto a este parâmetro, em que pese a GranBio depender de parcerias relacionadas a usinas de primeira geração para fornecimento de matéria-prima, por outro lado, tem firmado parcerias com empresas que lhe prestam o apoio logístico necessário à disponibilização da palha da cana-de-açúcar com vistas a atender as necessidades da segunda geração de bioetanol. A Raízen, por sua vez, aproveita a sinergia entre os processos de primeira e segunda geração porque a empresa possui suas próprias unidades de primeira geração. Não havendo, portanto, dificuldades para ambas as empresas quanto à

disponibilização das fontes de biomassa. Também, no tocante ao desenvolvimento e experimentação de suas variedades de cana-energia, se verificou que as vantagens competitivas de ambas as empresas se equivalem em relação a este parâmetro.

8.1.3. Custos

Melhorar a logística de matéria-prima e reduzir o custo da matéria-prima é fundamental no etanol celulósico, de forma a alcançar o equilíbrio dos custos, pois o custo da matéria-prima pode impactar o custo total em 40% (LUX RESEARCH, 2016).

O custo logístico, tanto do fornecimento da matéria-prima como o da distribuição do produto final têm pesado no custo final de vários tipos de biocombustíveis. Embora o interesse na produção de biocombustíveis *drop in*[39] tenha crescido - tendo em vista que esses não exigem mudanças na infraestrutura logística já existente para os combustíveis fósseis, exigindo, portanto, menor investimento em infraestrutura por parte dos governos - os biocombustíveis avançados continuam a ser um tema de importância fundamental, incluindo o foco contínuo na produção e comercialização do bioetanol de segunda geração (IEA, 2017a).

O custo da matéria-prima é um diferencial chave. As duas empresas brasileiras apresentam o menor preço mínimo de venda projetado de etanol projetado pois utilizam as matérias-primas celulósicas mais baratas. A palha de cana-de-açúcar e o bagaço de cana-de-açúcar, que custam US$ 40 e US$ 38 por tonelada métrica seca, respectivamente, em comparação com a palha de milho (US$ 90) utilizada pela Abengoa – Synata Bio e Poet-DSM, e a palha de trigo (US$ 75) utilizada pela Beta Renewables (LUX RESEARCH, 2016). Vale ressaltar que os valores de custos apresentados podem variar em razão de diversos fatores, tais como os níveis de estoque existentes, a oferta e a demanda do próprio produto e de seus produtos substitutos e complementares,

[39] Combustíveis *drop in* possuem desempenho próximo ou igual ao dos derivados convencionais, que não exigem modificações dos motores e aproveitam a infraestrutura de distribuição existente (BOMTEMPO e COUTINHO, 2011).

aspectos climáticos, logísticos, política agrícola, dentre outros (MARTINS, 2009).

Considerando que um dos fatores que influenciam o custo consiste na política agrícola, vale ressaltar que tem sido registrada a ausência de políticas públicas para fomentar a indústria do bioetanol de segunda geração, embora deva se registrar que o BNDES tem contribuído para o desenvolvimento do bietanol celulósico. (CNPEM, 2016).

Para reduzir o custo da produção de bioetanol de segunda geração, a GranBio, baseada em parcerias estabelecidas, atuou nas etapas críticas do processo de produção. Em parceria com a API, a GranBio tem acesso à tecnologia GreenPower + (ou GP +), que é de baixo custo e produz açúcar de celulose, extraindo apenas as hemiceluloses (açúcares de cinco carbonos) da biomassa (MAXPRESS, 2013). O objetivo da GranBio foi de atingir, a médio prazo, um custo de produção 20% menor do que o custo do etanol de cana-de-açúcar convencional (NOVACANA, 2015a). Entretanto, reavaliou sua previsão considerando que o bioetanol celulósico somente será competitivo a partir de 2019, devido aos desafios iniciais com a tecnologia de pré-tratamento (NOVACANA, 2017c).

A Raízen possui como meta que o custo de produção do etanol de segunda geração se equipare ao da primeira geração (EXAME, 2015). A unidade de produção de etanol de segunda geração foi construída estrategicamente junto à unidade do grupo que já estava dedicada à produção de etanol de primeira geração. A proximidade e a sinergia entre as duas unidades trazem ganhos logísticos e financeiros, proporcionando eficiência e competitividade a todo o processo produtivo (SIFAEG, 2016). Segundo a Raízen, os altos custos de capex[40] e de enzimas permanecem e, como resultado, o etanol celulósico deve ser competitivo somente a partir de 2019 (USDA, 2015).

Apesar das dificuldades que cada empresa enfrenta na criação de planos de custos efetivos, a Raízen alavanca parcerias com outros líderes para permitir inovações que podem ser aplicadas em cada etapa do processo de

[40] CAPEX é a sigla da expressão inglesa *Capital Expenditure* (despesas de capital ou investimento em bens de capital) e que designa o montante de dinheiro despendido na aquisição (ou introdução de melhorias) de bens de capital de uma organização (KFOURY, 2013).

produção de bioetanol de segunda geração, ao passo que a GranBio já tem focado no desenvolvimento de tecnologias que lhe garantam menores custos de matéria-prima, a exemplo da cana-energia, bem como no estabelecimento de parcerias para ter acesso a tecnologias de baixo custo, a exemplo da parceria com API que lhe assegura o acesso à tecnologia GP+. Assim sendo, verificou-se que as vantagens competitivas de ambas as empresas, em relação a este parâmetro, denotam equilíbrio, o que é confirmado pelo fato de que ambas possuem o menor preço mínimo de venda projetado de etanol (LUX RESEARCH, 2016).

8.1.4. Certificação

O etanol de segunda geração da GranBio é "verde" porque é criado a partir de um subproduto limpo e renovável. De acordo com a GranBio, o seu bioetanol celulósico já havia sido certificado como o combustível mais limpo do mundo em termos de intensidade de carbono (7,49 g de CO2 / MJ) - índice confirmado pela *Air Resources Board* (ARB), da Califórnia. O cálculo considera as emissões de dióxido de carbono (responsável pelo efeito estufa) desde a colheita até o transporte e distribuição (IAC, 2015).

Por outro lado, a *Better Sugarcane Initiative* (Bonsucro) é uma certificação global lançada em julho de 2011, que avalia a sustentabilidade do processo produtivo dos produtos fabricados a partir da cana, englobando aspectos ambientais, sociais e econômicos. A unidade de produção de etanol de segunda geração da Raízen foi certificada com o selo da Bonsucro no início da safra 2014/2015. Quanto aos processos certificados, a Raízen foi pioneira na adoção da certificação internacional Bonsucro, criada para a cadeia produtiva da cana-de-açúcar (RAÍZEN, 2015).

Assim, considerando que a sustentabilidade do produto é de valor crescente para mercados importadores exigentes como a União Europeia e os EUA, a proposta de valor de ambas as empresas, com relação ao valor da sustentabilidade, atende satisfatoriamente à categoria analisada. O produto fornecido pela GranBio oferece valor agregado significativo justificado pelo seu reconhecimento pela ARB como o combustível mais limpo do mundo. No entanto, o produto da Raízen, por sua certificação pela Bonsucro, também

apresenta expressivo valor agregado. Consequentemente, as vantagens competitivas de ambas as empresas, em relação a este parâmetro, se equilibram.

8.1.5. Tecnologia

Embora as produções já se encontrem em escala comercial, o que muito se deve às estratégias de colaboração com outras empresas, desenvolvidas por cada empresa brasileira no ambiente de inovação aberta, que caracteriza o segmento, ainda não se pode dizer que o bioetanol de segunda geração seja economicamente viável. Um dos desafios se refere a melhorar o processo produtivo, fazendo com que a levedura consiga assimilar a xilose presente no bagaço da cana e transformá-la em etanol (CANAONLINE, 2017).

Entretanto, avanços têm sido obtidos. Considerando que o açúcar de cinco carbonos, xilose, corresponde a uma significativa parcela na composição da biomassa, e que o mesmo não é assimilado naturalmente pelas leveduras utilizadas no processo de primeira geração; considerando que a levedura *S. cerevisiae* é um micro-organismo amplamente utilizado para a conversão do açúcar em etanol; e considerando que já está sendo utilizada uma linhagem comercial de *S. cerevisiae* chamada Pedra-2, submetida a uma série de manipulações genéticas, para que seja capaz de converter a xilose em etanol, foram obtidos resultados animadores, representando um alto rendimento na produção do biocombustível, sendo que a levedura já está sendo utilizada industrialmente na conversão dos açúcares provenientes da biomassa em etanol de segunda geração (CTBE, 2017).

Tanto GranBio como Raízen revelam que o principal entrave consiste no pré-tratamento, indicando haver bons resultados no tocante à hidrólise e fermentação. No entanto, especialistas do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), entendem de modo diverso, uma vez que, segundo argumentam, se há um problema no pré-tratamento, a primeira fase do processo, não é possível saber se as outras fases funcionam adequadamente, haja vista que não poderiam ser testadas em sua totalidade (CNPEM, 2016).

Segundo Yuan-Sheng Yu, analista de pesquisa da Lux, melhorias no rendimento de pré-tratamento, no desempenho e no preço da enzima, e na eficiência de fermentação podem reduzir custos do bioetanol de segunda geração em até 16% (LUX RESEARCH, 2016).

Embora tenham sido obtidas importantes informações relacionadas à tecnologia utilizada pela GranBio na produção de bioetanol de segunda geração, muitas informações se encontram protegidas pela confidencialidade, como se pode comprovar em USDOE (2016b, 2016c).

O Centro de Pesquisa de Biologia Sintética (BioCelere) foi inaugurado em 2013 pela GranBio e está localizado no complexo do Techno Park de Campinas. O centro tem se concentrado no aprimoramento genético de microrganismos, processamento de biomassa, desenvolvimento de processos de fermentação e hidrólise enzimática. O centro, que conta com o apoio e financiamento da Agência Brasileira de Inovação (FINEP), atua de forma multidisciplinar em todas as etapas da cadeia produtiva - do campo, através de mapeamento genético da cana-de-açúcar e estudos de sua composição química, até a indústria, com o desenvolvimento de processos para converter açúcar celulósico em produtos renováveis. Além de desenvolver suas próprias tecnologias, o centro co-desenvolve tecnologias de parceiros para identificar e testar as melhores tecnologias de processos industriais disponíveis para a produção de bioquímicos e biocombustíveis, mesmo aquelas que estão em estágios iniciais de desenvolvimento, tendo em vista que elas possuem um potencial significativo para ruptura. A GranBio tem, em associação com a API, acesso a uma plataforma proprietária para o pré-tratamento da biomassa, que desenvolve o açúcar de celulose como matéria-prima para produzir uma grande variedade de fontes renováveis a baixo custo (LATINO AMERICA RENOVABLE, 2015). O pré-tratamento hidrotermal da biomassa para o acesso à celulose e hemicelulose é realizado com a tecnologia Proesa, desenvolvida pela Beta Renewables. Na etapa seguinte, a hidrólise enzimática ocorre pela ação de enzimas da Novozymes que quebram a celulose e a hemicelulose em moléculas de açúcar simples, tais como glicose e xilose. Na etapa de fermentação, os açúcares são transformados em etanol por leveduras desenvolvidas pela DSM (ZAPAROLLI, 2015; USDOE, 2016b).

A tecnologia Proesa se constitui em uma tecnologia de segunda geração em que o processo é baseado em uma primeira fase em que a biomassa a submetida a altas temperaturas e pressões, possibilitando a separação da celulose e da hemicelulose da lignina (BETA RENEWABLES, 2017). Em meados de 2015, a GranBio anunciou que recebeu a aprovação de sua própria levedura proprietária capaz de fermentar os açúcares C5 e C6 presentes na palha e no bagaço da cana-de-açúcar (SCHILL, 2016a). A unidade da GranBio foi a única instalação estrangeira registrada para gerar RINs[41] para etanol celulósico na lista da EPA nos EUA em fevereiro de 2016. Na sua discussão sobre os volumes celulósicos projetados para 2016 na regra final, a EPA incluiu a GranBio na sua tabela de plantas que ainda não havia alcançado uma produção consistente à escala comercial (SCHILL, 2016a).

Vale ainda frisar que a SGBio, uma *joint venture* entre o Grupo Solvay e a GranBio, adquiriu ativos da Cobalt Technologies, incluindo o banco de micro-organismos e propriedade intelectual relacionados a patentes, marcas registradas, processos, procedimentos operacionais e *know-how*. A SGBio passou a ter acesso a um conjunto completo de tecnologias de alto desempenho utilizadas na produção de bioquímicos. Além disso, a tecnologia da Cobalt incluiu matérias-primas celulósicas desde o início - a capacidade de converter açúcares C5 foi um diferencial em relação a empresas como Butamax e Gevo que se concentraram em açúcares C6 como dextrose (açúcar de milho). O interesse na Cobalt Technologies se deveu aos altos rendimentos do n-butanol, além de a empresa ter gerado uma vasta base de dados de micro-organismos para uma solução que possa ser adaptada a uma matéria-prima celulósica específica (LANE, 2015b).

O USDOE (Departamento de Energia dos EUA) questionou a GranBio sobre a possibilidade de venda de açúcares lignocelulósicos a entidades de pesquisa (universidades, laboratórios nacionais, indústria), dentre outras questões, tendo a empresa brasileira respondido que o produto final da Bioflex 1 é o bioetanol anidro com 99,6% de teor de etanol e que não poderia vender

[41] Os RINs (sigla para *Renewable Identification Numbers*), são preços dos créditos de combustíveis renováveis nos Estados Unidos, os quais são comercializados entre as refinarias americanas para garantir o cumprimento do mandato de biocombustíveis do governo americano, ou seja, créditos usados para rastrear o uso de etanol dentro das metas estabelecidas pelo governo dos EUA (NOVACANA, 2017b)

açúcares lignocelulósicos em quantidades comerciais, mas estaria disposta a vender amostras a qualquer entidade de pesquisa, em uma quantidade que variasse entre 50-100Kg, explicando que a concentração do açúcar lignocelulósico produzido no processo de produção de bioetanol de segunda geração varia entre 35 e 40 g/L (USDOE, 2016b). No tocante à lignina, atualmente, a planta é projetada para queimar a lignina na caldeira para produzir eletricidade e vapor (USDOE, 2016c).

No entanto, em que pese os esforços envidados pela GranBio, ainda permanecem os desafios iniciais com a tecnologia de pré-tratamento (NOVACANA, 2017c).

A Raízen é proprietária do licenciamento para a tecnologia de etanol celulósico, desenvolvida pela empresa canadense Iogen Energy, uma *joint venture* para a qual Raízen e Iogen Corporation são acionistas com partes iguais. Os coprodutos da primeira geração de etanol e da produção de açúcar, em parte, são direcionados à cogeração de energia e, em parte, são usados na produção de bioetanol de segunda geração desenvolvida e testada por dois anos em parceria com a Iogen Energy (SIFAEG, 2016).

Além das dificuldades enfrentadas pela Raízen em relação aos altos custos de capex e de enzimas, outros obstáculos têm se apresentado nesta fase operacional inicial, os quais incluem a adaptação e manutenção da maquinaria importada; assim como o gerenciamento de equipamentos e a erosão / corrosão de equipamentos (USDA, 2015).

Importa frisar que, em todas as plantas de etanol celulósico do mundo o desafio tem sido o mesmo: o pré-tratamento. Apesar de, inicialmente, ser considerada uma etapa simples, Raízen, Granbio, Poet-DSM, Beta Renewables, Abengoa (usina comprada pela Synata Bio) e DuPont têm encontrado dificuldades nessa fase de produção. A etapa que, inicialmente, parecia ser uma das mais simples dentro de uma planta de etanol celulósico, tem exigido mais trabalho do que se esperava e atrasado significativamente as metas iniciais de todos os grandes projetos de etanol celulósico em andamento pelo mundo (NOVACANA, 2017a).

Quanto a este parâmetro, verificou-se que a GranBio, em que pesem as dificuldades enfrentadas quanto à tecnologia de pré-tratamento, vem se dedicando não somente ao desenvolvimento de tecnologias próprias, mas

também ao estabelecimento de parcerias que lhe proporcionem acesso a tecnologias com vistas a superar os entraves tecnológicos para a produção comercial de bioetanol de segunda geração, tendo, inclusive, sua unidade sido a única instalação estrangeira registrada para gerar RINs para etanol celulósico na lista da EPA nos EUA em fevereiro de 2016, o que se atribui, em grande parte, às tecnologias utilizadas no processo de produção de seu bioetanol celulósico. Dadas as dificuldades constatadas na fase de pré-tratamento, vale frisar a parceria que a GranBio estabeleceu com a Beta Renewables, que trata de acesso a tecnologia relacionada a esta fase crítica. Destarte, a conjugação destes fatores demonstra que as tecnologias utilizadas pela GranBio lhe conferem, no tocante a este parâmetro, vantagem competitiva levemente superior, acrescido ao fato de que a Raízen, embora tenha firmado parcerias importantes, a exemplo da parceria com a Novozymes (enzimas) e com a Vignis (cana-energia), ainda enfrenta dificuldades relativas aos altos custos de capex e da maquinaria empregada.

8.1.6. Unidades de produção

Embora o Brasil tenha iniciado a produção de biocombustíveis avançados em 2014, ainda não está produzindo em grande escala devido ao alto custo da tecnologia para produzir bioetanol celulósico, em especial em razão do alto custo das enzimas utilizadas no processo (USDA, 2015). Uma das incertezas consiste na não existência de dados sobre a produção mínima saindo das duas unidades brasileiras (as empresas mantém silêncio sobre estes números) (CNPEM, 2016).

A planta da GranBio situada em S. Miguel dos Campos, Alagoas, possui capacidade instalada é de 82 milhões de litros (ou seja, cerca de 22 milhões de galões) de bioetanol (USDOE, 2016b). A planta custou US$ 190 milhões e recebeu financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Há um projeto da GranBio para instalar 10 plantas de etanol celulósico até 2020. O plano consiste em aumentar a produção de biocombustíveis para 1 bilhão de litros por ano (NOVACANA, 2015b). Com muitas expectativas para 2016, a GranBio esperava abrir duas novas usinas até final de 2016, entretanto, suas previsões não se concretizaram devido à

crise econômica que se estabeleceu no Brasil e a entraves no processo produtivo (CNPEM, 2016). Assim sendo, a usina de bioetanol celulósico da GranBio se manteve parada entre abril e outubro de 2016, para avaliação de outras tecnologias empregadas na etapa pré-tratamento da palha da cana usada na produção do etanol de segunda geração (NOVACANA, 2017d; BATISTA, 2016).

A unidade da Raízen, construída em Piracicaba, S. Paulo, junto à usina Costa Pinto da própria empresa, possui capacidade para produzir cerca de 10,5 milhões de galões (cerca de 40 milhões de litros) de etanol celulósico por ano, tendo custado aproximadamente US$ 130 milhões (PHILLIPS, 2016). Há planos para ampliar a capacidade instalada de sua unidade de etanol celulósico ou construir uma nova usina voltada para a segunda geração (NOVACANA, 2016ae).

Até 2024, a Raízen planeja construir mais sete plantas de etanol celulósico, além da primeira inaugurada em Piracicaba. A expectativa é que essas unidades, ao serem localizadas próximas a plantas para produção de primeira geração, operem com capacidade máxima e produzam um bilhão de litros de etanol por ano (RAÍZEN, 2017b). No entanto, em 2015, Raízen revelou que não excedeu a produção de 4 milhões de litros (NOVACANA, 2015a). Em relação à safra 2016/2017, encerrada em abril, sua unidade de bioetanol celulósico produziu 7,1 milhões de litros de bioetanol, entretanto, a empresa previu, para a safra 2017/2018, produção entre 15 e 20 milhões de litros de bioetanol celulósico, o que resultaria em uma capacidade ociosa que variaria entre 50% e 62,5% da capacidade instalada (NOVACANA, 2017e). Em que pese seus projetos de investir significativamente para ampliar sua capacidade de produção, a Raízen enfrentou as mesmas dificuldades com que se deparou a GranBio, tanto em razão da crise econômica instaurada no país, como em face de óbices do processo produtivo (CNPEM, 2016).

Quanto a este parâmetro, vale frisar que, no contexto global, a primeira geração do etanol de segunda geração em escala comercial ainda enfrenta grandes dificuldades operacionais. Tem sido difícil para os pioneiros estabilizar a produção e operar regularmente. O pré-tratamento provavelmente demonstra os maiores desafios ainda a serem enfrentados na consolidação da produção (NOVACANA, 2016a). Esses fatos têm contribuído para a geração de

capacidade ociosa nas unidades de ambas as empresas, o que denota que seus respectivos desempenhos se equiparam, em relação a este parâmetro.

8.2. Com parâmetros do Procedimento de Categorização

Vale ressaltar o caráter complementar dos parâmetros obtidos pelo Procedimento de Categorização, tendo em vista que os tais resultaram da aplicação de parte da técnica da análise de conteúdo.

8.2.1. Capacidade organizacional

Verificou-se que as duas empresas possuem vantagens competitivas em relação a este parâmetro. Quanto às respectivas capacidades de absorver inovações, verificou-se que ambas se utilizam de parcerias tecnológicas com vistas a absorver inovações. Observou-se que a GranBio busca estabelecer parcerias – a fim de otimizar cada uma de todas as principais etapas do processo produtivo de bioetanol celulósico - com empresas cujas inovações se destacam em cada etapa do processo – Beta Renewables (pré-tratamento), Novozymes (enzimas – hidrólise enzimática), e DSM (leveduras - fermentação) - revelando, assim, que a GranBio apresenta maturidade tecnológica para absorver as diversas inovações geradas pelas diferentes empresas parceiras. Por sua vez, a Raízen licencia grande parte de toda a sua tecnologia da Iogen Energy, tendo estabelecido parcerias também com a Novozymes (enzimas) e com a empresa Vignis (cana-energia). Vale citar que duas das parcerias estabelecidas pela GranBio são com outras empresas produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, a Beta Renewables e a DSM (sendo esta junto com a Poet), demonstrando, em suma, que esta empresa brasileira está melhor aproveitando os benefícios do ambiente de inovação aberta em que se insere o segmento de segunda geração de bioetanol, acessando tecnologias desenvolvidas por outros destacados *players* do setor. Este aspecto confere maior vantagem competitiva à GranBio na arena em que atua, o que denota tanto sua fácil adaptação na adoção de novos processos, como seu estado de prontidão tecnológica.

8.2.2. Vantagem e controle estratégicos

A proposta de valor das empresas está intimamente ligada ao bem produzido em escala comercial, a saber, o bioetanol de segunda geração. Considerando que ambas as empresas buscam agregar valor à sua proposta com vistas à obtenção de preços e custos competitivos para fins de comercialização de bioetanol de segunda geração em escala comercial.

Um dos fatores que agrega valor ao segmento de biocombustíveis reside na sustentabilidade. Neste quesito, ambas as empresas têm recebido certificações que atestam seu compromisso com o desenvolvimento sustentável: se, por um lado, o bioetanol de segunda geração da GranBio foi considerando pela *Air Resources Board* (ARB), Califórnia, o combustível mais limpo do mundo em intensidade de carbono (IAC, 2015).

No que tange à manutenção e ampliação do controle estratégico, vale citar que, atuando em arena competitiva de natureza global, a GranBio tem buscado acompanhar o alargamento da fronteira tecnológica do segmento econômico, explorando os benefícios da colaboração tecnológica com os principais *players* do setor em ambiente de inovação aberta.

Por outro lado, a *Better Sugarcane Initiative* (Bonsucro) é uma certificação global, lançada em julho de 2011, que avalia a sustentabilidade dos produtos fabricados a partir da cana-de-açúcar. A Unidade de produção de bioetanol de segunda geração da Raízen foi certificada com o selo da Bonsucro no início da safra 2014/2015. Quanto aos processos certificados, a Raízen foi pioneira na adoção da certificação internacional Bonsucro, criada para a cadeia produtiva da cana-de-açúcar (RAÍZEN, 2015). Assim, considerando que o aspecto sustentabilidade dos produtos tem recebido cada vez maior relevância dos mercados mais rígidos, verifica-se que as propostas de valor de ambas as empresas, no tocante ao valor sustentabilidade, atendem satisfatoriamente ao indicador em análise.

Entretanto, é importante enfatizar que a DSM - com a qual a GranBio possui parceria em relação ao acesso à tecnologia de leveduras – tem melhorado as enzimas do processo tanto no desempenho quanto no custo (POET-DSM, 2017), valendo ressaltar que a unidade de segunda geração da Poet-DSM têm atingido seus objetivos de produção depois de estar sem

interrupção há cerca de um ano com rendimentos atuais de 70 galões de celulose por tonelada de milho, perto de seu objetivo de 72 galões (SAPP, 2017b). Esta capacidade de se relacionar tecnologicamente com os principais *players*, também confere à GranBio maior vantagem competitiva em relação a este parâmetro, o que denota sua preocupação com a necessidade de manutenção e ampliação de controle estratégico.

8.2.3. Potencial do negócio

No que se refere ao potencial das empresas na geração e na captura de valor para incrementar seus respectivos domínios tecnológicos, verificou-se que este parâmetro conversa com o da capacidade organizacional, tendo em vista que este potencial acaba por traduzir a capacidade da empresa em capturar valor ou absorver inovação com vistas a incrementar seu domínio tecnológico, aspecto este em que a GranBio possuir maior vantagem competitiva tendo em vista as parcerias estratégicas realizadas com a Beta Renewables e com a DSM, parcerias estas inseridas no contexto de inovação aberta.

Destaque-se também a contribuição do BioCelere da GranBio tanto no desenvolvimento de tecnologias próprias como no co-desenvolvimento de tecnologia de parceiros.

No tocante à tecnologia da fonte de biomassa, vale ressaltar que, enquanto a GranBio desenvolveu sua variedade de cana-energia (CanaVertix); a Raízen possui, com a empresa de biotecnologia Vignis, parceria com vistas ao desenvolvimento sua própria variedade de cana-energia.

No âmbito do domínio tecnológico, as atividades de P&D na área industrial, em síntese, são: GranBio (Biotecnologia, leveduras, novas variedades de cana) e Raízen (Bioenergia) (DI GIORGIO, 2016).

No que se refere aos mercados que atende, a produção final da Bioflex (GranBio) é vendida tanto no mercado interno como exportada para os EUA e Europa (USDOE, 2016b).

Quanto a este parâmetro se verificou que, em relação capacidade de geração e captura de valor, a GranBio possui leve vantagem competitiva em relação à Raízen, em razão das parceiras estratégicas que tem firmado na

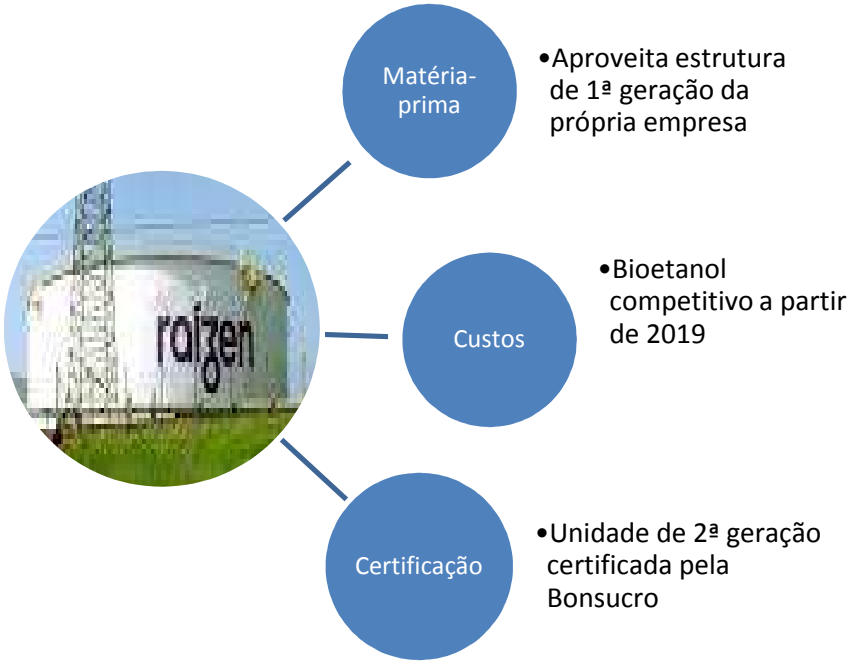
arena competitiva. Por outro lado, em relação aos demais aspectos, verificou-se equilíbrio no que se refere ao parâmetro analisado.

Na Figura 8.1, são apresentados alguns resultados destacados da análise do modelo de negócio da GranBio:

Fonte: Elaboração própria.

Figura 8.1: Resultados destacados da análise do modelo de negócios da GranBio.

Na Figura 8.2, resultados destacados da análise do modelo de negócio da Raízen:



Fonte: Elaboração própria.

Figura 8.2: Resultados destacados da análise do modelo de negócios da Raízen.

CAPÍTULO 9
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que, no mundo, das principais usinas de etanol de segunda geração - GranBio (Brasil), Raízen (Brasil), Poet-DSM (EUA), BetaRenewables (Itália), Abengoa – Synata Bio (EUA), DuPont (EUA) e Enerkem (Canadá), duas são brasileiras, a presente pesquisa buscou analisar os modelos de negócios de empresas que representam quase 30% das principais plantas globais que atingiram escala comercial.

Foram identificadas duas estratégias principais de produção de etanol a partir da biomassa; que consistem em processos biotecnológicos (rota bioquímica, utilizada por todos os principais *players* do segmento) e processos catalíticos (rota termoquímica, utilizada pela empresa Enerkem), embora também existam os processos híbridos resultantes da combinação das rotas mencionadas.

Foram estudados e analisados os diversos tipos de configurações do processo industrial de bioetanol de segunda geração, tendo sido verificado que as principais usinas utilizam a configuração sacarificação e fermentação simultâneas (Poet-DSM, Abengoa – Synata Bio e Dupont), e a sacarificação e co-fermentação simultâneas (Raízen, GranBio e BetaRenewables).

Foram caracterizadas as empresas estrangeiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial, tendo como destaque positivo a unidade da Poet-DSM que operou sem interrupção no último ano, atingindo, praticamente, sua meta de desempenho.

Verificou-se que a tecnologia não deve ser dissociada do modelo de negócio utilizado, uma vez que este funciona como instrumento de viabilização comercial daquela.

Foram estudadas técnicas de análise de dados, tendo sido selecionada análise de conteúdo como técnica destinada a pesquisas de natureza qualitativa tal qual a que se propôs o presente estudo.

Foram identificados e analisados os pontos estratégicos do modelo de negócio de cada empresa nacional, tendo sido verificado que ambas apresentam vantagens competitivas que se equivalem na maior parte dos parâmetros estudados, tendo a GranBio se destacado, em alguns parâmetros,

devido às parcerias estratégicas que estabeleceu com alguns dos principais *players* do segmento, melhor explorando os benefícios do ambiente de inovação aberta que caracteriza a arena competitiva.

Apesar das dificuldades enfrentadas pelas empresas, que refletem tanto a existência de capacidade ociosa em suas respectivas usinas de produção de bioetanol de segunda geração devido a problemas de entressafra, como a necessidade de reduzir o custo do etanol produzido pelo menos para corresponder ao custo de primeira geração, ambas têm investido na continuidade de projetos relacionados à produção de segunda geração e também desenvolveram novos objetivos.

Os desafios enfrentados pelas empresas brasileiras não divergem muito daqueles com que se deparam as estrangeiras. O pré-tratamento reúne os grandes desafios para a consolidação da produção em todos os principais projetos de produção comercial de bioetanol de segunda geração no mundo. Existem diversos processos sendo utilizados, todos com graus de maturidade baixos, conforme estudado. Os desafios no desenvolvimento dos pré-tratamentos seriam, em síntese, resolver os problemas de cada matéria-prima especifica e buscar pré-tratamentos flexíveis que possam operar com diferentes tipos de matérias-primas.

A presente pesquisa sugere a necessidade de um debate sobre por que essas duas empresas - GranBio e Raízen - são as únicas empresas brasileiras a conseguir a produção em escala comercial de etanol de segunda geração, a partir da cana-de-açúcar, investigando seus respectivos modelos de negócios.

Outras pesquisas podem explorar outras categorias para aprofundar a análise dos modelos de negócios dessas empresas. Considerando que os principais atores desta arena competitiva ainda enfrentam grandes dificuldades operacionais, esta pesquisa serve para auxiliar as empresas que atuam no mesmo setor, assim como os possíveis entrantes, a refletir mais profundamente sobre os modelos de negócios dessas empresas brasileiras.

CAPÍTULO 10

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas algumas sugestões de prosseguimento deste trabalho:

- Avaliar os modelos de negócios das empresas estrangeiras produtoras de bioetanol de segunda geração em escala comercial.

- Comparar os modelos de negócios das empresas estrangeiras com os das empresas brasileiras que atuam no segmento de produção de bioetanol de segunda geração.

- Avaliar os modelos de negócios de empresas produtoras de outros biocombustíveis com base em indicadores e parâmetros utilizados na presente Tese.

- Avaliar os modelos de negócios de empresas produtoras de outros produtos oriundos de matérias-primas renováveis, com destaque para produtos de alto valor agregado, tal como os bioquímicos.

- Propor outra aplicação, na área de processos químicos e bioquímicos, da técnica de análise de conteúdo seguindo a metodologia utilizada nesta Tese.

- Estudo de prospecção tecnológica a fim de analisar a evolução das patentes da GranBio e da Raízen.

- Análise de modelos de negócios para a produção brasileira de bioetanol de milho em escala comercial.

CAPÍTULO 11

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial; CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Química de Renováveis - Relatório Analítico da Consulta Estruturada.* Agenda Tecnológica Setorial – ATS. Brasília-DF: ABDI, 2016.

ABENGOA (2011). *Abengoa Bioenergy New Technologies (ABNT) commences commercial scale pre-production of enzymes*. 2011. Disponível em: <http://www.abengoa.com/htmlsites/boletines/en/febrero2011/bioenergy.html>. Acesso em: maio de 2017.

ABENGOA (2014). *Annual Report 2014*. Disponível em: <http://annualreport.abengoa.com/en/wp-content/uploads/2014_Volume1_AR.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

ABENGOA (2017). *Company.* Disponível em: <http://www.abengoa.com/web/en/compania/index.html>. Acesso em: maio de 2017.

ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. *Solução Técnica Etanol*. Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas. São Paulo, SP: abril/2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2009.

AEC (2012). Advanced Ethanol Council. *Cellulosic Biofuels Industry Progress Report 2012-2013*. Disponível em: <http://ethanolrfa.org/page/-/PDFs/AEC%20Cellulosic%20Biofuels%20Industry%20Progress%20Report%202012-2013.pdf?nocdn=1>. Acesso em: maio de 2017.

ALVES, G. *Toyotismo como ideologia orgânica da produção capitalista*. Revista do Grupo de Pesquisa Organizações e Democracia da Universidade Estadual Paulista – UNESP. Marília, v.1, n.1, p.3-15, 2001.

ALVES-MAZZOTTI, A.J., GEWANDSZNAJDER, F. *O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa*. São Paulo: Pioneira, 1998.

ALVIRA, P.; TOMÁ-PEJÁ, E.; BALLESTEROS, M.; NEGRO, M.J.*; Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review*. Bioresource Technology, v.101, p. 4851-4861, 2010.

AMATO NETO, J.: *Reestruturação industrial, terceirização e redes de subcontratação*. Revista de Administração de Empresas, vol.35, n.2, p.32-42, mar/abr, 1995.

ARMELLINI, F.; KAMINSK, P. C. *Desverticalizando a cadeia de valor da inovação através da inovação aberta*. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador, 2009.

BAAS, L.W. *Cleaner production: beyond projects*. Journal of Cleaner Production, Great Britain, v. 3, p. 55-59, 1995.

BACCARIN, J.G.; GEBARA, J.J.; FACTORE, C.O. *Concentração e integração vertical do setor sucroalcooleiro do Brasil, entre 2000 e 2007*. Informações Econômicas, S. Paulo, v.39, n.3, mar. 2009.

BACOVSKY, D.; LUDWICZEK, N.; OGNISSANTO, M.; WÖRGETTER, M. *Status of advanced biofuel facilities in 2012: A report to IEA Bioenergy Task 39*. Paris**.** IEA Bioenergy. 2013.

BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. *Progress in Bioethanol Processing*. Progress in Energy and Combustion Science, v.34, p. 551-573, 2008.

BARDIN L. *L'Analyse de contenu*. Editora: Presses Universitaires de France, 1977.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo (L. de A. Rego & A. Pinheiro, Trads.).* Lisboa: Edições 70, 2006.

BATISTA, F. (2013). *Etanol de Segunda Geração ganha escala comercial: Brasil terá 3 Usinas de Etanol Celulósico até 2015.* Valor Econômico. S. Paulo, 2013.

BATISTA, F. (2016). *GranBio paralisa usina em Alagoas*. Valor Econômico. S. Paulo. Disponível em: <http://www.valor.com.br/agro/4512288/granbio-paralisa-usina-em-alagoas>. Acesso em: julho de 2017.

BAUER, M., GASKELL, G. *Qualitative researching with text, image, and sound*. London: Sage Publications, 2008.

BECKHARD, R., & PRITCHARD, W. *Changing the essence*. San Francisco: Jossey-Bass, 1991.

BERELSON, B. *Content analysis in communication research*. New York: Hafner; 1984.

BERKHOUT, F. *Technological regimes, path dependency and the environment*. Global Environmental Change, 12, 1, p.1-4, 2002.

BETA RENEWABLES (2017). *What is Proesa?* Disponível em: <www.betarenewables.com>. Acesso em: julho de 2017.

BINOD, P., SINDHU, R., SINGHANIA, R.R., VIKRAM, S., DEVI, L., NAGALAKSHMI, S., KURIEN, N., SUKUMARAN, R. K., PANDEY, *A. Bioethanol production from rice straw: An overview*. Bioresource Technology, v.101, p. 4767-4774, 2010.

BIOCHEMTEX (2016). *Sustainable Chemistry / MOGHI*. Disponível em: <http://www.biochemtex.com/sustainable-chemistry/moghi>. Acesso em: maio de 2017.

BIOLYFE (2012). *Biolyfe Project*. Disponível em: <http://www.biolyfe.eu/images/stories/Biolyfe summary.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

BIOLYFE (2016). *The Biolyfe consortium*. Disponível em: <http://www.biolyfe.eu/contact.html>. Acesso em: maio de 2017.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. 1 ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 314 p, 2008.

BOMTEMPO J.V., COUTINHO P., *Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil*, Química Nova, nº 34, p. 910-916, 2011.

BONOMI, A., *Refinaria Virtual de Cana-de-Açúcar: Produção de etanol de 2ª geração integrada a plantas de 1ª geração – o contexto brasileiro*. CTBE – Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Biotanol, Campinas-SP, 2011.

BOZELL, J.J.; PETERSEN, G.R. *Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates—the US Department of Energy's "Top 10" revisited.* Green Chemistry. Volume 12. Number 4. pp. 525–728, 2010.

BRETHAUER, S.; WYMAN, C.E., *Review: Continuous hydrolysis and fermentation for cellulosic ethanol production*. Bioresource Technology, v. 10, n. 13, p. 4862-4874, 2010.

BRUNER, J. *Life as narrative*. Social Research, 54, pp. 11-32, 1987.

BRUNER, J. *The narrative construction of reality*. Critical Inquiry, 18(1), pp. 1-21, 1991.

BUABAN, B., INOUE, H., YANO, S., TANAPONGPIPAT, S., RUANGLEK, V., CHAMPREDA, V., PICHYANGKURA, R., RENGPIPAT, S., EURWILAICHITR, L. *Bioethanol production from ball milled bagasse using an on-site produced fungal enzyme cocktail and xylose-fermenting Pichia stipitis*. Journal of Bioscience and Bioengineering, v. 110, p.18-25, 2010.

CALDAS, R.C.R.B. *Biorrefino químico do bagaço de cana-de-açúcar em reator de leito de lama com produção de sacarídeos e lignina.* Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

CANAONLINE (2017). *Tornando o etanol 2G viável economicamente.* Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/tornando-o-etanol2g-viavel-economicamente.html#.WSyYiOvyvIU>. Acesso em: maio de 2017.

CANILHA, L., CHANDEL, A. K., MILESSI, T. S. S., ANTUNES, F. A. F., FREITAS, W. L. C., FELIPE, M. G. A, SILVA, S. S. *An Overview about Composition, Pretreatment Methods, Detoxification of Hydrolysates, Enzymatic Saccharification, and Ethanol Fermentation.* Journal of Biomedicine and Biotechnology v. 2012.

CARDONA, C.A., QUINTERO, J.A., PAZ, I.C. *Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives*. Bioresource Technology, v. 101, p. 4754-4766, 2010.

CARLEY, K.M.; COLUMBUS, D; DeRENO M.; REMINGA J.; MOON II-C. *ORA User's Guide 2008*. Carnegie Mellon University, 2008.

CARVALHEIRO, F. DUARTE, L.C.; GÍRIO, F.M. *Hemicellulose biorefineries: a review on biomass pretreatments*. Journal of Scientific and Industrial Research. v. 67, p. 849-864, 2008.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Química Verde no Brasil: 2010-2030*. Edição Revista e Atualizada. Brasília, DF, 2010.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Sustainability of sugarcane bioenergy. Updated edition*. Brasília, DF, 2012.

CHEN, W.H.; PEN, B.L.; YU, C.T.; HWANG, W.S. *Pretreatment efficiency and structural characterization of rice straw by an integrated process of dilute-acid and steam explosion for bioethanol production*. Bioresource Technology, v. 102, p. 2916-2924, 2011.

CHESBROUGH, H. *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business School Press, Boston, MA*.,* 2003.

CHESBROUGH, H. *Open business models: how to thrive in the new innovation landscape.* Harward Business Press, Boston, 2006.

CHESBROUGH, H. *Business Model Innovation: Opportunities and Barriers*. Long Range Planning, Vol. 43, 2010.

CHESBROUGH, H.; ROSENBLOOM, R.S. *The role of the business model in capturing value from innovation: Evidence from Xerox Corporation's technology spinoff companies.* Industrial and Corporate Change, v.11, n.3, p.529-555, 2002.

CHIARAMONTI, D.; PRUSSI, M.; FERRERO, S.; ORIANI, L.; OTOONELLO, P.; TORRE, P.; CHERCHI, F. *Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method*. Biomass and Bioenergy, v. 46, p. 25-35, 2012.

CHIARAMONTI, D. (2013). *Demonstration-plants from economic and financial perspective, R&D needs*. 21st European Biomass Conference and Exhibition Copnhagen, Denmark. Disponível em:
<http://www.biolyfe.eu/images/stories/newsletters/Chiaramonti.pdf.>
Acesso em: maio de 2017.

CHIZZOTTI, A. *Pesquisa em ciências humanas e sociais (8a ed.).* São Paulo: Cortez, p.98, 2006.

CHRISTENSEN, C.M.; GROSSMAN, J.H.; HWANG, J. *The Innovator's Prescription: A Disruptive Solution for Health Care.* McGraw-Hill, 2009*.*

CHURCHILL, Jr., G. A.; PETER, J. P. *Marketing: criando valor para o cliente*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2000.

CLARK, K.B.; WHEELWRIGHT, S.C. *Managing new product and process development – Text and cases*, Harvard Business School, The Free Press, 1993.

CNPEM (2016). Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais. *Futuro brilhante do etanol celulósico está ameaçado*. Disponível em: <http://cnpem.br/futuro-brilhante-etanol-celulosico-esta-ameacado/#top%3E>. Acesso em: maio de 2017.

CONDE-MEJÍA, C.; JIMÉNES-GUTIÉRREZ, A.; EL-HALWAGI, M. *A comparison of pretratment methods for bioethanol production from lignocellulpsic materials.* Process Safety and Environmentl Protection, v. 90, p. 189-202, 2012.

CORTEZ, L.A.B.; CRUZ, C.H.B.; SOUZA, G.M.; CANTARELLA, H.; Marie-Anne van SLUYS, M.A.; MACIEL FILHO, R. *Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro*. Editora Edgard Blücher Ltda. S. Paulo, 2016.

COSTA, A.K.B. *Estudo da fermentação de hidrolisado lignocelulósico de bagaço de cana-de-açúcar pela linhagem Spathaspora Passalidarum* UFMG-HMD 14.1. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas, 2016.

CRUZ, J. C. *Evolução tecnológica das rotas de gaseificação e pirólise de materiais lignocelulósicos: um estudo bibliométrico*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CTBE (2017). Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol. *Tese de doutorado aproxima cientistas e indústria e prevê etanol 2G em larga escala*. Disponível em: <http://ctbe.cnpem.br/tese-de-doutorado-aproxima-cientistas-e-industria-e-preve-etanol-2g-em-larga-escala/>. Acesso em: maio de 2017.

CUNHA, G.P. *Identificação e Análise de Empresas Internacionais Produtoras de Etanol 2G.* Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DAHLANDER, L., GANN, D.M. *How open is innovation?* Research Policy nº 39 p. 699–709, 2010.

DAVILA, T.; EPSTEIN, M.; SHELTON, R. *As regras da inovação: como gerenciar, como medir, como lucrar.* S. Paulo: Artmed, 2006.

DE JONG, E.; VAN REE, R. (2009). *Biorefineries: Adding Value to the Sustainable Utilisation of Biomass*. Disponível em: <http://www.ieabioenergy.com/publications/biorefineries-adding-value-to-the-sustainable-utilisation-of-biomass/>. Acesso em: junho de 2017.

DE JONG, E.; JUNGMEIER, G. *Chapter 1 - Biorefinery concepts in comparison to petrochemical refineries*. Industrial Biorefineries and White Biotechnology, Elsevier, Amsterdam, pp. 3-33, 2015.

DELLAGNELO, E.H.L.; SILVA, R.C. *Análise de conteúdo e sua aplicação em pesquisa na administração*. In Vieira, M. M. F. e Zovain, D. M. (Orgs.), Pesquisa qualitativa em administração: teoria e prática. São Paulo: FGV, pp. 97-118, 2005.

DENZIN, N.K.; LINCOLN, Y.S. *Handbook of qualitative research (2nd ed.).* Thousand Oaks: Sage publications, 2000.

DI GIORGIO, R.C. *Estabelecimento de parcerias entre instituições de pesquisa e indústrias em projetos de alto risco: o caso do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol.* Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2016.

DIAS, M.O.S.; JUNQUEIRA, T.L.; CAVALETT, O.; CUNHA, M.P.; JESUS, C. D. F.; ROSSELL, E.V.; FILHO, R.M.; BONOMI, A. *Integrated versus stand-alone second generation etanol production from sugarcane bagasse and trash.* Bioresource Technology, n. 103, p. 152-161, 2012.

DSM (2011). *DSM strengthens yeast technology leadership for 2G biofuels*. Disponível em: <http://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2011/06/45-11-dsm-strengthens-yeast-technology-leadership-for-2g-biofuels.html>. Acesso em: maio de 2017.

DSM (2012). *DSM acquires food enzymes business and key technology from Verenium.* Disponível em: <http://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2012/03/04-12-dsm-acquires-food-enzymes-business-and-key-technology-from-verenium.html>. Acesso em: maio de 2017.

DSM (2013). *DSM proves cellulosic bio-ethanol fermentation on industrial scale with 40% higher yield*. Disponível em: <http://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2013/12/2013-12-04-dsm-proves-cellulosic-bio-ethanol-fermentation-on-industrial-scale-with-40-percent-higher-yield.html>. Acesso em: maio de 2017.

DSM (2016). *An evolution of successful transformations*. Disponível em: <http://www.dsm.com/corporate/about/our-company/dsm-history.html> Acesso em: maio 2017.

DUDLEY, T.L., LAMBERT. A.M., KIRK, A AND TAMAGAWA, Y. *Herbivores of Arundo donax in California*. in Proceedings of the XII International Symposium on Biological Control of Weeds. Wallingford, UK: CAB International, 2008 pp. 146-152, 2008.

DUPONT (2017). *History*. Disponível em: <http://www.dupont.com/corporate-functions/our-company/dupont-history.html>. Acesso em: maio de 2017.

ENERGYAGWIRED (2009). *Poet announces Poet Biomass*. 2009. Disponível em: <http://energy.agwired.com/2009/06/17/poet-announces-poet-biomass/>. Acesso em: maio de 2017.

ENERKEM (2017). *Website oficial*. Disponível em: <http://enerkem.com/>. Acesso em: maio de 2017.

EPA - United States Environmental Protection Agency (2017). *Overview for Renewable Fuel Standard*. Disponível em: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard>. Acesso em: agosto de 2017.

ERBER, F. S.; CASSIOLATO, J. E. *Política industrial: teoria e prática no Brasil e na OCDE*. Revista de Economia. Vol. 17, n. 2 (66) Abril/Jun,1997.

EXAME (2015). *Raízen planeja investir R$ 2,5 bi em etanol de 2ª geração.* Disponível em: <http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/raízen-planeja-investir-r-2-5-bi-em-etanol-de-2a-geracao>. Acesso em: março 2016.

EUROPEAN COMISSION. *From the Sugar Platform to biofuels and biochemical.* Final report for the European Commission Directorate-General Energy N° ENER/C2/423-2012/SI2.673791*,* 2015*.*

FIATES, J.E.A.; SOUZA, A.R.; CHIERIGUINI, T.; PRIM, C.H.; UENO, A.T. *Modelo de aceleração do Desenvolvimento de Empresas de Base Tecnológica: da geração da ideia a consolidação do negócio*. Locus Científico, vol. 2 nº 02, pp. 54-62, 2008.

FLICK, U. *Introdução à pesquisa qualitativa (3a ed.).* São Paulo: Artmed, p.291, 2009.

FOSSÁ, M.I.T. *A cultura de devoção nas empresas familiares e visionárias - uma definição teórica e operacional*. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Porto Alegre, 2003.

FOSSÁ, M.I.T.; SILVA, A.H. *Análise de Conteúdo: Exemplo de Aplicação da Técnica para Análise de Dados Qualitativos.* Qualitas Revista Eletrônica. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, Paraíba, 2015.

FRANÇOSO, M.S. *O surgimento das start-ups da bioindústria nos Estados Unidos: o papel do financiamento e dos laboratórios públicos*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Unicamp. Campinas, SP, 2014.

FREITAS, H.M.R., CUNHA, M.V.M., Jr.; MOSCAROLA, J. *Aplicação de sistemas de software para auxílio na análise de conteúdo*. Revista de Administração da USP, 32(3), 97-109, 1997.

FREEMAN, C., PEREZ, C. *Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour*. In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G., SOETE, L. (Orgs.). Technical Change and Economic Theory. Pinter, Londres, 1988.

GÁMEZ, S.; GONZÁLEZ-CABRIALES, J.J.; RAMÍREZ, J.A.; GARROTE, G. Study of the hydrolysis of sugar cane bagasse using phosphoric acid. Journal of Food Engineering, v. 74, p. 78-88, 2006.

GARCÍA A.; ALRIOLS M. G.; LABIDI J. *Evaluation of different lignocellulosic raw materials as potential alternative feedstocks in biorefinery processes.* Industrial Crops and Products 53 :102 – 110, 2014.

GÍRIO, F.; FONSECA, C.; CARVALHEIRO, F.; DUARTE, L.; MARQUES, S.; BOGEL-LUKASIK, R. *Bioresource technology hemicelluloses for fuel ethanol: A review*. Bioresource Technology, v. 101, n. 13, p. 4775–4800, 2010.

GLOBO RURAL (2017). *Usina de etanol de milho deve aquecer a demanda pelo cereal em MT*. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2017/09/usina-de-etanol-de-milho-deve-aquecer-demanda-pelo-cereal-em-mt.html>. Acesso em: setembro de 2017.

GNANSOUNOU, E. (2010). *Production and use of lignocellulosic bioethanol in Europe: Current situation and perspectives*. Bioresource Technology, v.101, p.4842-4850.

GOMES, P.P.V.; BERNARDO, A.; BRITO, G.; *Princípios de sustentabilidade: uma abordagem histórica*. XXV ENEGEP, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2005.

GRAF, A.; KOEHLER, T. *Oregon cellulose-ethanol study: an evaluation of the potential for ethanol production in Oregon using cellusebased feedstocks*. Salem, Oregan, USA: Oregan Dept of Energy, p. 96, 2000.

GRANBIO (2013). *Business Model*. Disponível em: <http://www.granbio.com.br/conteudos/modelo-de-negocios/> Acesso em: novembro 2014.

GRANBIO (2014). *Bioflex I*. Disponível em: <http://www.granbio.com.br/conteudos/biocombustiveis/>. Acesso em: maio 2016.

GRANBIO (2015). Quem somos. Disponível em: <http://www.granbio.com.br/conteudos/quem-somos/>. Acesso em: maio 2016.

GRANDO, R.L.; OLIVEIRA, C.B.J.F.; ANTUNES, A.M. *Panorama do etanol utilizando prospecção tecnológica.* Revista GEINTEC - Gestão, Inovação e Tecnologias, Vol. 5, n. 4, p.2604-2618, 2015.

GRASEL, F.S.; STIEHL, A.C.R.; BERNARDI, L.P.; HERPICH, T. L.; BEHRENS, M.C.; ANDRADE, J.B.; SCHULTZ, J.; MANGRICH, A.S*. Inovação em Biorrefinarias I. Produção de Etanol de Segunda Geração a partir de Capim-Elefante (Pennisetum purpureum) e Bagaço de Cana-de-Açúcar (Saccharum officinarum).* Rev. Virtual Quim. 9 (1), 2017.

HAMILTON, W.F. *Corporate strategies for managing emerging technologies*. Technology in Society, v. 7, n. 2-3, p. 197-212, 1985.

HARMSEN, P.F.H.; HUIJGEN, W.; BERMUDEZ, L.; BAKKER, R. (2010). *Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass*. Disponível em: <http://edepot.wur.nl/150289>. Acesso em: maio 2017.

HASUNUMA T.; KONDO A., *Consolidated bioprocessing and simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulose to ethanol with thermotolerant yeast strains.* Process Biochemistry, v. 47, p. 1287–1294, 2012.

HENDRIKS, A.T.W.M.; ZEEMAN, G. *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass.* Bioresource Technology, v.100, p.10-18, 2009.

HERNÁNDEZ-SALAS, J.M.; VILLA-RAMÍREZ, M.S.; VELOZ-RENDÓN, J.S.; RIVERA-HERNÁNDEZ, K.N.; GONZÁLEZ-CÉSAR, R.A.; PLASCENCIA-ESPINOSA, M.A.; TREJO-ESTRADA, S.R. *Comparative hydrolysis and fermentation of sugarcane and agave bagasse*. Bioresource Technology, v. 100, p. 1238-1245, 2009.

HILL, K. (2013). *DuPont Cellulosic Ethanol : Sustainable, Economic, Farm-to-Fuel Solutions Fuel Ethanol Workshop*. Anais. St. Louis. Disponível em: <http://www.fuelethanolworkshop.com/files/docs/2013/Hill_Ken.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

HSU, T.C.; GUO, G.L.; CHEN, W.H.; HWANG, W.S. *Effect os dilute acid pretreatment of rice straw on structural properties and enzymatic hydrolysis*. Bioresource Technology, v. 101, p. 4907-4913, 2010.

IAC. INFORMATIVO AGROPECUÁRIO CAMREY – Ano II. 7ª Edição. S. José do Rio Preto, 2015.

ICÓ, J.A.; BRAGA, R.P. *EBITDA: lucro ajustado para fins de avaliação de desempenho operacional.* Revista Contabilidade e Informação Conhecimento e Aprendizagem, Unijuí, ano 3, n. 8, p. 39-47, 2001.

IEA. International Energy Agency. *Transport, Energy and CO2. Moving towards mobility*. OECD/IEA, Paris, 2009.

IEA. International Energy Agency. *Medium Term Oil and Gas Markets* OECD/IEA, Paris, 2010.

IEA (2011). International Energy Agency. *Technological Roadmap: Biofuels for transport*, Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

IEA (2017a). International Energy Agency. *Annual Report 2016 IEA Bioenergy*. Publicado em abril de 2017. Disponível em: <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/04/IEA-Bioenergy-Annual-Report-2016.pdf>. Acesso em: junho de 2017.

IEA (2017b). International Energy Agency. *How 2 Guide for Bioenergy: Roadmap Development and Implementation*. Publicado em janeiro de 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/How2GuideforBioenergyRoadmapDevelopmentandImplementation.pdf>. Acesso em: junho de 2017.

INOUE, H.; HIDENO, A.; TSUKAHARA, K. FUJIMOTO, S.; MINOWA, T.; INOUE, S.; ENDO, T.; SAWAYAMA, S. *Wet disk milling pretreatment without sulfuric acid for enzymatic hydrolysis of Rice straw*. Bioresource Technology. v. 100, p. 2706-2711, 2009.

ISHOLA, M.M; JAHANDIDEH, A.; HAIDARIAN, B.; BRANDBERG, T.; TAHERZADEH, M. *Simultaeous saccharification, filtration ad fermentation (SSFF): A novel method for bioethanol production from lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology, v. 133, p. 68-73, 2013.

JACOBS CONSULTANCY. *Identification of opportunities for the production of bio-products from waste bio-mass in Alberta,* 2013.

JESSEN, H. (2015). *Fired Up By Lignin*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 11 março 2015. Disponível em: <http://www.ethanolproducer.com/articles/12006/fired-up-undefinedby-lignin>. Acesso em: junho de 2017.

JO – Jornal Oficial da União Europeia. L 239 de 15.9.2015.

KFOURY, J.M (2013). *Custos & CAPEX Uma abordagem para Gestão de Projetos.* IETEC – Instituto de Educação Tecnológica. Disponível em: <http://www.italonaweb.com.br/wp-content/uploads/2013/04/custos_capex_rev1.pdf>. Acesso em: junho de 2017.

KLINE, S.J., ROSENBERG, N., *An Overview of Innovation,* in R. Landau and N. Rosenberg (eds) The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth, Washington D.C.: National Academy Press, pp. 275-304,1986.

LANE, J. (2013). *DuPont Pioneer and Mendel Biotechnology collaborating to improve water use efficiency and photosynthesis in corn*. Biofuels Digest. Publicado em: 12 março 2013. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2013/03/12/dupont-pioneer-and-mendel-biotechnology-collaborating-to-improve-water-use-efficiency-and-photosynthesis-in-corn/>. Acesso em: maio de 2017.

LANE, J. (2014). *Enerkem: Alberta's municipal waste to fuels juggernaut, in pictures*. Biofuels Digest. Publicado em: 22 outubro 2014. Disponível em: <http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2014/10/22/enerkem-albertas-municipal-waste-to-fuels-juggernaut-in-pictures/>. Acesso em: maio de 2017.

LANE, J. (2015a). *DuPont, Quad County Corn Processors ink big cellulosic biofuels enzyme pact*. Biofuels Digest. Publicado em: 18 outubro 2015. Disponível em:

<http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2015/10/18/dupont-quad-county-corn-processors-ink-big-cellulosic-biofuels-enzyme-pact/>. Acesso em: maio de 2017.

LANE, J. (2015b). *GranBio, Solvay JV acquires Cobalt Technologies' assets*. Biofuels Digest. Publicado em: 14 outubro 2015. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/10/14/granbio-solvay-jv-acquires-cobalt-technologies-assets/>. Acesso em: junho de 2017.

LANE, J. (2015c). GranBio: Biofuels Digest's 2014. Biofuels Digest. Publicado em: 18 janeiro 2015. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/01/18/granbio-biofuels-digests-2014-5-minute-guide-2/>. Acesso em: junho de 2017.

LANE, J. (2015d). *Beta Renewables: Biofuels Digest's 2015*. Biofuels Digest. Publicado em: 15 janeiro 2015. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/01/15/beta-renewables-biofuels-digests-2015-5-minute-guide/>. Acesso em: junho de 2017.

LANE, J. (2016a). *DuPont's $75M acquisition of Dyadic's industrial biotechnology business closes*. Biofuels Digest. Publicado em: 3 janeiro 2016. Disponível em: <http://www.BIOFUELSDIGEST.com/bdigest/2016/01/03/duponts-75m-acquisition-of-dyadics-industrial-biotechnology-business-closes/>. Acesso em: maio de 2017.

LANE, J. (2016b). *Coskata's technology re-emerges as Synata Bio*. Biofuels Digest. Publicado em: 24 janeiro 2016. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/01/24/coskatas-technology-re-emerges-as-synata-bio/>. Acesso em: junho de 2017.

LATINO AMERICA RENOVABLE (2015). *Brasil: Primera Planta de Etanol 2G de Todo el Hemisferio Sur*. Disponível em: <http://latinoamericarenovable.com/2015/02/04/brasil-primera-planta-de-etanol-2g-de-todo-el-hemisferio-sur/>. Acesso em: março 2016.

LEWANDOWSKI; I.; SCURLOCK, J.M.O.; LINDVALL, E.; CHRISTOU, M. *The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe.* Biomass & Energy nº 25 pp. 335 – 361, 2003.

LI, X. M.; PAN, X. J. *Hydrogels based on hemicellulose and lignin from lignocellulose biorefinery: a mini-review*. Bioenergy, v. 4, p. 289-297, 2010.

LIMA, M.A.P. *Ciência Básica e Inovação: Iniciativas fundamentais para manter a liderança brasileira no ciclo cana-de-açúcar/etanol.* Comissão de Serviços de Infraestrutura, Senado Federal. Brasília, 2010.

LIMBERGER, S. J.; VIANNA, W. B.; SELIG, P. M. *Alinhamento estratégico da Tecnologia da Informação (TI) com áreas estratégicas: Uma análise de Abordagens para integração*. INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção, vol. 02, nº. 06, 2010.

LUX RESEARCH (2016). *Lux: Cellulosic ethanol price hinges on feedstock cost*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 25 fevereiro 2016. Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/13085/lux-cellulosic-ethanol-price-hinges-on-feedstock-cost>. Acesso em: junho de 2017.

McLAUGHLIN, S.B., KZOS, L.A. *Development of switchgrass (Panicum virgatum) as a bioenergy feedstock in the United States*. Biomass and Bioenergy. v 28. pp.515-535, 2005.

MAGRETTA, J. *Why business models matter*. Harvard business review, v. 80, n. 5, p. 86-93, 2002.

MANOCHIO, C. *Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos.* Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas, 2014.

MARTÍN, C.; MARCET, M.; THOMSEN, A.B. *Comparison between wet oxidation and steam explosion as pretreatment methods for enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse*. BioResources, v. 3, p. 670-683, 2008.

MARTINS, T.M. *Ciclos e previsão cíclica dos preços da commodities: um modelo de indicador antecedente para a commodity açúcar*. Tese de Doutorado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de S. Paulo, 2009.

MASTEN S.E.; CROCKER K.J. *Efficient Adaptation in Long-Term Contracts: Take-or-Pay Provisions for Natural Gas.* The American Economic Review. Vol. 75, No. 5, pp. 1083-1093, 1985.

MATAR, S.; HATCH, L. F. *Chemistry of Petrochemical Processes.* Houston: GPC - Gulf Professional Publishing - An Imprint of Elsevier, Second Edition. 386p, 2005.

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J.A.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. *Bioenergia da Cana.* In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Álcool. 2 ed. Viçosa: UFV, 2012.

MAXPRESS (2013). *GranBio compra 25% da empresa norte-americana de tecnologia limpa American Process Inc. (API).* Disponível em:

<http://www.maxpressnet.com.br/Conteudo/1,577891,GranBio_compra_25_da_empresa_norte-americana_de_tecnologia_limpa_American_Process_Inc_API_,577891,4.htm> Acesso em: março 2016.

M&G (2016). *Group history*. Disponível em: <http://www.gruppomg.com/en/about/group-history>. Acesso em: maio de 2017.

MESA, L.; GONZALEZ, E.; ROMERO, I.; RUIZ, E.; CARA, C.; CASTRO, E. *Comparison of process configurations for ethanol production from two-step pretreated sugarcane bagasse*. Chemical Engineering Journal, v. 175, p. 185-191, 2011.

MILANEZ A.Y. *Entrevista – Gerente da área de biocombustíveis.* BNDES, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

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

MILES, A (2015). *Enerkem biorefineries: setting a new global standard in biofuels, chemicals and waste management*. Disponível em: <http://iswa2015.org/assets/files/downloads/01_miles__alex.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y.Y.; HOLTZAPPLE, M.; LADISH, M. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology, v. 96, p. 673-686, 2005.

MOZZATO, A.R.; GRZYBOVSKI, D. *Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração: potencial e desafios.* RAC – Revista de Administração Contemporânea, Curitiba, v. 15, n. 4, pp. 731-747, 2011.

MURAKAMI, M.T.; *Estudos das bases moleculares para a especificidade e estabilidade térmica em hidrolases glicosídicas modulares bacterianas da família GH5: Bacillus subtilis celulase e Thermotoga petrophila mananase.* Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Campinas, São Paulo, 2013.

NEITZEL, T. *Estudo da aplicação de hemicelulases no reaproveitamento do licor de pentoses na produção de etanol de segunda geração*. Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol – CTBE, Campinas-SP, 2013.

NEVES, M. F.; LAZZARINI, S. G.; MACHADO FILHO, C. A. P. *Cenários e perspectivas para o agribusiness brasileiro*. XXXV Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural. Anais. Natal, 1997.

NGUYEN, T.A.D.; KIM, K.R.; HAN, S.J.; CHO, H.Y.; KIM, J.W.; PARK, S.M.; PARK, J.C.; SIM, S.J. *Pretreatment of rice straw with ammonia and ionic liquid for lignocellulose conversion to fermentable sugars*. Bioresource Technology, v. 101, p. 7432-7438, 2010.

NORIEGA, O.A.U. *Sistemas oxidativos biomiméticos aplicados à hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos.* Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de S. Paulo. Lorena, S. Paulo, 2016.

NOVACANA (2013). *Viabilidade do eucalipto para produção de etanol*. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/viabilidade-eucalipto-producao-etanol-260213/>. Acesso em: setembro de 2017.

NOVACANA (2015a). *GranBio, um ano depois: a evolução da primeira usina de etanol celulósico do Brasil.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-ano-evolucao-primeira-usina-etanol-celulosico-brasil-101115/>. Acesso em: março de 2016.

NOVACANA (2015b). *Usina Bioflex, da GranBio, deverá atingir plena capacidade de produção em 2016.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/usina-bioflex-granbio-atingir-plena-capacidade-2016-070715/>. Acesso em: março de 2016.

NOVACANA (2015c). *Projeto de usina de etanol celulósico da Petrobras está parado e sem previsão para recomeçar*. 2015. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/projeto-usina-etanol-celulosico-pbio-parado-270315/>. Acesso em: maio de 2017.

NOVACANA (2016a). *Opinião Por que as primeiras plantas comerciais de etanol 2G são quase experimentais?* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/opiniao-primeiras-plantas-comerciais-etanol-2g-quase-experimentais-081116/>. Acesso em: janeiro 2017.

NOVACANA (2016b). *Vendido como promessa, etanol de segunda geração trava em falta de apoio e pesquisa.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/vendido-promessa-etanol-segunda-geracao-falta-apoio-pesquisa-120716/>. Acesso em: setembro de 2017.

NOVACANA (2017a). Dilema do Etanol 2G: os desafios da matéria-prima celulósica. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/dilema-etanol-2g-desafios-materia-prima-celulosica-260117/>. Acesso em: fevereiro de 2017.

NOVACANA (2017b). *Preços de créditos de biocombustíveis (RINs) despencam nos EUA após decisão de Trump.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/exportacao/trump-regulamentos-epa-precos-creditos-biocombustiveis-despencam-270117/>. Acesso em: junho de 2017.

NOVACANA (2017c). *GranBio admite atraso em usina, mas espera etanol 2G competitivo em 2019*. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-atraso-usina-etanol-2g-competitivo-2019-010617/>. Acesso em: julho de 2017.

NOVACANA (2017d). *GranBio Investimentos tem prejuízo de R$ 72 milhões em 2016.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/granbio-investimentos-prejuizo-r-72-milhoes-2016-250417/>. Acesso em: julho de 2017.

NOVACANA (2017e). *Raízen fala em ampliar produção de etanol celulósico ou construir uma nova usina*. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/raizen-ampliar-producao-etanol-celulosico-construir-nova-usina-220317/>. Acesso em: julho de 2017.

NOVACANA (2017f). *Após dois anos sem operar, Usina Bom Retiro, da Raízen, será reaberta com cana-energia.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/usinas/usina-bom-retiro-raizen-reaberta-cana-energia-220317/>. Acesso em: julho de 2017.

NOVACANA (2017g). *Mesmo daqui a 10 anos, produção brasileira de etanol celulósico não deve superar 640 milhões de litros.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/10-anos-producao-etanol-celulosico-superar-160817/>. Acesso em: setembro de 2017.

NOVACANA (2017h). *Usinas favorecem açúcar sobre o etanol com aumento dos prêmios.* Disponível em: <https://www.novacana.com/n/acucar/mercado/usinas-favorecem-acucar-sobre-o-etanol-com-aumento-dos-premios/>. Acesso em: setembro de 2017.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. *Hidrólise enzimática de biomassa*. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP. Quim. Nova, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010.

OLIVEIRA, P.V.; ALMEIDA, E. (2014) *Impactos Recentes da Política de Controle Indireto dos Preços de Gasolina, Diesel e GLP na Petrobras*. Disponível em: <http://www.gee.ie.ufrj.br/index.php/get-artigo/480-impactos-recentes-da-politica-de-controle-indireto-dos-precos-de-gasolina-diesel-e-glp-na-petrobras-2?highlight=WyJ2YXJnYXMiXQ==>.
Acesso em: setembro de. 2017.

OLIVEIRA, E.B.; CASTRO, A.C.F.; RAIMUNDINI, S.L.; STRUMIELLO, L.D.P.; *Desenvolvimento sustentável e produção mais limpa: Estudo de caso em uma empresa do setor moveleiro*. Contexto, Porto Alegre, v.9, n.16, 2009.

OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. *Business Model Generation – Inovação em Modelos de Negócios*. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

OLSSON, L.; SOERENSEN, H.R.; DAM, B.P.; CHRISTENSEN, H.; KROGH, K.M.; MEYER, A.S. *Separate and simultaneous enzymatic hydrolysis and fermentation of wheat hemicellulose with recombinant xylose utilizing Saccharomyces cerevisiae*. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 129/132, p. 117-129, 2006.

PACIFIC AG (2016). *Developing a Corn Stover Supply Chain with DuPont*. 2016. Disponível em: <http://www.pacificag.com/default-blog/developing-a-corn-stover-supply-chain-with-dupont>. Acesso em: maio de 2017.

PANDEY, A., SOCCOL, C. R., NIGAM, P., SOCCOL, V. T. *Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse.* Bioresource Technology v. 74, pp. 69-80, 2000.

PARK, Y.C.; KIM, J.S. *Comparison of various alkaline pretreatment methods of lignocellulosic biomass*. Energy, v. 47, p. 31-35, 2012.

PASSOS, C.A.K. *Novos Modelos de Gestão e as Informações*. Albagli, Sarita, Lastres, Helena M.M.(org). In: Informação e Globalização na Era do Conhecimento. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1999.

PAVITT, K.: *Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory*. Research Policy, nº 13 , pp 343-373, 1984.

PAVITT, K., *Innovation Processes*, The Oxford Handbook of Innovation, Capítulo 4, 2006.

PERÄKYLÄ, A. *Analyzing talk and text*. In N. K. Denzin & Y. Lincoln (Eds.), Collecting and interpreting qualitative materials. Los Angeles: Sage, pp. 351-374, 2008.

PERDIGÃO, F.M.; JACINTHO, J.C.; RUIZ JUNIOR, J. *Inovação, estratégia e competência de negócios: a tecnologia e inovação integradas à sustentabilidade.* Revista Interação. Ano VI. número 1. S. Paulo, 2012.

PEREIRA, W.A.; ALMEIDA L.S. *Método manual para cálculo da taxa interna de retorno.* Revista Objetiva, Goiânia-GO, 2008.

PHILLIPS, N., HARDY, C. *Discourse analysis*. London: Sage Publications, 2002.

PHILLIPS, L. (2016). *Cellulosic ethanol: Brazil's next chapter*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 30 março 2016. Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/13116/cellulosic-ethanol-brazilundefineds-next-chapter>. Acesso em: junho de 2017.

PINTO, J.E.N. *O contrato de EPC para construção de grandes obras de engenharia e o novo Código Civil*. Revista Jus Navigandi, Teresina, ano 7, n. 55, 1 mar.2002. Disponível em: <http://jus.com.br/artigos/2806>. Acesso em: julho de 2015.

PITARELO, A.P.; SILVA, T.A.; PERALTA-ZAMORA, P.; RAMOS, L.P. *Efeito do teor de umidade sobre o pré-tratamento a vapor e a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar*. Química Nova, v. 35, p. 1502-1509, 2012.

PITTA, F.T. *Modernização retardatária e agroindústria sucroalcooleira paulista: o Proálcool como reprodução fictícia do capital em crise.* Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de S. Paulo. S.Paulo, 2011.

POET (2006). *Pro-corn, llc announces plans for expansion & bpx™ technology implementation*. Disponível em: <http://www.poet.com/pr/pro-corn-llc-announces-plans-for-expansion-bpx-technology-implemen>. Acesso em: maio de 2017.

POET (2016). *History*. Disponível em: <http://www.poet.com/history>. Acesso em: maio de 2017.

POET-DSM. (2012). *A celebration of full-scale construction of Project Liberty* – Disponível em: <http://poet-dsm.com/pr/a-celebration-of-full-scale-construction-of-project-liberty>. Acesso em: maio de 2017.

POET-DSM (2017). *Poet-DSM plans enzyme manufacturing facility at Project Liberty*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 20 fevereiro 2017.

Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/14165/poet-dsm-plans-enzyme-manufacturing-facility-at-project-liberty>. Acesso em: junho de 2017.

PROVINE, W (2014). *DuPont's Journey to Build a Global Cellulosic BioFuel Business Enterprise*. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/provine_biomass_2014.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

RAÍZEN. *Relatório de Sustentabilidade 2014/2015.* São Paulo, 2015.

RAÍZEN (2013). *Perfil da empresa*. Disponível em: <http://www.raizen.com.br/perfil-da-empresa-0>. Acesso em: abril de 2016.

RAÍZEN (2017a). *Parcerias tecnológicas*. Disponível em: http://www.raizen.com.br/energia-do-futuro/parcerias-tecnologicas. Acesso em: junho de 2017.

RAÍZEN (2017b). *Etanol de segunda geração*. Disponível em: <http://www.raízen.com.br/energia-do-futuro-tecnologia-em-energia-renovavel/etanol-de-segunda-geracao>. Acesso em: julho de 2017.

RAÍZEN (2017c). *Nossos negócios: cogeração de energia.* Disponível em: <http://www.raizen.com.br/sobre-raizen-nossos-negocios/cogeracao-de-energia>. Acesso em: julho de 2017.

RAÍZEN (2017d). *Cogeração de energia*. Disponível em: <http://www.raizen.com.br/energia-do-futuro/tecnologia-em-energia-renovavel/cogeracao-de-energia>. Acesso em: julho de 2017.

RAMOS, C.S. (2016). *Nova "cana energia" começa a ser usada em escala industrial*. Valor Econômico. S. Paulo. Disponível em: <http://www.valor.com.br/agro/4776865/nova-cana-energia-comeca-ser-usada-em-escala-industrial>. Acesso em: julho de 2017.

RAMOS, C.S. (2017). *Brasil eleva importação de etanol dos EUA.* Valor Econômico. S. Paulo. Disponível em: <http://www.valor.com.br/agro/4846880/brasil-eleva-importacao-de-etanol-dos-eua >. Acesso em: setembro de 2017.

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

RECHZIEGEL, W.; RODRIGUES, L.C. *Seleção de Novas Tecnologias no Contexto da Gestão da Inovação Aberta: Uma Proposta de Modelo*. II Simpósio

Internacional de Gestão de Projetos. Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade. São Paulo, 2013.

REUTERS (2014). *GranBio inaugura produção comercial de etanol de 2ª geração no Brasil.* Disponível em: <http://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKCN0HJ1SF20140924?pageNumber=2&virtualBrandChannel=0>. Acesso em: março de 2016.

RIBEIRO, T.R. *Entrevista - Especialista em tecnologia de segunda geração*, Abengoa, S. João da Boa Vista, SP, 2015.

RICO, J. (2015). *Abengoa: Despidos y paradas en plantas de bioetanol*. Revista Energías Renovables. Publicado em: 7 dezembro 2015. Disponível em: <https://america.energias-renovables.com/biocarburantes/abengoa-despidos-y-paradas-en-plantas-de-20151208>. Acesso em: junho de 2017.

RODRIGUES, T.H.S. *Estudo comparativo da produção de etanol por processos de SHF (fermentação e hidrólise separadas) e SSF (fermentação e hidrólise simultâneas) de bagaço de caju (Anacardium occidentale L.).* Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

RUIZ, E.; CARA, C.; MANZANARES, P.; BALLESTEROS, M.; CASTRO, E. *Evaluation os steam explosion pre-treatment for enzymatic hydrolusis of sunflower stalks*. Enzyme and Microbial Technology, v. 42, p. 160-166, 2008.

SACOMANO NETO, M.; ESCRIVÃO FILHO, E. Estrutura organizacional e equipes de trabalho: estudo da mudança organizacional em quatro grandes empresas industriais. Gestão e Produção, v.7, n.2, p. 136-145, ago. 2000.

SAMPAIO, C.M.S. *Avaliação do setor sucroalcooleiro brasileiro quanto ao atendimento a requisitos de sustentabilidade da produção de etanol combustível*. Tese de Doutorado. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

SÁNCHEZ, O.J.; CARDONA, C.A. *Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstoocks*. Bioresource Technology, v. 88, p. 5270-5295, 2008.

SANTOS, G. (2014) *DOE Biomass Program Integrated Biorefinery Project Comprehensive Project Review*. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/santos-leon_biomass_2014.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

SAPP, M. (2016). *Shell and Cosan go all in on Raízen collaboration*. Biofuels Digest. Publicado em: 23 novembro 2016.

Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/11/23/shell-and-cosan-go-all-in-on-raízen-collaboration/>. Acesso em: junho de 2017.

SAPP, M. (2017a). *Raízen Energia's Q1 results hit hard by lower ethanol prices and sales*. Biofuels Digest. Publicado em: 17 maio 2017. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/05/17/raízen-energias-q1-results-hit-hard-by-lower-ethanol-prices-and-sales/>. Acesso em: junho de 2017.

SAPP, M. (2017b). *POET-DSM's Project Liberty reaching production goals*. Biofuels Digest. Publicado em: 12 abril 2017. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/04/12/poet-dsms-project-liberty-reaching-production-goals/>. Acesso em: junho de 2017.

SAPP, M. (2017c). *Abengoa finalizes sale of European biofuel plants to Trilantic Europe*. Biofuels Digest. Publicado em: 7 junho 2017. Disponível em: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/06/07/abengoa-finalizes-sale-of-european-biofuel-plants-to-trilantic-europe/>. Acesso em: junho de 2017.

SCHILL, E. (2016a). *Global cellulosic ethanol developments*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 13 outubro 2016. Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/13135/global-cellulosic-ethanol-developments >. Acesso em: junho de 2017.

SCHILL, S.R.. (2016b). *High Plains Transition*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 13 outubro 2016. Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/13785/high-plains-transition>. Acesso em: junho de 2017.

SCHILL, S.R. (2016c). *Court accepts $48.5M bid for Abengoa Hugoton from Synata Bio*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 30 novembro 2016. Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/13947/court-accepts-48-5m-bid-for-abengoa-hugoton-from-synata-bio>. Acesso em: junho de 2017.

SCHILL, S.R. (2016d). *Iogen's quest for reliability*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 30 novembro 2016. Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/13113/iogens-quest-for-reliability>. Acesso em: junho de 2017.

SCHLITTER, L.A.F.S. *Mapeamento do conhecimento tecnológico da cadeia produtiva do etanol de segunda geração por rota bioquímica*. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SCHLITTER, L.A.F.S.; ANTUNES, A. M. S.; PEREIRA JR., N. *Investigations on ethanol production from lignocellulosic biomass in Brazil*. Journal of Technology Manogement & Innovation, v. 7, 2012.

SCHNEIDER, V. E.; HILLIG, E.; PAVONI, E. T.; RIZZON, M. R.; BERTOTTO FILHO, L. A. *Gerenciamento ambiental na indústria moveleira – estudo de caso no município de Bento Gonçalves*. ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, 2003.

SCHUMPETER, J.A. *Capitalism, Socialism and Democracy.* London: Allen and Unwin, 1943 (originally published in the USA in 1942; reprinted by Routledge, London in 1994).

SDTC (2017). Sustainable Development Technology Canada. *Enerkem Alberta Biofuels Project*. Disponível em: <https://www.sdtc.ca/en/portfolio/projects/enerkem-alberta-biofuels-project>. Acesso em: maio de 2017.

SEC (2012). U.S. Securities and Exchange Commission. *Enerkem Annual Report 2012*. Disponível em: <http://www.nasdaq.com/markets/ipos/filing.ashx?filingid=8110665>. Acesso em: maio de 2017.

SEC (2014). U.S. Securities and Exchange Commission. *Abengoa Annual Report 2014*. Disponível em: <http://www.abengoa.com/export/sites/abengoa_corp/resources/pdf/en/gobierno_corporativo/hr_y_otras_comunicaciones_cnmv/hechos_relevantes/2014/20140319_hr_en.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

SEC (2015). U.S. Securities and Exchange Commission. *Dupont Annual Report 2015*. Disponível em: <http://s2.q4cdn.com/752917794/files/doc_financials/2015/annual/DD-12.31.2015-10K-FINAL-FILED.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

SHAH, S.K.; CORLEY, K.G. *Building better theory by bridging the quantitative-qualitative divide*. Journal of Management Studies, 43(8), 1821-1835, 2006.

SIFAEG (2016). Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás. *Raízen inicia operação de sua primeira unidade de etanol de segunda geração*. Disponível em: <http://www.sifaeg.com.br/informe-sifaeg/page/11/>. Acesso em: 25 março 2016.

SILZER, T. *Panicum virgatum L., Switchgrass, prairie switchgrass, tall panic grass*. Rangeland Ecosystems & Plants Fact Sheets. University of Saskatchewan Department of Plant Sciences, 2000.

SINGH, P.; SUMAN, A.; TIWARI, P.; ARYA, N.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A.K. *Biological pretreatment of sugarcane trash for its conversion to fermentable sugars.* World Journal of Microbiology and Biotechnology, Oxford, v. 24, p. 667 – 673, 2008.

SOARES, G.A. *O avanço das tecnologias de segunda geração e seus impactos na indústria do etanol.* Dissertação (Mestrado em Economia da Indústria e Tecnologia). Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

SOARES, P.A; ROSSEL, C.E.V. *Conversão da Celulose pela tecnologia Organosolv.* NAIPPE – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

SOUSA, L.C. *O setor sucroenergético e sua dinâmica de inovação*. Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2015.

SOUSA-AGUIAR, E.F.; DA SILVA, A.J.G. *Biorrefinarias – Rota Termoquímica.* Química Verde no Brasil: 2010 – 2030. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), edição revista e atualizada. Capítulo 2, p. 77-117, 2010.

SPERLING, D. *New transportation fuels: a strategic approach to technological change*. University of California Press, 1990.

SUNOPTA (2004). *SunOpta Signs Contracts to Apply Steam Explosion Technology to the Production of Ethanol*. Disponível em: <http://investor.sunopta.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=287102>.
Acesso em: julho de 2017.

TAHERZADEH, M.J.; KARIMI, K. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. BioResources, v. 2, p. 472-499, 2007.

TEECE, D.J. *Business models, Business strategy and Innovation*. Long Range Planning 43, pp. 172-194, 2010.

TENGBORG, C; GALBE, M.; ZACCHI, G. Reduced inhibition of enzymatic hydrolysis of steam-pretreated softwood. Enzyme and Microbial Technology, v.28, pp.835-844, 2001.

TIDD, J. & BESSANT, J. *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change (Fourth.).* Chichester: John Wiley and Sons, 2009.

THOMPSON, J.B. *Ideologia e cultura moderna: teoria social crítica na era dos meios de comunicação de massa (2a ed.).,*Rio de Janeiro: Vozes, 1995.

TORNATZKY, L. G.; FLEISCHER, M. The process of technological innovation. Massachusetts: Lexington Books, 1990.

TCE - TRIBUNAL DE CONTAS EUROPEU. O sistema da UE para a certificação de biocombustíveis sustentáveis. Relatório Especial. Luxemburgo. União Europeia, 2016.

TRIVIÑOS, A. *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. S. Paulo: Atlas, 1987.

URBANCHUK, J.M. *Economic Contribution of POET Biofuels Production on U.S. and State Economies.* ABF Economics, Agriculture and Biofuels Consulting, LLP. Doylestown, PA 18901, 2015. Disponível em: <http://poet.com/resources/documents/POET%202015%20Economic%20Impact%20Study.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

USDA (2015). U.S. Department of Agriculture. *Global Agricultural Information Network (GAIN) Report nº BR15006*. Publicado em 10.08.2015. Disponível em: <https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_8-4-2015.pdf>. Acesso em: junho de 2017.

USDOE (2010). U.S. Department of Energy. *Current state of the U.S. ethanol industry*. Publicado em: novembro de 2010. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f14/current_state_of_the_us_ethanol_industry.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

USDOE (2012). U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. *Enerkem to Use Sorted Waste As Feedstock in Biorefinery*. Publicado em: dezembro de 2012. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/ibr_arra_enerkem.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

USDOE (2016a). U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. *Cellulosic Sugar and Lignin Production Capabilities RFI Responses (Dupont)*. Publicado em: setembro de 2016. Disponível em: <https://energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/dupont_de_foa_0001615_lignin_0.pdf>. Acesso em: junho de 2017.

USDOE (2016b). U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. *Cellulosic Sugar and Lignin Production Capabilities RFI Responses (GranBio-sugar)*. Publicado em: setembro de 2016. Disponível em: <https://energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/granbio_de_foa_0001615_sugar.pdf>. Acesso em: junho de 2017.

USDOE (2016c). U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. *Cellulosic Sugar and Lignin Production Capabilities RFI Responses (GranBio-lignin)*. Publicado em: setembro de 2016. Disponível em: <https://energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/granbio_de_foa_0001615_lignin.pdf>. Acesso em: junho de 2017.

UTTERBACK, J. *Mastering the Dinamics of Innovation.* Harvard Business School, Press, Boston, Mass, 1994.

VÁSQUEZ, M.P.; DA SILVA, J. N. C.; DE SOUZA Jr., M.B.; PEREIRA JUNIOR, N. *Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation*. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 137, p. 140-151, 2007.

VERGARA, S.C. *Método de pesquisa em administração*. São Paulo: Atlas, 2005.

VIDAL, A.C.F.; HORA, A.B. *Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia.* BNDES Setorial 33, p.261-314, 2011.

VOEGELE, E. (2016). *Deinove shelves Deinol program, refocuses efforts*. Ethanol Producer Magazine. Publicado em: 11 outubro 2016. Disponível em: <http://ethanolproducer.com/articles/13800/deinove-shelves-deinol-program-refocuses-efforts>. Acesso em: junho de 2017.

VON HIPPEL, E.A. (1988), *The Sources of Innovation*. University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1496218>. Acesso em: maio de 2017.

XU, Q.; SINGH, A.; HIMMEL M. E., *Perspectives and new directions for the production of bioethanol using consolidated bioprocessing of lignocellulose*. Current Opinion in Biotechnology, v. 20, p. 364-371, 2009.

WALLACE, D. *Contratos de Projeto Industrial*. Construção e Engenharia Civil. Kuala Lumpur, 1984.

WATANABE, I.; NAKAMURA, T.; SHIMA, J.; *Strategy for simultaneous saccharification and fermentation using a respiratory-deficient mutant of Candida glabrata for bioethanol production*. Journal of Bioscience and Bioengineering, v. 110, p. 176-179, 2010.

WEBER, R.P. *Basic content analysis*. Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1985.

WEF - World Economic Forum (2010). *The future of industrial biorefineries*, Cologny, Geneva, Switzerland. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_FutureIndustrialBiorefineries_Report_2010.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

WERPY, T.; PETERSEN, G. (2004). *Top Value Added Chemicals from Biomass*, Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas, U.S. Department of Energy (2004). Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/library/resultssearch.aspx?Page=1>. Acesso em: junho de 2017.

WEST, J. *E.I Du Pont de Nemours an Company (A).* Harvard Business School. 1998.

WINGREN, A.; GALBE, M.; ROSLANDER, C.; RUDOLF, A.; ZACCHI, G. *Effect of reduction in yeast and enzyme concentrations in a simultaneous saccharification and fermentation - based bioethanol process - Technical and economic evaluation*. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 121, p. 485-499, 2005.

WYMAN, C.E. (1996). *Ethanol production from lignocellulosic biomass: Overview*. In Handbook on Bioethanol, Production and Utilization (Wyman, C.E., ed.), pp.1-18, Taylor & Francis.

YU, Y.S, *Uncovering the Cost of Cellulosic Ethanol Production.* Lux Research, 2016. Disponível em: <https://members.luxresearchinc.com/research/report/18478>. Acesso em: maio de 2017.

ZAPAROLLI, D. *Biocombustíveis: etanol celulósico enfrenta crise setorial e petróleo mais barato.* Revista Química e Derivados. Editora QD. São Paulo, 2015.

ZHANG, Y.P.; DING, S.; MIELENZ, J.R.; CUI, J.*Fractionating Recalcitrant Lignocellulose at Modest Reaction Conditons*. Biotchnology and Bioengineering, v. 97, p. 214-223, 2007.

ZHAO, X.Q.; ZI, L.H.; BAI, F.W.; LIN, H.L.; HAO, X.M.; YUE, G.J.; HO, W.Y. Bioethanol from lignocellulosic biomass. Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology, v.128, pp 25-51, 2012.

ZOTT, C.; AMIT, R.; MASSA, L. *The business model: recent developments and future research.* Journal of Management, v.37, n.4, 2011.