UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Escola de Química

ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE A ROTA DE PRODUÇÃO DE ÁCIDO ACRÍLICO A PARTIR DO GLICEROL

Felipe Reiner Harkovsky

Dissertação

Orientador:
Prof. Luiz Fernando Leite

Agosto de 2018

FELIPE REINER HARKOVSKY

ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE A ROTA DE PRODUÇÃO DE ÁCIDO ACRÍLICO A PARTIR DO GLICEROL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia 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 Mestre Profissional em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica.

Orientador: Prof. Luiz Fernando Leite

Rio de Janeiro

2018

CIP - Catalogação na Publicação

HH282e

Harkovsky, Felipe Reiner
Estudo prospectivo sobre a rota de produção de ácido acrílico a partir do glicerol / Felipe Reiner Harkovsky. -- Rio de Janeiro, 2018.
140 f.

Orientador: Luiz Fernando Leite.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2018.

1. Mapeamento Tecnológico. 2. Petroquímica. 3. Ácido Acrílico. 4. Glicerol. 5. Glicerina. I. Leite, Luiz Fernando, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE A ROTA DE PRODUÇÃO DE ÁCIDO ACRÍLICO A PARTIR DO GLICEROL

Felipe ReinerHarkovsky

Dissertação submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestreEngenheiro Químico.

Aprovado por:

Luiz Fernando Leite (Orientador) – EPQB

Fabio de Almeida Oroski – EPQB

Wendel Rodrigues Cezario - PETROBRAS

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2018

Em homenagem à minha mãe, uma mulher forte, carinhosa e dedicada que foi embora cedo demais.

“O desejo profundo da humanidade pelo conhecimento é justificativa suficiente para nossa busca contínua. ”

Stephen Hawking

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Luiz Fernando Leite, pela paciência e dedicação.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela eficiência e solidez de ensino.

Aos especialistas, que ofereceram seu tempo e ajuda para a construção do trabalho.

Aos amigos que fiz durante minha vida, que sempre ajudaram e estiveram presentes.

Ao meu irmão, pela nossa força e união.

Ao meu pai por todos os sacrifícios que fez pelo meu bem.

À minha mãe, que me tornou o homem que sou hoje e que olha por mim a todo o momento no céu.

Harkovsky, Felipe Reiner. Estudo prospectivo sobre a rota de produção de ácido acrílico a partir do glicerol. Orientador: Luiz Fernando Leite. Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

RESUMO

Recentemente, a preocupação com o meio ambiente tem crescido ao redor mundo. Com isto em vista, o desenvolvimento de tecnologias verdes se tornou uma das soluções para a redução da poluição global. Seguindo esta lógica, o objetivo desta dissertação é realizar um estudo prospectivo sobre a produção de ácido acrílico a partir do glicerol e analisar seu potencial para substituir o propileno. O método foi dividido em duas etapas: um monitoramento tecnológico, através de uma busca em base de artigos e patentes; e uma matriz SWOT, para analisar os fatores positivos e negativos desta tecnologia e obter uma visão sobre sua viabilidade. A primeira parte consistiu em um mapeamento tecnológico sobre o tema e forneceu, como resultado, diversos dados importantes sobre a evolução deste processo e suas alternativas tecnológicas potenciais, havendo prevalência pela reação em duas etapas, passando pelo intermediário acroleína. A curva de interesse pelo uso desta matéria-prima teve seu crescimento a partir de meados de 2005, graças ao aumento da produção de biodiesel, mas se encontra em decadência nos últimos anos. Os países asiáticos, principalmente China e Coreia, foram os que apresentaram maior participação, seguidos pelos europeus e pelo Brasil. Os trabalhos publicados focaram no desenvolvimento de catalisadores mais estáveis e eficientes, uma vez que não existe uma atividade catalítica satisfatória até o presente momento. O Brasil teve presença relevante na base de artigos, sendo o quarto maior publicador, enquanto na base de patentes foi responsável apenas por dois depósitos. Vale notar que 17 patentes estrangeiras foram protegidas em território nacional, indicando uma preocupação com o potencial brasileiro. Por fim, a segunda etapa se baseou na análise SWOT, onde as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para a implementação desta tecnologia no Brasil foram discutidas com a ajuda de especialistas. A partir das conclusões obtidas, foram sugeridas novas políticas que facilitariam sua adoção pelas indústrias localizadas no país. Desse modo, o presente estudo buscou coletar dados sobre a produção de ácido acrílico a partir do glicerol e analisar vantagens competitivas para a implantação desta rota produtiva no Brasil.

Palavras-Chave: Ácido acrílico; Glicerol; Glicerina; Acroleína; Produção; Mapeamento tecnológico; Matriz SWOT.

Harkovsky, Felipe Reiner. Prospective study about the production route of acrylic acid from glycerol. Advisor: Luiz Fernando Leite. Chemical School of Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

ABSTRACT

Recently, the concern about the environment have grown around the world. With that in mind, the development of green technologies has become one of the solutions for the reduction of global pollution. Following this logic, the objective of this dissertation is to perform a prospective study about the production of acrylic acid from the glycerol and analyze its potential to substitute propylene. The method was comprised of two steps: a technological monitoring, through a search in articles and patents databases; and a SWOT matrix, to analyze the positive and negative factors of this technology and obtain a vision about its viability. The first part consisted in a technological mapping about the theme and it gave, as result, a lot of information about the evolution of this process and the potential technological paths, showing prevalence for the two reaction steps, via acrolein intermediate. The curve of interest about this new raw material had increased since 2005, thanks to biodiesel production growth, but it is in decrease in the last years. Asian countries, mainly China and Korea, were the most participative, followed by European countries and Brazil. The published works mostly focused on the development of more stable and efficient catalysts, since the catalytic performances have not reached a satisfactory level yet. Brazil had a relevant presence on the articles database, taking the fourth position in published papers, on the other hands in the patents database, there are only two patent applications. It is worth to mention that 17 foreign patents were protected on Brazilian territory, which indicates a concern about Brazil's potential. Finally, the second step was based on SWOT analysis, where the strengths, weaknesses, opportunities and threats for the implementation of this technology in Brazil were discussed with the help of experts in this area of knowledge. From the conclusions obtained, new public policies were suggested in order to facilitate its adoption by industries located in the country. Therefore, the present study managed to collect data about the production of acrylic acid via glycerol route and analyze competitive advantages for the implementation of this production path in Brazil.

Key Words: Acrylic acid; Glycerol; Glycerin; Acrolein; Technological mapping; SWOT matrix.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Aplicações do glicerol e seus derivados **(**Fonte: BEATRIZ et al., 2011**)** 2

Figura 1.2 - Perfil nacional de matérias-primas consumidas para produção de biodiesel em janeiro de 2017. (Fonte: Boletim Mensal do Biodiesel, Fevereiro 2017, ANP) 3

Figura 1.3 - Exportação de glicerina entre 2005 e 2017 (Fonte: AliceWeb, MDIC, acesso em Julho2018). 4

Figura 1.4 - Preço do Glicerol Exportado pelo Brasil (Fonte: AliceWeb, MDIC, acesso em Maio 2018). 5

Figura 1.5 - Preço do Glicerol no Mercado Americano (Fonte: Americas Chemicals Outlook 2018, ICIS, 2018). 5

Figura 2.1 - Estrutura do Ácido Acrílico (Fonte: JAIMES, 2013)..... 9

Figura 2.2 - Capacidade de Produção Global do Ácido Acrílico (Fonte:Deutsche Bank, 2011). 11

Figura 2.3 - Demanda de Ácido Acrílico por Região (Fonte: Gujarat, 2017). 12

Figura 2.4 - Demanda de Ácido Acrílico por Aplicação (Fonte: Gujarat, 2017). 12

Figura 2.5 - Exportação e importação brasileira de ácido acrílico e seus sais (Fonte: ComexStat, 2018). 13

Figura 2.6 - Exportação e importação brasileira de derivados acrilatos (Fonte: ComexStat, 2018). 13

Figura 2.7 -- Rotas Fermentativas a partir da Glicose (JAIMES, 2013) 26

Figura 2.8 - Processo Integrado para Produção de Ácido Acrílico (JAIMES, 2013) 26

Figura 2.9 - Método Alternativo de Produção de Ácido Acrílico a partir do Ácido Lático (JAIMES, 2013)..... 27

Figura 5.1 - Evolução anual das publicações relacionadas a produção de ácido acrílico e seus intermediários do glicerol, a partir da base de dados Web of Science. 49

Figura 5.2 - Evolução anual no Brasil das publicações relacionadas a produção de ácido acrílico e seus intermediários do glicerol, a partir da base de dados Web of Science. 50

Figura 5.3 - Número de publicações por país a partir de dados obtidos pela base Web of Science. 55

Figura 5.4 - Publicações anuais por país a partir de dados da base Web of Science. 55

Figura 5.5 - Relação das principais instituições autoras, a partir da base de dados Web of Science. 56

Figura 5.6 - Instituições financiadoras, coletadas da base de dados Web of Science. 58

Figura 5.7 - Quantidade de artigos com financiamento público, a partir de dados obtidos da base *Web of Science*. 60

Figura 5.8 - Principais tipos de processos estudados nos artigos, dados obtidos a partir da base *Web of Science*. 61

Figura 5.9 - Foco dos artigos, com dados obtidos a partir do *Web of Science*. 62

Figura 5.10 - Evolução anual do depósito de patentes, com dados obtidos a partir da base *Derwent Innovations Index*. 63

Figura 5.11 - Países depositantes de patentes, segundo a base de dados *Derwent Innovations Index*. 64

Figura 5.12 - Evolução anual de cada país, a partir da base dados Derwent Innovation Index. 65

Figura 5.13 - Patentes depositadas no Brasil, a partir da base de dados *Derwent Innovation Index*. 66

Figura 5.14 - Principais instituições depositantes, segundo a base de dados DerwentInnovation Index. 67

Figura 5.15 - Rotas escolhidas pelas patentes, a partir de dados obtidos na DerwentInnovation Index. 69

Figura 5.16 - Foco das patentes, a partir da base de dados *Derwent Innovation Index*. ... 70

Figura 5.17 - Modelo de Kline e Rosenberg (Fonte: FORNATI *et al.*, 2014) 72

Figura 5.18 - Modelo de Hansen e Birkinshaw (Fonte: SILVA *et al.*, 2013)..... 73

Figura 5.19 - Funil de ideias de Clark e Wheelwright (Fonte: SILVA *et al.*, 2013) 74

Figura 5.20 - Determinantes da Eco-inovação (Fonte: RENNINGS, 1999) 75

Figura 5.21 - Modelo de Eco-Inovação (HUPPES *et al.*, 2008)..... 76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características do Ácido Acrílico 9
Tabela 2.2 - Catalisadores Utilizados pela NipponShokubai 23
Tabela 2.3 - Catalisadores para Conversão de Propileno a Acroleína. 24
Tabela 2.4 - Catalisadores para Conversão de Acroleína a Ácido Acrílico. 24
Tabela 3.1 - Características dos Métodos 36
Tabela 3.2 - Atividades de cada etapa do IC (Fonte: Netto, 2011) 39
Tabela 3.3 - Modelo SWOT (Fonte: adaptado de BRITO *et al.* (2016)) 41
Tabela 4.1 – Palavras-Chave da busca 45
Tabela 4.2 – Códigos IPC utilizados para refino de resultados. 45
Tabela 5.1 - Tabela SWOT modificada. 48
Tabela 5.2 – Número de artigos publicados por instituições brasileiras a partir da base de dados Web of Science. 51
Tabela 5.3 - Detalhes dos artigos brasileiros retirados da base de dados Web of Science. 51
Tabela 5.4 - Resultados da análise SWOT. 79

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....1

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....1

1.2 MOTIVAÇÃO.....6

1.3 OBJETIVOS 7

1.3.1 Objetivo Geral.....7

1.3.2 Objetivos Específicos 7

1.4 DESCRIÇÃO 8

CAPÍTULO 2 - ÁCIDO ACRÍLICO E SEUS PROCESSOS.....9

2.1 ÁCIDO ACRÍLICO.....9

2.2 MERCADO GLOBAL DO ÁCIDO ACRÍLICO 10

2.2.1 Mercado Brasileiro 13

2.3 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO.....14

2.3.1 Processo Reppe 15

2.3.2 Hidrólise de Acrilamida 17

2.3.3 Produção a partir do Etileno 19

2.3.4 Produção a partir do Ceteno 20

2.3.5 Oxidação do Propileno 22

2.4 ROTAS RENOVÁVEIS.....25

2.4.1 Produção a partir de Açúcar 25

2.4.2 Método a Partir do Glicerol 28

CAPÍTULO 3 - PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA.....32

3.1 INTRODUÇÃO.....32

3.2 DEFINIÇÃO 33

3.3 METODOLOGIAS DE PROSPECÇÃO.....35

3.3.1 Monitoramento e Sistemas de Inteligência 38
3.3.2 Cenário 39
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA 43
4.1 FASE PREPARATÓRIA 43
4.2 FASE PRÉ-PROSPECTIVA 44
4.2.1 Etapa A 44
4.2.2 Etapa B 46
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 46
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS 47
5.1 FASE PROSPECTIVA 47
5.1.1 Etapa A 47
5.1.2 Etapa B 48
5.2 FASE PÓS-PROSPECTIVA 49
5.2.1 Etapa A – Base de Artigos 49
5.2.2 Etapa A – Base de Patentes 63
5.2.3 Dinâmica de Inovação 71
5.2.4 Etapa B: Análise SWOT 78
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS 89
6.1 SUGESTÕES 92
BIBLIOGRAFIA 94
APÊNDICE A 103

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A preocupação com o meio ambiente se tornou o tema de foco nas últimas décadas. A constante poluição e destruição causadas pelas atividades humanas passou a afetar a população mundial em seu cotidiano com mudanças ambientais perceptíveis ao seu redor. Entre os principais problemas, o cenário mais crítico observado é a alta quantidade de gases poluentes emitidos pela queima de combustíveis fósseis, consequência do aumento exponencial do uso de transportes, devido ao elevado grau de mobilidade do homem moderno.

Em 2017, consumo mundial de petróleo foi de 98,2 milhões de barris por dia, apresentando um aumento de 1,8% quando comparado a 2016 (ANP, 2018). Estes números preocupam, não apenas pela alta emissão de gases de efeito estufa, mas também pela forte dependência observada em relação aos combustíveis fósseis. A dificuldade nesse caso se dá pelo fato das reservas petrolíferas serem finitas e tenderem a se tornar um recurso escasso em longo prazo.

O primeiro passo tomado em escala mundial se deu em 1988, em Toronto, onde foram discutidas as mudanças climáticas observadas e possíveis métodos para combatê-las. Dois anos depois, foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), que tinha como objetivo alertar a sociedade para os perigos das emissões de CO_2 para a atmosfera, composto este que, no mesmo ano, foi constatado como principal responsável pelo aquecimento global (MOURA, 2010).

Nos anos seguintes, os eventos de destaque foram a ECO-92, realizada no Rio de Janeiro, e a assinatura do Protocolo de Kyoto, onde os países mais desenvolvidos se propuseram a diminuir a emissão de gases poluentes. Para que isso fosse possível, pesquisas foram iniciadas com o intuito de encontrar possíveis alternativas ao combustível fóssil, uma vez que a redução de seu uso significaria uma queda de produtividade de diversas atividades que o tinham como principal fonte energética.

A principal alternativa encontrada, e altamente adotada em escala mundial, é o uso de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel. Este se trata de um biocombustível produzido pela transesterificação de óleos vegetais, sendo caracterizado como uma fonte limpa e

renovável. O processo foi descoberto em 1846, por Rochieder, quando sintetizou glicerina (subproduto) através da etanólise do óleo de mamona (FALCAO, 2011).

Com alto potencial na agricultura, o território brasileiro surgiu como grande produtor de oleaginosas, possibilitando o desenvolvimento de tecnologias de produção de biodiesel dentro do país. O alto preço dos óleos vegetais foi compensado por incentivos do governo, o que permitiu que o biocombustível mantivesse sua competitividade frente ao diesel do petróleo (MOURA, 2010). Como consequência, o Brasil se tornou um dos principais interessados nesta alternativa energética, participando ativamente nos avanços tecnológicos desta área.

O aumento de produção de biodiesel gera também uma larga quantidade do subproduto do processo: o glicerol ou glicerina. De baixo valor agregado, ele normalmente é utilizado como matéria prima na produção de outros compostos com maior valor de mercado. A aplicação de seus derivados se expandem em diversas áreas comerciais, como pode ser visto na Figura 1.1:

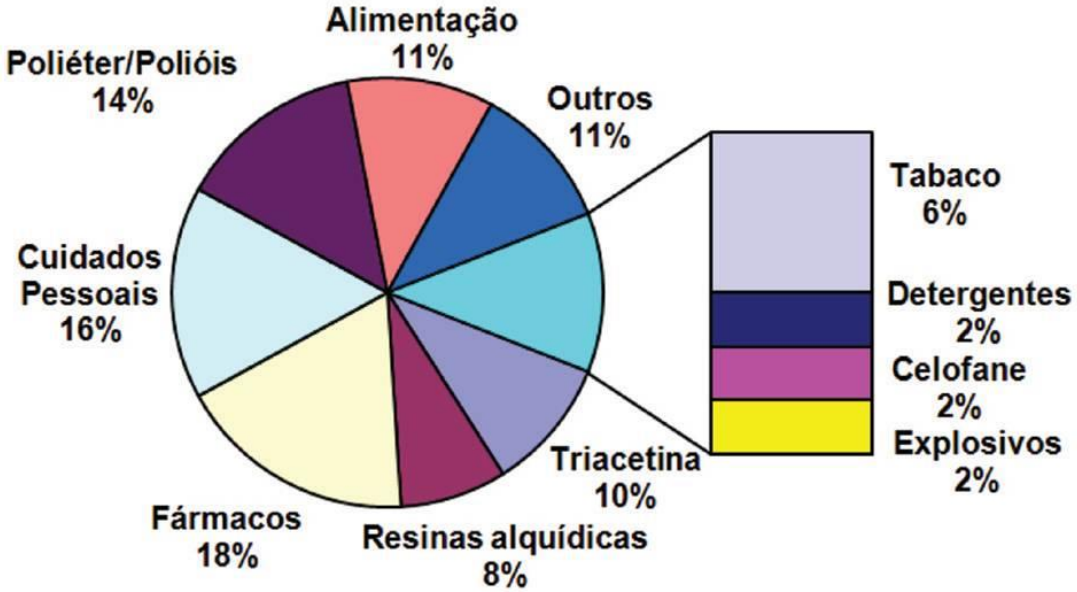


Figura 1.1 - Aplicações do glicerol e seus derivados **(**Fonte: BEATRIZ et al., 2011**)**

Entre os possíveis derivados do glicerol, um deles ganhou alto destaque nas duas últimas décadas: o ácido acrílico. Tal composto, tanto na forma de ácido ou de acrilato, é considerado um bloco de construção para diversos polímeros e copolímeros. Suas propriedades físico-químicas possibilitam sua utilização em diferentes áreas do mercado, como: revestimentos, tintas, têxteis, adesivos, plásticos e os polímeros superabsorventes -SAP

(BELLO, 2008). Este último representa o maior uso final do ácido acrílico, na forma de fraldas infantis e geriátricas, além de absorventes íntimos.

O processo de produção do ácido acrílico mais utilizado atualmente é pela oxidação do propeno, que é obtido a partir do petróleo e gás natural. Com os constantes incentivos para a inclusão de alternativas verdes nas tecnologias industriais, o glicerol surgiu como principal possível substituto de matéria prima, sendo alvo de estudos nos últimos anos. Diversas grandes empresas, como a NipponShokubai, a Arkema e a LG Chem, se interessaram por esta área de pesquisa e acabaram responsáveis por boa parte das patentes depositadas sobre este assunto.

Esta nova possível tecnologia também se apresenta como grande oportunidade para o mercado brasileiro. Com solos férteis e planos de incentivo, o país figura entre os principais produtores de oleaginosas e, consequentemente, de biodiesel. O fato de o Brasil também ser um grande produtor e exportador de carnes contribui igualmente para uma grande disponibilidade de sebo bovino e suíno que também são utilizados na produção de biodiesel, como apresentado na Figura 1.2. Desta forma, existe uma larga quantidade de glicerol produzido, que tem sido exportado a baixo preço e que poderia ser usado para a produção de ácido acrílico, ou outros produtos de maior valor agregado. A Figura 1.3 apresenta o aumento de exportação brasileira de glicerina. Com as boas possibilidades de sucesso técnico-econômico desta rota alternativa de produção, ela se apresenta como oportunidade a explorar por investidores e pesquisadores no Brasil.

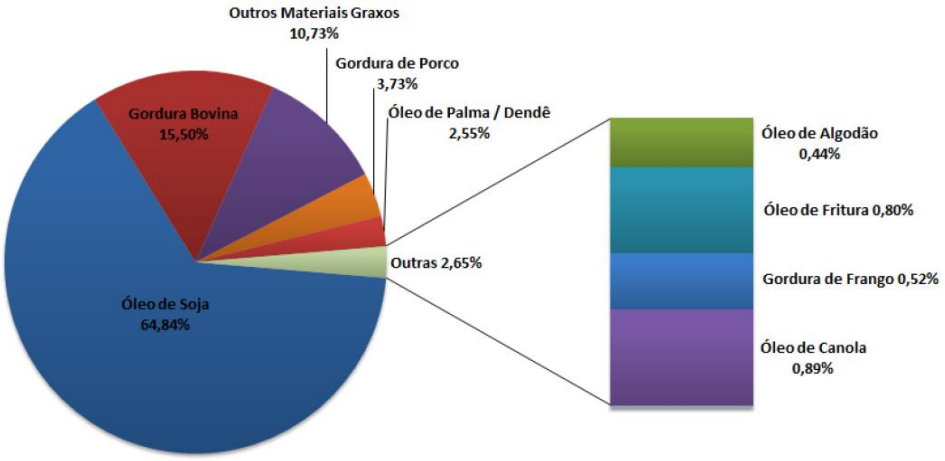


Figura 1.2 - Perfil nacional de matérias-primas consumidas para produção de biodiesel em janeiro de 2017. (Fonte: Boletim Mensal do Biodiesel, Fevereiro 2017, ANP)

Figura 1.3 - Exportação de glicerina entre 2005 e 2017 (Fonte: AliceWeb, MDIC, acesso em Julho2018).

Além da elevada disponibilidade, a glicerina brasileira possui grande poder competitivo em termos de custo. A Figura 1.4 apresenta o preço do glicerol exportado pelo Brasil entre os anos de 2008 e 2017. Percebe-se que houve grandes variações ao longo do tempo e no ano de 2017, o preço se estagnou por volta de 500 US$/t. Comparando-se esse valor ao do glicerol americano, indicado na Figura 1.5, fica evidente a vantagem nacional em relação à obtenção desta matéria prima, tornando-se outro fator que favorece amplamente o desenvolvimento desta tecnologia no território brasileiro. O preço mais baixo seria um atrativo essencial para pesquisadores e investidores, além de empresas interessadas.

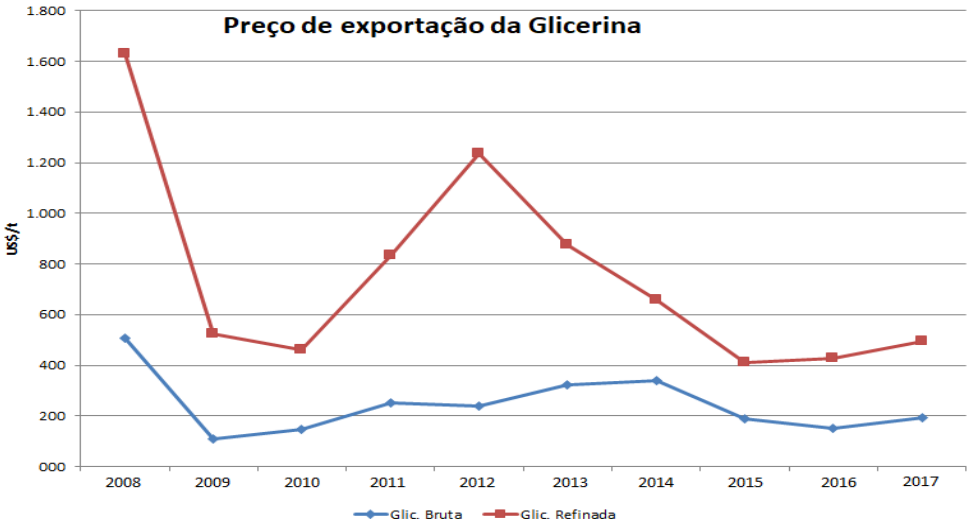


Figura 1.4 - Preço do Glicerol Exportado pelo Brasil (Fonte: AliceWeb, MDIC, acesso em maio 2018).

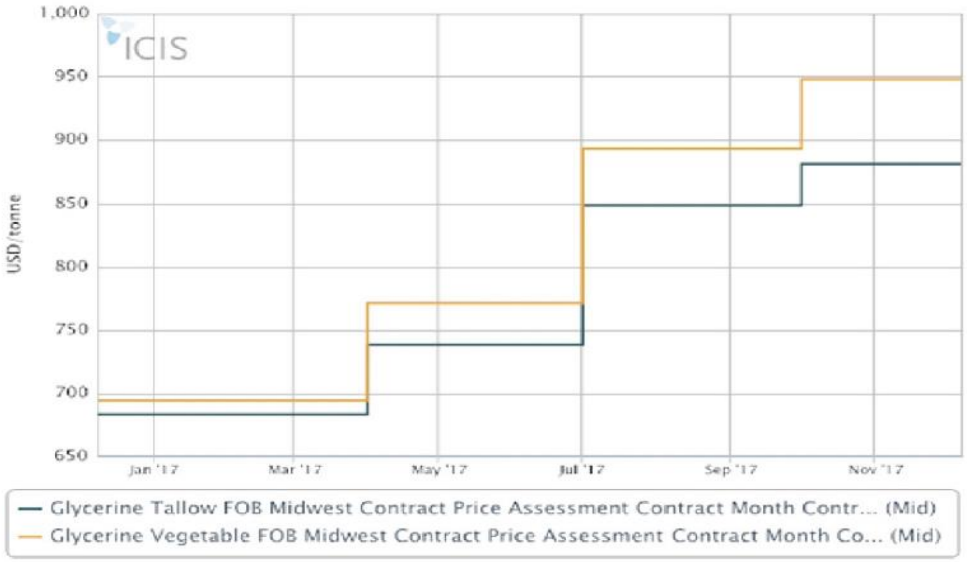


Figura 1.5 - Preço do Glicerol no Mercado Americano (Fonte: Americas Chemicals Outlook 2018, ICIS, 2018).

Para a análise da evolução desta tecnologia, em um cenário de constantes transformações econômicas, sociais, ambientais e institucionais, a prospecção tecnológica é utilizada como ferramenta de diminuição de incertezas e riscos futuros (OLIVEIRA, 2014). Com a velocidade de avanço tecnológico, longos prazos de maturação, corrida entre agentes para definição de padrões e a incerteza em relação aos resultados técnicos e econômicos

obtidos, é necessária uma gestão tecnológica que requer a avaliação de suas perspectivas e a elaboração de uma visão do futuro (FALANI, 2014).

A importância do estudo prospectivo é responsável pelo desencadeamento do crescimento de pesquisas na área, com o intuito de aproximar a situação prevista à realidade. As ferramentas de planejamento e gestão de tecnologia do futuro se utilizam de processos sistemáticos de análise e avaliação sobre características das tecnologias emergentes, rotas de desenvolvimento e potenciais impactos no futuro (FALANI, 2014). Deste modo, os métodos de prospecção apresentam grande relevância na tomada de decisões e no comportamento de empresas para situações que ocorrem no presente.

A análise de informações publicadas pode oferecer diversos conhecimentos sobre uma certa tecnologia, como países mais interessados e influentes, tendências e evoluções ao longo do tempo, o nível de maturidade da mesma – se está em fase inicial de pesquisa ou consolidado – sua viabilidade tecnológica e previsão de futura comercialização. A busca de artigos e patentes se enquadram neste exemplo, se tornando as principais ferramentas de prospecção.

Deste modo, o trabalho em questão tem como objetivo realizar a prospecção tecnológica, através da análise de artigos e patentes, para a produção do ácido acrílico a partir do glicerol. Ao final do mesmo, serão identificados os desafios e oportunidades para este processo, de modo a criar uma visão futura sobre sua viabilidade econômica e potencial produtivo e evolutivo.

1.2 MOTIVAÇÃO

O tema proposto para a presente dissertação foi impulsionado pela evolução no uso do biodiesel no Brasil e no mundo. A produção de biocombustível gera alta quantidade de glicerol, substância essa de baixo valor de mercado. Desse modo, a busca pela valorização da glicerina é um dos principais tópicos abordados em pesquisas atuais, visando a maximização do lucro das empresas do setor energético.

A escolha do ácido acrílico para a análise se dá pela sua importância ao nível global, pois o crescimento de sua demanda mundial tem aumentado bem mais que o PIB mundial e por ser um produto de alto valor agregado. Entre suas diversas aplicações – como em resinas, tintas, revestimentos, adesivos e fármacos, etc. – destaca-se a utilização de seus derivados acrilatose como matéria prima de SAP (polímeros superabsorventes). Graças a isso, ele se mostra como

principal pilar na produção de itens de uso cotidiano, como fraldas e absorventes íntimos, utilizados mundialmente e em larga escala. Outro motivo para a escolha do ácido acrílico é o fato da sua rota produtiva atual possuir o propeno como matéria prima principal. A possível troca pela glicerina significa criar uma rota verde para sua obtenção, concernente às políticas de sustentabilidade e de proteção ambiental.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho busca realizar uma prospecção tecnológica sobre a produção de ácido acrílico a partir do glicerol, utilizando banco de dados de artigos e patentes, com o intuito de analisar o atual contexto desta tecnologia no cenário industrial.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Obter um panorama geral sobre as pesquisas cientificas e patentes da área em questão.
- Analisar a origem destas pesquisas e indicar os principais países envolvidos no desenvolvimento desta tecnologia.
- Apontar os principais mercados protegidos, através do banco de patentes.
- Identificar pesquisadores brasileiros responsável por artigos ou patentes sobre a produção verde de ácido acrílico.
- Determinar os principais autores e instituições responsável pela publicação de pesquisas e depósito de patentes.
- Classificar os principais focos das inovações.
- Reconhecer os aspectos alvos de foco dos pesquisadores na produção de ácido acrílico a partir do glicerol.

1.4 DESCRIÇÃO

O presente trabalho foi dividido em seis capítulos, com o intuito de fornecer o cenário atual do ácido acrílico e da nova tecnologia verde em questão. Através de uma revisão na literatura, foram obtidos dados importantes sobre o panorama mundial deste processo emergente, o que permitiu chegar a diversas conclusões sobre sua viabilidade e ações que facilitassem sua adoção em território nacional.

O Capítulo 2 tem como objetivo apresentar o produto desejado e seus principais processos de produção. Esta seção também conta com informações sobre o mercado nacional e mundial, demonstrando dados de exportações, importações e preços tanto do ácido acrílico quanto de suas matérias primas. Por fim, são descritas as principais rotas de produção, em que as principais concorrentes da tecnologia do glicerol são listadas.

O Capítulo 3 detalha o conceito de prospecção tecnológica e analisa diversos métodos existentes. Os dois modelos escolhidos para a dissertação, a revisão na literatura e o SWOT, são descritos de maneira mais profunda para facilitar o entendimento durante os capítulos seguintes, onde os mesmos são utilizados e analisados.

O Capítulo 4 apresenta uma descrição total de como os métodos foram utilizados neste trabalho. Ele fornece um detalhamento sobre as bases de dados e as palavras-chave usadas na revisão bibliográfica, além de uma explicação de como a matriz SWOT seria adotada.

O Capítulo 5 descreve todos os resultados do estudo prospectivo realizado. Os dados obtidos na revisão bibliográfica são disponibilizados e analisados com o máximo de detalhamento possível. A seção também apresenta um tópico de dinâmica de inovação, onde os principais modelos são detalhados e é determinado aquele que mais se adequou ao panorama da referida tecnologia. Após isto, foi montada a matriz SWOT e, com a ajuda de especialistas, foram sugeridas políticas públicas que incentivassem o potencial de aplicação desta tecnologia no território brasileiro.

Por fim, o Capítulo 6 expõe as conclusões obtidas ao final da dissertação e apresenta sugestões para trabalhos futuros que aprofundem o tema. Este tópico resume cada dado analisado em seções anteriores, de modo a servir de base para as opiniões formadas sobre a viabilidade da tecnologia em questão.

CAPÍTULO 2 - ÁCIDO ACRÍLICO E SEUS PROCESSOS

2.1 ÁCIDO ACRÍLICO

Também chamado de ácido 2-propanóico, o ácido acrílico possui hoje grande demanda no mercado internacional. Utilizado como matéria prima para a obtenção de diversos compostos e produtos cotidianos, sua importância vem crescendo ao longo dos anos. Segundo a IHS Chemical (2014), houve um aumento de 1,8 milhão de toneladas nas suas vendas entre 2005 e 2013, demonstrando assim a sua força no cenário mundial.

A substância é um líquido incolor e altamente solúvel em compostos polares. A Figura 2.1 apresenta a sua estrutura molecular:

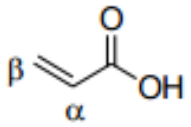


Figura 2.1 - Estrutura do Ácido Acrílico (Fonte: JAIMES, 2013)

A presença da insaturação e do grupo carboxila torna a molécula suscetível a diversas reações. O átomo β polariza os carbonos centrais, se comportando com um eletrófilo, o que favorece a adição de variados grupos nucleofílicos. Desse modo, ela é altamente reativa para processos de hidrogenação, hidratação, esterificação e transesterificação (OHARA, 2011). Na Tabela 2.1 estão listadas algumas das principais propriedades deste ácido:

Tabela 2.1 - Propriedades do Ácido Acrílico

Propriedade	Valor
Fórmula Molecular	$C_3H_4O_2$
Massa Molar	72,06 g/mol
Ponto de fusão	13,5 °C
Ponto de Ebulição	141 °C
Índice de Refração	n_D^{20} 1,4224; n_D^{25} 1,4185
Viscosidade a 25 °C	1.149 mPa.s
Constante de dissociação, K_a a 25 °C	5,5 x 10^{-5}; pK_a = 4,26
Calor de Combustão	1376 Kg/mol

Fonte: JAIMES, 2013

O ácido acrílico pode ser dividido em dois tipos: cru (CAA ou EAA) e glacial (GAA). O primeiro possui pureza de aproximadamente 97% e é utilizado principalmente como base para produção dos chamados ésteres de commodities (acrilatos de metila, etila, butila e 2-etil-hexila), enquanto o outro é obtido pela destilação ou cristalização do CAA, com pureza entre 98 e 99,5%, e é usado para produzir ésteres de especialidade (hydroxietil e hidroxipropil, por exemplo) e os chamados polímeros superabsorventes (SAP), além de aplicações menores como em resinas, dispersantes, aditivos, revestimentos e na indústria têxtil (IHS, 2014).

2.2 MERCADO GLOBAL DO ÁCIDO ACRÍLICO

O ácido acrílico é uma importante matéria prima no cenário industrial, sendo essencial para a produção de diversos ésteres e polímeros com grande variedade de aplicações. Seus derivados dependem de suas propriedades iniciais como durabilidade, dureza, resistência térmica e, principalmente, pureza (GUJARAT, 2017). Como já citado antes, para este quesito, o ácido possui duas classificações: cru e glacial, e esta característica definirá qual será o produto final e onde o mesmo será aplicado.

Graças a esta flexibilidade de aplicações, o interesse em suas tecnologias de produção se intensificou e, consequentemente, seu mercado foi impulsionado em escala mundial. Segundo estudos publicados pela Grand View Research Inc. (2016), a demanda em 2014 foi de 5,75 milhões de toneladas, enquanto a expectativa para 2022 é de 8,75 milhões de toneladas, com um crescimento anual de 5,6%. A pesquisa ainda informa que é esperado que os seus valores no mercado mundial atinjam 22,55 bilhões de dólares até 2022. Além disso, segundo artigo publicado pela Deutsche Bank (2011), a taxa de operação efetiva da produção de ácido acrílico já possuía valores maiores que 90% da sua capacidade global, como mostra a Figura 2.2. Isto significa dizer que praticamente quase todos os recursos disponíveis para suas tecnologias de produção estavam sendo utilizados, de forma a maximizar e elevar as quantidades produzidas com o passar dos anos.

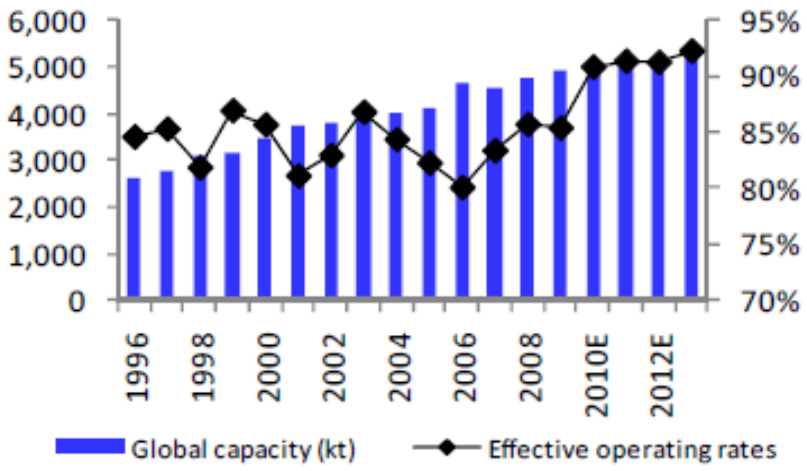


Figura 2.2 - Capacidade de Produção Global do Ácido Acrílico (Fonte: DEUTSCHE BANK, 2011).

Desse modo, pode-se observar a efetiva participação do ácido acrílico no comércio mundial e sua importância como pilar para a produção de diversos compostos. O principal deles, o SAP, é obtido a partir do GAA e é largamente utilizado no cotidiano na forma de fraldas e produtos de higiene feminina. Segundo a Markets and Markets (2015), a expectativa é que sua demanda atinja 7,96 bilhões de dólares até 2020, com um aumento anual de 7,6% no período entre 2015 e 2020. O motivo para este crescimento, além do apelo popular dos produtos já citados, se dá pela utilização do SAP em técnicas de conservação de água em agriculturas ao redor do mundo.

Outra importante aplicação do ácido acrílico é demonstrada no mercado de ésteres. Os chamados derivados acrilatos possuem intensa participação na indústria química, sendo utilizados como base para uma alta variedade de produtos de elevada força comercial. Os principais acrilatos produzidos e vendidos são os de metila, etila, butila e 2-etil-hexila, todos com constante crescimento de mercado. O acrilato de metila, por exemplo, tem a expectativa de atingir um valor de 359,2 milhões de dólares americanos em 2019, com um aumento anual de 4,3% (Micro Market Monitor, 2015). Estes derivados são aplicados na obtenção de resinas, revestimentos, elastômeros, adesivos, aditivos plásticos, tintas, têxteis, entre outros.

A Figura 2.3 e a Figura 2.4 demonstram a distribuição do mercado do ácido acrílico pelo mundo, assim como de suas aplicações:

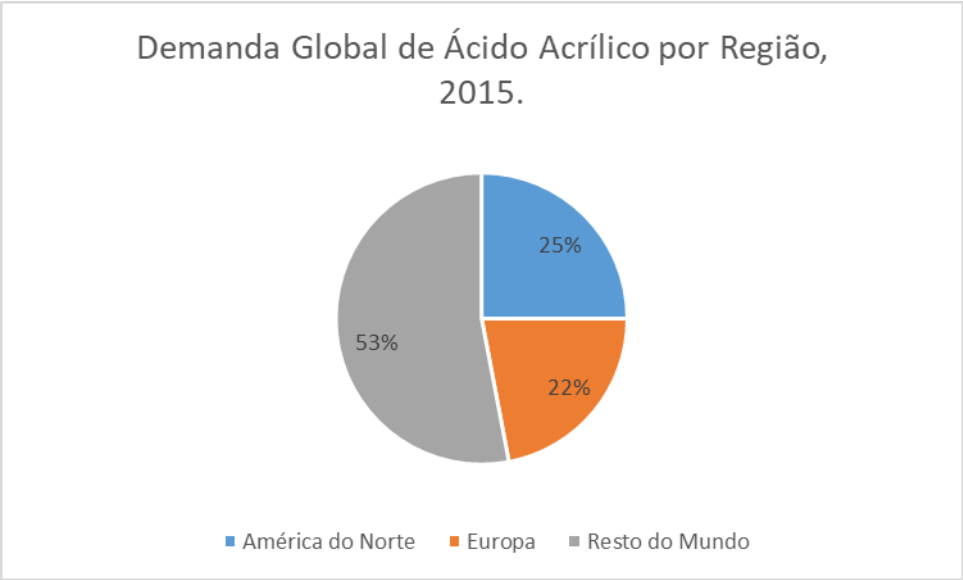


Figura 2.3 - Demanda de Ácido Acrílico por Região (Fonte: GOVERNMENT OF GUJARAT, 2017).

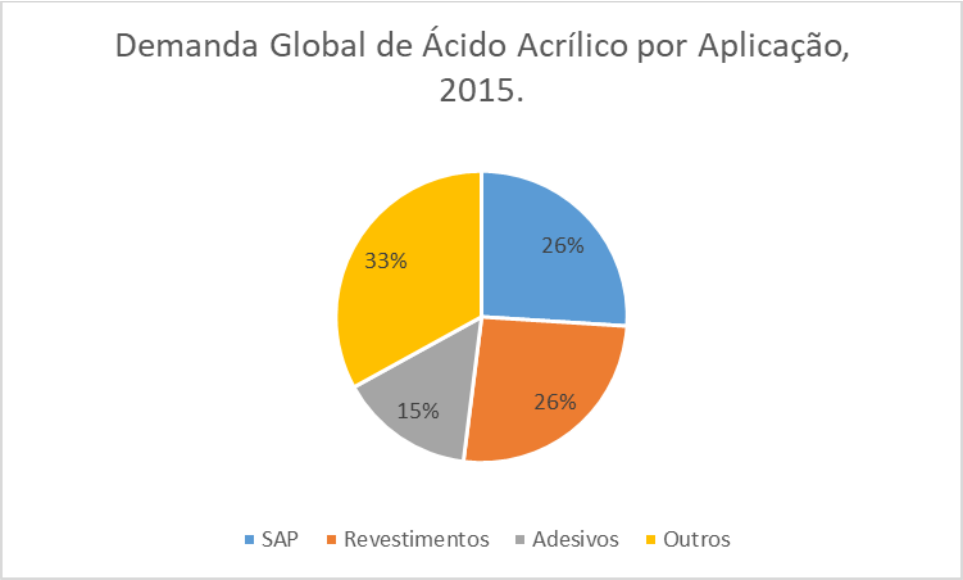


Figura 2.4 - Demanda de Ácido Acrílico por Aplicação (Fonte: GOVERNMENT OF GUJARAT, 2017).

Pelo exposto pode-se deduzir que o crescimento elevado da demanda de ácido acrílico e acrilatos que se verificou nos últimos anos, deve ainda permanecer no futuro.

2.2.1 Mercado Brasileiro

A dinâmica do ácido acrílico e seus derivados no mercado brasileiro é dada pela Figura 2.5 e pela Figura 2.6.

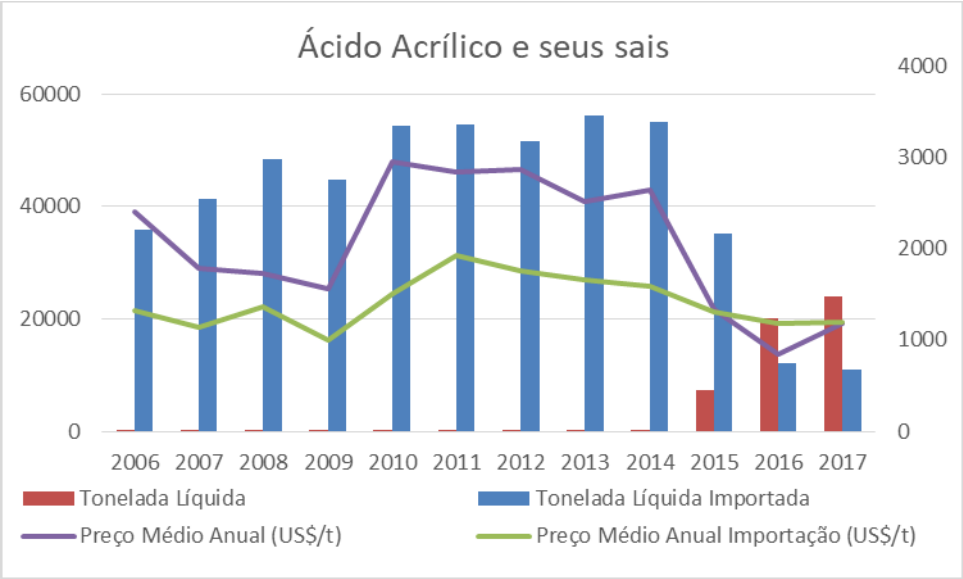


Figura 2.5 - Exportação e importação brasileira de ácido acrílico e seus sais (Fonte: ComexStat, 2018).

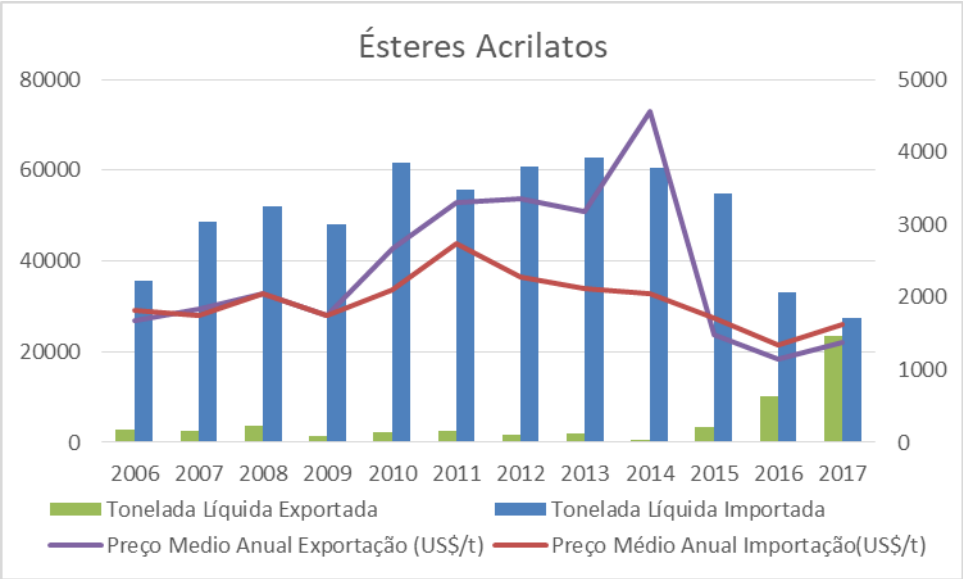


Figura 2.6 - Exportação e importação brasileira de derivados acrilatos (Fonte: ComexStat, 2018).

O Brasil era basicamente apenas um importador de ácido acrílico até 2015, quando em 19 de junho deste ano a Basf inaugurou a primeira fábrica produtora de ácido acrílico e SAP na América do Sul, com uma capacidade para 160 mil t/a. Com um investimento de mais de € 500 milhões, este é o maior aporte da história da Basf em mais de 100 anos na América do Sul (BASF BRASIL, 2015). Desde então, a produção cresceu gradualmente ao longo dos anos, até alcançar a capacidade de suprimento total do mercado brasileiro. Isto pode ser observado em 2016, quando a exportação de ácido acrílico e seus sais supera as importações, indicando um abastecimento de demanda interna. Pela maior disponibilidade de produto no Brasil, seu preço de exportação sofreu uma queda, e se nivelou ao valor de importação, demonstrando a forte entrada da indústria brasileira neste setor.

No caso dos acrilatos, houve uma maior demora na resposta do mercado ao complexo da BASF, e a exportação teve um aumento significativo apenas em 2016. Até o ano passado, apesar do rápido crescimento, as toneladas exportadas ainda não haviam superado as importações e, desse modo, o suprimento total da demanda interna não seria garantido. Contudo, caso a queda de importações permaneça junto com o aumento das exportações, pode-se prever que este cenário mudará ao final de 2018. A dinâmica dos preços foi similar à do ácido acrílico e seus sais, com uma queda do preço das exportações a partir de 2015 e consequentemente se aproximando do valor das importações.

Vale notar que atualmente a demanda brasileira está reprimida pela crise existente no país, de modo que qualquer produção adicional seria destinada à exportação. Contudo, isto não seria um problema, uma vez que a implementação da tecnologia a partir do glicerol levaria anos para ser realizada, e espera-se que o Brasil se recupere economicamente futuramente. Neste caso, a demanda interna aumentaria consideravelmente e seria suprida totalmente pela produção nacional. Além disso, mesmo que a crise persista, a exportação do ácido acrílico poderá ser lucrativa devido à sua grande demanda mundial. Em termos econômicos, se este novo processo verde for viável, a sua adoção seria de interesse de diversas empresas da área.

2.3 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO

A produção de ácido acrílico passou por várias mudanças ao longo do tempo. Ele foi sintetizado pela primeira vez em 1843, via oxidação de acroleína, e desde então, diversas

tecnologias foram desenvolvidas, com o intuito de otimizar o processo e maximizar o rendimento. O método adotado em maior escala no cenário atual é a oxidação do propeno, por apresentar melhores resultados e uma maior viabilidade econômica. Contudo, algumas empresas operam com outras rotas, incluindo modelos antigos e recentemente os chamados processos verdes, que buscam substituir a utilização de derivados fósseis nas indústrias.

Nos tópicos a seguir, os principais processos (novos e obsoletos) serão explicados de maneira mais aprofundada.

2.3.1 Processo Reppe

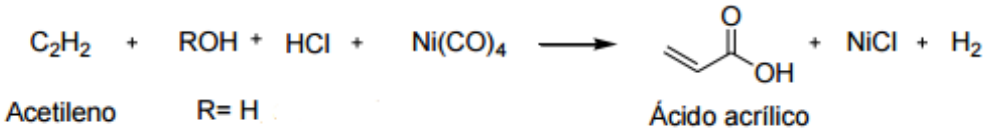
Em 1939, Walter Reppe desenvolveu uma técnica para obter o ácido acrílico a partir da carbonilação do acetileno. O processo se dá pelo contato do etino, ou acetileno, com água, ácido clorídrico e de um catalisador metálico composto por carbonilas operando a aproximadamente 40°C e pressão atmosférica (OHARA, 2011). Com o passar do tempo, o procedimento foi aperfeiçoado com mudanças operacionais e nos meios reacionais.

Mesmo com a nova descoberta, foi observado que o rendimento para ácido acrílico era muito baixo, devido a produção de compostos indesejados. Isto se deve aos catalisadores inicialmente escolhidos por Reppe, que possuíam baixa seletividade (OHARA, 2011). Para solucionar estes problemas, diversas pesquisas foram realizadas, testando catalisadores alternativos e provocando alterações no meio operacional.

Os resultados das pesquisas demonstraram melhores resultados com o uso de haletos como catalisadores da reação, como brometos, cloretos e iodetos. Este último é altamente ativo, mas sua utilização deve ser executada com cautela, uma vez que traz alto risco de corrosividade para o reator. Outros aperfeiçoamentos observados foram a utilização em excesso de solventes inertes no meio aquoso e o aumento dos parâmetros operacionais, como temperatura e pressão (ROBERT, 1962). Graças a estes estudos, o método pôde evoluir nas décadas seguintes, o que atraiu o interesse de diversas empresas da indústria química, como a BASF (a primeira a adotar as descobertas de Reppe à nível industrial) e a Rohm & Haas (ANDREW, 1952).

A Rohm & Haas preferiu a utilização de um catalisador de níquel tetracarbonila, ao invés de haletos. Além disso, o procedimento promovia o fornecimento de monóxido de carbono ao meio reacional e acrescentava um solvente inerte dissolvido na solução que já

continha água e ácido clorídrico, como a etil cetona (ANDREW, 1952). Os valores de temperatura e pressão foram mantidos iguais ao do processo Reppe original. A estrutura de reação pode ser observada abaixo (JAIMES, 2013):



(2.1)

Como demonstrado na reação acima, R, no caso da produção do ácido acrílico, é um átomo de hidrogênio. Contudo, é possível que este radical seja uma alquila, de modo que o produto final seja um éster acrilato. Desse modo, um ponto positivo evidente deste procedimento é a alternativa de uma produção direta de derivados acrilatos, possibilitando a obtenção de produtos específicos e de alto valor sem a necessidade de intermediários. Apesar disso, este método já não é mais viável em escala industrial, por conta do alto preço do acetileno, além de problemas de toxicidade e poluição causados pelas carbonilas de níquel, que é um produto extremamente venenoso.

No caso da BASF, o catalisador utilizado é o brometo de níquel, e por isso, o fornecimento de monóxido de carbono é essencial como fonte de carbonila. O CO nesse caso faz parte dos reagentes, enquanto o ácido clorídrico deixa de ser necessário, por conta da presença de outro haleto. Para esta reação, são utilizados valores mais altos dos parâmetros operacionais: a temperatura varia entre 150 e 250°C e a pressão varia entre 5 e 20 atm (ROBERT, 1962). Abaixo é demonstrada a reação:

(2.2)

Assim como no caso da Rohm & Raas, o radical R pode ser um átomo de hidrogênio para produção de ácido acrílico ou um radical alquil para a obtenção de derivados acrilatos. Os mesmos aspectos positivos e negativos podem ser aplicados para procedimento da BASF, de

forma que a tecnologia se tornou ultrapassada nas últimas décadas. Consequentemente houve uma substituição gradual do processo Reppe pela oxidação de propeno, método atualmente mais adotado pelas empresas produtoras.

2.3.2 Hidrólise de Acrilamida

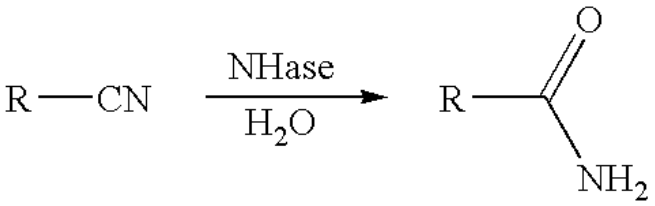
A acrilamida é uma substância muito utilizada por conta do seu potencial na indústria de polímeros. Uma segunda aplicação sua, encontrada durante anos de estudos, é na produção de ácido acrílico através de sua hidrólise ácida, tecnologia essa adotada por muitas empresas como Asahi Chemicals, Mitsubishi Petrochemical e Mitsubishi Rayon. O processo completo possui diversas etapas de reações: a acrilamida é obtida da biohidrólise da acrilonitrila, que por sua vez é produto da amoxidação do propileno.

O método de conversão de propileno a acrilonitrila mais famoso é o chamado processo Sohio. Nele, as duas substâncias reagem na presença de ar, sob pressão e temperaturas elevadas, entre 30 e 40 atm e 420 e 450°C respectivamente (AGRAWAL *et al.*, 2013). A reação global é demonstrada a seguir:

$$C_3H_6 + NH_3 + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow C_3H_3N + 3H_2O \tag{2.3}$$

Este processo desencadeia diversas reações paralelas e indesejáveis, diminuindo o rendimento total de acrilonitrila. Desse modo, é necessário que os parâmetros operacionais e os catalisadores envolvidos sejam testados e escolhidos de forma a maximizar a obtenção do produto principal.

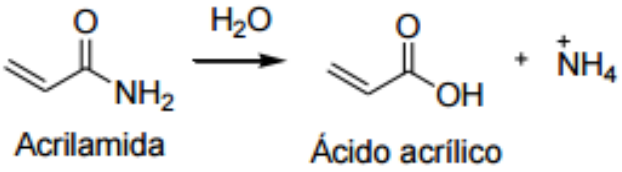
A etapa seguinte é a hidrólise da acrilonitrila. Atualmente, a reação é catalisada pela chamada hidratase de nitrila (NHase) presente em micro-organismos como *Rhodococcusruber*e *Pseudomonaschlororaphis*. A utilização destes é necessária, pois a NHase por si só é extremamente sensível a fatores ambientais, como temperatura e pH. As vantagens deste procedimento são o baixo consumo de energia, a segurança do processo e a alta pureza da acrilamida formada (LI *et al.*, 2017). Abaixo é demonstrada a etapa reacional:



(2.4)

O radical R neste caso seria o vinil, tendo em vista que o ácido acrílico é o produto final de interesse. A nitrilase também é uma alternativa de catalisador para a reação, com a possibilidade de converter a acrilonitrila à ácido acrílico diretamente. Contudo, o rendimento final com a utilização de biocatalisadores é muito baixo, o que torna o método inviável (DICOSIMO *et al.*, 2003).

Por este motivo, a conversão final de acrilamida em ácido acrílico é realizada por catalisadores ácidos ao invés da amidase, que possui a mesma função, mas com rendimento muito menor. A hidrólise ácida ocorre a elevadas temperaturas (entre 200 e 300°C) e tem como principal mecanismo a substituição do grupo amina por um grupo hidroxila, como demonstrado na reação abaixo:



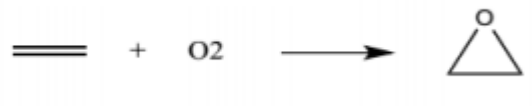
(II.5)

O processo global se mostrou pouco atraente devido principalmente ao mal aproveitamento do propileno. O seu rendimento é prejudicado pelas reações paralelas na amoxidação e pela baixa atividade e seletividade dos biocatalisadores na biohidrólise. Além disso, a alta concentração de resíduos de amônio gerados na hidrólise ácida da acrilamida acarreta no aumento dos custos com a purificação de produtos.

2.3.3 Produção a partir do Etileno

Assim como no processo da acrilamida, a obtenção de ácido acrílico a partir do etileno é composta por três etapas. O eteno é oxidado à óxido de etileno, que reage com cianeto de hidrogênio para formar etileno cianohidrina, e este, por fim, é convertido ao ácido em questão ao entrar em contato com um meio reacional aquoso. Esta tecnologia foi altamente utilizada pela Union Carbide Corporation, a maior produtora de óxido de etileno do mundo, e pela Rohm & Haas (WEISSERMEL *et al.*, 1997).

A produção de óxido de etileno se dá pela reação gasosa de etileno com oxigênio de alta pureza. Esta oxidação ocorre na presença de CO_2 reciclado e outros inertes, como metano, nitrogênio e argônio, com o intuito de retirar os reagentes da região de inflamabilidade. O catalisador utilizado é à base de prata com suporte de alumina, e traços de outros metais, como césio e rênio. A temperatura de operação é mantida entre 240 e 290°C e a pressão entre 15 e 25 bar (CAMPOS *et al*, 2014). A seguir é apresentada a reação:



(2.6)

Com os parâmetros operacionais ótimos utilizados, a seletividade do processo gira em torno de 80-90% e o produto recuperado possui aproximadamente 99% de teor de pureza (CAMPOS *et al*, 2014).

A segunda etapa se dá pela reação do óxido de etileno formado com cianeto de hidrogênio. O processo opera com temperaturas entre 101 e 110°C e pressão entre 11 e 25 bar, e o produto obtido, o etileno cianohidrina, é recuperado com alto grau de pureza a partir de uma coluna de destilação (SCHLEEP *et al.*, 2009). A etapa reacional é representada abaixo:

(2.7)

O meio reacional é aquoso e deve ser mantido básico para maior seletividade. Desse modo, os íons ácidos gerados pelo cianeto de hidrogênio devem ser neutralizados com uma base, como hidróxido de sódio. Nos parâmetros ótimos de operação, a conversão atinge valores de até 98% (SCHLEEP *et al.*, 2009).

O processo final desta tecnologia envolve a transformação do etileno cianohidrina obtido em ácido acrílico. A reação desta etapa é análoga à da produção de ácido metacrílico a partir da acetona cianohidrina: o reagente inicial é colocado em contato com água (ou um álcool, no caso de ésteres derivados) e ácido sulfúrico, que formam o ácido desejado e bissulfato de amônio (WEISSERMEL *et al.*, 1997). A reação pode ser observada a seguir:

$$HOCH_2CH_2CN + ROH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_2CHCOOR + NH_4HSO_4 \qquad (2.8)$$

No caso em questão, R é representado por um átomo de hidrogênio, tornando a água um dos reagentes presentes no meio. Apesar do ácido acrílico formado possuir boa qualidade, esta tecnologia foi abandonada e substituída por outras de maiores rendimentos, como a oxidação de propileno. Além disso, o fato de envolver o manuseio de compostos tóxicos e inflamáveis, como cianeto de hidrogênio, e a alta formação de poluentes, como o NH_4HSO_4 tornou o processo perigoso e pouco atraente.

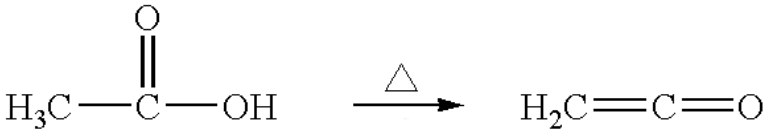
Outros processos alternativos que também utilizam o etileno como matéria prima foram estudados e desenvolvidos, mas foram descartados por não apresentarem atrativos suficientes. É o caso da carbonilação de etileno e do óxido de etileno. O primeiro é uma rota direta e de baixo rendimento, enquanto a segunda envolve um segundo intermediário, a β-propiolactona, que passa por outra reação de rearranjo para formar o ácido acrílico (CAMPOS *et al*, 2014). Os dois procedimentos, porém, foram preteridos por tecnologias mais rentáveis.

2.3.4 Produção a partir do Ceteno

Este processo foi utilizado pela empresa Celanese por pequeno período de tempo e se baseia na obtenção de ácido acrílico a partir de um dos produtos da pirólise do ácido acético: o ceteno (BELLO, 2008). O procedimento global repete o padrão de três etapas: a pirólise do

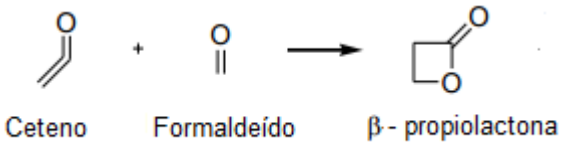
ácido acético gera o ceteno, que reage com formaldeído para formar a propiolactona e esta, por fim, é convertida ao ácido acrílico.

A pirólise é um processo antigo que promove o craqueamento de moléculas através de calor. Por este motivo, utiliza altos valores de temperatura (pelo menos 400°C), com a opção de uso de catalisadores, para a obtenção de produtos específicos. No caso do ceteno, estruturas catalíticas à base de sílica são escolhidas por apresentarem maior seletividade. Cetenos são importantes intermediários no mercado industrial e, por isso, este procedimento é frequentemente adotado no cenário atual (WATSON *et al.*, 1995). A seguir é apresentada a reação do processo:



(2.9)

Na segunda etapa, o ceteno formado reage com formaldeído para formar a propiolactona. O processo ocorre a temperaturas relativamente baixas (entre 20 e 30 °C) e pressão atmosférica, utilizando como catalisador o cloreto de alumínio dissolvido numa solução de metanol (ANDREW, 1962). A estrutura reacional é apresentada a seguir (JAIMES, 2013):

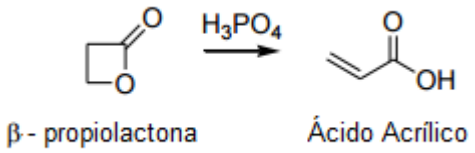


(2.10)

$$C_2H_2O \ + \ CH_2O \ \rightarrow \ C_3H_4O_2 \qquad (2.11)$$

Por ser um método inovador na época, a Celanese direcionou boa parte dos seus investimentos para o estudo desta tecnologia. A empresa persistiu no desenvolvimento desta alternativa até que um estudo revelou a presença de propriedades cancerígenas na beta-propiolactona (BELLO, 2008).

A parte final do procedimento consiste na reação da β-propiolactona com ácido fosfórico, para a produção de ácido acrílico. A temperatura pode variar entre 140 e 180°C, enquanto a pressão deve ser, de preferência, entre 20 e 200 mmHg. Além disso, é necessária a presença de um inibidor para evitar a polimerização do ácido acrílico (SCHNIZER et al., 1965). A reação é apresentada a seguir (JAIMES,2013):



(2.12)

Como já mencionado, a β-propiolactona possui propriedades cancerígenas, e por isso, seu manuseio é altamente prejudicial à saúde. A existência de tal risco tornou o processo pouco atrativo, de forma que a ideia foi abandonada pelas empresas que haviam investido nesta tecnologia (BELLO, 2008). Assim como nos exemplos anteriores, este procedimento foi rapidamente substituído pela alternativa mais viável: a obtenção do ácido acrílico através da oxidação do propileno.

2.3.5 Oxidação do Propileno

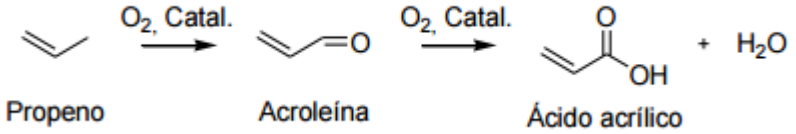
Atualmente é o procedimento mais adotado e este processo possui diversos modelos diferentes de produção. Ele pode operar em uma ou duas etapas, e em fase líquida ou gasosa, com uma ampla variedade de possíveis catalisadores existentes (OHARA *et al.*, 2011). Além disso, em termos de tecnologia é relativamente simples e sua matéria prima, o propileno, é de fácil obtenção e de boa viabilidade para a economia das indústrias (SOOD, 1995).

Por ser uma tecnologia altamente atrativa, o número de patentes depositadas e artigos publicados sobre esse tema atingiu valores altíssimos. Por meio destes, foi possível notar que melhores resultados foram obtidos a partir de modelos de duas etapas, por conta de catalisadores de maior atividade e seletividade. Por conta disso, a maioria das empresas do ramo operam com dois reatores, ao invés de um único reator de conversão direta (SOOD, 1995).

No caso de processos em fase líquida, apenas a produção direta é viável. Isto ocorre uma vez que a produção de acroleína (intermediário de processo de duas etapas) apresenta valores muito menores quando comparado ao procedimento que utiliza sistema gasoso. Desse

modo, a maior parte da literatura se refere ao primeiro caso. Um exemplo é a patente de Hinnenkamp (1984), que estuda os efeitos do paládio como catalisador da reação. Este elemento demonstrou ótimos resultados de conversão e seletividade, sendo o principal agente utilizado neste modelo de estrutura operacional. Outras alternativas também pesquisadas e adotadas são o manganês e o níquel. O benefício desta tecnologia é não necessitar de altas temperaturas de operação (no máximo 150°C) (SOOD, 1995).

No caso de sistemas gasosos, ambos os modelos são possíveis. Para processos de uma etapa, a conversão de propileno para acroleína e posteriormente de acroleína para ácido acrílico ocorrem simultaneamente em um único reator, como demonstrado abaixo:



(2.13)

Como as duas reações possuem diferentes características, não existem condições operacionais ótimas ou catalisadores eficientes que satisfaçam ambas ao mesmo tempo. Por isso, os rendimentos obtidos são relativamente baixos, de 60% a 70%. Além disso, devido ao caráter exotérmico do procedimento, as temperaturas operacionais são altíssimas, o que contribui para o curto período de vida dos catalisadores, como o telúrio (BELLO, 2008). Dois catalisadores frequentemente usados estão dispostos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Catalisadores Utilizados pela NipponShokubai

Catalisador	Rendimento (%)	Temperatura (° C)
Mo-W-Te-Sn-Co-O	65	350
Nb-W-Co-Ni-Bi-Fe-Mn-Si-Z-O	73	325

Fonte: JAIMES, 2013.

Para modelos de fase gasosa, a preferência é para a utilização de sistemas de duas etapas. As duas conversões, no começo dos estudos, eram catalisadas por óxido de cobre, mas atualmente são utilizados catalisadores mais seletivos com a presença de diversos metais nobres

(SOOD, 1995). A Tabela 2.3 e a Tabela 2.4apresentam, respectivamente, os complexos catalíticos de cada etapa. A divisão em duas reações, em diferentes reatores, possibilita a maximização dos resultados de ambos os processos através da manipulação dos seus parâmetros operacionais. Ou seja, cada reator poderá operar nas condições ótimas da sua respectiva reação. Graças a isso, o rendimento gerado é muito maior que no caso de etapa única (BELLO, 2008). A sequência reacional é dada a seguir.

Tabela 2.3 - Catalisadores para Conversão de Propileno a Acroleína.

Catalisador	Rendimento Acroleína (%)	Rendimento Ácido Acrílico (%)	Temperatura (°C)
Mo12Bi1Co4Ni4,5Si6,3Mg0,2	75,8	16,2	350
Mo12Bi1Fe2Co3Ni1P2K0,2	88,0	3,0	305
Mo12Bi1Fe1W2Co4Si1,35K0,06	90,2	6,0	325

Fonte: JAIMES, 2013.

Tabela 2.4 - Catalisadores para Conversão de Acroleína a Ácido Acrílico.

Catalisador	Conversão (%)	Rendimento (%)	Temperatura (° C)
Mo12V4,6Cu2,2W2,4Cr0,6	100,0	98,0	220
Mo12V3W1,2Ce3	100,0	96,1	288
Mo12V2W2Fe3	99,0	91,0	230

Fonte: JAIMES, 2013.

Estágio 1:

$$C_3H_6 + O_2 \xrightarrow{cat} C_3H_4O + H_2O \tag{2.14}$$

Estágio 2:

$$C_3H_4O + O_2 \xrightarrow{cat} C_3H_4O_2 + H_2O \tag{2.15}$$

Por ser a tecnologia mais viável economicamente no cenário atual, diversas empresas a adotaram e contribuíram para o seu desenvolvimento e consolidação no mercado mundial. Entre elas, destacam-se as companhias BASF, NipponShokubai, Mitsubishi, Dow, Sumitomo e LG Chemical (BELLO, 2008). O único problema desse modelo é a sua matéria prima: o propileno é um derivado fóssil. Além disso, com o advento do *shale gas* e a redução do preço do gás natural, o número de unidades de *steamcracking* que utilizam cargas gasosas aumentou, o que não privilegia a produção deste. Este fato, aliado a recente preocupação com o meio ambiente, incitou a busca por modelos verdes que pudessem competir com os resultados da rota do propeno e ao mesmo tempo obedecer às regras de emissão de poluentes estabelecidas pelos governos. Devido a isso, o foco dos estudos realizados nos últimos anos foi o desenvolvimento de fontes alternativas para o processo, como a glicose e o glicerol.

2.4 ROTAS RENOVÁVEIS

2.4.1 Produção a partir de Açúcar

A primeira alternativa verde criada foi através de uma rota fermentativa a partir de açúcares, principalmente a glicose. Com a utilização de micro-organismos e suas enzimas, o processo passa por diversas etapas, e pode tomar diferentes rumos, de acordo com as preferências da empresa produtora. Os intermediários mais comuns são o piruvato e o glicerol, sendo o primeiro mais frequente nas possíveis rotas metabólicas (STRAATHOF *et al.*, 2005), como demonstrado na Figura 2.7:

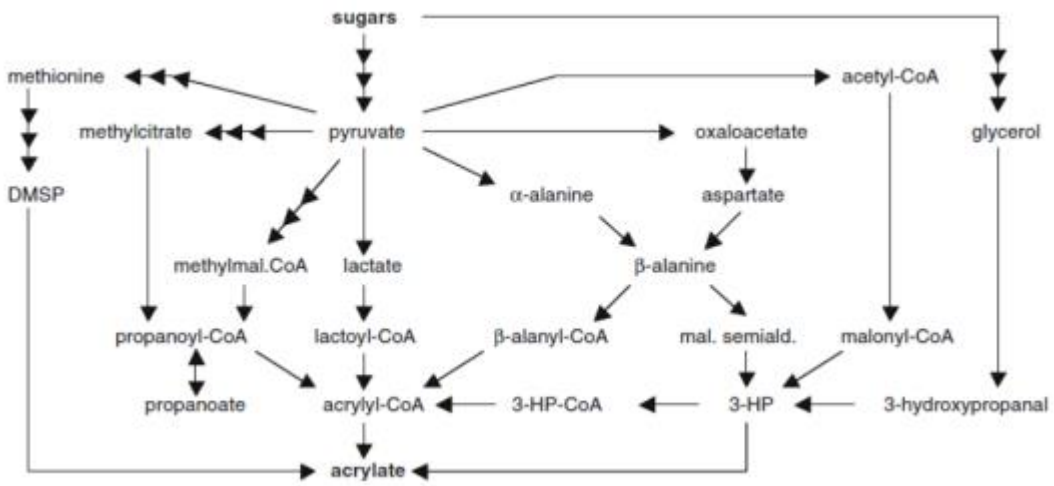


Figura 2.7 -- Rotas Fermentativas a partir da Glicose (JAIMES, 2013)

Apesar das variadas possibilidades, a rota puramente fermentativa não consegue acompanhar a eficiência dos processos baseados em conversões químicas. Segundo Straathof *et al.* (2005), o motivo para isso se baseia em dois problemas: a forte presença de reações secundárias (sobretudo na rota do lactato) e a toxicidade do acrilato produzido, o que provoca a morte dos micro-organismos utilizados.

Desse modo, uma segunda abordagem foi criada: a integração de rotas fermentativas e químicas. A parte inicial permaneceria intacta, com a utilização de micro-organismos para a obtenção de intermediários, enquanto estes seriam convertidos via catálise química (ZHANG *et al.*, 2008). No caso, o lactato e o 3-HP (ácido 3-hidroxipropiônico) são desidratados para a obtenção do ácido acrílico.

Um exemplo disso é demonstrado no trabalho de Lunelli *et al.* (2007). O foco foi a criação de métodos de conversão química do ácido lático à ácido acrílico, com o primeiro sendo obtido a partir da já conhecida rota fermentativa. O processo é apresentado na Figura 2.8:

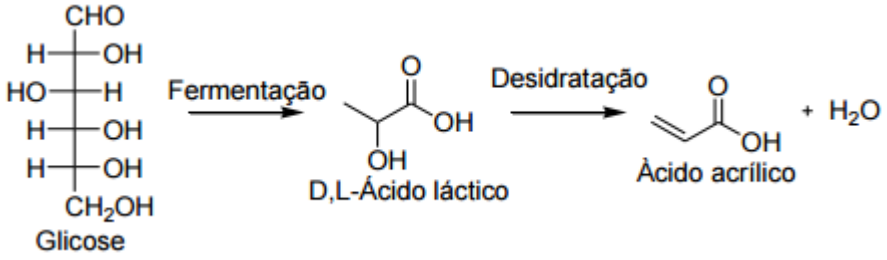


Figura 2.8 - Processo Integrado para Produção de Ácido Acrílico (JAIMES, 2013)

Ainda segundo Lunelli *et al.* (2007), uma maneira de aumentar o rendimento do processo é promover a esterificação do ácido lático, para que o grupo carbonila gerado proteja o composto de reações indesejadas. Posteriormente, para chegar ao ácido acrílico, o produto passa por uma desidratação e uma desesterificação, como indicado na Figura 2.9.

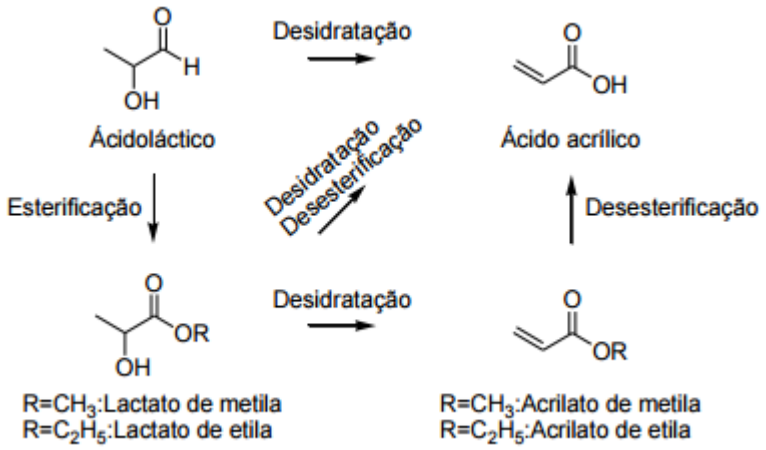


Figura 2.9 - Método Alternativo de Produção de Ácido Acrílico a partir do Ácido Lático (JAIMES, 2013)

Dishisha *et al.* (2015) utilizaram o mesmo conceito, mas escolheram a rota do 3-HP ao invés do ácido lático. No seu trabalho, foram utilizados *Lactobacillusreuteri* para a obtenção do ácido hidroxipropiônico e *Gluconobacteroxydans* para a conversão de 1,3-propanodiol produzido em reações secundárias. Os resultados gerados pela desidratação do intermediário à ácido acrílico foram satisfatórios e de alto incentivo para futuras pesquisas sobre o assunto.

Kildegaard *et al.* (2015), por outro lado, decidiram focar na xilose como matéria prima principal. O micro-organismo usado, *Saccharomyces cerevisiae*, foi modificado geneticamente para otimizar a eficiência de suas enzimas e, consequentemente, maximizar o rendimento global do processo. O intermediário obtido foi o 3-HP, criando um método alternativo a ser estudado por outros trabalhos desse campo.

Por fim, Chu *et al.* (2015) demonstraram que a busca por um processo puramente fermentativo não foi abandonada. No seu trabalho, há a modificação genética de *Escherichia coli* de forma a possibilitar um rendimento mais alto, utilizando o 3-HP como intermediário.

Apesar de um avanço significativo sobre o tema, os resultados obtidos, apesar de satisfatórios, estão longe de conseguir competir com processos convencionais existentes. Para a viabilidade do método em escala comercial, é necessário um maior desenvolvimento da engenharia genética, de modo a obter micro-organismos de alta eficiência e resistência.

Apesar dos esforços recentes na área, a obtenção de ácido acrílico a partir da glicose ainda não é viável no cenário industrial, uma vez que o processo não demonstra atrativos suficientes para investidores (CHU *et al.*, 2015). Contudo, estudos recentes sobre o tema são promissores, e demonstram a possibilidade futura da adoção deste método como alternativa comercial.

2.4.2 Método a Partir do Glicerol

A busca por métodos alternativos de produção de ácido acrílico, somado ao paralelo crescimento mundial da indústria do biodiesel, culminou em uma nova linha de pesquisa: obtenção a partir do glicerol. Também chamada de glicerina, ela passou a ser gerada em grandes quantidades como produto secundário do biocombustível, possuindo, contudo, um baixo valor de mercado e aplicação restrita.

A produção de ácido acrílico a partir do glicerol teve seu primeiro passo em 1951, em uma patente depositada por Hoyt*et al.* Neste trabalho, foi descoberto um método de se obter acroleína, o principal intermediário da produção de ácido acrílico, a partir da desidratação da glicerina, utilizando hidrocarbonetos líquidos como catalisadores. Apesar de inovador, não houve interesse de empresas na época, uma vez que a preocupação com o meio ambiente se intensificou apenas nas décadas seguintes.

O tema só retornou em 1995, em uma patente publicada por Neher *et al.*, representando a empresa Degussa. Nela, foram abordados diferentes meios de produção de acroleína a partir do glicerol, como em fase líquida ou gasosa, e foram analisados os resultados obtidos. A conclusão do trabalho foi satisfatória, apresentando grande avanço em relação aos estudos anteriores.

A produção direta de ácido acrílico foi descoberta e desenvolvidas pelas empresas Nippon Shokubai (SHIMA *et al.*, 2005) e Arkema (DUBOIS *et al.*, 2006). Em ambos os trabalhos, surgiu o conceito de oxidesidratação: o processo que envolve a desidratação do

glicerol e posterior oxidação para a obtenção do ácido em questão. Estas duas patentes impulsionaram estudos sobre o tema e revelaram uma possibilidade viável para substituir os atuais métodos à base de combustíveis fósseis e seus derivados.

Como já citado, a conversão de glicerol a ácido acrílico é composta por duas reações: a dupla desidratação de glicerina à acroleína e a oxidação desta ao ácido desejado. Este processo pode ocorrer em duas etapas separadas ou em uma única etapa, dentro de um mesmo reator (POSSATO, 2016). Atualmente, o primeiro caso é mais estudado, pelo fato da segunda etapa ser um processo maduro e, por consequência, fornecer rendimentos maiores. As respectivas reações são apresentadas a seguir:

Em duas etapas:

$$C_3H_8O_3 \rightarrow C_3H_4O + 2H_2O \qquad \Delta H = -57{,}3\ KJ/mol \tag{2.16}$$

$$C_3H_4O + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_3H_4O_2 \qquad \Delta H = -265{,}5\ KJ/mol \tag{2.17}$$

Em etapa única:

$$C_3H_8O_3 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_3H_4O_2 + 2H_2O \quad \Delta H = -322{,}8\ KJ/mol \tag{2.18}$$

Para cada reação que compõe o processo, diferentes bases catalíticas são utilizadas. A reação de desidratação apresenta melhores resultados na presença de catalisadores ácidos, como de estrutura MeO-Al_2O_3-PO_4 por exemplo (Me sendo um metal de transição), enquanto a reação de oxidação necessita de catalisadores redox, tendo o óxido de vanádio como principal escolha (POSSATO, 2016).

Já no caso de etapa única, as reações acontecem simultaneamente, exigindo propriedades catalíticas que possam suprir as condições de ambos os meios reativos. Para esta situação, promove-se a incorporação de compostos para se obter as características necessárias, como a adição de tungstênio ao catalisador de vanádio, fornecendo assim uma maior acidez para o mesmo (POSSATO, 2016).

Uma terceira possibilidade de obtenção do ácido acrílico a partir do glicerol é a rota fermentativa. O método é retirado do procedimento que tem a glicose como matéria prima,

sendo a glicerina um dos intermediários gerados. Similarmente, são utilizados micro-organismos com enzimas especificas para os produtos desejados, possuindo o ácido 3-hidroxipropiônico como intermediário.

Um exemplo disso é o trabalho de Tong *et al.* (2016). O foco do artigo é criação de uma rota biossintética de produção de ácido acrílico a partir do glicerol, utilizando *Escherichia coli* modificada como meio fermentativo. Apesar do baixo rendimento, os autores acreditam que os resultados demonstram futura viabilidade para o método, dependendo dos avanços no campo de engenharia genética.

Já o investimento nas rotas químicas pode ser representado pelo artigo de Paula *et al.* (2016). Nele os autores testam a utilização de catalisadores a base de vanádio silicatos para a oxidesidratação do glicerol em uma única etapa. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, e caminham para fornecer uma maior competitividade de mercado ao processo.

Em 2014, Liu *et al.* persistiram na ideia de dois catalisadores, e compensaram os gastos energéticos utilizando apenas um reator, com dois leitos reativos. Desse modo, foi possível adotar dois diferentes catalisadores, específicos para os respectivos processos, culminando em um maior rendimento global do processo. Como conclusão do trabalho, criou-se uma nova possibilidade a ser estudada e desenvolvida.

O grande desafio desta tecnologia é a busca pelo catalisador ideal. Diversos estudos já propuseram diferentes tipos de catalisadores, tanto para procedimentos em etapa única quanto para os de duas etapas, mas nenhum conseguiu fornecer resultados competitivos em relação ao método convencional. O artigo de Sun *et al.* (2017) reúne diversos trabalhos e indica os principais problemas de cada tipo de catalisador: para processos em etapa única, os rendimentos não passam de 80% devido ao conflito entre as duas reações, uma vez que cada uma possui seus próprios parâmetros ótimos. Enquanto isso, procedimentos em duas etapas conseguem chegar a rendimentos de mais de 90%, mas esbarram em problemas de instabilidade e dificuldade de regeneração catalítica.

O crescente interesse por tecnologias verdes nos últimos anos demonstra a esperança depositada neste método para substituir as rotas convencionais em um futuro próximo. Até o momento, o baixo rendimento e as incertezas de mercado, como o preço instável do glicerol em nível global, não permitiram a adoção deste modelo em escala industrial. Contudo, a ideia

é promissora, e a análise do presente trabalho busca tentar prever a possibilidade de sucesso deste método, levando em conta as atuais condições do mercado brasileiro e mundial.

CAPÍTULO 3 - PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

3.1 INTRODUÇÃO

Em um mundo de grande desenvolvimento industrial e ampla concorrência entre empresas, a habilidade de prever possíveis ambientes de negócio no futuro se torna essencial para o sucesso financeiro nos próximos anos. Para que isso seja possível, um alto nível de informação é necessário por conta das organizações. As economias do século atual dependem intensamente da capacidade de geração, adaptação, processamento e incorporação do conhecimento ao processo produtivo. Este conhecimento é considerado uma vantagem comparativa tão importante quanto capital financeiro, capital físico e humano, recursos naturais e localização, uma vez que sua análise permite a criação de possíveis cenários futuros e, consequentemente, a elaboração de estratégias para desenvolver negócios que agreguem maior valor e para melhor lidar com eventuais crises (TEIXEIRA, 2013).

Obviamente, prever cada parâmetro ou condições de mercado para as próximas décadas com precisão é impossível, graças ao dinamismo da tecnologia e a instabilidade da economia. Contudo, mesmo em meio a tantas incertezas, existem evidências de que as tentativas de antever o porvir podem oferecer resultados satisfatórios ao focar em elementos que possam ser pré-determinados, como projeções de desenvolvimento tecnológico de médio e curto prazo. Desse modo, o objetivo dos cenaristas foi fixado em expandir os modelos mentais de forma a melhor interpretar e reagir a essas condições futuras que podem ser previstas (COELHO, 2003). É nesse sentido que surge a prospecção tecnológica.

O primeiro trabalho citado na literatura como estudo prospectivo foi conduzido pela Rand Corporation, apresentando o método Delphi (DALKEY *et al.*, 1951). Desde então, inúmeros países passaram a utilizar metodologias de prospecção com o intuito de se preparar para possíveis consequências de conflitos nacionais e mundiais existentes nas décadas seguintes. O sucesso da Royal Dutch/Shell em prever a crise de petróleo em 1973, por exemplo, se tornou um grande incentivo para o desenvolvimento de estudos prospectivos mais abrangentes (ALENCAR, 2008).

Com o passar dos anos, a importância da prospecção tecnológica se tornou cada vez mais evidente. Em meio a constantes mudanças econômicas, sociais, ambientais e institucionais e à rápida evolução de conhecimento, os estudos prospectivos são ferramentas analíticas

essenciais para reduzir os riscos e incertezas do futuro. A maior compreensão das forças que orientam o futuro determina as melhores decisões a serem tomadas, de modo a aproveitar ao máximo as oportunidades possíveis e enfrentar as adversidades encontradas (TEIXEIRA, 2013).

Dessa forma, os estudos prospectivos constituem poderosos auxiliares do planejamento e do gerenciamento dos níveis de incerteza. Sua efetividade é diretamente ligada ao modelo utilizado, que é determinado pelo nível de profundidade requerido e pelos fatores cujas previsões são desejadas. A informação, o conhecimento e as percepções obtidas através dos resultados alcançados devem ser usados na tomada de decisões, elaboração de estratégias e na redução de incertezas inerentes ao futuro (OLIVEIRA, 2014).

3.2 DEFINIÇÃO

Estudos de prospecção são uma ferramenta básica para a fundamentação de processos de tomada de decisões. Seu propósito não é desvendar com perfeição os próximos eventos de importância, mas delinear e testar visões possíveis e desejáveis para que sejam feitas, hoje, escolhas que contribuirão da melhor forma possível na construção de um melhor cenário futuro. Em termos gerais, a sua definição pode ser dada por "qualquer exploração do que deve acontecer e do que se deve querer que aconteça" (MAYERHOFF, 2008).

Outra definição aceita foi apresentada por Kupfer e Tigre (2004): "a prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo". Em outras palavras, os exercícios prospectivos buscam analisar futuros possíveis para ações que ocorrem no presente, e dessa forma, preparar as empresas e organizações da maneira mais otimizada para o que poderá acontecer (TEIXEIRA, 2013).

Existem diversos termos comumente usados para se referir a estudos de prospecção. Terminologias frequentes são "*future research*", "*future studies*", "*prospective studies*", "*futuribles*", "*forecasting*", "*foresight*", entre outros (MAYERHOFF, 2008). Apesar de serem frequentemente utilizados de maneira similar, cada um corresponde a diferentes metodologias. *Future studies*, por exemplo, é um termo amplo que abrange toda atividade que melhora a

compreensão sobre as consequências futuras das escolhas atuais (COELHO. 2003). Já *foresight* é um método baseado em opiniões subjetivas e sua precisão é menor em comparação com outros modelos. Por fim, o *forecasting* utiliza dados e eventos históricos para calcular probabilidades do que pode ocorrer futuramente (TEIXEIRA, 2013). Pode-se perceber, dessa maneira, que apesar de possuírem o mesmo objetivo, diferentes meios podem ser adotados para a obtenção de resultados satisfatórios.

Seguindo esta linha de raciocínio, o termo prospecção tecnológica também recebe uma definição própria e diferenciada: é o que se refere a estudos que têm por objetivo antecipar e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas. Deve ser destacado também que se trata de um processo, e não um conjunto de técnicas, e se concentra em criar e melhorar o entendimento dos possíveis desenvolvimentos futuros e das forças que parecem moldá-los. Este método assume que o futuro não pode ser cientificamente demonstrado a partir de premissas e, por isso, espera-se um comportamento ativo frente a este futuro, uma vez que ele será criado pelas escolhas que forem feitas hoje (COELHO, 2003).

Com a definição de prospecção tecnológica conhecida, é possível enumerar os principais objetivos dessa metodologia. Isto é demonstrado por Teixeira (2013), onde o autor afirma que o objetivo geral desse modelo é identificar áreas de pesquisas estratégicas e as tecnologias genéricas emergentes que têm a propensão de gerar os maiores benefícios econômicos e sociais. O trabalho também lista uma série de objetivos específicos, como:

- Identificar oportunidades ou ameaças futuras;
- Construir futuros, considerando o percurso das mudanças;
- Orientar o procedimento de tomada de decisões em ciências, tecnologia e inovação;
- Promover a circulação de conhecimento estratégico para inovação;
- Buscar os impactos das pesquisas atuais e da política tecnológica;
- Desvendar novas demandas sociais, novas possibilidades e novas ideias;
- Monitorar diferentes áreas, como a econômica, tecnológica, social e ambiental;

Com estes objetivos em mente, a prospecção tecnológica se tornou essencial nas últimas décadas e possibilitou o sucesso de diversas inovações, prevendo novas tecnologias de melhores resultados e novos produtos de maior demanda. Apesar disso, vale ressaltar que,

mesmo com base em métodos mais sofisticados, a prospecção é uma atividade sujeita a incertezas e com relevante grau de subjetividade, de modo que os dados obtidos não devem ser tratados como verdades absolutas (TEIXEIRA, 2013). Ainda assim, é uma área de suma importância dentro das empresas e deve subsidiar com frequência o crescimento e o poder de competitividade das empresas no mercado.

3.3 METODOLOGIAS DE PROSPECÇÃO

Após estabelecer a importância da prospecção para a previsão e preparação para eventos futuros, é necessário adotar uma metodologia que maximize as chances de sucesso. Na literatura, foram sugeridos diversos métodos diferentes ao longo dos anos, cada uma com suas próprias forças e fraquezas. Segundo Kupfer e Tigre (2004), as ferramentas existentes derivam de três abordagens amplamente citadas em estudos prospectivos.

A primeira delas, e mais convencional, se baseia em inferência, indicando que o futuro tende a repetir os eventos do passado sem ocorrer muitas mudanças ou descontinuidades. Isto pode ser realizado fazendo-se extrapolações de tendências baseados em modelos teóricos e empíricos ou na construção por analogia dos antecedentes históricos do problema.

A segunda promove a criação de trajetórias alternativas a partir de cenários construídos pela contraposição de determinadas variáveis ou parâmetros.

Por fim, a terceira abordagem é bem mais subjetiva. Ela se utiliza de opiniões de especialistas, baseadas em experiência e intuições, para gerar visões de possíveis futuros.

Segundo Mayerhoff (2008), os métodos criados a partir destas abordagens podem ser classificados em três diferentes famílias:

- Monitoramento (*Assessment*): promove o acompanhamento sistemático e contínuo de como os fatos evoluem através do tempo, além da identificação de fatores portadores de mudança
- Previsão (*Forecasting*): concentra-se em projeções criadas a partir de informações históricas e modelagem de tendência
- Visão (*Foresight*): baseada na opinião subjetiva de especialistas e em sua interação não estruturada

Apesar da grande atenção recebida no último século, não existe um consenso sobre qual metodologia prospectiva é a mais eficiente. Ainda assim, pode-se citar aquelas que são mais utilizadas atualmente: Monitoramento e Sistemas de Inteligência, Análise de Tendência, Opinião de Especialista, Construção de Cenários, Métodos Computacionais e Criatividade. A Tabela 3.1 a seguir demonstra as vantagens e desvantagens de cada método, além do objetivo principal de cada um deles.

Tabela 3.1 - Características dos Métodos (Continua)

Método	Objetivo	Vantagem/Desvantagem
Monitoramento e Sistemas de Inteligência	• Identificação de ameaças potenciais, oportunidades e direção de tendências. • Estruturar uma base de informações de interesse para a tomada de decisões.	• Alta quantidade de informação gerada, com diversas fontes. • As informações obtidas, por si só, se relacionam ao passado e ao presente, sem fornecer dados concretos sobre o futuro.
Análise de Tendências	• Construção de um cenário, assumindo que os padrões do passado se repetirão no futuro, normalmente a curto prazo.	• Fornece previsões substanciais, com alta precisão em curtos prazos. • Só funciona com parâmetros quantificáveis, além de ser vulnerável a mudanças bruscas, o que a torna imprecisa para longos prazos.
Opinião de Especialista	• Através da lógica subjetiva e do julgamento de especialistas, construir uma visão do futuro baseada em informações qualitativas.	• Exposição de modelos e percepções inicialmente internalizadas, além da inclusão de especialistas da área à atividade de prospecção. • Difícil identificação de especialistas, alto risco de previsões erradas e divergência de ideias entre especialistas da mesma área.

Tabela 3.1 – Características dos Métodos (Continuação)

Método	Objetivo	Vantagem/Desvantagem
Construção de Cenários	• Criação de futuros alternativos através da combinação de condicionamento e variáveis.	• Apresentação rica e complexa dos possíveis futuros, incorporando uma grande quantidade de informações quantitativas e qualitativas. • Chance de ocorrer previsões absurdas, que consideram apenas o cenário final, sem levar em contas as barreiras que devem ser ultrapassadas para se chegar lá.
Métodos Computacionais e Ferramentas Analíticas	• Incorporação de diversos eventos em modelos de análise para promover o tratamento analítico de uma alta quantidade de informações	• Análise de modelos complexos, com a separação de informações importantes das desnecessárias, fornecendo excelentes percepções e podendo também incluir o julgamento humano. • Todo o sistema é vulnerável a pressupostos falsos ou imprecisos. Além disso, são necessárias adaptações frequentes, que precisam ser validadas, para minimizar os riscos.
Criatividade	• Criação de futuros alternativos, com alta geração ideias, que podem ser analisadas e então descartadas ou adotadas.	• Aumento na habilidade de prever o futuro e encorajamento à criação de um novo padrão de percepção. Possui alta eficiência quando utilizado no começo do processo. • Se for mal conduzido, pode levar à futurologia e descrédito do processo. O líder precisa ter alta capacidade de condução para evitar descaminhos.

Fonte: COELHO, 2003 (Conclusão)

Como pôde ser observado, cada situação exigirá um diferente método para obter uma maior eficiência. Neste trabalho, o foco será em Monitoramento e Sistemas de Inteligência e Cenários.

3.3.1 Monitoramento e Sistemas de Inteligência

Como o próprio nome indica, este modelo prospectivo se baseia em monitorar o cenário em torno de um tópico específico, em busca de informações relevantes e decisivas. Segundo Porter *et al.* (1991), o monitoramento em si não representa uma técnica de previsão do futuro, contudo ele fornece um pano de fundo necessário para o sucesso de qualquer tipo de prospecção, tornando-o imprescindível para o sistema de inteligência de todas as empresas.

No trabalho de Coelho (2003), são citados alguns possíveis objetivos do modelo de monitoramento:

- Identificar eventos científicos, técnicos ou socioeconômicos importantes para a organização.
- Definir ameaças potenciais para a organização, implícitas nesses eventos.
- Identificar oportunidades para a organização envolvidas nas mudanças no ambiente.
- Alertar a direção sobre tendências que estão convergindo, divergindo, ampliando, diminuindo ou interagindo.

A ferramenta de monitoramento mais utilizada pelas empresas atualmente é o chamado sistema de inteligência competitiva (IC). O conceito de IC envolve a dupla conotação do termo inteligência: uma que indica posse, e outra que indica criação de conhecimento. A soma destas duas definições demonstra o potencial da técnica em si: a criação é um processo no qual se obtém um conjunto de dados brutos para que se possa agregar valor, enquanto a posse representa uma função cognitiva na qual é possível acessar o conhecimento com diferentes finalidades (NETTO, 2011).

Em resumo, o IC se baseia na coleta e na análise de dados na literatura. O processo em si está relacionado ao ciclo de inteligência da empresa. De maneira generalizada, as etapas envolvidas neste procedimento são: planejamento do ciclo; coleta de dados e informações

relevantes; análise do material coletado; e disseminação da inteligência adquirida (NETTO, 2011). As atividades realizadas em cada etapa estão indicadas na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 - Atividades de cada etapa do IC (Fonte: Netto, 2011)

Planejamento	Coleta	Análise	Disseminação
Identificação de Variáveis Identificação de Fontes de Informação	Captura Validação Catalogação Classificação Armazenamento	Processamento Mineração Interpretação	Seleção de Destinatários Distribuição

Fonte: NETTO, 2011.

Adicionalmente, a inteligência competitiva tecnológica é o processo de identificar ameaças e oportunidades baseadas na tecnologia e tem seu foco no monitoramento permanente da tecnologia de interesse da organização. Seus principais focos são o acompanhamento dos concorrentes, do estágio atual e futuro da tecnologia, da possibilidade de inovações incrementais ou de ruptura e do surgimento de novos atores (COELHO, 2003). Este processo é essencial para o sucesso e manutenção de uma inovação criada por uma empresa.

Neste trabalho, a IC tecnológica será representada por uma revisão na literatura. A coleta de dados sobre o tema em questão será realizada em bases de artigos e patentes, onde informações relevantes serão obtidas e analisadas. Após isto, será possível compreender de maneira mais precisa o comportamento desta tecnologia nas últimas décadas, fornecendo um cenário mais confiável para prever sua viabilidade no futuro.

3.3.2 Cenário

Segundo Moritz *et al.* (2008), a prospecção de cenários é um esforço da ciência em sondar o tempo, através de seus atores e de suas variáveis, no sentido de revelar as tendências que devem ser observadas e identificadas no esforço constante do homem em entender e compreender cada vez mais o seu futuro e o seu destino neste universo de complexidade.

Wright (2010) destaca em seu trabalho que elaborar cenários não é um exercício de predição, mas sim um esforço de fazer descrições plausíveis e consistentes de situações futuras

possíveis, de forma a apresentar parâmetros entre a situação atual e cada cenário futuro, e destacando a linha de decisões que a empresa precisa tomar. Este tipo de análise possui duas classificações de acordo com as intenções dos atores (COELHO, 2003):

Cenários exploratórios buscam estudar possíveis futuros ao promover uma análise técnica de combinações plausíveis de condicionantes e variáveis. Neste caso, preferências e desejos da empresa não são levados em conta na formulação destes futuros alternativos, se limitando apenas a conhecimento antecipáveis. Se baseiam em tendências passadas e presentes e fornecem um futuro condizente com elas.

Cenários desejados ou normativos, por outro lado, envolve os desejos e expectativas dos formuladores, levando a cenários mais específicos, de acordo com a vontade dos mesmos. Este tipo de análise deve ser utilizado com cuidado para que o futuro almejado não seja uma utopia, de forma a desperdiçar anos de trabalho da empresa em um sonho inalcançável. Desse modo, os cenários desejados devem ser baseados em uma visão que leve em conta contextos históricos e os recursos mobilizáveis pela empresa.

Uma ferramenta de cenários amplamente utilizada é a chamada análise SWOT. A sigla tem origem de termos em inglês que significam *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças). Na administração de negócios, a análise SWOT é um importante instrumento utilizado para planejamento estratégico que consiste em recolher dados importantes que caracterizam o ambiente interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças) da empresa (BRITO *et al.*, 2016).

Este modelo prospectivo surgiu na década de 1960 e tem sua origem incerta. Certas revisões na literatura apontam a *Harvard Business School* como criadora da análise SWOT, enquanto outras argumentam que a *Stanford University* é a verdadeira responsável. Albert S. Humphrey, que trabalhou em *Stanford*, afirma que entre 1960 e 1970 foi conduzida uma pesquisa na faculdade, onde surgiu o conceito da matriz SWOT para ajudar as empresas envolvidas. Contudo, não existem referências na literatura que comprovem os argumentos de Humphrey. Desse modo, a criação deste método é mais comumente creditada ao grupo de pesquisa da *Harvard* (GUREL *et al.*, 2017).

Desde então, a análise SWOT sofreu diversas alterações, para se adaptar a todos os tipos de situações possíveis. Na década de 1980, o modelo passou a ser usado por pequenas e médias empresas, enquanto na década de 1990 ele foi adotado por organizações não governamentais

no seu desenvolvimento regional, na formulação de projetos e no seu marketing social (GUREL *et al*., 2017). Apesar de sua aparente simplicidade e eficiência, o método tem apenas a função de fornecer uma visão do ambiente ao redor da empresa e não de determinar a natureza de seu planejamento estratégico. Desse modo, existem recomendações que incentivam o uso de outras ferramentas prospectivas que complementem as informações reveladas pelo SWOT (SAMMUT-BONNICI et al., 2015).

Entre as mudanças sugeridas, pode-se citar a criação da matriz TOWS, por Weihrich (1982), onde o autor promove uma análise cruzada entre os fatores internos e externos. Este modelo procura identificar estratégias potenciais que consigam explorar oportunidades ou mitigar ameaças pelo desenvolvimento de suas forças ou pela redução de suas fraquezas (SAMMUT-BONNICI *et al*., 2015). Em relação à combinação de outros modelos ao SWOT, destaca-se o *Balanced Scorecard*, uma estratégia de longo prazo que envolve um sistema de gestão, comunicação e medição de desempenho (FARIA, 2007); e o *Quality Function Deployment*, que é uma abordagem que define as necessidades de clientes e cria planos para atender a estes requerimentos (CHAN *et al*., 2005).

A Tabela 3.3 demonstra um exemplo de modelo base para a análise SWOT:

Tabela 3.3 - Modelo SWOT (Fonte: adaptado de BRITO *et al.* (2016))

	Fatores Positivos	Fatores Negativos
Fatores Internos	Forças (*Strenght)*	Fraquezas (*Weakness)*
Fatores Externos	Oportunidades (*Opportunities*)	Ameaças (*Threats)*

Fonte: adaptado de BRITO *et al.*, 2016

As forças representam recursos da empresa que fornecem vantagens competitivas sobre outros participantes do mesmo ramo. As fraquezas demonstram exatamente o inverso: a vulnerabilidade em relação aos competidores e outros fatores internos que podem afetar negativamente os seus resultados. Já as oportunidades apresentam variáveis externas que favorecem o crescimento e lucro da empresa, enquanto as ameaças correspondem a mudanças no ambiente comercial que prejudicam os seus negócios.

A análise interna é essencial para a identificação de vantagens competitivas. O processo de planejamento estratégico de uma empresa começa com uma avaliação aprofundada de seus recursos internos e de sua capacidade potencial, que definem a sua força competitiva no mercado. Já a análise dos fatores externos tem o objetivo de ajudar as organizações a prever potenciais mudanças e implicações futuras. Apesar de estarem fora do controle da empresa, as variáveis do ambiente externo precisam ser avaliadas para que a organização esteja preparada para todos os cenários possíveis (SAMMUT-BONNICI *et al.*, 2015).

A análise SWOT é uma ferramenta de auxílio ao planejamento estratégico usada na avaliação de organizações, planos, projetos e atividades da empresa. Desse modo, o modelo tem como objetivo identificar fatores organizacionais e ambientais, de modo a ajudar os participantes ao fornecer uma análise situacional da empresa. Baseado nos resultados da matriz, pode-se escolher uma estratégia apropriada para o sucesso da organização (GUREL *et al.*, 2017).

Utilizando a revisão de literatura já citada, este trabalho também realizará a análise SWOT do tema, apresentando seus pontos positivos e negativos baseado nos dados obtidos nos artigos e patentes encontrados. Com isso, será possível obter um panorama atual confiável, envolvendo informações do passado e do presente, de forma a criar uma visão mais precisa do futuro desta tecnologia.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA

A metodologia de prospecção adotada se baseou no trabalho de Bahruth *et al.* (2006), o qual apresentou um processo que envolvia 4 fases:

- Fase preparatória, na qual ocorre a definição de objetivos, escopo, abordagem e metodologia
- Fase pré-prospectiva, na qual é realizado o detalhamento da metodologia e o levantamento da fonte de dados
- Fase prospectiva, que se refere à coleta, ao tratamento e à análise dos dados
- Fase pós-prospectiva, que inclui a comunicação dos resultados, a implementação das ações e o monitoramento

As duas primeiras fases representam a preparação para o ato de coleta em si, enquanto a última fase fornece os dados obtidos através da prospecção. Esta última será detalhada no próximo capítulo do trabalho.

4.1 FASE PREPARATÓRIA

Nesta fase, será decidida qual será a abordagem geral adotada pelo processo prospectivo. Seguindo como base o trabalho de Oliveira (2014), o estudo será dividido em duas etapas:

A etapa A será responsável pela prospecção de inovação e análise de curva de crescimento da tecnologia. Nela, será feita uma coleta de dados de artigos e patentes com o intuito de analisar as características da tecnologia em questão com o passar dos anos: o início do seu desenvolvimento, os incentivos obtidos, os países que mais priorizaram seu crescimento, seu auge/declínio e, principalmente, seu nível de maturação.

A etapa B adotará o método SWOT, onde será realizada uma avaliação de forças e fraquezas, oportunidades e ameaças para a adoção deste tipo de tecnologia a partir de renováveis. Com esta análise, a criação de um cenário futuro mais favorável a implantação desde tipo de tecnologia será possível, e a coleta de dados da etapa anterior contribuirá para a precisão destas previsões.

4.2 FASE PRÉ-PROSPECTIVA

Com as etapas de trabalho definidas e bem organizadas, o próximo passo é estabelecer como será realizado cada etapa do estudo. No caso da etapa A, serão descritos os parâmetros de busca para as bases de dados, enquanto para a etapa B, será demonstrada o estilo de tabela SWOT escolhida para a análise.

4.2.1 Etapa A

O monitoramento de tecnologias, representado pela revisão de literatura e coleta de dados, é essencial para qualquer empresa manter sua competitividade no mercado. Os setores de PD&I se utilizam desta ferramenta para analisar o futuro de uma tecnologia existente e de inovações, através de dados do passado. As bases mais comuns são de artigos e patentes, e estas serão as escolhidas para o presente trabalho.

A base de artigos escolhida foi a *Web of Science*. Trata-se de uma ferramenta de pesquisa multidisciplinar que abrange longos períodos de tempo (a partir de 1945), contendo informações em alta quantidade e de excelente qualidade. Já para as patentes, a *Derwent Innovations Index* foi selecionada para promover as pesquisas, por ser considerada líder mundial nesta área. Com informações provenientes de 40 órgãos emissores e com uma cobertura desde o ano de 1963, esta ferramenta utiliza operadores booleanos e truncados para o fornecimento de dados sobre as tecnologias patenteadas, como dados bibliográficos, título, resumo, país de prioridade, ano de depósito, ano de publicação, autor, depositante, entre outros. Ambas as bases podem ser acessadas a partir do Portal da Capes.

Com as bases definidas, a próxima etapa é determinar os parâmetros de pesquisa, como o período de busca e as palavras chaves. Por ser tratar de uma tecnologia recente, não existe uma alta quantidade de trabalhos focados na produção de ácido acrílico a partir do glicerol, e por isso, o período designado foi o máximo permitido por cada ferramenta: a partir de 1945 no caso dos artigos, e a partir de 1963 no caso das patentes. Já as palavras chaves usadas estão dispostas na Tabela 4.1. Para ambas as bases, as palavras-chave foram utilizadas em combinações de dois, focando a busca no título e no resumo dos trabalhos e palavras-chave.

Tabela 4.1 – Palavras-Chave da busca

Palavras-Chave			
acrylic	*acrylic acid*	*glycerol*	*glycerine*
acrolein	*3-hydroxypropionic*	*acrylate*	*fermentative*
production	*dehydration*	*oxidation*	*oxidehydration*

No caso das patentes, outro parâmetro de busca foi utilizado em adição aos anteriores com o intuito de refinar os resultados. Trata-se do código IPC: uma classificação internacional adotada pelo INPI com o objetivo facilitar os métodos de pesquisa e, consequentemente, o acesso a informação sobre dadas tecnologias. Cada patente é enquadrada em classes que variam de A até H, que se dividem em uma alta quantidade de subclasses, com um teor classificatório mais específico. Não há limite para o número de classes que uma inovação patenteada pode ter (INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL, 2017).

A classificação que melhor enquadra a produção de ácido acrílico a partir do glicerol é a C07C, representada por processos envolvendo compostos acíclicos ou carbocíclicos. A Tabela 4.2 demonstra as subclasses que se relacionam mais fielmente ao tema em questão e que foram utilizadas como ferramentas de refino.

Tabela 4.2 – Códigos IPC utilizados para refino de resultados.

Código	Descrição
C07C 45	Preparação de compostos tendo C = O ligados somente a átomos de carbono ou de hidrogênio; Preparação de quelatos desses compostos.
C07C 47	Compostos tendo grupos — CHO.
C07C 51	Preparação de ácidos carboxílicos ou de seus sais, haletos ou anidridos.
C07C 57	Compostos insaturados tendo grupos carboxila ligados a átomos de carbono acíclicos.

Os dois últimos códigos se referem a produção de ácidos carboxílicos, que enquadra o ácido acrílico. Contudo, as outras duas classificações definem processos que envolvem

compostos com o grupo carbonila. O motivo disto é a quantidade relativamente baixa de resultados obtidos na busca pelo procedimento direto de conversão de glicerol em ácido acrílico. Deste modo, foi adicionado outro foco nas pesquisas: a produção de intermediários.

Como também demonstrado na tabela de palavras-chave, a produção de acroleína, principal intermediário do ácido acrílico, e do ácido 3-hidroxipropiônico foram outros temas adicionados a coleta de informações para aumentar a quantidade de resultados e enriquecer as informações obtidas. Por serem intermediários diretos do ácido acrílico, este novo parâmetro de pesquisa pode ser utilizado como fonte de dados para esta tecnologia sem afetar negativamente a confiabilidade do estudo.

4.2.2 Etapa B

Para a análise de forças e fraquezas da produção de ácido acrílico a partir do glicerol, foi criada uma matriz SWOT, contendo quatro elementos-chave (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças). Isto possibilitou a avaliação dos ambientes internos e externos relacionados ao tema em questão, consequentemente demonstrando as possíveis vantagens e desvantagens que serão apresentadas às instituições interessadas em desenvolver esta tecnologia. Desse modo, o cenário criado a partir dos dados fornecidos pela matriz SWOT teve como foco a sugestão de novas políticas públicas para empresas no Brasil com o intuito de aproveitar as forças e oportunidades, e minimizar as fraquezas e ameaças. Ao final da análise, será abordada a questão da viabilidade desta inovação e sua atratividade para investidores nos próximos anos.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já mencionado, os próximos capítulos apresentarão as duas últimas fases da prospecção: prospectiva e pós prospectiva. A primeira representa a coleta de dados em si e a sua análise, enquanto a outra é responsável por relatar as informações e conclusões obtidas e, a partir delas, desenvolver políticas públicas que estimulem a adoção desta tecnologia. Este processo será realizado para ambas as etapas.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS

5.1 FASE PROSPECTIVA

5.1.1 Etapa A

Utilizando os parâmetros de pesquisa citados anteriormente, foi realizada a revisão bibliográfica da tecnologia em questão. Inicialmente, houve um baixo retorno no número de trabalhos que abordavam o caminho completo da conversão de glicerol a ácido acrílico. Desse modo, adotou-se uma nova estratégia de busca, como mencionado no capítulo anterior: foram adicionados artigos e patentes com procedimentos focados na produção de dois dos principais intermediários. Os escolhidos foram a acroleína e o ácido 3-hidroxipropiônico. Como a tecnologia de conversão destes a ácido acrílico já está madura, a sua produção a partir do glicerol é a etapa alvo de atenção para o desenvolvimento do processo total. Portanto, mesmo com as alterações, este modelo de estudo prospectivo continuará fornecendo resultados de alta confiabilidade.

No total, foram encontrados 303 artigos pela base da *Web of Science* e 576 patentes pela base *Derwent Innovations Index*. Foram descontados deste valor resultados não pertinentes ao tema em questão como:

- Processos que utilizavam o ácido acrílico ou seus intermediários como reagentes iniciais para a obtenção de outros produtos.
- Processos que utilizavam o ácido acrílico ou seus intermediários para outras finalidades.
- Processos que obtinham o ácido acrílico ou seus intermediários como produtos secundários.
- Trabalhos repetidos, publicados em diferentes revistas.

No final, após a devida filtragem, o total de resultados para artigos foi de 194 e para patentes de 119.

Vale notar que a utilização do glicerol como matéria prima de tecnologias verdes só ganhou força na última década, como consequência do crescimento da produção de biodiesel.

Isto explica o número relativamente baixo de trabalhos e patentes relacionados ao tema em questão, visto que não houve tempo suficiente para um número mais expressivo de publicações.

5.1.2 Etapa B

Diferentemente do SWOT normalmente aplicado para empresas já existentes, o método aqui foi empregado para analisar indícios de viabilidade para implementação de uma indústria com esta tecnologia em território brasileiro. Desse modo, a tabela foi alterada de forma a se adaptar para a situação em questão:

Tabela 5.1 - Tabela SWOT modificada.

	Fatores Positivos	Fatores Negativos
Brasil	Forças (*Strenght)*	Fraquezas (*Weakness)*
Exterior	Oportunidades (*Opportunities*)	Ameaças (*Threats)*

Fonte: Elaboração Própria

Os fatores externos e internos foram trocados pelos rótulos “Brasil” e “Exterior”. O primeiro busca analisar as forças e fraquezas do mercado e do ambiente de negócios brasileiro, destacando suas vantagens e desvantagens, enquanto o segundo demonstra oportunidades e ameaças que o mundo pode oferecer e que possam afetar a decisão de instalação deste tipo de indústria em terras brasileiras. Após analisados cada bloco da tabela, foram sugeridas políticas públicas que pudessem viabilizar, ou ao menos incentivar, o desenvolvimento da tecnologia no Brasil e a implantação de uma unidade comercial, de forma a torná-la atrativa para investidores e empresas ligadas à área.

O preenchimento da matriz SWOT e a sugestão de políticas públicas foram realizados com a ajuda de especialistas da área de combustíveis, petroquímica e catalisadores:

- Professor Eduardo Falabella, professor titular da EQ/UFRJ, especializado em catalisadores.
- Wendel Rodrigues Cezario, engenheiro químico da empresa Petrobras, com especialização em petroquímica.
- Alexandre Figueiredo, engenheiro químico da empresa Petrobras, gerente da área de energia renovável.
- José Marcos Ferreira, engenheiro químico da FCC S.A, especializado em catalisadores.

Todo o procedimento foi realizado em uma reunião, que ocorreu no Siquim da Escola de Química da UFRJ, na tarde do dia 05.06.2018, sob supervisão e com ajuda do professor orientador Luiz Fernando Leite. Os resultados obtidos no encontro serão discutidos mais à frente.

5.2 FASE PÓS-PROSPECTIVA

5.2.1 Etapa A – Base de Artigos

A Figura 5.1 demonstra a evolução de trabalhos publicados ao longo dos anos, desde o início da última década.

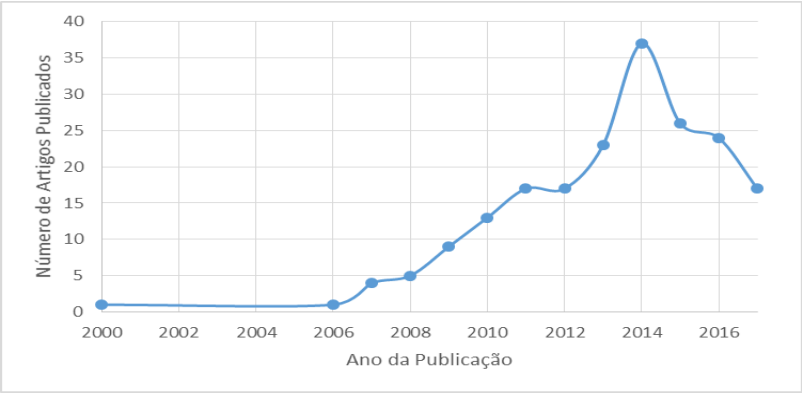


Figura 5.1 - Evolução anual das publicações relacionadas a produção de ácido acrílico e seus intermediários do glicerol, a partir da base de dados Web of Science.

É notável o ponto onde ocorre o início do crescimento do interesse nesta tecnologia. Após a grande evolução da produção de biodiesel em 2005, parte do foco se voltou para o glicerol produzido como produto secundário em altas quantidades. Com isso, o final de 2005 e o início de 2006 representaram o começo de pesquisas voltadas a tecnologias que envolvessem a transformação de glicerina em produtos e materiais de maior valor comercial. É também importante destacar a queda do número de trabalhos após o ano de 2014.

O Brasil tem sua evolução anual representada pela Figura 5.2:

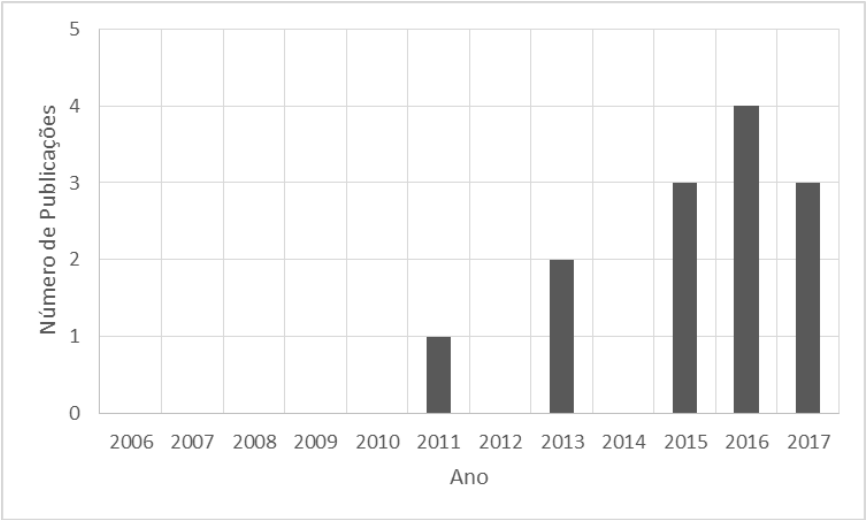


Figura 5.2 - Evolução anual no Brasil das publicações relacionadas a produção de ácido acrílico e seus intermediários do glicerol, a partir da base de dados Web of Science.

Apesar da grande atuação nacional na produção de biodiesel, o Brasil não apresenta um número muito significante de artigos publicados sobre a produção de ácido acrílico a partir do glicerol. Observa-se também um “atraso” em relação a evolução anual total: o primeiro trabalho apareceu apenas em 2011 e seu pico foi em 2016, quando a evolução anual já estava em queda.

Os treze artigos brasileiros publicados serão analisados a seguir. A Tabela 5.2 apresenta as instituições responsáveis, enquanto a Tabela 5.3 fornece maiores detalhes sobre os trabalhos.

Tabela 5.2 – Número de artigos publicados por instituições brasileiras a partir da base de dados Web of Science.

Instituição	Artigos
Universidade Estadual Paulista (UNESP)	8
Universidade Federal da Bahia (UFBA)	3
Universidade Federal de Lavras (UFLA)	1
Universidade Federal do Ceará (UFC)	1

Tabela 5.3 - Detalhes dos artigos brasileiros retirados da base de dados Web of Science. (Continua)

Título do Artigo	Autores	Instituição	Ano
Thermal treatments of precursors of molybdenum and vanadium oxides and the formed MoxVyOz phases active in the oxydehydration of glycerol	Possato, L.G. Cassinelli, W.H. Meyer, C.I. Garetto, T. Pulcinelli, S.H. Santilli, C.V. Martins, L.	UNESP	2017
Hydrothermal synthesis of Mo-V mixed oxides possessing several crystalline phases and their performance in the catalytic oxydehydration of glycerol to acrylic acid.	Rasteiro, L.F. Vieira, L.H. Possato, L.G. Pulcinelli, S.H. Santilli, C.V. Martins, L.	UNESP	2017
Gas phase glycerol oxidative dehydration over bifunctional V/H-zeolite catalysts with different zeolite topologies	Silva, T.Q. dos Santos, M.B. Santiago, A.A.C. Santana, D.O. Cruz, F.T. Andrade, H.M.C. Mascarenhas, A.J.S.	UFBA	2017
Oxidative dehydration reaction of glycerol into acrylic acid: A first-principles prediction of structural and thermodynamic parameters of a bifunctional catalyst	Lacerda, L.C.T. Pires, M.S. Corrêa, S. Oliveira, L.C.A. Ramalho, T.C.	UFLA	2016

Tabela 5.3 - Detalhes dos artigos brasileiros retirados da base de dados Web of Science. (Continuação)

Título do Artigo	Autores	Instituição	Ano
One-step oxidehydration of glycerol to acrylic acid using ETS-10-like vanadosilicates	Paula, A.S. Possato, L.G. Ratero, D.R. Contro, J. Adamsky, K.K Soares, R.R. Goobes, G. Martins, L. Nery, J.G.	UNESP	2016
The multiple benefits of glycerol conversion to acrolein and acrylic acid catalyzed by vanadium oxides supported on micro-mesoporous MFI zeolites	Possato, L.G. Chaves, T.F. Cassinelli, W.H. Pulcinelli, S.H. Santilli, C.V. Martins, L.	UNESP	2016
Effects of crystal size, acidity, and synthesis procedure on the catalytic performance of gallium and aluminum MFI zeolites in glycerol dehydration	Vieira, L.H. Carvalho, K.T.G. Gonzalez, E.A.U Pulcinelli, S.H. Santilli, C.V. Martins, L.	UNESP	2016
One-step glycerol oxidehydration to acrylic acid on multifunctional zeolite catalysts	Possato, L.G. Cassinelli, W.H. Garetto, T Pulcinelli, S.H Santilli, C.V. Martins, L.	UNESP	2015
MWW-type catalysts for gas phase glycerol dehydration to acrolein	Carriço, C.S. Cruz, F.T. Santos, M.B. Oliveira, D.S. Pastore, H.O. Andrade, H.M.C. Mascarenhas, A.J.S.	UFBA	2015

Tabela 5.3 - Detalhes dos artigos brasileiros retirados da base de dados Web of Science. (Continuação)

Título do Artigo	Autores	Instituição	Ano
Glycerol dehydration catalyzed by MWW zeolites and the changes in the catalyst deactivation caused by porosity modification	Rodrigues, M.V. Vignatti, C. Garetto, T. Pulcinelli, S.H. Santilli, C.V. Martins, L.	UNESP	2015
Efficiency of zeolite MCM-22 with different SiO2/Al2O3 molar ratios in gas phase glycerol dehydration to acrolein	Carriço, C.S. Cruz, F.T. Santos, M.B. Oliveira, D.S. Pastore, H.O. Andrade, H.M.C. Mascarenhas, A.J.S.	UFBA	2013
A comparative study of glycerol dehydration catalyzed by micro/mesoporous MFI zeolites	Possato, L.G. Diniz, R.N. Garetto, T. Pulcinelli, S.H. Santilli, C.V. Martins, L.	UNESP	2013
Catalytic conversion of glycerol to acrolein over modified molecular sieves: Activity and deactivation studies	Oliveira, A.S. Vasconcelos, S.J.S. de Souza, J.R. de Souza, F.F. Filho, J.M. Oliveira, A.C.	UFC	2011

(Conclusão)

Analisando a tabela, é possível notar que mais da metade das publicações têm o mesmo grupo de autores, e consequentemente a mesma instituição de origem. Os pesquisadores da Unesp, com financiamento da CNPq e da Fapesp, promovem em seus trabalhos diversos testes com catalisadores na produção de ácido acrílico e acroleína a partir do glicerol. Sua principal motivação é a busca por um material catalítico de alta conversão, atividade e seletividade em relação ao produto desejado. O melhor resultado obtido foi no artigo “One-step oxidehydration of glycerol to acrylic acid using ETS-10-like vanadosilicates”, onde os autores criaram um material microporoso de vanadosilicato e o utilizaram como catalisador heterogêneo, chegando a uma conversão de 93,6% e uma seletividade de ácido acrílico de 85,4%.

Já os trabalhos publicados pela UFBA são mais focados na otimização da conversão de glicerol a acroleína. Os autores procuraram analisar a eficiência de diversas zeólitas como catalisadores desse processo, e chegaram à conclusão de que o rendimento para acroleína é extremamente dependente das dimensões e características dos sítios ácidos catalíticos.

O grupo da UFLA testou a influência de vanádio e peróxido de hidrogênio em catalisadores de nióbio para conversões de glicerol em ácido acrílico em uma única etapa. Em seu trabalho, foi comprovado que ao se adicionar o vanádio ao meio catalítico, há uma diminuição nos custos energéticos do processo, enquanto os grupos peróxido aumentaram a capacidade de oxidação em relação ao catalisador puro.

Por fim, o artigo da UFC analisou 5 zeólitas diferentes a fim de entender o papel da acidez, estrutura e porosidade nos resultados do processo. Catalisadores com poros largos apresentaram melhores resultados, assim como os de maior acidez. As estruturas HY e Hβforam as de maior destaque. Em relação a atividade, foi determinado que a principal razão para a desativação é a deposição de coque, com uma menor influência do envenenamento dos sítios ácidos.

Estes 13 artigos representam aproximadamente 6,3% do total de trabalhos sobre o tema. O número é relativamente baixo para um país com alto potencial no desenvolvimento de tecnologias verdes, mas ainda assim é significativo em comparação com o resto do mundo. O Figura 5.3 a seguir apresenta o número de publicações por país, enquanto o Figura 5.4exibe estes mesmos dados de forma anual para os principais países autores. Os dados foram retirados em relação ao autor principal do artigo.

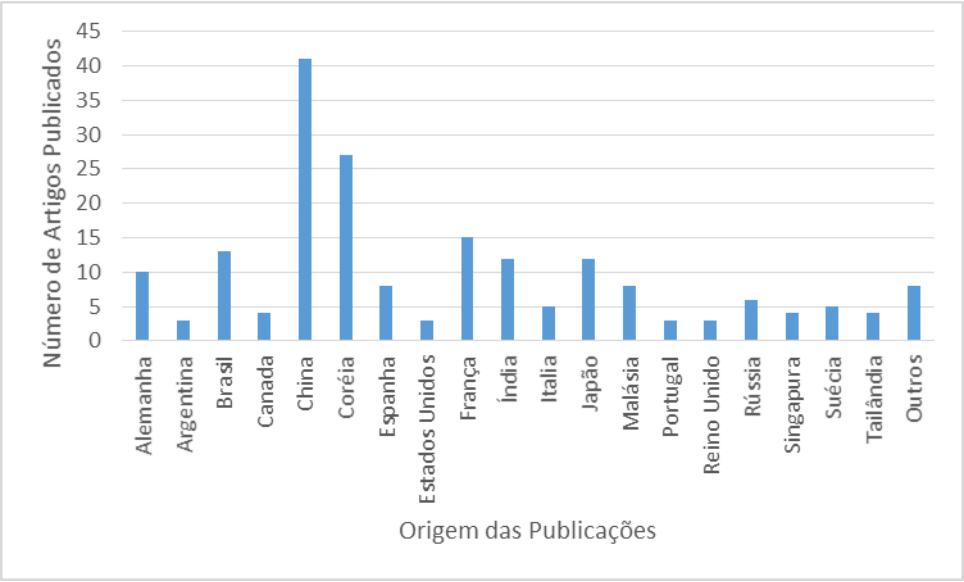


Figura 5.3 - Número de publicações por país a partir de dados obtidos pela base Web of Science.

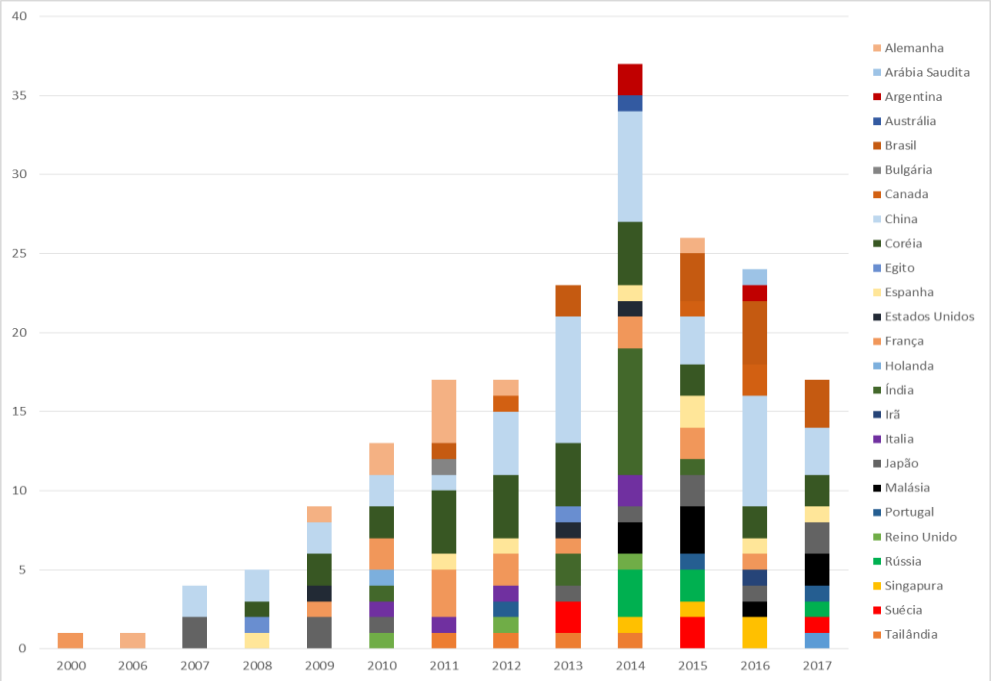


Figura 5.4 - Publicações anuais por país a partir de dados da base Web of Science.

Como pode ser percebido, as principais origens dos artigos são a China e a Coreia do Sul. Desde o começo da década passada, os países asiáticos têm apresentado grande participação na área de pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias, como pôde ser

comprovado nesse caso. Chamam atenção também, além do Brasil, a França e a Índia, sobretudo este último no ano de 2014 e Japão, com mais de dez publicações. Alemanha, Malásia, Espanha e Rússia complementam os países com mais de 5 publicações até o momento, demonstrando o superior poder tecnológico asiático e o esforço europeu para se manter entre os grandes participantes na área de processos verdes.

A seguir, a *Figura 5.5* mostra todas as instituições com quatro ou mais artigos publicados.

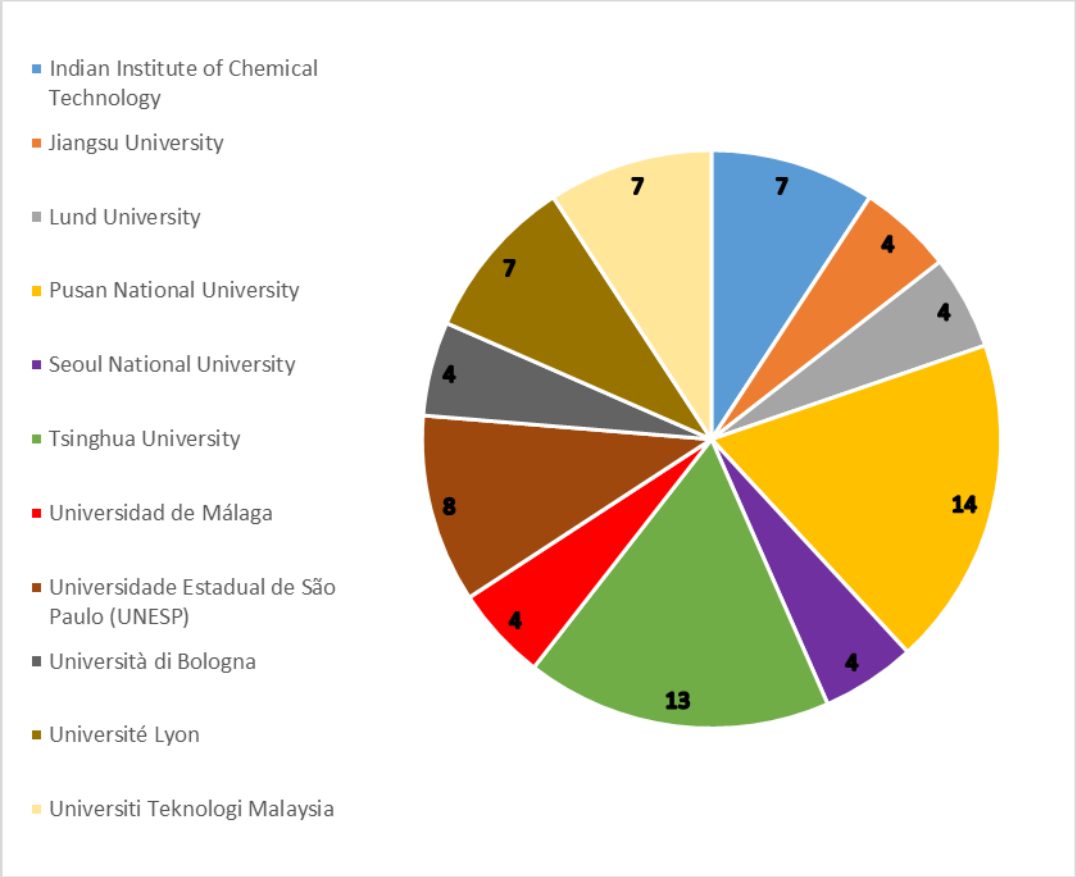


Figura 5.5 - Relação das principais instituições autoras, a partir da base de dados Web of Science.

Dentre as 11 instituições que corresponderam a condição dada, serão analisadas aquelas com mais de quatro publicações, com exceção da UNESP, já mencionada anteriormente. As que se encaixam nesse critério são a *Pusan National University*, a *Tsinghua University*, a *Indian Institute of Chemical Technology*, *Universiti Teknologi Malaysia*e e a *Université de Lyon.*

A *Pusan National University* é uma das dez universidades nacionais da Coréia do Sul, localizada em Pusan. Todos os seus estudos se basearam na produção do ácido 3-hidroxipropiônico com a utilização de enzimas de micro-organismos geneticamente modificados. Entre os 14 artigos publicados, nove escolheram a *Klebsiella pneumoniae* como fonte das enzimas, enquanto outros quatro preferiram a *Escherichia coli* e um a *Pseudomonas denitrificans*. Esta instituição é a que possui maior foco nas rotas bioquímicas de conversão de glicerol em intermediários do ácido acrílico.

A *Tsinghua University* é uma das mais renomadas universidades da China, destacando-se em pesquisas científicas e como formadora de talentos. A instituição abrange 11 ramos: ciências, engenharia, ciências humanas, direito, medicina, história, filosofia, economia, gestão, educação e arte. Em relação aos artigos publicados, 9 entre os 13 foram escritos pelo mesmo grupo de pesquisadores, com intuito de testar a eficiência de catalisadores no processo de conversão de glicerol em acroleína. O melhor resultado foi obtido ao utilizar óxido de tungstênio em um suporte de zircônio, com rendimento entre 62%-68%. Entre os quatro trabalhos restantes, chama atenção o de Liu *et al*. (2014), onde os autores focam na produção de ácido acrílico e escolhem utilizar um reator de dois leitos para o procedimento, obtendo um rendimento de 75%.

A *Indian Institute of Chemical Technology* é um centro de pesquisa de nível nacional localizado em Telangana, na Índia, focado em química básica e aplicada, bioquímica, bioinformática e engenharia química. Os sete artigos da instituição foram todos publicados em 2014 e pelo mesmo grupo de pesquisadores, com foco na comparação de catalisadores na conversão de glicerol a acroleína. O melhor resultado foi obtido na utilização de óxido de tungstênico em suporte de zircônio, com um rendimento de 82%.

A *Universiti Teknologi Malaysia* é uma universidade localizada na Malásia, que promove pesquisas intensivas na área de engenharia, ciência e tecnologia. Os sete trabalhos publicados pela instituição focam na conversão de glicerol a acroleína e no teste de catalisadores para este processo. Em dois destes artigos, são analisados os parâmetros da reação para dadas condições de operação, com o intuito realizar a modelagem cinética, termodinâmica e de transferência de massa do procedimento. Vale citar que a Malásia é um grande produtor de óleo de palma e biodiesel.

Por fim, a *Université de Lyon* é um centro de educação superior e pesquisa, composta por 16 instituições de ensino. Seus artigos promovem estudos para analisar a influência de propriedades ácido-base dos catalisadores no rendimento da conversão de glicerina a acroleína, além de buscar alternativas para o aumento do tempo de vida do meio catalítico. Entre os trabalhos que analisaram eficiência dos procedimentos, o de melhor resultado apresentou uma seletividade de 78% para a acroleína, para a conversão total de glicerol.

A fim de analisar as políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento de tecnologia verde nos países, a Figura 5.6 demonstra as principais instituições que financiaram os trabalhos coletados.

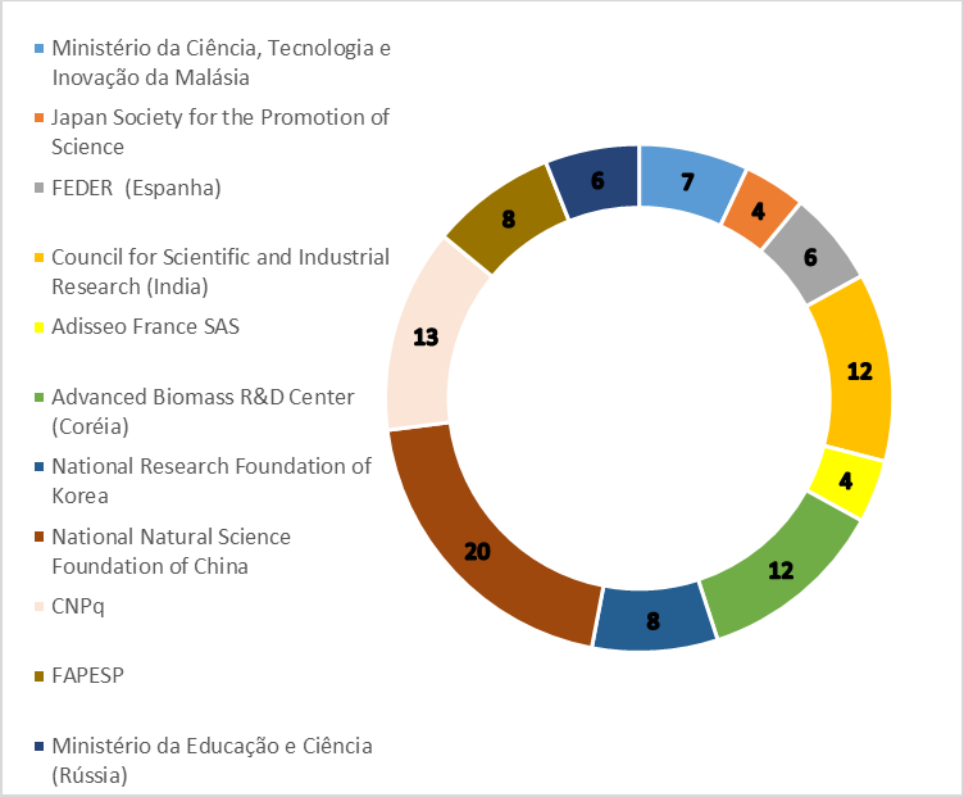


Figura 5.6 - Instituições financiadoras, coletadas da base de dados Web of Science.

Observando o gráfico, destaca-se a *National Natural Science Foundation of China (NSFC)*. Trata-se de uma organização fundada em 1986 sob aprovação do conselho estatal e afiliada ao mesmo, com a tarefa de gerir o fundo nacional para ciência. Desde sua criação, a NSFC introduziu um sistema de meritocracia rigoroso e objetivo para cumprir sua missão de

apoiar pesquisas básicas, procurar pesquisadores talentosos, desenvolver cooperação internacional e promover o desenvolvimento socioeconômico. Entre os artigos chineses publicados, aproximadamente a metade citou a instituição como responsável por grande parte do apoio financeiro recebido.

A Coréia também não desaponta nesse aspecto. A *Advanced Biomass R&D Center* (ABC) é uma empresa especializada em pesquisas de tecnologias de biomassa para substituir a energia fóssil. A ABC participa do *Global Frontier Project*, um programa da *National Research Foundation of Korea (NRF)*, onde ela recebe fundos do governo para distribuir entre universidades parceiras, de modo a apoiar o desenvolvimento de processos verdes. Já a NRF é uma instituição ligada ao governo, que trabalha através de comissões deste, com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema de financiamento nacional, cobrindo todas as áreas acadêmicas. A maioria dos artigos coreanos receberam apoio de pelo menos uma destas instituições.

Entre os países com um número menos expressivo de publicações, o Brasil se destaca com dois grandes representantes. O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, ou CNPq, é um órgão ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, com o objetivo de incentivar pesquisas e contribuir para o desenvolvimento tecnológico do país. Já a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado São Paulo (Fapesp) é uma instituição pública afiliada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do governo do estado de São Paulo. Sua função é a mesma do CNPq, mas se restringe apenas ao território paulista. Os 13 artigos brasileiros foram financiados pelo CNPq, e todos os oito da UNESP receberam apoio da FAPESP, indicando a grande atuação do governo brasileiro no incentivo ao desenvolvimento de processos verdes.

Por fim, deve-se também mencionar a Índia como grande incentivadora de tecnologias que favorecem o meio ambiente através do *Council of Scientific and Industrial Research*, ou CSIR. O CSIR é uma instituição autônoma fundada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia da Índia, e tem como objetivo apoiar pesquisas e inovações no país. Isto é realizado através de doações de bolsas de pesquisa para diversas universidades do país, procurando incentivar o desenvolvimento tecnológico das instituições de ensino e o incentivo a novos talentos. Todos os artigos de origem indiana foram financiados pelo CSIR.

Com o objetivo de estudar a atuação dos incentivos públicos sob as pesquisas de tecnologias de conversão de glicerol à ácido acrílico, foi também analisada a quantidade de trabalhos financiadas por instituições governamentais, de maneira direta ou indireta. O resultado se encontra na Figura 5.7:

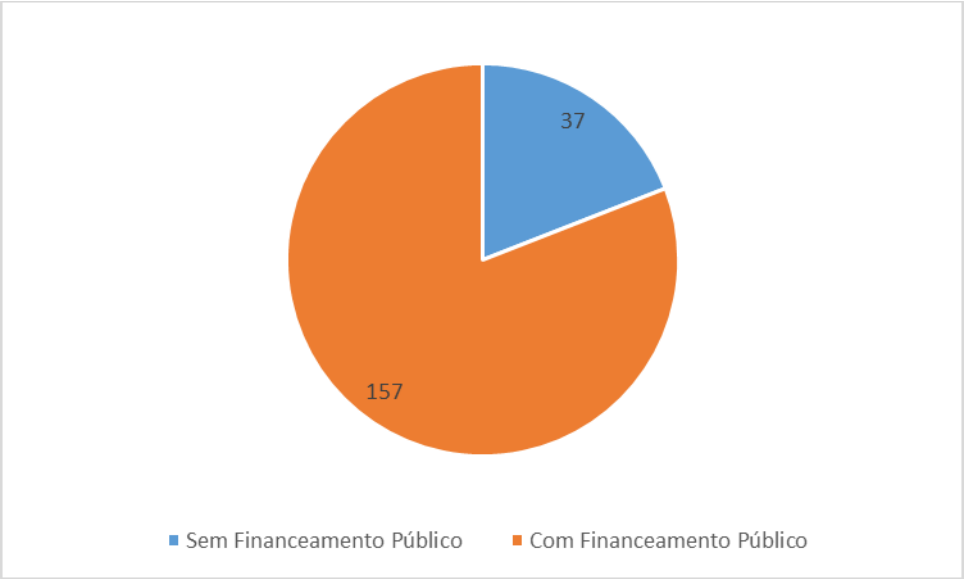


Figura 5.7 - Quantidade de artigos com financiamento público, a partir de dados obtidos da base *Web of Science*.

Para a parte intitulada "com financiamento público", foram consideradas empresas privadas que recebem dinheiro público para a distribuição em forma de bolsas de pesquisa e também instituições autônomas que foram criadas pelo governo e atuam sob sua jurisdição. Já a parte intitulada "sem financiamento público" engloba artigos não financiados ou financiados por empresas privadas, sem interferência governamental.

Pode-se perceber que mais de 80% dos trabalhos receberam algum tipo de apoio público, indicando uma alta dependência de recursos governamentais para conduzir pesquisas na área. Isto constitui um dos principais componentes do *regulatory push/pull* (bolsas de pesquisa), demonstrando que esse tipo de tecnologia se encaixa no modelo dinâmico de eco-inovação citado anteriormente.

Realizando uma análise mais profunda dos artigos, pode-se chegar a dados mais específicos sobre os processos citados e, desse modo, observar qual parte da tecnologia tem o

maior foco dos pesquisadores da área. A Figura 5.8 retrata os principais procedimentos estudados pelos autores:

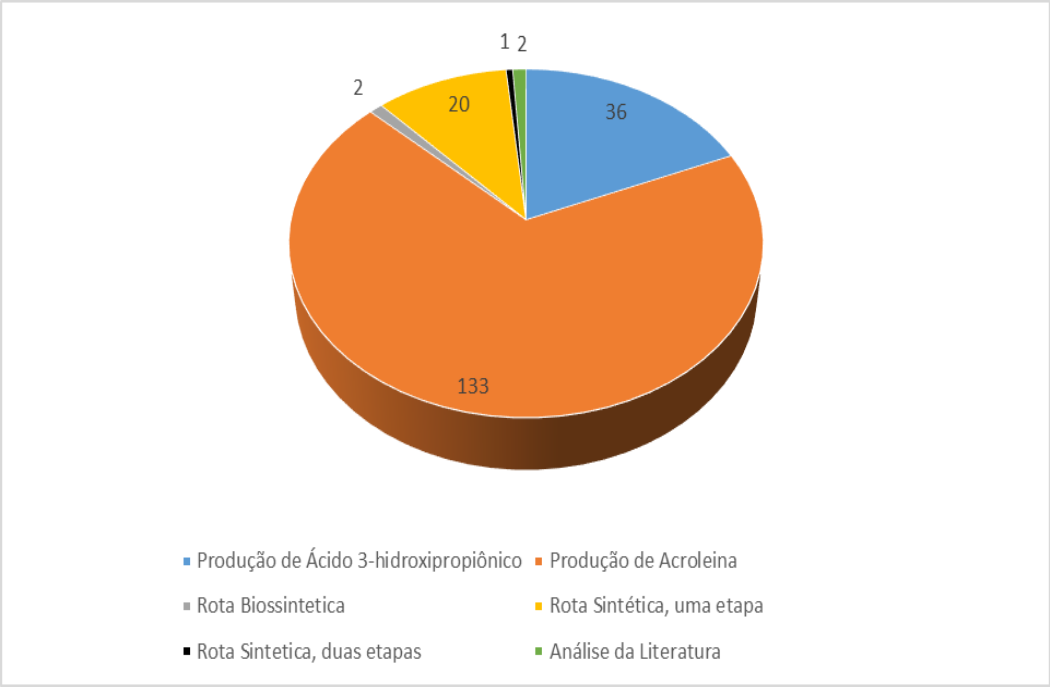


Figura 5.8 - Principais tipos de processos estudados nos artigos, dados obtidos a partir da base *Web of Science.*

As rotas sintéticas definem os processos de conversão direta de glicerol a ácido acrílico, utilizando acroleína como intermediário, enquanto as biossintéticas representam aquelas que integram rotas fermentativas e sintéticas. O gráfico ilustra o que foi dito no começo do capítulo: o número de artigos que cobrem esta conversão em uma etapa é muito pequeno.

Isto acontece devido ao baixo rendimento encontrado para procedimentos desse tipo. Por isso, atualmente, prefere-se focar e desenvolver a produção dos intermediários e promover a operação em duas etapas. Ainda assim, continuam existindo estudos que insistem no desenvolvimento de um processo direto com resultados satisfatório e competitivos, uma vez que este método permite uma economia nos gastos operacionais e nos investimentos, com um menor número de equipamentos e menor uso de utilidades. O maior desafio é encontrar um catalisador que apresente uma alta atividade e seletividade em relação ao composto desejado e um longo tempo de vida.

Por fim, a Figura 5.9 apresenta o foco de estudo de cada artigo, ou seja, aquilo que se pretende melhorar para dado processo.

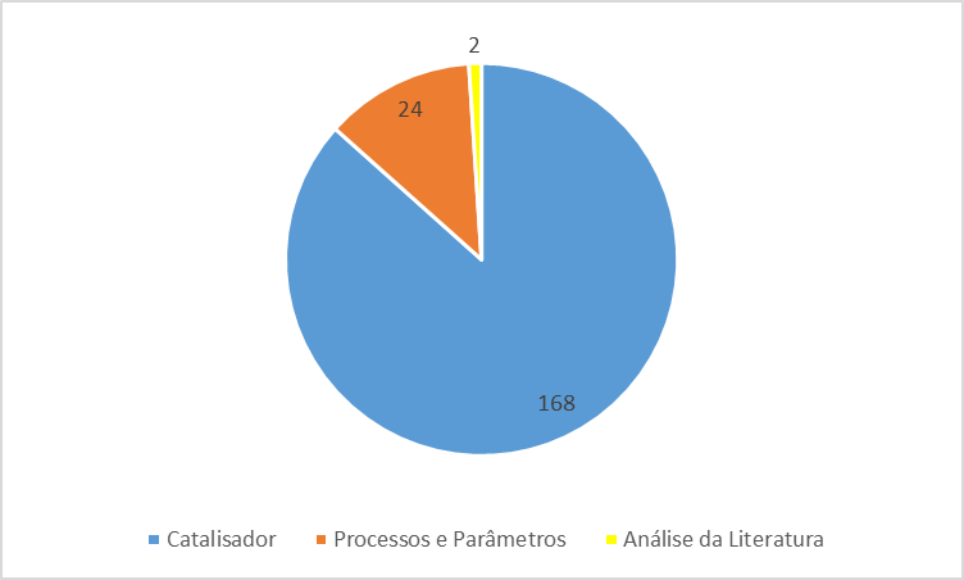


Figura 5.9 - Foco dos artigos, com dados obtidos a partir do *Web of Science*.

Como citado anteriormente, a busca pelo catalisador ideal prevalece entre os trabalhos publicados sobre o tema. Para o caso com apenas uma etapa, a dificuldade se dá pelo fato do meio catalítico ser composto por materiais que sejam capazes de catalisar tanto a produção de acroleína quanto de ácido acrílico. Com isso em mente, o grande problema é determinar os parâmetros operacionais ideais, uma vez que as temperaturas de maior conversão das duas reações são diferentes. Isto significa que para aumentar o rendimento de uma, diminui-se o da outra. Desse modo, o desafio dos pesquisadores é encontrar um modo de manter uma alta conversão em ambas de maneira estável e contínua.

Uma menor e considerável parte dos artigos preferiu se voltar para o processo em si. Se encaixam nesse quesito trabalhos que:

- Foram pioneiros ao sugerir um procedimento novo.
- Estudaram os efeitos dos parâmetros operacionais sobre as reações.
- Definiram modelos cinéticos para o processo em determinada condição.
- Promoveram alterações no meio reacional que não envolveram o catalisador.

- Realizaram a execução e comparação de resultados entre dois ou mais processos distintos.

Os outros dois trabalhos restantes se encaixaram na categoria “análise da literatura”. Como o próprio nome esclarece, estes artigos fizeram uma busca na literatura sobre o tema e expuseram todos os dados encontrados, de forma a explicar, comparar e opinar sobre cada publicação encontrada.

A busca de artigos forneceu dados importantes sobre o desenvolvimento de processos focados na conversão de glicerol em ácido acrílico. Porém, para evitar conclusões precipitadas, é necessário analisar o tema sob outro aspecto. Desse modo, o tópico a seguir disponibilizará os resultados obtidos a partir da pesquisa de patentes, com o intuito de promover uma coleta de dados mais completa e, consequentemente, fornecer uma análise mais completa sobre o tema.

5.2.2 Etapa A – Base de Patentes

Os resultados da pesquisa de patentes apresentaram algumas semelhanças e diferenças importantes em relação ao obtido na base de artigos. Isto já pode ser verificado ao se analisar a evolução anual do número de depósitos, demonstrado na Figura 5.10.

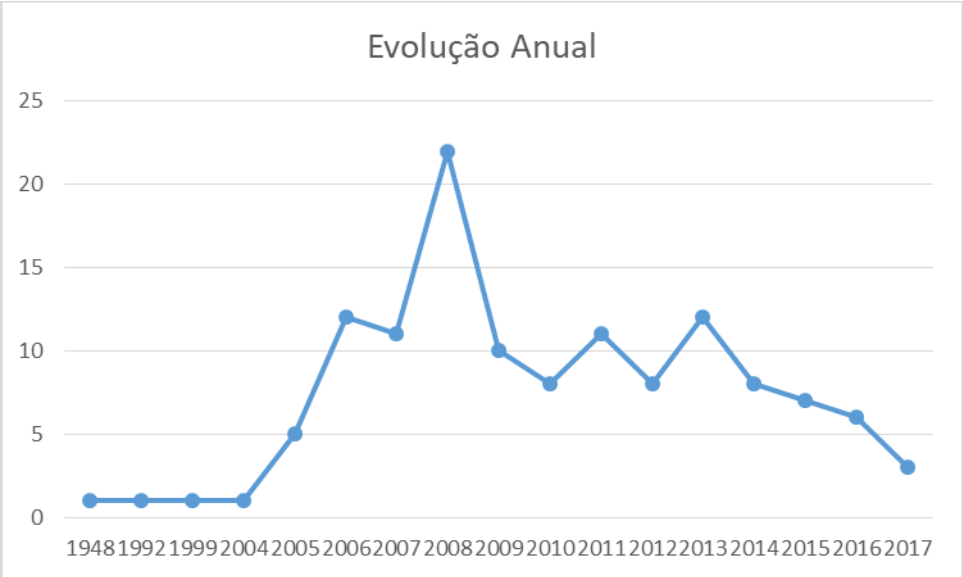


Figura 5.10 - Evolução anual do depósito de patentes, com dados obtidos a partir da base *Derwent Innovations Index.*

Assim como no caso dos artigos, o crescimento de interesse sobre o tema se deu a partir de 2005, em conjunto com o aumento de foco na produção de biodiesel. De maneira similar, o tópico se encontra em queda nos últimos anos, com uma diferença: o pico se deu em 2008, e não em 2014, como no resultado da outra base de dados. Vale ressaltar que os anos de 2016 e 2017, principalmente, podem ainda ter um aumento no número de depósitos, uma vez que patentes requisitadas durante esse período passam por um período de sigilo, que é de 18 meses, e existe um tempo ainda de demora para a indexação nas bases documentais.

Diferentemente da base de artigos, a participação brasileira é baixa em relação ao número de patentes: apenas dois pedidos. A primeira delas, em 2009, foi de autoria da Petrobras e focava na produção de acroleína e aldeídos de baixo peso molecular, através de um catalisador a base de alumínio e sílica coloidal. A segunda, no ano de 2014, foi depositada pela Universidade Paulista Júlio de Mesquita, e demonstrou maior interesse no processo em uma etapa, sugerindo algumas alterações nos parâmetros de reação e a injeção de glicerol por meio de gás de arraste.

Em relação aos países, a distribuição de depósitos é indicada pelo Figura 5.11. Para este tópico, as patentes foram classificadas de acordo com o país de prioridade, ou seja, o local onde foi requisitada a patente de prioridade.

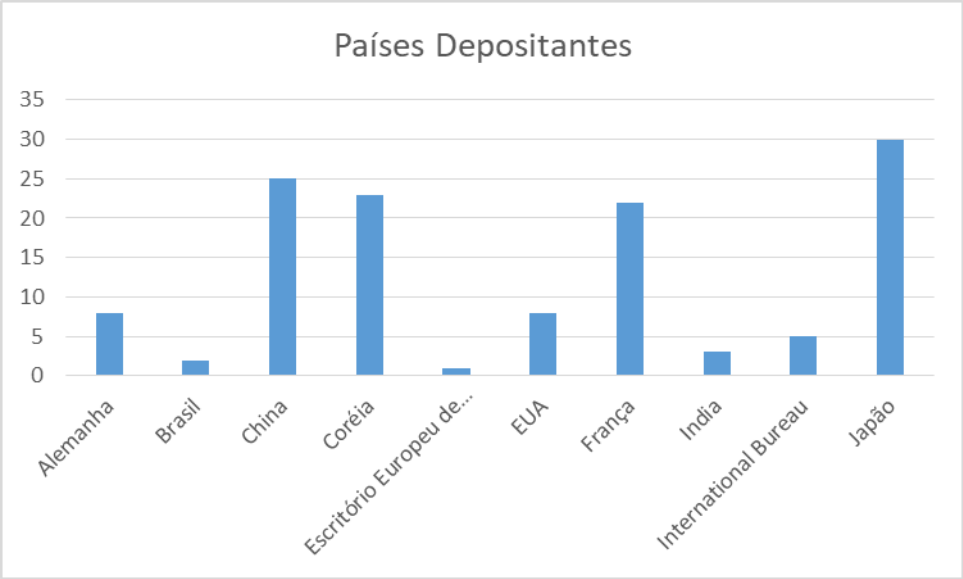


Figura 5.11 - Países depositantes de patentes, segundo a base de dados *Derwent Innovations Index*.

Apesar de China e Coreia continuarem com alta participação, como no caso dos artigos, estes países receberam a forte concorrência de duas outras potências: o Japão e a França. O Japão é atualmente o líder de depósitos sobre o tema, com 30 pedidos. A França aparece neste seleto grupo devido a Arkema, empresa privada líder de depósitos de patentes relacionadas ao procedimento estudado. Os Estados Unidos e a Alemanha também estão presentes como potenciais interessados nesta tecnologia, mas em proporção muito menor quando comparados aos quatro líderes.

Já a participação anual de cada país pode ser observada na Figura 5.12:

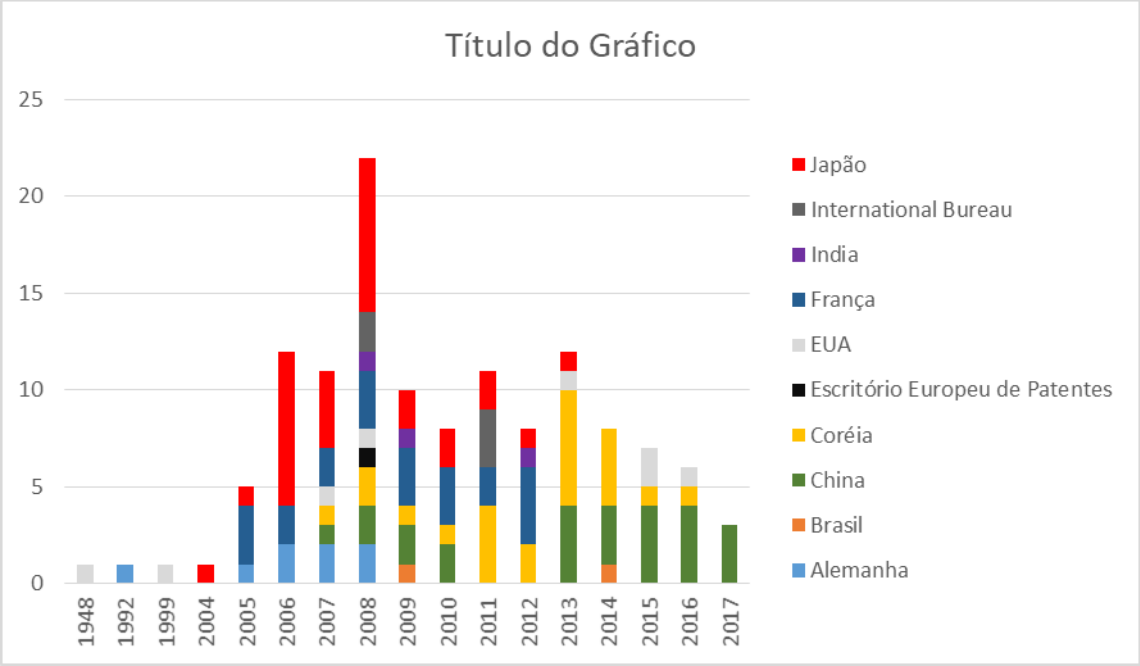


Figura 5.12 - Evolução anual de cada país, a partir da base dados *Derwent Innovation Index*.

O Japão se apresentou como principal força desde o começo do crescimento da produção de biodiesel. Porém, assim como no caso da França e da Alemanha, perdeu força nos últimos anos, e foi ultrapassado pelos países asiáticos que mais investem em pesquisas e estudos tecnológicos: a Coreia e a China. Os Estados Unidos, apesar de não participarem fortemente, possuem uma boa regularidade em seus depósitos, contribuindo inclusive com patentes recentes.

Por conta da força do mercado brasileiro na área de biocombustíveis, muitas patentes foram depositadas no país de forma a proteger suas invenções. A Figura 5.13 demonstra os países de prioridade que estenderam suas patentes ao Brasil:

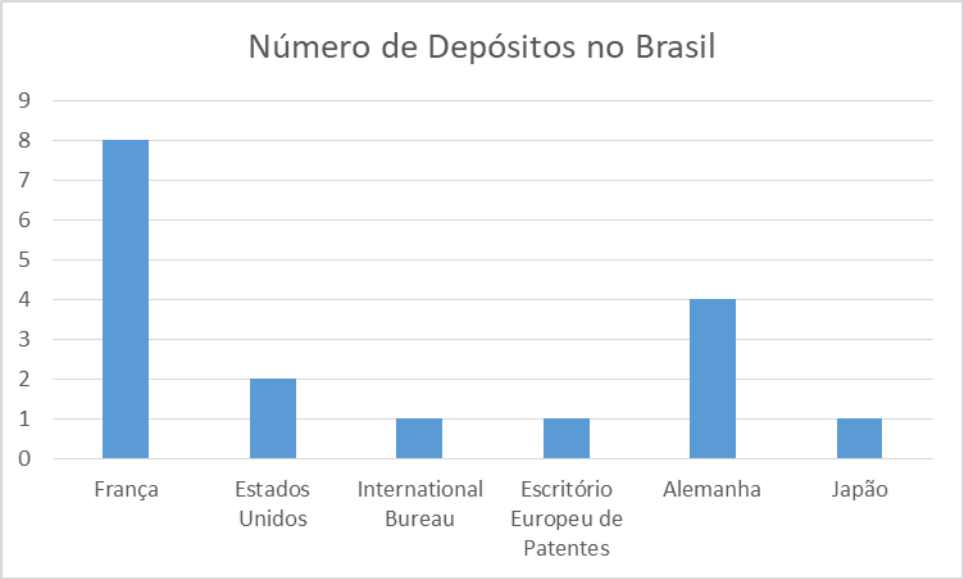


Figura 5.13 - Patentes depositadas no Brasil, a partir da base de dados *Derwent Innovation Index*.

Pode-se perceber uma maior preocupação dos países europeus em relação ao potencial brasileiro. Já os países asiáticos se limitaram a proteger suas patentes apenas no próprio continente, com algumas pequenas exceções. O Japão executou o depósito de algumas de suas invenções em outros países, principalmente nos Estados Unidos, mas depositou também uma patente no Brasil. Outro detalhe que deve ser mencionado é o fato das patentes depositadas em território brasileiro apresentarem anos de prioridade mais antigos, com o mais recente sendo de 2010. É possível que as patentes mais recentes estejam na fila de espera para sua validação no país, mas isto também pode significar uma queda de interesse na tecnologia, com as empresas concluindo que não é necessária uma proteção tão abrangente à sua invenção.

A Figura 5.14 apresenta as principais instituições depositantes. No gráfico estão presentes apenas aquelas com mais de cinco patentes depositadas.

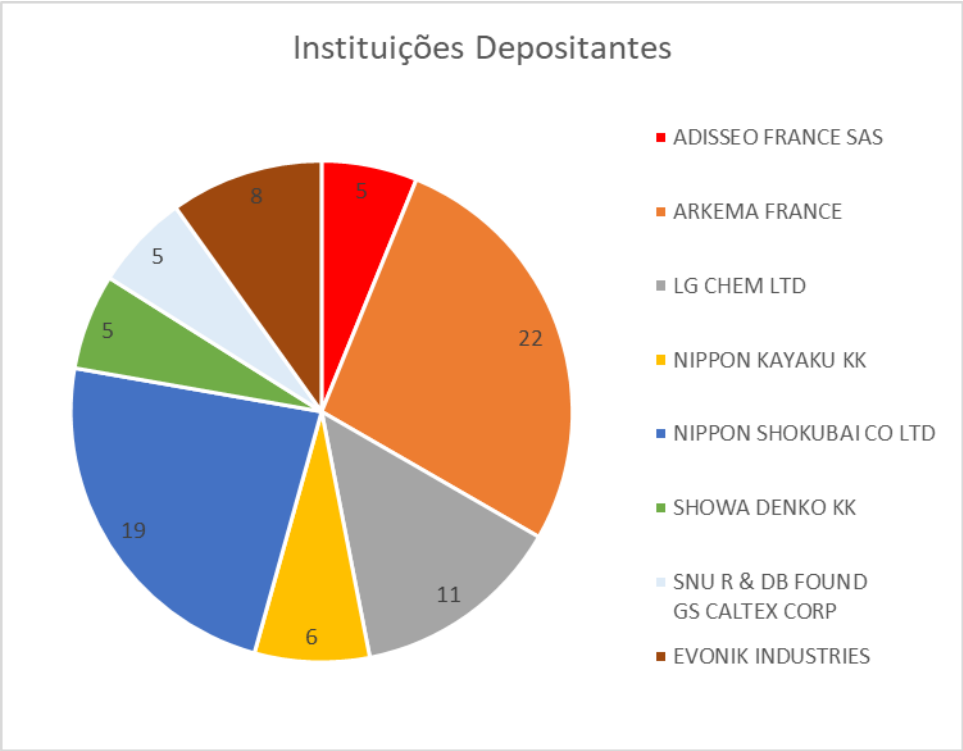


Figura 5.14 - Principais instituições depositantes, segundo a base de dados *Derwent Innovation Index*.

Como anteriormente mencionado, a Arkema é a razão do grande envolvimento da França em relação a esta tecnologia, liderando as principais instituições depositárias. Sua principal concorrente é a Nippon Shokubai, além da alta participação da LG Chem e da Evonik Industries. Estas quatro empresas serão analisadas a seguir:

A Arkema é uma empresa francesa e grande produtora de ácido acrílico e derivados, especializada no projeto de materiais e soluções inovadoras. A empresa é extremamente adepta ao uso de renováveis e promove o investimento em grande escala em biomateriais, novas energias e gestão de recursos hídricos. Graças a este lema de sustentabilidade da empresa, a tecnologia de conversão de glicerol a ácido acrílico foi de grande interesse, principalmente por ser uma possibilidade de competir com a rota fóssil convencional. A companhia fez uma tentativa em 2010 de implementar esta inovação tecnológica no mercado, mas foi obrigada a desistir após os testes em escala piloto. Segundo os diretores responsáveis, o preço da glicerina não diminuiu o quanto se era esperado, o que impossibilitou a viabilidade da planta (Tullo, 2013). As patentes depositadas focam o processo em duas etapas, com grande destaque para a

produção de acroleína. Os melhores resultados foram obtidos em 2009, com catalisadores heteropoliácidos e um rendimento de mais de 90%.

A Nippon Shokubai é uma empresa global de produtos químicos, de origem japonesa, focada na produção de ácido acrílico e SAP. Logicamente, um novo método de produção chamou a atenção da companhia, que investiu fortemente na tecnologia, tornando-a a principal concorrente da Arkema em relação a esta tecnologia. Em relação às suas patentes, houve uma preferência pelo método em duas etapas, com foco na produção de acroleína, assim como sua rival. Em uma de suas patentes mais recentes, em 2010, utilizou catalisadores a base de fosfatos e obteve rendimentos de até 60% para a produção de acroleína.

A LG Chem é empresa que lidera o mercado de produtos químicos na Coreia. Inicialmente, seu foco era em materiais e químicos básicos, e aos poucos se estendeu para energia, materiais eletrônicos e, finalmente, tecnologias de proteção ao ambiente. Entre as principais instituições depositantes, é aquela mais ativa nos últimos anos. Seguindo o fluxo das outras duas principais companhias, também investiu no processo em duas etapas, e teve sua última patente depositada em 2015. Nela, sugeriu um novo processo com três reatores, onde o primeiro seria responsável pela conversão de glicerol a acroleína, e os outros dois promoveriam a etapa oxidativa do procedimento.

Por fim, a Evonik Industries é uma empresa alemã, também grande produtora de ácido acrílico, que atua na produção de químicos de especialidade. Entre os seus segmentos de trabalho, destaca-se o foco na eficiência de recursos e na performance de materiais, sempre com o viés de sustentabilidade. A companhia possui as patentes mais antigas, com a mais recente depositada em 2008, com preferência para o processo em duas etapas. Seu primeiro depósito foi em 1992, detalhando a produção de acroleína, uma inovação na época, sendo uma das pioneiras nesta tecnologia. Sua última patente, de 2008, foca no processo em meio aquoso, com recirculação da fase pobre em acroleína, de forma a maximizar o rendimento geral.

Como demonstrado pelos depósitos realizados pelas principais empresas, existe um interesse muito maior no procedimento em duas etapas, sobretudo na conversão de glicerol à acroleína. Isto também pode ser observado na Figura 5.15:

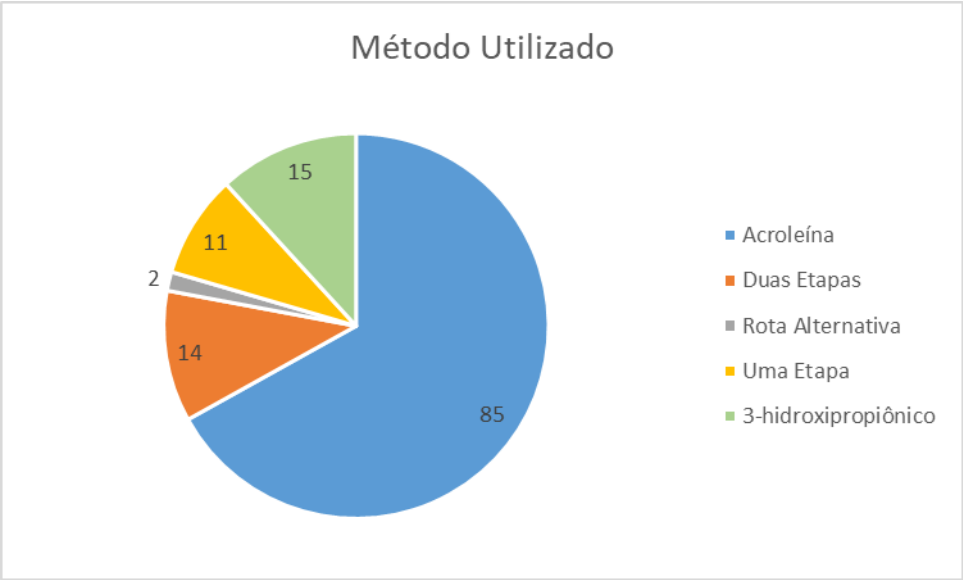


Figura 5.15 - Rotas escolhidas pelas patentes, a partir de dados obtidos na *Derwent Innovation Index*.

A maioria das patentes coloca a atenção na produção de acroleína, que é a etapa desafiadora do procedimento em duas etapas. Apesar disso, alguns autores preferiram focar no processo em duas etapas como um todo, depósitos estes representados pela legenda "Duas Etapas". O processo através de fermentação, possuindo o ácido 3-hidroxipropiônico como intermediário, também foi estudado, sendo responsável por mais depósitos do que a alternativa em etapa única. Isto demonstra uma descrença no método de conversão direta em um único reator, principalmente por conta dos parâmetros de operação não ótimos.

Em termos de foco, os resultados foram diferentes da base de artigos, como pode ser observado na Figura 5.16.

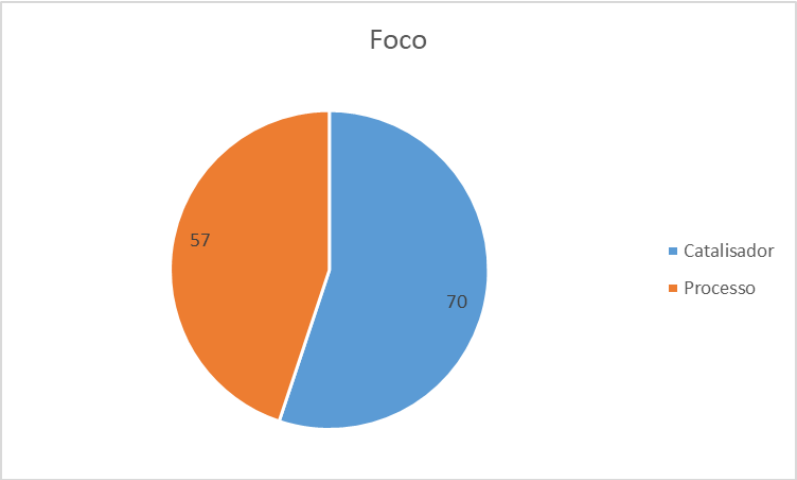


Figura 5.16 - Foco das patentes, a partir da base de dados *Derwent Innovation Index.*

Apesar da procura por catalisadores ideais continuar sendo o principal foco, há um maior equilíbrio em relação às patentes que buscam melhorar o processo em si, seja através da alteração dos parâmetros de operação, ou pela adição de novas correntes ao meio reativo. A diferença em relação aos artigos se dá pelas diferentes abordagens de instituições públicas e empresas privadas.

No caso de patentes há uma maior participação de empresas privadas, que investem elas mesmas no desenvolvimento de tecnologia própria e buscam se apropriar de propriedade industrial, diferentemente da publicação de artigos, onde as instituições públicas, financiadas pelo governo, são muito mais participantes.

Com os resultados obtidos pela busca em base de artigos e patentes, pode-se ter uma visão melhor das abordagens passadas em relação a tecnologia em questão. Desse modo, é possível realizar uma análise para verificar sua viabilidade futura e, consequentemente, indicar ações que favoreçam o sucesso desta inovação, tendo em vista os desafios que possam ser encontrados. Para isso, a análise SWOT foi realizada, com a ajuda de especialistas, e os resultados serão apresentados no tópico a seguir.

5.2.3 Dinâmica de Inovação

O processo de criação do desconhecido, por parte de um grupo ou de um indivíduo, se dá através de diversas fases complexas envolvendo intensas discussões e avaliações de ideias. O procedimento em si é considerado caótico e conta com participação de toda a cadeia produtiva (LEITE, 2008). A estratégia para lidar com uma inovação difere entre as empresas, e é dependente de fatores externos, de modo que cada uma consiga analisar as vantagens e desvantagens da nova proposta e decidam se o risco de investimento é aceitável. Uma ideia percorre um longo caminho até ser considerada, de fato, uma inovação. Primeiramente, ela precisa passar por estágios de avaliações e testes para que sua viabilidade seja comprovada. Para isso, os responsáveis se utilizam de um chamado modelo dinâmico: um processo que maximiza o potencial de uma ideia pequena e a transforma em uma possível tecnologia inovativa. Existe, hoje, uma grande variedade de modelos existentes, cada uma com suas características próprias e adotadas por diferentes empresas.

A origem de uma ideia com potencial inovativo pode ocorrer a partir de uma demanda de mercado (*market-pull*) ou de uma nova oferta de conhecimento (*science-push*) (LEITE, 2008). Este último era utilizado nos modelos dinâmicos mais antigos, como descrito no trabalho de Bush (1945). O autor cita a existência de estágios de pesquisas básicas, pesquisas aplicadas, desenvolvimento experimental, até chegar a inovação. Com o tempo, a força de mercado também foi reconhecida, e os autores passaram a formular suas teorias baseadas em ambos os fatores (SCHMOCH, 2007).

O modelo de Kline e Rosenberg, um dos principais aceitos e difundidos atualmente, é um exemplo de *market-pull*. Ele é composto por um esquema não linear de estágios, com a presença de feedbacks e ramificações saindo e entrando na cadeia principal (SCHMOCH, 2007). A Figura 5.17 demonstra como funciona o método em questão:

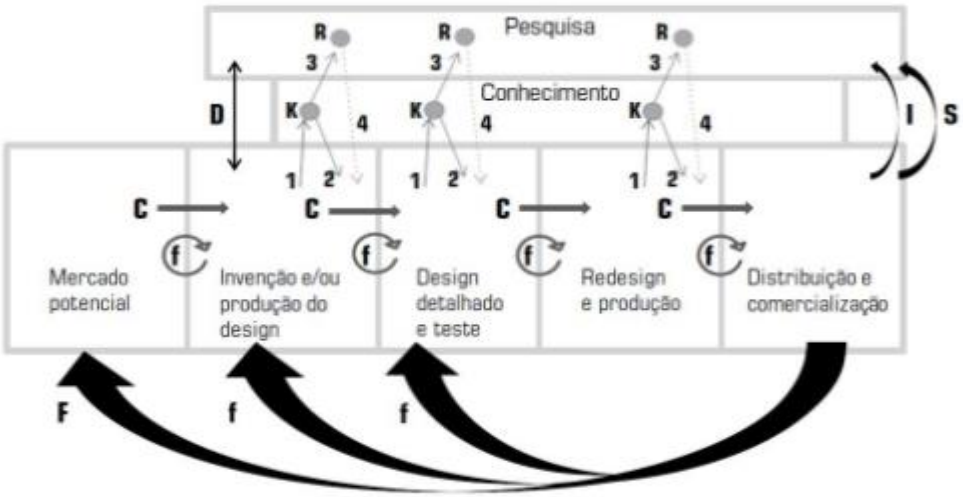


Figura 5.17 - Modelo de Kline e Rosenberg (Fonte: FORNARI *et al.*, 2014)

As etapas deste modelo não apresentam limites rígidos, o que permite uma permeabilidade entre elas. As setas C acompanham o sentido típico do processo inovativo, enquanto as setas F representam as realimentações que promovem a maior interação entre os estágios existentes. As circulares representam o feedback entre elementos adjacentes da cadeia, enquanto as mais grossas interligam o produto final com etapas iniciais, de modo a buscar o aperfeiçoamento do mesmo com os resultados obtidos após a sua comercialização (LEITE, 2008).

As setas numeradas indicam a interação entre a cadeia com conhecimento e pesquisa. Cada etapa se apoia no conhecimento existente em dado momento, e avalia se este é suficiente para prover dados, teorias e conceitos. Caso a resposta seja positiva, o conhecimento requerido retorna à etapa, e a cadeia continua; do contrário, a área de pesquisa é acionada, e quando a informação necessária é obtida, ela é transmitida para o setor em questão (LEITE, 2008). Ao mesmo tempo, a seta D representa a interação da pesquisa com o estágio de invenção e/ou produção de *design*, propondo soluções para os problemas no andamento do projeto, enquanto I e S demonstram o acesso daquela área à infraestrutura física disponível e informações externas, obtidas por meio da distribuição e comercialização (FORNARI *et al.*, 2014).

Um sistema inovativo mais atual é o de Hansen e Birkinshaw (2007), embora se concentre mais na fase embrionária da P&D, geração e seleção de ideias. Diferente de Kline e Rosenberg, o modelo é linear e possui três etapas: geração, conversão e difusão de ideias,

subdivididas em seis fases encadeadas. Os autores aconselham as empresas a adotarem uma visão expandida da cadeia, com o intuito de analisar os pontos fortes e fracos do processo em si e identificar quais melhorias devem ser realizadas e em qual setor as mesmas devem ser aplicadas (SILVA *et al.*, 2013). A Figura 5.18 mostra a sequência de atividades descritas pelos autores:

Figura 5.18 - Modelo de Hansen e Birkinshaw (Fonte: SILVA *et al.*, 2013)

A fase de geração de ideias envolve o trabalho interno das unidades da empresa que, em seguida, promovem uma integração entre si e, por fim, contam com uma colaboração externa (clientes, instituições de pesquisa, entre outros). A segunda etapa promove a seleção das melhores ideias e avalia sua viabilidade técnica e econômica ao analisar fatores de produção e de risco, além do potencial comercial. Por último, a difusão da ideia considera que as informações obtidas são satisfatórias e ela é então compartilhada dentro da empresa e com potenciais parceiros, de modo a atribuir maior foco e a atrair maiores investimentos para este novo produto (JUNIOR *et al.*, 2014).

Outro modelo definido como base para diversos sistemas de gestões, como o da Petrobras, é o de Clark e Wheelwright (LEITE, 2008). Os autores apresentam a imagem de um funil para demonstrar o processo de inovação dentro da empresa. O método se baseia em um "filtro de ideias", com diferentes gargalos: na entrada, uma quantidade elevada de ideias é fornecida, que passam por uma série de restrições, representadas pelos gargalos cada vez menores (SILVA *et al.*, 2013). A Figura 5.19 demonstra o conceito gráfico do procedimento:

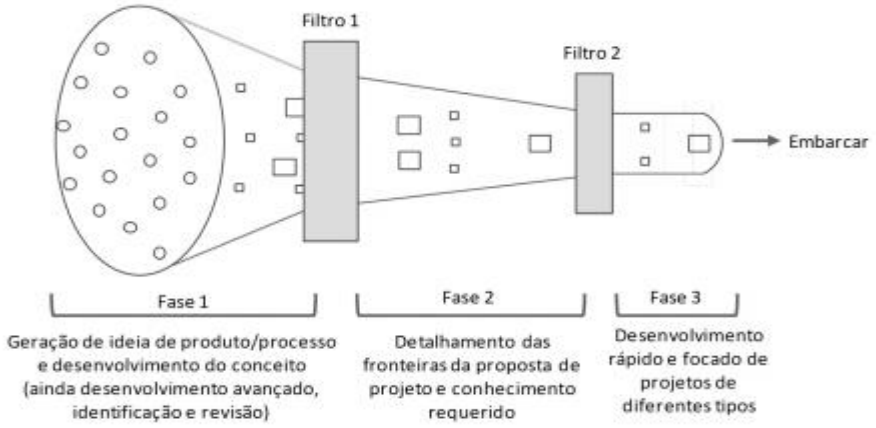


Figura 5.19 - Funil de ideias de Clark e Wheelwright (Fonte: SILVA *et al.*, 2013)

Este modelo gráfico consegue transmitir o fato de que, dentre todas as possibilidades existentes para a criação de uma inovação, poucas possuem a força e a viabilidade para se tornarem uma realidade dentro do cenário das empresas (SILVA *et al.*, 2013). O método de Clark e Wheelwright fornece uma maior descrição do papel gerencial durante o processo inovativo, dando menor foco às atividades internas que ocorrem no mesmo (LEITE, 2008).

Por fim, surge o modelo denominado eco-inovação, ou EI. Este método foi retirado de um projeto de estudo financiado pela União Europeia chamado "Measuring Eco-Innovation" e o seu diferencial é analisar os impactos das legislações ambientais sobre o processo de inovação (HORBACH *et al.*, 2011). Desse modo, criou-se um novo termo: *regulatory push/pull*, que se soma a *market-pull* e *science-push* como determinantes da EI e fonte de motivação para a criação de novas ideais. Isto é demonstrado na Figura 5.20:

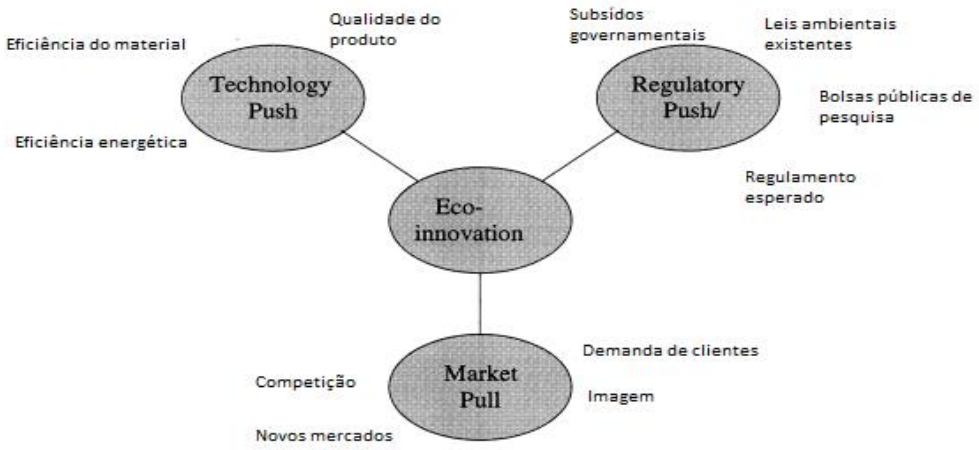


Figura 5.20 - Determinantes da Eco-inovação (Fonte: RENNINGS, 1999)

O *regulatory push/pull* é determinado pelas políticas ambientais adotadas, tanto internamente quanto em escala global. Este fator aparece na forma de restrições diretas e indiretas ao meio produtivo das empresas, de multas pela emissão de poluentes acima de um valor definido e até mesmo de subsídios oferecidos pelo governo (SINGH, 2017). Consequentemente, estas legislações provocaram um aumento intenso nos estudos verdes, com o objetivo de buscar novas tecnologias com potencial competitivo em relação aos métodos e produtos convencionais, e que ao mesmo tempo se encaixasse dentro das leis em vigor.

A influência de cada determinante depende da inovação em si, variando de acordo com o governo, o mercado e o nível de desenvolvimento econômico e tecnológico do país em questão. É comum também que ocorra uma combinação desses fatores como motivação da EI. No caso de um novo produto, percebe-se uma maior participação do *market-pull*, enquanto no caso de uma inovação de processo, o *regulatory pull/push* é mais ativo (RENNINGS, 1999).

Huppes *et al.* (2008) elaboraram um possível modelo gráfico para a EI: ele é composto por quatro etapas principais em cadeia e é aberto para a participação externa, como pode ser observado na Figura 5.21:

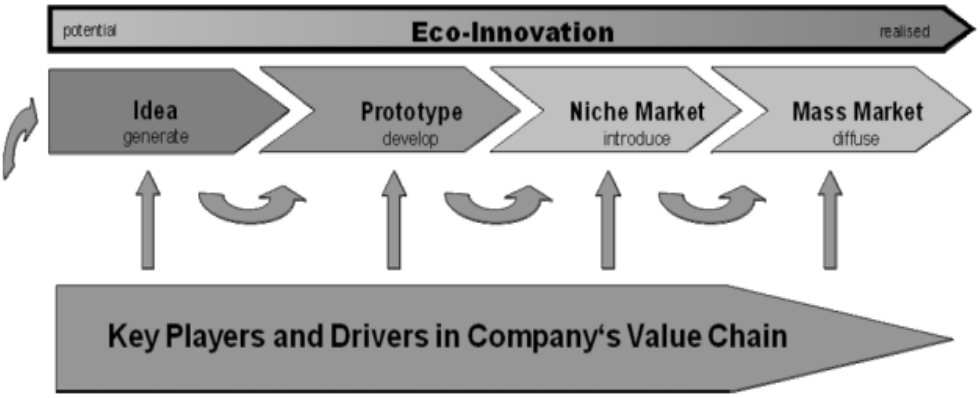


Figura 5.21 - Modelo de Eco-Inovação (HUPPES *et al.*, 2008)

O processo sugerido por Huppes *et al.* (2008) tem forte influência da cadeia de valor de Hansen e Birkinshaw, principalmente pela linearidade e pela atuação de parceiros em cada atividade interna. A primeira etapa de ambas é bem similar e aderente, com a geração de ideias com potenciais de inovação. Entretanto o modelo de Huppes *et al* prossegue nas etapas mais maduras da P&D, em que a fase de desenvolvimento de protótipos busca analisar e obter dados sobre esta nova tecnologia através de testes e, consequentemente, avaliar sua viabilidade no cenário da empresa. Se a resposta for positiva, o produto é introduzido no chamado mercado de nicho, que são mais encapsulados, para medir seu nível de participação (consumo e demanda) e, novamente, com resultados satisfatórios, ocorre sua introdução no mercado de massa, muito mais amplo e competitivo.

O tema em questão parece se aproximar mais do método de eco-inovação, uma vez que este adiciona a influência de políticas públicas de apoio ao renováveis no desenvolvimento de inovações. Os resultados da busca por artigos e patentes permitiu observações importantes sobre as forças motrizes que incentivaram as pesquisas sobre o tema. Utilizando como base este modelo, é possível fazer uma análise de cada determinante, de modo a avaliar sua influência sobre a tecnologia de produção de ácido acrílico a partir do glicerol.

O *science-push*, como citado anteriormente, determina o desenvolvimento de uma inovação a partir de pressões de novas tecnologias criadas ou sugeridas em trabalhos. Observando a curva de evolução anual, tanto para artigos quanto para patentes, percebe-se que este último alcançou seu pico mais rapidamente, enquanto o outro precisou de um período

maior. Isto significa dizer que o foco para pesquisas só aumentou após as empresas do ramo já terem concluído sobre a importância da disponibilidade de uma matéria prima potencialmente mais barata e começado a patentear suas invenções relacionadas. Vale também notar que existem pouco depósitos muito antigos, que na época já detalhavam a possibilidade do novo processo. Em outras palavras, a tecnologia já existia, mas não houve um interesse do mercado e do setor industrial para que se desse prosseguimento aos estudos sobre o tema. Desse modo, o *science-push* teve pouca ou nenhuma importância na evolução desta nova tecnologia.

O *market-pull*, por outro lado, teve grande participação. O crescimento gradual da produção de biodiesel significou a obtenção em altas quantidades de glicerol como subproduto. Esta alta disponibilidade, aliada ao seu baixo preço de mercado, levou a busca por opções para sua utilização, de modo a fornecer uma agregação de valor ao químico em questão. A transformação da glicerina em produtos de maior valor se tornou o foco principal de diversas pesquisas, e entre elas, surgiu a possibilidade de sua conversão em ácido acrílico. Por ser uma substância com grande demanda mundial e alto valor agregado, uma tecnologia verde para sua produção é vista com bons olhos. A influência do *market-pull* é ainda mais evidente quando observamos que a tecnologia sobre o tema começou a evoluir de forma conjunta com o aumento da produção de biocombustível e, consequentemente, de glicerol, como mostram a Figura 5.1 e a Figura 5.10.

Por fim, a influência do *regulatory push/pull* também é bem explícita. A conscientização mundial sobre a proteção ao meio ambiente alcançou altos níveis nas últimas décadas, o que levou os governos a criarem leis que apoiassem o desenvolvimento sustentável e reduzissem a poluição do planeta. Com isso, a legislação teve grande papel no incentivo aos estudos de novas tecnologias de renováveis, além de tornar processos à base de fontes fósseis potencialmente menos lucrativas para as empresas, por meio de mecanismos compensatórios, créditos de carbono, para emissões de poluentes e controle de efluentes industriais. Desse modo, atualmente, inovações verdes tendem a ser criadas e desenvolvidas para substituir os processos convencionais de forma economicamente viável. O processo de conversão de glicerol à ácido acrílico foi apresentado primeiramente em 1948, mas só se tornou potencialmente atrativo recentemente com a adoção de políticas de incentivo à produção de biodiesel. Além disso, como demonstrado na busca de artigos, existe uma intensa atuação governamental sobre os estudos do tema, por meio de bolsas de P&D&I, o que possibilita sua evolução a partir de

trabalhos acadêmicos, os quais mais de 80% receberam incentivos governamentais. Pode-se concluir então que o *regulatory push/pull*, assim como o *market-pull*, foram determinantes essenciais para o crescimento desta inovação.

Além das conclusões já tiradas sobre as determinantes, pode-se também perceber que a dinâmica de eco-inovação se encaixa perfeitamente sobre o tema em questão. O fato do modelo adicionar a influência das legislações sobre uma inovação o torna mais adaptado ao cenário mundial atual de proteção ao meio ambiente. Isto significa dizer que ele é o método ideal para ser adotado, principalmente, para o desenvolvimento de tecnologias verdes.

5.2.4 Etapa B: Análise SWOT

Após a proveitosa reunião com os especialistas, com intensa troca de ideias e sugestões, chegou-se a análise demonstrada pela Tabela 5.4. Para servir de base aos convidados, foi realizada uma apresentação contendo um resumo sobre os processos existentes, detalhes sobre o ácido acrílico e dados de mercado, preço de matérias-primas e produtos, disponibilidade futura e garantia de suprimento da matéria-prima, além do resultado obtido na busca de artigos e patentes. A apresentação se encontra no Apêndice A.

Tabela 5.4 - Resultados da análise SWOT.

	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Brasil	- Elevada disponibilidade de matéria prima - Custo do glicerol potencialmente vantajoso - Garantia de suprimento de glicerol - Baixa disponibilidade futura de propeno - Facilidade logística para localização no Brasil (região Sul e Centro-Oeste) - Oferta pulverizada de glicerol	- Custo de mudança do fóssil - Falta de políticas públicas para o desenvolvimento petroquímico - Desajuste das Contas Públicas - Necessidade parcial de exportação do produto
Exterior	- Pressão por rotas não poluentes - Rota de produção em Duas Etapas - Alto custo de transporte do propeno - Ênfase à responsabilidade social - Acordo de Paris (COP 21) - Logística do glicerol menos cara que do propeno - *Funding* de renováveis	- Produção de acroleína a partir do glicerol é imatura - Baixo preço de Óleo & Gás - Expectativa futura de baixo preço para a nafta - Novas tecnologias de transporte de gás natural

Cada ponto citado será explicado a seguir. Além disso, cada um deles foi classificado de acordo com sua importância e influência para o caso de instalação de uma indústria em território nacional, podendo ser “essencial” (4), “muito importante” (3), “importante” (2) ou “pouco importante” (1).

– Forças:

- Elevada disponibilidade de matéria prima: como citado diversas vezes ao longo do trabalho, o crescimento da produção de biodiesel é determinante para a tecnologia em questão por conta da alta quantidade de glicerol produzida. A substância tem baixo valor de mercado e, até o momento, não possui utilizações atrativas, o que acarreta uma alta disponibilidade da mesma – Essencial (4).
- Custo do glicerol potencialmente vantajoso: por conta de sua alta disponibilidade, seu preço de mercado é baixo quando comparado a outras matérias primas importantes. Isto seria uma grande vantagem ao competir com as tecnologias

convencionais. Há uma vantagem de preço do glicerol no mercado brasileiro de no mínimo US$ 280/t – Essencial (4).

- Garantia de suprimento de glicerol: a produção de biodiesel só tende a crescer no futuro, o que significa uma garantia de alta disponibilidade de glicerol nos próximos anos. Estamos no B10 com tendência ao aumento do teor de biodiesel no futuro, fala-se em B15 em 2023. A ausência de problemas futuros de suprimento é um grande atrativo para qualquer empresa. – Essencial (4).
- Menor disponibilidade futura de propeno: Graças à substituição de nafta pelo *shale gas* nas unidades de pirólise, prevê-se uma menor produção de propeno, matéria prima da rota convencional e principal competição do glicerol. Braskem-Camaçari começou a processar LNG em outubro de 2017. Problemas com futuro abastecimento incentivam a procura por tecnologias alternativas, beneficiando, nesse caso, a glicerina – Importante (2).
- Facilidade logística para localização no Brasil (Sul e Centro-Oeste): O Brasil já possui uma logística estabelecida para outros produtos internos de valor, como a soja, sobretudo o transporte rodoviário nas regiões Sul e Centro-Oeste. A instalação de uma indústria que utiliza glicerol como matéria prima nas proximidades de unidades de produção de biodiesel seria um grande atrativo, desde que se dê a devida atenção a garantia de um fluxo estável de matéria-prima. – Importante (2).
- Oferta pulverizada de glicerol: O crescimento do biodiesel no país também é responsável por uma elevada quantidade de diferentes produtores. Desse modo, haveria diversos potenciais vendedores de glicerol no mercado, resultando em competição e um preço ainda menor da matéria prima. Como citado no item anterior, é necessário um planejamento logístico integrado de modo a garantir o suprimento constante de glicerol, considerando-se este grande número de fornecedores. – Muito Importante (3).

– Fraquezas:

- Custo de mudança do fóssil: a indústria já consolidada no país não verá com bons olhos a troca de matéria prima se a rota verde não apresentar resultados promissores

consistentes. O custo total que envolve essa troca seria um risco grande, o que diminuiria o interesse nesta tecnologia – Importante (2).

- Falta de políticas públicas para o desenvolvimento petroquímico: a falta de incentivos públicos para o desenvolvimento de tecnologias petroquímicas impede uma evolução mais rápida para essa rota. Sem investimento em plantas protótipo e de demonstração, existirá uma dificuldade de progresso para se obter um processo consolidado – Importante (2).
- Desajuste de contas públicas: a crise política que atinge o país, causando o desajuste das contas públicas, dificultará a maior distribuição de incentivos e apoio do governo. Sem financiamento, um processo inovativo imaturo dificilmente conseguirá evoluir para a escala industrial – Importante (2).
- Necessidade parcial de exportação do produto: a demanda interna dificilmente será suficiente para consumir a capacidade de uma planta classe mundial a médio prazo. Como consequência, a disponibilidade de ácido acrílico do mercado interno iria aumentar rapidamente, provocando uma queda no seu valor de mercado. Além disso, isso forçaria a empresa produtora a se aventurar no mercado externo, com maior custo de transporte e sem garantia de bons preços de venda – Muito Importante (3).

– Oportunidades:

- Pressão por rotas não poluentes: A conscientização mundial pela proteção ao meio ambiente cria uma preferência por processos verdes. Isto também estimula incentivos a novos processos verdes e consequentemente sua evolução – Importante (2).
- Rota de produção em duas etapas: diferentemente do processo em etapa única, a rota em duas etapas apresenta melhores resultados e possui uma maior chance de sucesso, devido a reação já consolidada de conversão de acroleína a ácido acrílico. Desse modo, pode-se focar totalmente apenas no desenvolvimento de produção de acroleína a partir do glicerol – Importante (2).

- Alto custo de transporte de propeno: o transporte de propeno é altamente custoso quando comparado ao do glicerol, se tornando uma vantagem comparativa de matéria prima para a rota verde – Muito Importante (3).
- Logística do glicerol menos cara que a do propeno: por consequência do menor custo de seu transporte, tornando-se uma vantagem para a rota verde. – Muito Importante (3).
- Ênfase na responsabilidade social: a responsabilidade social pela utilização de resíduos estimula o interesse em novas tecnologias que possam utilizar estes resíduos e transformá-los em produtos de maior valor agregado, O glicerol é um ótimo exemplo de subproduto com alto potencial de agregação de valor – Importante (2).
- Acordo de Paris (COP 21): o Acordo de Paris promoveu o comprometimento dos países pela redução da emissão dos gases estufa, o que significa uma menor utilização de fontes fósseis. Como consequência, haverá um maior investimento em tecnologias verdes que sejam capazes de substituir a rota atual, sem afetar os rendimentos – Pouco Importante (1).
- *Funding* dos renováveis: a preocupação do mundo com o meio ambiente promove um maior *funding* para o desenvolvimento de tecnologias verdes. Isto possibilita o nascimento e a evolução de novas alternativas aos processos que usem matérias prima fósseis – Muito Importante (3).

– Ameaças

- Produção de acroleína a partir do glicerol é imatura: apesar da conversão de acroleína a ácido acrílico ser uma tecnologia já consolidada, a primeira etapa do processo ainda não conseguiu apresentar resultados convincentes. A produção de acroleína a partir do glicerol sofre com problemas de baixo rendimento e alta instabilidade de possíveis catalisadores – Essencial (4).
- Baixo preço de óleo & gás: o baixo preço de óleo e gás pode provocar um aumento na produção de propeno via rota de desidrogenação do propano. Uma alta disponibilidade desta matéria prima significaria um menor preço de mercado. Como

consequência, o glicerol perderia uma de suas principais vantagens competitivas – Muito Importante (3).

- Expectativa futura de baixo preço da nafta: devido a troca pelo *shale gas*, a disponibilidade de nafta aumentará no mercado. Isto pode provocar uma diminuição no preço da nafta no futuro, o que estimularia sua compra e aumentaria a produção de propileno – Importante (2).
- Novas tecnologias de transporte de gás natural: novas tecnologias estão sendo desenvolvidas de forma a facilitar e aumentar a capacidade do transporte de gás natural. Isto serviria como incentivo para seu uso como matéria prima, e o GLP residual poderá ser usado para produção de propeno – Pouco Importante (1).

Após a realização da reunião, com o preenchimento da tabela, propõe-se uma análise cruzada dos quadrantes: será determinado o quanto as forças intensificam as oportunidades e mitigam as ameaças, e o quanto as fraquezas impedem o aproveitamento das oportunidades e potencializam as ameaças. O nível de influência para cada item será classificado entre "Muito Influente (3) ", "Influente (2) ", "Pouco Influente (1) " e "Sem Influência (0) ". A classificação anterior sobre a importância de cada tópico também será levada em conta.

– Influência das forças nas oportunidades:

- Pressão por rotas não poluentes: A elevada disponibilidade de glicerol, somada à possível redução da disponibilidade de propeno, estimulam o desenvolvimento de rotas alternativas de produção. A consequente diferenciação dos preços das matérias-primas também um fator importante a ser considerado – Muito Influente (3).
- Rota de produção em duas etapas: o benefício da rota em duas etapas é determinado pelo seu maior rendimento e pela segunda reação já comercialmente estabelecida, o que diminuiria o caminho para a consolidação da tecnologia como um todo. Nenhum aspecto das forças parece fortalecer este ponto positivo – Sem Influência (0).
- Alto custo de transporte do propeno: A facilidade logística para a localização no Brasil evidencia ainda mais a diferença do custo de transporte entre o propeno e o

glicerol. O corte de gastos logísticos é sempre um fator de alta importância para indústria – Influente (2).

- Ênfase a responsabilidade social: Quanto maior a disponibilidade de resíduos e subprodutos, maior é a pressão para que o mesmo não seja desperdiçado. Por consequência disto, o foco em tecnologias que aproveitem esta disponibilidade aumentará consideravelmente – Pouco Influente (1).
- Acordo de Paris (COP 21): A significante diferença potencial de disponibilidade entre as matérias primas, somadas ao fato da multiplicidade de produtores do glicerol e sua garantia de abastecimento futuro reforçam o comprometimento do Brasil em evitar emissões de gases efeito estufa nos próximos anos – Pouco Influente (1).
- Logística do glicerol menos cara que a do propeno: Assim como comentado anteriormente, a facilidade logística para localização no Brasil é uma vantagem grande em relação ao alto preço de transporte do propeno – Influente (2).
- *Funding* do verde: Uma alta disponibilidade de matéria prima verde e seu baixo custo contribuem para investimentos em uma tecnologia que a utilize como base – Influente (2).

– Influência das forças sobre as ameaças:
    - Produção de acroleína a partir do glicerol é imatura: A elevada disponibilidade de glicerol e seu baixo preço estimulam um maior número de pesquisas e testes para a evolução da tecnologia verde – Influente (2).
    - Baixo preço de óleo & gás: Não há aspectos de forças que possam minimizar os efeitos do baixo preço do óleo & gás no mercado – Sem Influência (0)
    - Expectativa futura de baixo preço da nafta: Não há aspectos de forças que possam evitar esta queda futura no preço da nafta – Sem Influência (0).
    - Novas tecnologias de transporte de gás natural: Mesmo com a evolução tecnológica no transporte de gás natural, a grande disponibilidade de glicerol no território brasileiro ajuda a neutralizar em parte esta ameaça – Influente (2).

– Influência das fraquezas nas oportunidades

- Estímulo às rotas verdes: A falta de políticas pública, somada à atual crise do país, dificulta o foco no desenvolvimento de novas tecnologias verdes. Enquanto o cenário nacional permanecer o mesmo, a instalação de uma indústria com esta tecnologia estará impossibilitada – Muito Influente (3).
- Rota de produção em duas etapas: A baixa quantidade de incentivos através de políticas públicas não permite a maturação tecnológica da primeira etapa, o que repele o interesse de empresas. O custo de mudança do fóssil para o verde também contribui para a desconfiança sobre a viabilidade da tecnologia – Influente (2).
- Alto custo do transporte de propeno: Não há fraquezas que influenciem no alto custo de transporte do propeno – Sem Influência (0)
- Ênfase à responsabilidade social: Novamente, a falta de política públicas de incentivo, aliada à crise do país e a dificuldade de mudança do fóssil para o verde, atrapalha o aspecto social da questão. Mesmo com a preocupação com o ambiente, se um projeto não for economicamente viável ou não estiver robustamente desenvolvido, ele não será adotado por empresas – Pouco Influente (1).
- Acordo de Paris (COP 21): Sem políticas eficientes e com a dificuldade de mudança do fóssil para o verde, o comprometimento do país com o acordo não pode ser garantido – Pouco Influente (1).
- Logística do glicerol menos cara que do propeno: Não há fraquezas que minimizem esta vantagem diretamente – Sem Influência (0).
- *Funding* do verde: O desajuste de contas do país impossibilita maiores investimentos nas tecnologias no território nacional. Sem políticas de incentivo mais atuantes, o desenvolvimento dos renováveis acaba dificultando recursos – Influente (2).

– Influência das fraquezas nas ameaças:

- Produção de acroleína a partir do glicerol é imatura: A primeira etapa do processo é e continuará imatura sem políticas de incentivo e financiamento público – Muito Influente (3).

- Baixo preço de óleo & gás: Não há fraquezas que reforcem esta ameaça – Sem Influência (0).
- Expectativa futura de baixa preço para a nafta: Não há fraquezas que influenciem na possível futura queda da nafta – Sem Influência (0).
- Novas tecnologias de transporte do gás natural: Não há fraqueza que influenciem no transporte de gás natural – Sem Influência (0).

Cada valor de classificação de influência (entre 0 e 3) será multiplicado pelo valor de importância (entre 1 e 4) citado anteriormente, com o intuito de analisar o impacto das influências individuais no contexto geral. Por exemplo, o tópico estímulo de rotas verdes, que foi classificado como importante (valor 2), quando exposto às oportunidades, recebe muita influência (valor 3), então o produto para esse caso seria 6. Somando-se os valores obtidos, observa-se uma vantagem das forças em relação as fraquezas (37x31). Isto significa dizer que existe um potencial maior para intensificar as oportunidades e minimizar as ameaças do que para o contrário. Desse modo, o cenário no qual o SWOT foi realizado, se mostra mais propenso a uma possível viabilidade futura desta tecnologia no país, caso políticas públicas acertadas sejam implementadas pelo governo e o cenário nacional tenda a estabilização. É necessário ressaltar que estes resultados se baseiam em opiniões subjetivas, e podem variar de acordo com cada analista.

A análise individual e conjunta de todos os fatores citados durante a reunião com os especialistas serviu como base para a discussão sobre possíveis políticas públicas de incentivo à tecnologia de conversão de glicerol à ácido acrílico. Os resultados obtidos da reunião estão dispostos a seguir:

– Políticas de Estímulo ao Escalamento de Novas Tecnologias: Órgãos governamentais (ANP, ANEEL) poderiam destinar parte de seus financiamentos ao desenvolvimento de novas tecnologias em escala protótipo e demonstração, ao invés de focar apenas em P&D. Atualmente, só existem incentivos aos estudos de bancada, sem o investimento necessário para o escalamento do experimento a níveis industriais, o que representa um grande obstáculo ao desenvolvimento de tecnologias verdes imaturas. Desse modo, uma política de estímulo a fase mais avançadas de projeto seria essencial para a consolidação de novas

rotas produtivas. Esta ação procura, principalmente, mitigar a fraqueza de falta de políticas nacionais para o desenvolvimento de petroquímicos.

- Política de Exploração *in loco* de Recursos Vantajosos Disponíveis para Produtos, de maior valor agregado: Investimento para a exploração e criação de tecnologias que utilizem produtos potencialmente vantajosos e de baixo preço, de forma a promover uma agregação de valor significante aos mesmos no território nacional. Subprodutos como o glicerol fornecem baixo lucro quando vendidos, desse modo, uma política de incentivo à agregação de valor destes recursos seria um grande atrativo para a utilização daqueles que possuem grande potencial para a transformação em químicos de maior valor. Esta medida visa aproveitar importantes forças como a alta disponibilidade de glicerol e oportunidades como a ênfase à responsabilidade social.
- Desoneração Fiscal para Redução de IPI (Impostos sobre Produtos Industrializados) de Produtos Renováveis: Uma redução tributária sobre produtos renováveis seria um atrativo para o investimento em tecnologias da área. O dinheiro poupado serviria para cobrir as diferenças de custos e de lucro entre a rota convencional fóssil e a verde. Caso seja possível, as empresas realizariam a troca sem grandes prejuízos, minimizando o que antes seria uma fraqueza significante e tornando o processo muito mais viável.
- Criação de Núcleos de Excelência em Escalamento nas Universidades: Em parceria com a primeira política citada, esta ação possibilitaria a movimentação de uma tecnologia da área de P&D para uma escala protótipo e demonstração, com a ajuda de profissionais capacitados, possivelmente na mesma universidade ou instituição onde são realizadas as atividades de P&D. Este tipo de política já existe em outras áreas, como por exemplo no PROCAT, um centro tecnológico focado no desenvolvimento de novos catalisadores. Esta iniciativa, além de contribuir para o estímulo de rotas verdes e o seu *funding*, também fornece melhores condições de evoluir a etapa imatura do processo e torna-lo economicamente viável.
- Maior Número de ISI's (Institutos Senai de Inovação) que buscam aumentar a produtividade e a competitividade da indústria brasileira: Se aplicado a tecnologias verdes emergentes e potencialmente vantajosas, poderá facilitar a adoção das mesmas por indústrias no território brasileiro. A implementação de ISI's focados em alternativas para rotas fósseis existentes seria de grande ajuda para a evolução de inovações tecnológicas de

proteção ao meio ambiente. Uma política como essa contornaria a falta de incentivos nacionais ao desenvolvimento da indústria petroquímica e aproveitaria a conscientização mundial pela sustentabilidade para receber maior financiamento para a sua adoção.

Desse modo, com a análise SWOT realizada, e os dados obtidos na pesquisa dos artigos e patentes, pode-se ter uma melhor visão do atual estado da tecnologia de obtenção de ácido acrílico a partir do glicerol. Com isso, foi possível criar previsões sobre o cenário futuro deste processo e, ao mesmo tempo, sugerir ideias e ações para uma maior probabilidade de sucesso do mesmo. Todas as conclusões retiradas deste estudo prospectivo serão detalhadas no próximo capítulo.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissertação apresentada teve como objetivo a realização de um estudo prospectivo sobre a produção de ácido acrílico a partir do glicerol a partir de uma revisão bibliográfica da base de artigos e patentes em conjunto com uma análise de cenários denominada SWOT. A escolha do tema foi motivada, principalmente, por ser uma matéria prima verde e de baixo preço, com potencial para substituir uma tecnologia fóssil e gerar um produto de alto valor agregado. Além disso, a alta disponibilidade de glicerol no território brasileiro é outro fator que estimula o interesse na tecnologia. Um resumo das conclusões obtidas ao longo do trabalho será apresentado a seguir.

Em primeiro lugar, a evolução anual do número de publicações é fator atrativo. Seu crescimento coincidiu com o aumento de disponibilidade de glicerol, consequência da elevada produção de biodiesel a partir de meados de 2005. Esta característica permitiu também determinar a importância do *market-pull* para a inovação apresentada, uma vez que foi possível concluir que a alta disponibilidade de glicerina neste período inicial foi crucial para atrair o interesse de pesquisadores e empresas para esta tecnologia. Em relação aos artigos, houve uma queda no número de trabalhos publicados desde 2014, enquanto para as patentes esse pico ocorreu em 2008. Atualmente, ambos apresentam números reduzidos de publicações, mas ainda significativos.

A participação brasileira também foi avaliada. O Brasil foi responsável pela publicação de treze artigos e duas patentes, indicando a atenção dada ao tema, apesar do país não estar entre os líderes de trabalhos publicados sobre esta tecnologia. Mesmo assim, foi possível notar uma precaução, predominantemente europeia, em relação ao potencial nacional, uma vez que 15 patentes (12,6% do total) estrangeiras foram também depositadas em território brasileiro, a fim de também proteger suas invenções dentro do país. Entre as instituições brasileiras participativas, destaca-se a Unesp com oito artigos publicados, sempre com o mesmo grupo de pesquisadores, indicando uma persistência sobre o tema.

Além do Brasil, outros países também apresentam intenso foco nesta tecnologia. A China e Coreia estão sempre entre as principais origens dos trabalhos, sendo responsáveis pela maioria esmagadora dos artigos publicados. No caso das patentes, estes países receberam a concorrência da França e do Japão, que protagonizaram a rivalidade entre Arkema e Nippon

Shokubai, as instituições líderes de depósitos. Deve-se também mencionar a presença da Alemanha e da Índia, com um número significativo de publicações ao longo dos anos.

Em relação as instituições publicadoras, houve divergências entre as bases de busca. As patentes contaram com uma maior participação de empresas privadas, como as já mencionadas Arkema e Nippon Shokubai, além da Evonik Industries e da LG Chem. Esta última foi responsável pelo maior número de depósitos nos últimos cinco anos, se apresentando como novo potencial desenvolvedor. Já os artigos apresentaram uma predominância do setor público entre os principais publicadores, graças ao alto incentivo governamental à área de P&D&I. As bolsas de pesquisa permitiram que as universidades e centros de pesquisas desenvolvessem inovações e promovessem sua evolução tecnológica. As instituições líderes de publicação são a *Pusan National University*, a *Tsinghua University*, o *Indian Institute of Chemical Technology*, a *Universiti Teknologi Malaysia*e e a *Université de Lyon*, além da já citada UNESP.

Os incentivos públicos estiveram muito presentes no caso da publicação de artigos. Na última década, o desenvolvimento de tecnologias verdes foi em grande parte impulsionado graças as políticas de proteção ao meio ambiente criadas, que permitiu um maior número de recursos distribuídos para a área de P&D&I. Os ministérios apresentaram grande participação neste setor, seja por contribuições políticas e financeiras do próprio órgão ou de instituições fundadas pelo mesmo. Os principais financiadores são a *National Natural Science Foundation of China*, a *Advanced Biomass R&D Center*, o *Council of Scientific and Industrial Research* e, representando o Brasil, o CNPq. Este último foi responsável pelo financiamento dos trezes trabalhos brasileiros publicados, demonstrando o comprometimento do país com o tema de sustentabilidade.

O método adotado pelos autores apresentou similaridades entre as bases procuradas. Tanto os artigos quanto as patentes demonstraram uma preferência pela produção de acroleína, o que significa um foco no desenvolvimento do processo em duas etapas. A explicação para isto é o fato da conversão de acroleína a ácido acrílico ser uma tecnologia madura, apresentando rendimentos maiores e catalisadores mais estáveis quando comparados ao procedimento em etapa única. Apesar disso, a maioria dos trabalhos brasileiros priorizaram o desenvolvimento do processo em um único reator, acreditando que este é o caminho a ser adotado futuramente. A rota biossintética, através do ácido 3-hidroxipropiônico, também apresentou resultados relevantes, com alta presença de engenharia genética.

Por fim, o foco principal dos trabalhos foi a busca por catalisadores de alto rendimento e estáveis. Atualmente, a eficiência catalítica do processo, sobretudo da conversão de glicerol à acroleína, está abaixo do ideal e, consequentemente, dificulta a aplicação da tecnologia em escala industrial. Os artigos revelam uma maior preocupação em relação a este tema, enquanto as patentes também apresentam um foco grande no desenvolvimento do processo em si, sugerindo a alteração de equipamentos ou parâmetros operacionais.

Com os resultados obtidos a partir da revisão da literatura, foi possível realizar uma análise sobre as forças que estimularam o interesse nesta tecnologia. A influência do *market-pull* é facilmente observada no ano de 2005, quando o biodiesel passou a ser produzido em grande escala e, consequentemente, houve um crescimento na disponibilidade de glicerol. A evolução inicial do número de trabalhos se iniciou nesta época, demonstrando a importância dessa determinante. O *science-push*, por outro lado, teve participação significativamente menor, uma vez que as empresas já haviam começado a patentear as invenções relacionadas ao tema antes do desenvolvimento de novos artigos. Isto significa dizer que as organizações apresentaram interesse sobre o processo antes mesmo que ele fosse desenvolvido de forma a pressionar sua adoção por parte da indústria. Dessa forma, o *science-push* não foi relevante para a evolução desta tecnologia. Por fim, o *regulatory push/pull* foi um fator essencial para a atenção dada às rotas verdes existentes com potencial para substituir as matérias prima fósseis no cenário atual. A conscientização mundial pelo meio ambiente contou com grande apoio dos governos mundiais, sob a forma de políticas de incentivo aos estudos sustentáveis e de restrição à emissão de poluentes. Com isso, os renováveis obtiveram uma chance de competir com os procedimentos convencionais, que anteriormente eram muito mais lucrativos. A presença de uma força legislativa sobre a dinâmica desta inovação indicou que ela se encaixa perfeitamente na Eco-inovação, modelo este que se adapta ao atual panorama mundial de estímulo ao desenvolvimento de rotas renováveis.

A análise SWOT permitiu uma nova visão para o estudo em questão, analisando os pontos positivos e negativos desta tecnologia em relação ao cenário brasileiro e mundial. Com a ajuda de especialistas, foi possível preencher a tabela com todos os fatores considerados relevantes e, com estas informações, foram sugeridas políticas públicas que incentivariam a evolução tecnológica do processo, ao ponto de permitir sua adoção em escala comercial dentro

do país. Após a reunião, determinou-se uma classificação para analisar a influência das forças e fraquezas sobre as oportunidades e ameaças.

As principais forças se basearam na alta disponibilidade de glicerol e sua garantia de abastecimento futuro, além do consequente baixo preço de mercado. Suas fraquezas, por outro lado, foram representadas pela grave crise econômica do país, que limita a quantidade de financiamentos possíveis, e pela dificuldade de transição do fóssil para o verde. As oportunidades determinaram a importância da conscientização mundial pela proteção ao meio ambiente e da logística mais barata da glicerina em relação ao propeno. Por fim, as ameaças foram focadas na competição entre matérias prima, já que a produção de propileno pode ser alavancada, futuramente, pela queda do custo de matérias primas fósseis. A análise SWOT apresentou uma ligeira vantagem potencial em fortalecer as oportunidades e mitigar as ameaças, ao invés do oposto.

As políticas sugeridas forneceram uma visão otimista, embora factível, sobre como incentivar a adoção futura deste processo no país. As principais ideias buscam aumentar o investimento sobre a tecnologia, principalmente em escalas maiores que o setor de P&D&I, através de integração com universidades ou da criação de novos ISI's. A diminuição de impostos sobre produtos de origem renovável também seria um grande atrativo para empresas da área. Estas medidas públicas seriam de grande importância para o desenvolvimento de produtos verdes em geral no país e, futuramente, pode tornar as rotas renováveis essenciais para o mercado e para o setor industrial.

Desse modo, o estudo prospectivo permitiu uma análise geral das informações sobre a produção de ácido acrílico a partir do glicerol. O sucesso desta tecnologia está associado diretamente ao número de incentivos públicos existentes, além das vantagens comparativas dos renováveis em relação às matrizes fósseis. Para aumentar as possibilidades de um futuro com características de sustentabilidade e proteção ao meio ambiente no país, é necessário potencializar todas as forças e oportunidades e mitigar as fraquezas e ameaças aos processos verdes em geral. Por fim, este futuro só poderá ser alcançado com uma mentalidade aberta e a ajuda e determinação política dos governos.

6.1 SUGESTÕES

Seguem algumas sugestões para o futuro aprofundamento desde estudo:

- Análise da conversão de glicerol à acroleína utilizando intermediários não estudados neste trabalho (ácido lático, alil-alcoóis, propileno).
- Utilização de outras bases de dados para busca.
- Adoção de outros modelos de estudos prospectivos.
- Acompanhamento do preço e da disponibilidade de glicerol e propileno nos mercados interno e externo.
- Monitoramento dos avanços no desenvolvimento de catalisadores para a tecnologia, em duas etapas.
- Permanecer atento à evolução de tecnologias verdes alternativas, como a rota fermentativa.
- Realização de um novo estudo prospectivo após um período de cinco anos.
- Avaliação da viabilidade das políticas públicas sugeridas.
- Comparação, em valores absolutos, através de um Estudo de Viabilidade Técnico-econômica (EVTE), comparando a rota verde com o procedimento convencional.
- Monitoramento do comportamento dos atuais produtores de ácido acrílico nos próximos anos, de modo a analisar suas tendências à adoção de novas rotas de produção.

BIBLIOGRAFIA

AGRAWAL, A.; SINGH, A.K.; CHAPLOT, P.; GUPTA, R.; MISHRA, R.; GOEL, S. **Acrylonitrile by Propylene Ammoxidation**. [S.I.], 2013.

ALENCAR, M.S.M. **Estudo de futuro através da aplicação de técnicas de prospecção tecnológica: o caso da nanotecnologia**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências) –Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ANDREW, D.K. **Preparation of beta-propiolactone**. US3069433A, 22 jan.1959, 18 dez. 1962.

ANDREW, N.; NEHER, H.T.; SPECHT, E.H. **Preparation of acrylic acid and its anhydride**. US2613222A. 6 abr. 1951, 7 out. 1952.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural 2018**. Rio de Janeiro, 2018.

BAHRUTH, E. B.; ANTUNES, A. M. S.; BOMTEMPO, J. V. Prospecção Tecnológica na Priorização de Atividades de CeT: caso Q-Trop_Tp**.** In: ANTUNES, A., PEREIRA JR., N.; EBOLE, M. F. (org.) **Gestão em Biotecnologia**. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2006. p. 300-324.

BASF BRASIL. **BASF inaugura Complexo Acrílico de escala mundial em Camaçari.** Disponível em: https://www.basf.com/br/pt/company/news-and-media/news-releases/2015/06/201506019-r1.html. Acessado em 5/5/2018.

BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y.J.K.; LIMA, D.P. Glicerol: Um Breve Histórico E Aplicação Em Sínteses Estereosseletivas. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 306–319, 2011.

BELLO, F.O**. Desenvolvimento Tecnológico Orientado ao Mercado – Um Estudo de Caso da Cadeia Produtiva do Ácido Acrílico**. 2008.Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BRITO, A.P. et al.Análise de swot no diagnóstico estratégico em uma empresa de beneficiamento de leite de caprinos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO, 2016, Natal. **Artigo.** Natal: Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

BUSH, V. Science, the endless frontier. A report to the president by Vannevar Bush, director of the office of Scientific Research and Development, July. **Government Printing Office**, Washington, 1945.

CAMPOS, P.; JUN, M.; PURANMALKA, R. **Production of Acrylic Acid from Ethylene**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (GraduaçãoemEngenhariaQuímica) – Department of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia.

CHAN, L.K.; WU, M.L. A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. **Omega**, v. 33, n. 2, p. 119-139, 2005.

CHU, H.S.; AHN, J.H.; YUN, J.; CHOI, I.S.; NAM, T.W.; CHO, K.M. Direct fermentation route for the production of acrylic acid. **Metabolic Engineering**. v.32, p.23-29, 2015.

COELHO, G. M. **Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais**. Projeto CTPetro Tendências Tecnológicas: Nota Técnica 14. Instituto Nacional de Tecnologia. 2003.

DALKEY, N.C.; HELMER, O. **The Use of Experts for the Estimation of Bombing Requirements - A Project-Delphi Experiment.** Santa Monica, 1951.

DEUTSCHE BANK. **Chemical for Begginers**. Londres, 2011.

DICOSIMO, R.; FALLON, R.; GAVAGAN, J.; MANZER, L. **Method for producing methacrylic acid acrylic acid with a combination of enzyme catalysts**. US20030148480A1. 7 ago. 2003, 30 dez. 2003.

DISHISHA, T.; PYO, S.H.; KAUL, R.H. Bio-based 3-hydroxypropionic- and acrylic acid production from biodiesel glycerol via integrated microbial and chemical catalysis. **Microbial Cell Factories**. v.14, p.200, 2015.

DUBOIS, J.L; DUQUENNE, C.; HOLDERICH, W. **Process for the preparation of acrylic acid from glycerol**. FR2884818B1. 25 abr. 2005, 13 jul. 2007.

FALANI, S.Y.A. **Prospecção Tecnológica para Geração de Energia Eólica**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FALCÃO, P.W.C. **Produção de Biodiesel em Meio Supercrítico**. 2011. Tese (Doutorado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FARIA, R.T. **A gestão estratégica com o uso do balancedscorecard como diferencial competitivo no setor supermercadista**. 2007. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

FORNARI, V.C.B.; GOMES, R.; MORCEIRO, P.C. Atividades inovativas em indústrias de "baixa e média-baixa" tecnologias: um exame dos mecanismos de difusão da inovação. **Nova Economia**, v. 24, n. 1, p. 75-97, 2014.

GRAN VIEW RESEARCH Inc. **Global Acrylic Acid Market Worth $22.55 Billion by 2022**. San Francisco, 2016.

GOVERNMENT OF GUJARAT. **Establishment of Acrylic Acid Manufacturing Unit.** Gujarat, 2017.

GUREL, E.; TAT, M. SWOT analysis: a theoretical review. **The Journal of International Social Research**, v. 10, n. 51, p. 994-1006, 2017. Disponível em http://dx.doi.org/10.17719/jisr.2017.1832. DOI:10.17719/JISR.2017.1832. Acesso em 23 jul. 2018.

HANSEN, M. T., & BIRKINSHAW, J. The Innovation Value Chain. **Harvard Business Review**, p. 121-130, 2007.

HINNENKAMP, J.A. **Process for the catalytic oxidation of propylene to acrylic acid**. US4435598A. 28 out. 1977, 6 mar. 1984.

HORBACH, J.; RAMMER, C.; RENNINGS, K. **Determinants of eco-innovations by type of environmental impact: The role of regulatory push/pull, technology push and market pull**, ZEW Discussion Papers, No. 11-027, 2011.

HOYT, H.E.; MANNINEN, T.H. **Production of acrolein from glycerol**. US2558520A. 29 jan. 1948, 26 jun. 1951.

HUPPES, G.et al**. Measuring eco-innovation: framework and typology of indicators based on causal chains.** Ecodrive Project, 2008.

IHS MARKIT. **Chemical Economics Handbook: Acrylic Acid and Esters**. Londres, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Classificação de Patentes**, 2017. Disponível em http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/classificacao-de-patentes Acessado em 29/12/2017.

JAIMES, J.H.B. **Produção de Ácido Acrílico de Fonte Renovável a Partir do Ácido Lático por Fermentação do Melaço de Cana-de-Açúcar**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

JUNIOR, A.V.; SALERNO, M.S.; MIGUEL, P.A.C. Análise da gestão da cadeia de valor da inovação em uma empresa do setor siderúrgico. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 1, p. 1-18, 2014.

KILDEGAARD, R.K. et al. Production of 3-hydroxypropionic acid from glucose and xylose by metabolically engineered *Saccharomyces cerevisiae.* **Metabolic Engineering Communications**, v.2, p. 132-136, 2015.

KUPFER, D.; TIGRE, P. Prospecção Tecnológica. In: CARUSO, L.A.; TIGRE, P. B. **Modelo SENAI de Prospecção: Documento Metodológico**. OIT/CINTERFOR, Montevideo. 2004

LEITE, L.F. **Metodologia de Seleção, avaliação e priorização de projetos tecnológicos inovadores**. 2008. Tese (Doutorado) –Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

LI, J. et al. A kinetic study of the biological catalytic hydration of acrylonitrile to acrylamide. **Chemical Engineering Journal**, v. 317, p. 699-706, 2017.

LIU, R. et al. Highly Efficient Production of Acrylic Acid by Sequential Dehydration and Oxidation of Glycerol. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 53, n. 21, p. 8667-8674, 2014.

LUNELLI, B. H.; DUARTE, E.R.; TOLEDO, E.C.V.; MACIEL, M.R.W.; FILHO, R.M. A new process for acrylic acid synthesis by fermentative process. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 137-140, n. 1-12, p. 487–499, 2007.

MARKETSANDMARKETS RESEARCH PRIVATE LTD. **Super Absorbent Polymer Market by Type (Sodium Polyacrylate, Polyacrylate/Polyacrylamide Copolymer , and Others), by Application (Personal Care , Agriculture, Medical, Industrial and Others), by Region - Trends & Forecasts to 2020**.Magarpatta City,2015.

MAYERHOFF, Z.D.V.L. Uma Análise Sobre os Estudos de Prospecção Tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, v. 1, n. 1, p. 7 – 9, 2008.

MICROMARKETMONITOR Inc. **Global Methyl Acrylate Market worth $359.2 Million by 2019**. Magarpatta City,2015.

MORITZ, Gilberto de Oliveira; NUNES, Rogério; PEREIRA, Maurício Fernandes. Os métodos de prospecção de cenários e sua aplicação nas organizações: um estudo de caso no Período 1998-2008. **Revista de Administração FACES Journal**, v. 7, n. 2, p. 68-83, 2008.

MOURA, B.S. **Transesterificação Alcalina de Óleos Vegetais para Produção de Biodiesel: Avaliação Técnica e Econômica.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NEGRI, M.; HULSE, W.H. A Ferramenta de Prospecção de Cenários no Processo de Tomada de Decisão. In: JACOBSEN A.L.; OLIVO, L.C.C. (Org). **O Judiciário Catarinense na Perspectiva dos seus Servidores**, v. 3. Florianópolis: Funjab, 2013. p. 163-189.

NEHER, A.; HAAS, T.; ARNTZ, D.; KLENK, H.; GIRKE, W. **Process for the production of acrolein**. US5387720A. 12 nov. 1993, 7 fev. 1995.

NETTO, O.V.C. **Uma Visão Holística da Inteligência Competitiva para a Construção de uma Teoria**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OHARA, T. et al.Acrylic acid and derivatives. In: WILEY-VCH VERLAG GMBH & CO. KGAA (Ed.). **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. Weinheim: Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.

OLIVEIRA, S.D. **Prospecção Tecnológica da Produção do Ácido Succínico a Partir de Fontes Renováveis: Perspectivas e Desafios**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PAULA, A.S. et al. One-step oxidehydration of glycerol to acrylic acid using ETS-10-like vanadosilicates. **Microporous and mesoporous materials**. v. 232, p. 151-160, 2016.

PORTER, A.L. et al. **Forecasting and management of technology**. New York: J. Wiley. 1991.

POSSATO, L.G. **Desidratação oxidativa do glicerol a ácido acrílico em uma única etapa empregando-se catalisadores bifuncionais**. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara.

RENNINGS, K. Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics. **Ecological Economics**, v.32, p. 319-332, 1999.

ROBERT, S.; REPPE, W. **Process for producing acrylic acid**. US3023237A. 1mai. 1959, 27 fev. 1962.

SAMMUT-BONNICI, T.;GALEA, D. SWOT analysis. **Wiley Encyclopedia of Management**, v. 12, p. 1-8, 2015. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/272353031_SWOT_Analysis. DOI: 10.1002/9781118785317.weom120103. Acesso em: 23 ago. 2018.

SCHLEEP, V.; LAUX, B. **Apparatus and process for continuously preparing ethylene cyanohydrin**. US20090163735A1.14 mar. 2007, 25 jun. 2009.

SCHNIZER, A.W.; WHEELER, E.N. **Treating propiolactone with heated phosphoric acid to produce acrylic acid**. US3176042A.20 out. 1959, 30 mar. 1965.

SHIMA, M.; TAKAHASHI, T. **Method for producing acrylic acid**. JP2005213225A. 30 jan. 2004, 11 ago. 2005.

SILVA, D.O.; BAGNO, R.B.; SALERNO, M.S. Modelos para a gestão da inovação: revisão e análise da literatura. **Production**, v. 24, n. 2, p. 477-490, 2014.

SINGH, K**. Eco-innovation in the chemical manufacturing industry: status and its determinants**. 2017. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculdade de Economia e Administração,UniversitiMalaya, Kuala Lampur.

SMOCH, U. Double-boom cycles and the comeback of science-push and market-pull. **Research Policy**, v. 36, p. 1000-1015, 2007.

SOOD, S. **One-step Oxidation of Propylene to Acrylic Acid**. 1995. Tese (MestradoemCiências) – Faculty of Graduate Studies and Research,University of Alberta, Alberta.

STRAATHOF, A. J.; SIE, S.; FRANCO, T.T.; VAN DER WIELEN, L.A. Feasibility of acrylic acid production by fermentation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 67, n. 6, p. 727–734, 2005.

SUN, D.; YAMADA, Y.; SATO, S.; UEDA, W. Glycerol as a potential renewable raw material for acrylic acid production. **Green Chemistry**, v. 19, n. 14, p. 3167 – 3430, 2017.

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

TONG, W. et al. Biosynthetic pathway for acrylic acid from glycerol in recombinant *Escherichia coli*. **Applied Microbiology and Biotechnology**. v. 100, n. 11, p.4901-4907, 2016.

TULLO, A.H. Hunting for biobased acrylic acid. **Chemical & Engineering News**. v. 91, n. 46, p. 18-19, 2013.

WARNER, R.J. **Acetic anhydride and acetate ester co-production**. US7199263B2. 23fev. 2006, 3 abr. 2007.

WATSON, P.C.; LIBBY, M.C.; BARTEAU, M.A. **Catalyst and process for synthesis of ketenes from carboxylic acids**. US5475144A. 8 jun. 1994, 12 dez. 1995.

WEIHRICH, H. The TOWS matrix- A Tool for Situational Analysis. **Long Range Planning**, v. 15, n. 2, p. 65, 1982.

WEISSERMEL, K.; ARPE, H.J. **Industrial Organic Chemistry**,3 ed. Weinhem: VCH, 1997.

WIKIWAND. **Metal Carbonyl**. Disponível em: http://www.wikiwand.com/en/Metal_carbonyl. Acessado em 15 Abril 2017.

WRIGHT, J.T.C.; SILVA, A.T.B.; SPERS, R.G. Prospecção de cenários: uma abordagem plural para o futuro do Brasil em 2020. **Revista Ibero-Americana de Estratégia– RIAE**, v. 9, n. 1, p. 56-76, 2010.

ZHANG, J; LIN, J.; XU, X.; CEN, P. Evaluation of catalysts and optimization of reaction conditions for the dehydration of methyl lactate to acrylates. **ChineseJournalofChemical Engineering**, v. 16, n. 2, p. 263–269, 2008.

APÊNDICE A – Apresentação feita aos especialistas

Ácido Acrílico a partir de glicerol

Informações sobre rotas produtivas e
o ambiente de negócios

Luiz Fernando Leite
Felipe Reiner Harkovsky

29 de maio de 2018

Ácido Acrílico

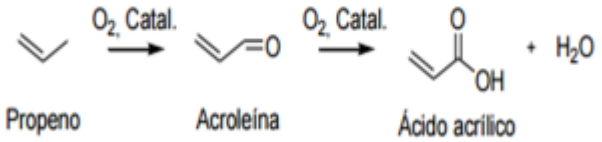
- Ácido de grande demanda industrial.
- Pode ser cru ou glacial
- Ácido Acrílico Cru:
  - Pureza > 97% Fonte: IHS, 2014
  - Ésteres de commodities
- Ácido Acrílico Glacial
  - Pureza entre 98 e 99,5% Fonte: IHS, 2014
  - Ésteres de especialidade
  - Polímeros Superabsorventes (SAP)

Ácido Acrílico

- Mercado:
  - Força comercial crescente.
  - Segundo estudos da Grand View Research Inc. (2016), a demanda tem potencial para alcançar 8,75 milhões t em 2022.
  - O mesmo estudo indica uma demanda de 5,75 milhões t em 2014.
  - Principal Aplicação: SAP e ésteres acrílicos
    - Fraldas e produtos de higiene.
    - Utilização em técnicas de conservação de água em agriculturas.
    - Tratamento de água.
    - Películas (*surface coating*), textéis, adesivos, plásticos.

Rota Convencional

- Se baseia na dupla oxidação do propeno à ácido acrílico.
- Possui acroleína como intermediário.



Índice técnico= 0,77 kg de propeno/kg de ác. Acrílico Fonte: IHS, 2014

Rota Convencional

- Uma ou duas etapas
- Uma etapa:
  - Utiliza apenas um reator.
  - Menor custo operacional.
  - Baixo rendimento (≃ 60-70%).
  - Reações não ocorrem em condições ótimas de operação.

Catalisador	Rendimento (%)	Temperatura (° C)
Mo-W-Te-Sn-Co-O	65	350
Nb-W-Co-Ni-Bi-Fe-Mn-Si-Z-O	73	325

Rota Convencional

- Duas Etapas
  - Amplamente mais utilizada.
  - Utiliza dois reatores, uma para cada reação.
  - Altos rendimentos (≃ 90%).
  - Cada reator opera com parâmetros ótimos.

Rota Convencional

Catalisador	Rendimento Acroleína (%)	Rendimento Ácido Acrílico (%)	Temperatura (°C)
Mo12Bi1Co4Ni4,5Si6,3Mg0,2	75,8	16,2	350
Mo12Bi1Fe2Co3Ni1P2K0,2	88,0	3,0	305
Mo12Bi1Fe1W2Co4Si1,35K0,06	90,2	6,0	325

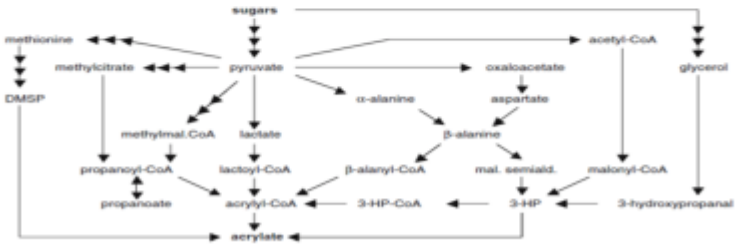
Catalisador	Conversão (%)	Rendimento (%)	Temperatura (° C)
Mo12V4,6Cu2,2W2,4Cr0,6	100,0	98,0	220
Mo12V3W1,2Ce3	100,0	96,1	288
Mo12V2W2Fe3	99,0	91,0	230

Rota Convencional

- A partir do propeno
- Problema: Fonte fóssil, disponibilidade futura?
- Solução: Busca por matérias prima alternativas que favoreçam o meio ambiente.
- Principais Opções:
  - Glicose
  - Glicerol

Rotas Renováveis

- Glicose
  - Processo que utiliza enzimas de microrganismos como catalisadores.
  - Alta participação de engenharia genética.
  - Principais intermediários: Glicerol e Piruvato.



Rotas Renováveis

- Glicose
  - Baixo rendimento quando comparado ao propeno.
    - Reações secundárias.
    - Toxicidade do produto.
  - Solução: Integração de processos.
    - Primeira etapa: fermentativa.
    - Segunda etapa: química.
  - O ácido acrílico pode ser obtido a partir da desidratação de dois intermediários:
    - Ácido lático.
    - Ácido 3-hidroxipropiônico.

Rotas Renováveis

- Glicerol
  - Processo em uma ou duas etapas, possuindo diversos possíveis intermediários.
  - Principal: Acroleína.
  - Outros possíveis:
    - Ácido 3-hidroxipropiônico.
    - Ácido lático.
    - Alil-álcoois.
    - Propileno.
    - Acrilonitrila.

Rotas Renováveis

- Glicerol
  - Principal Reação:

$$C_3H_8O_3 \rightarrow C_3H_4O + 2H_2O$$
$$C_3H_4O + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_3H_4O_2$$

  - Primeira Etapa: Desidratação do glicerol à acroleína.
  - Segunda Etapa: Oxidação da acroleína à ácido acrílico.

Rotas Renováveis

- Glicerol
  - Uma etapa.
    - Menor rendimento (resultados de artigos variam entre 10% e 80%).
    - Menor custo operacional
    - Opera em condições não ótimas, devido ao conflito entre as duas reações.

Rotas Renováveis

- Glicerol

Catalyst	Temp. (°C)	Reactant gas N_2(He)/ O_2/H_2O/glycerol	TOS (h)	WHSV (h^{-1})	Conv. of glycerol (%)	Selectivity to acrylic acid (%)	Productivity ($g_{acrylic\ acid}\ g_{cat.}^{-1}\ h^{-1}$)	Ref.
FeVO	300	66/2/30/2	10	20	100	14	2.80	139
H_3PO_4/WVNbO	285	56/14/25/5	1–2	1.2	100	59.2	0.71	141
WVO	318	40/4/54/2	2	0.6	>99	26	0.15	142
WVNbO	265	42/12/40/6	37	3.8	100	50.5	1.92	144
MoVWO	290	42/12/40/6	69	3.4	100	42	1.43	145
MoVWO	250	41/3/55/1	14	0.8	100	30.5	0.24	146
VO/HBEA-zeolite	275	—	—	1.5	75	25	0.28	147
VO/MFI-zeolite	350	27/7/64/2	—	0.9	100	17	0.15	148
Fe/HBEA-zeolite	275	74/19/0/7	8	7.6	100	23	1.75	149
MoVO-PW[a]/Al_2O_3	300	59/4/35/2	2	0.3	100	12.1	0.04	150
VO/Cs-PW-MoW[b]	340	66/4/29/1	1	0.5	100	60	0.30	151
VSiO[c]	320	0/34/64/2	1	2.0	93.6	85.4	1.60	152

[a] PW, $H_3PW_{12}O_{40}$. [b] VO/Cs-PW-MoW, $H_{0.1}Cs(VO)_{0.2}[PMo_{12}O_{40}]_{0.5}[PW_{12}O_{40}]_{0.5}$. [c] VSiO, vanadosilicates.

Rotas Renováveis

- Duas Etapas
  - Maior Rendimento.
  - Processo mais simples.
  - Conversão de acroleína em ácido acrílico (segunda etapa) é uma tecnologia já madura.
  - Operação com parâmetros ótimos para cada reação.

Rotas Renováveis

- A partir do Glicerol em duas etapas:

$$C_3H_8O_3 \longrightarrow C_3H_4O + 2H_2O \qquad \text{Rend. } \sim 90\%$$

92,1 56,1 2X18

$$C_3H_4O + \tfrac{1}{2}\, O_2 \longrightarrow C_3H_4O_2 \qquad \text{Rend. } \sim 95\%$$

56,1 1/2X32 72,1

Índice técnico= 92,1/72,1X1/(0,9X0,95)= 1,49

Considerando o índice técnico do propeno de 0,77 e seu preço, pode-se afirmar que se o glicerol tiver um preço < US$ 1000x0,77/1,48=US$ 515,4 seria uma matéria–prima competitiva.

Rotas Renováveis

- Glicerol

Catalyst	Temp. (°C)	WHSV (h^{-1})	TOS (h)	Conversion (%)	Selectivity to acrolein (%)	Productivity ($g_{acrolein}\ g_{cat.}^{-1}\ h^{-1}$)	Ref.
PW^a/SiO_2	315	400[d]	10	18	57	—	59
PW^a/ZrO_2	315	400[d]	10	76	71	—	60
PW^a/TiO_2	280	5.9	3	100	48.3	2.8	61
SiW^b/SiO_2	275	0.6	1–5	98	86	0.5	62
SiW^b/SiO_2	330	80[d]	2	72	70	—	63
SiW^b/Al_2O_3	275	0.1	5	100	75	0.1	64
SiW^b/Al_2O_3	300	0.6	2	100	66	0.3	65
SiW^b/ZrO_2	300	0.4	3	92	69.3	0.3	66
SiW^b/ZrO_2–Al_2O_3	300	0.4	3	97.1	88.5	0.3	67
$CsPW^c$	275	2.8	1	100	98	2.7	47
$CsPW^c/Nb_2O_5$	300	0.2	10	96	80	0.2	68
Cs–SiW^b/Al_2O_3	300	6000[d]	90	100	90	—	69

[a] PW, $H_3PW_{12}O_{40}$. [b] SiW, $H_4SiW_{12}O_{40}$. [c] CsPW, $Cs_{2.5}H_{0.5}PW_{12}O_{40}$. [d] GHSV value.

Catalyst	Temp. (°C)	WHSV (h^{-1})	TOS (h)	Conversion (%)	Selectivity to acrolein (%)	Productivity ($g_{acrolein}\ g_{cat.}^{-1}\ h^{-1}$)	Ref.
HZSM-5	350	388	0.9[c]	97	58.6	220.5	70
HZSM-5	320	1438[b]	10	98	63	—	71
HZSM-5	315	39.5	2	85	64	21.5	50
Na/HZSM-5	275	0.8	1	89.6	80.4	0.6	72
H–ferrierite	315	7.2	2	70.9	77.1	3.9	73
H–ferrierite	300	7.8	2	76.8	72.6	4.3	74
HZSM-11	320	873[b]	8	81.6	74.9	—	75
La/Hβ–zeolite	275	0.8	1	95	86	0.7	76
HY-zeolite	250	—	10[c]	89	99.5	—	77
MCM-22	320	52.2	2	99.8	50.1	26.1	78

[a] The reaction is performed using a Microdowner reactor with a residence time of 0.9 s. [b] GHSV value. [c] The reaction is performed in liquid phase with a reaction time of 10 h.

Rotas Renováveis

- Glicerol
  - Vantagens
    - Alta disponibilidade de matéria-prima.
    - Custo relativamente baixo.
    - Tecnologia verde.
  - Desvantagens
    - Problemas com rendimento e catalisadores.
    - Perda de massa durante a reação.
    - Não testado em escala industrial até o momento.

Rotas Renováveis

Arkema is developing a process to make bio-acrylic acid from synthetic glycerol, a by-product of rapeseed-produced biodiesel. The process looked attractive in 2010, but then glycerin prices increased. The additional cost created a problem since consumers will not pay 15% more for a bio-based diaper.

Fonte: IHS, 2014

Considerando que o SAP, que a matéria-prima da fralda descartável, é um produto de mercado, como se fosse uma especialidade. Custo da MP geralmente entre 40 e 60% do custo de produção. Pode-se especular que a Arkema chegou a um custo de matéria-prima no máximo mais cara em 37,5%. O diferencial do preço entre a glicerina no mercado brasileiro praticamente cobre esta diferença, considerando o menor preço no mercado americano praticado em 2017, US$ 680/t, o que é 36% mais caro que o preço brasileiro.

Intensidade Tecnológica

- Estudo prospectivo sobre o tema.
  - Pesquisa por artigos e patentes.
  - Resultados analisados:
    - Evolução anual.
    - Países participantes.
    - Principais instituições.
    - Foco do trabalho.
    - Incentivos recebidos – P&D.

Intensidade Tecnológica

- Artigos

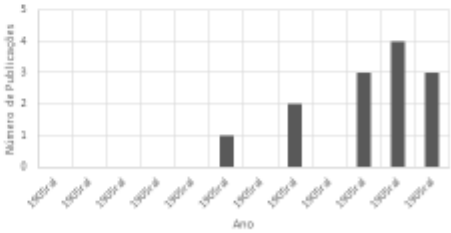
  Evolução anual:

  – Crescimento se iniciou em meados de 2005.

  – Ápice foi em 2014.

No Brasil:

- O tema se mantém em alta.

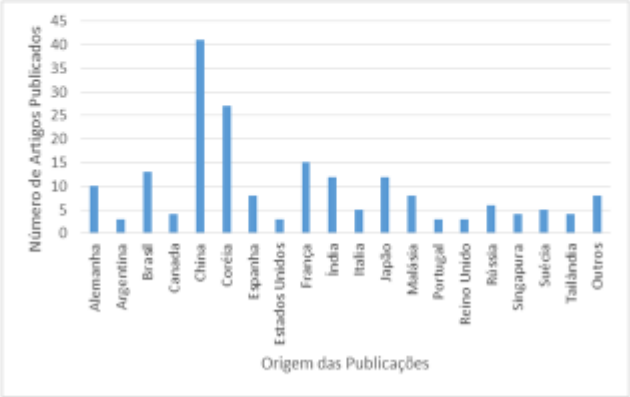


Intensidade Tecnológica

Artigos: - China e Coréia dominam.

- Brasil tem boa participação (13 trabalhos).

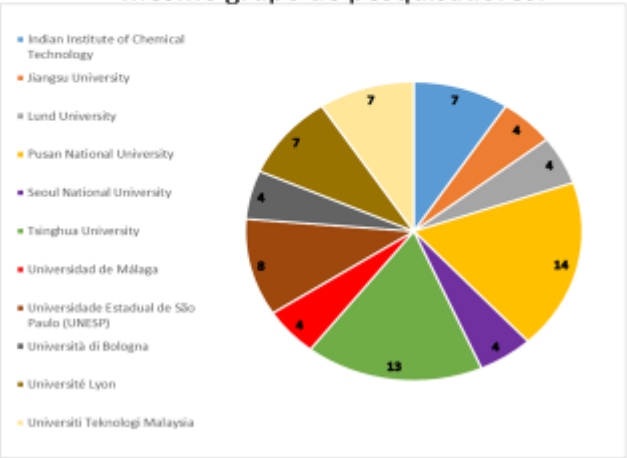
- Países com 10 ou mais artigos: França, Índia, Japão e Alemanha



Intensidade Tecnológica

- Artigos: - Grande maioria universidades

  - No Brasil em específico, a UNESP: 8 dos 13 artigos, mesmo grupo de pesquisadores.

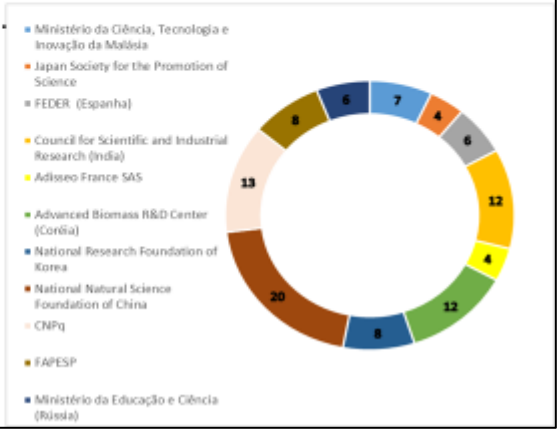


Intensidade Tecnológica

- Artigos
  - Em termos de foco, a busca por catalisadores representou mais de 80% dos trabalhos.
  - Alto número de artigos tendo acroleína como objetivo.
    - Reforçando o processo em duas etapas.
  - Trabalhos brasileiros mais focados no procedimento em etapa única.

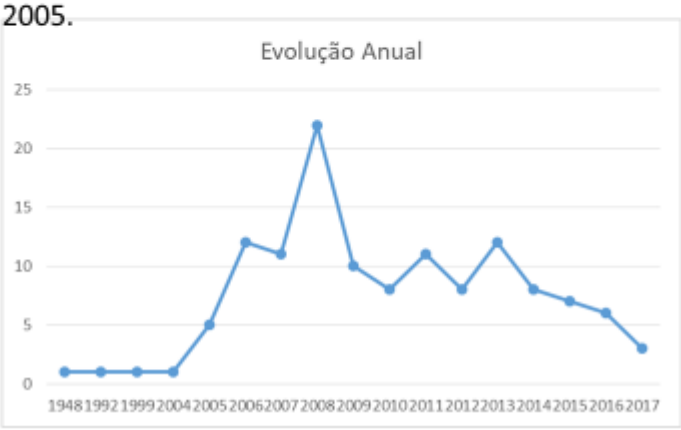
Intensidade Tecnológica

- Artigos
  - Alta participação de financiamento público.
  - Ministérios envolvidos de maneira direta ou indireta.
  - No caso do Brasil, participação do CNPq em todos os trabalhos publicados.



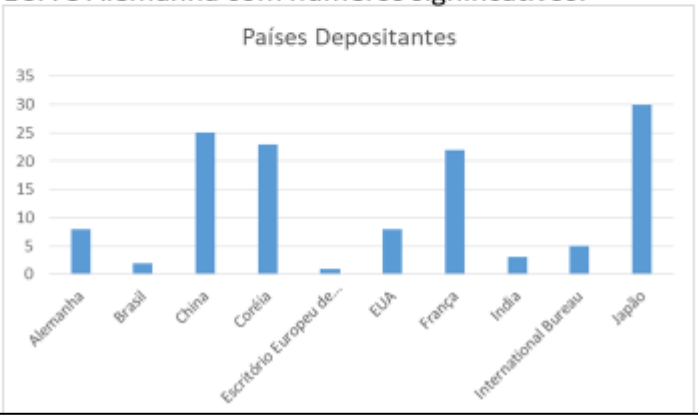
Intensidade Tecnológica

- Patentes
  - Em decadência, assim como os artigos.
  - Ápice em 2008.
  - Existem patentes antigas, mas o crescimento se dá a partir de 2005.



Intensidade Tecnológica

- Patentes
  - Japão líder de depósitos.
  - China, Coréia e França também como destaques.
  - Apenas 2 depósitos brasileiros.
  - EUA e Alemanha com números significativos.



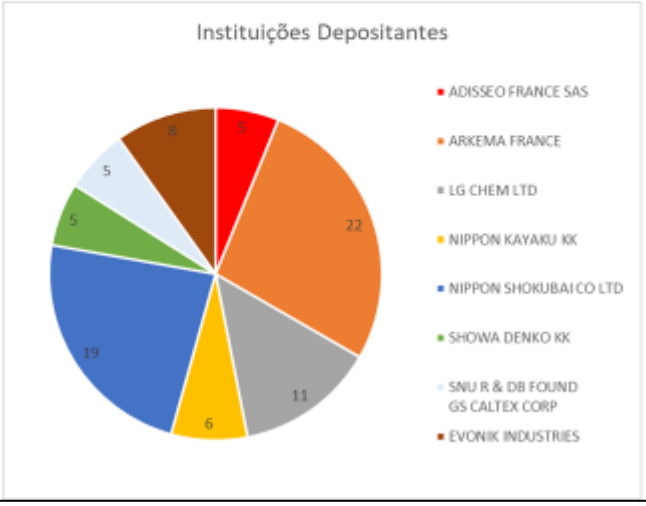
Intensidade Tecnológica

- Patentes
  - Empresas privadas como principais depositantes.
  - Instituições públicas também participativas, mas em menor escala.
  - Entre as 2 patentes brasileiras, uma foi depositada pela PETROBRAS, e outra pela Universidade Paulista Júlio de Mesquita.

Intensidade Tecnológica

- Patentes

- Empresas privadas como principais depositantes.
- Instituições públicas também participativas, mas em menor escala.
- Entre as 2 patentes brasileiras, uma foi depositada pela PETROBRAS, e outra pela Universidade Paulista Júlio de Mesquita.

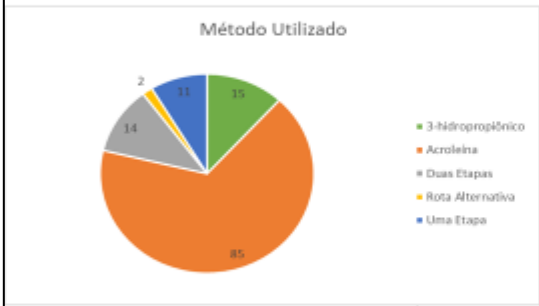


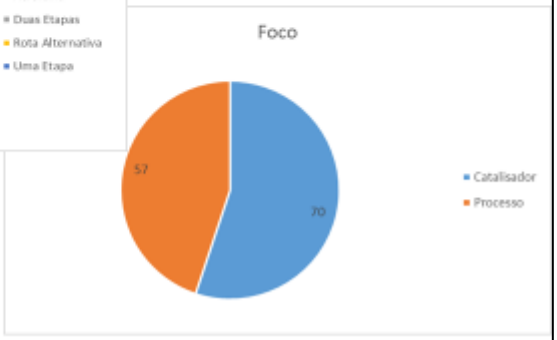
Intensidade Tecnológica

- Patentes
  - Novamente, o método produtivo preferido das patentes foca a produção de acroleína.
    - Isso contribui para a maior viabilidade do processo em duas etapas.
  - O foco de P&D possui maior equilíbrio entre o desenvolvimento de catalisadores e do processo em si.
  - Brasil:
    - A patente da PETROBRAS é de um catalisador para produção de acroleína.
    - Da universidade sugere um novo processo em uma etapa para geração de ácido acrílico.

Intensidade Tecnológica

- Patentes





Produção de Biodiesel

MISTURAS OBRIGATORIAS DE BIODIESEL. Adaptado de (Minelli, 2014).

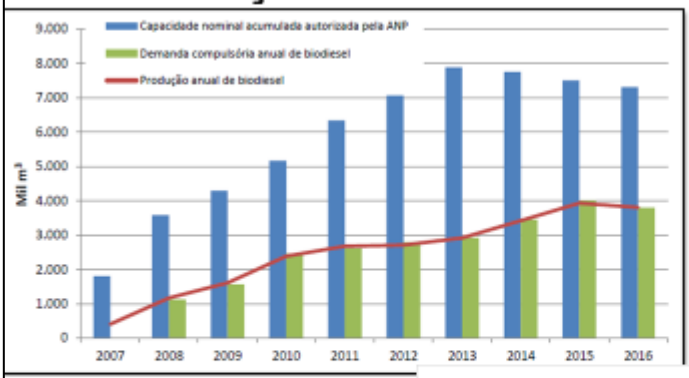
.....a Ubrabio estima que poderemos alcançar o B15 com tranquilidade, já em 2023, enquanto a EPE projetou, no final de 2017, o atingimento do B15 em 2026.

Fonte: Donato Aranda (Ubrabio), abril 2018

A produção nacional de biodiesel subiu mais um degrau no mês de março graças à oficialização do B10 como mistura obrigatória. Segundo dados publicados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), foram fabricados mais de 452,4 milhões de litros ao longo do mês. Esse volume representa um novo recorde para a atividade das usinas de biodiesel brasileiras e supera o recorde anterior – 409,3 milhões de litros registrados em outubro de 2017 – em mais de 10,5%.

Fonte: BiodieselBr.com, 02.05.2018

Produção Brasileira de Biodiesel

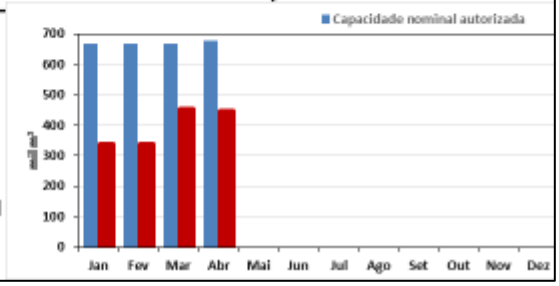


Produção:
Em 2016: 3,8 bilhões de l
Em 2017: 4,3 bilhões de l

RenovaBio objetiva estabelecer estratégia conjunta para os biocombustíveis com foco na segurança energética e redução de GEE.

Produção estimada:
Em 2018: > 5 bilhões de l

Fonte: ANP, 04.06.2018



Exportação de glicerina

Glicerina bate novo recorde de preço em fevereiro

O preço da glicerina ainda não encontrou um teto. O movimento de alta no preço continuou em fevereiro. A glicerina bruta atingiu o valor de 451 dólares por tonelada exportada, uma alta de 11 dólares na comparação com janeiro deste ano e de 264 dólares na comparação com fevereiro do ano passado.

As Mais Lidas

Exportações de glicerina batem recorde em abril

A chegada do B10 não está alavancando somente a produção de biodiesel. As exportações brasileiras de glicerina também receberam um impulso vigoroso. Segundo dados recém-publicados pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, os embarques do principal coproduto da indústria somaram mais de de 35,4 mil toneladas no mês de abril.

As Mais Lidas

Disponibilidade de glicerina

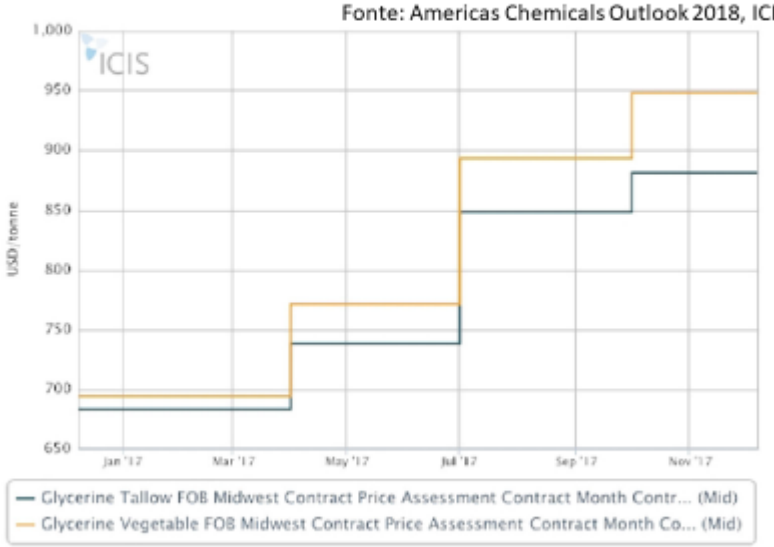
- 5 bilhões de l de biodiesel
- Dens. = 0,876 a 20° C ➡ 4,38 milhões t de biodiesel
- ~ 438 mil t de glicerol
- Parte é queimada e parte exportado
- Produção potencial de GAA: 296 kta
- Complexo BASF em Camaçari 160 kta
- Classe Mundial: 160 kta
- Exportação: 35,4 mil t glicerina loira (abril 2018)
- Glicerina: 361,1 mil t (100%) ➡ 244 kta de GAA

Exportação de glicerina

Fonte: http://comexstat.mdic.gov.br, AliceWeb, MDIC, 07.05.2018

Glicerina no EUA em 2017

Fonte: Americas Chemicals Outlook 2018, ICIS

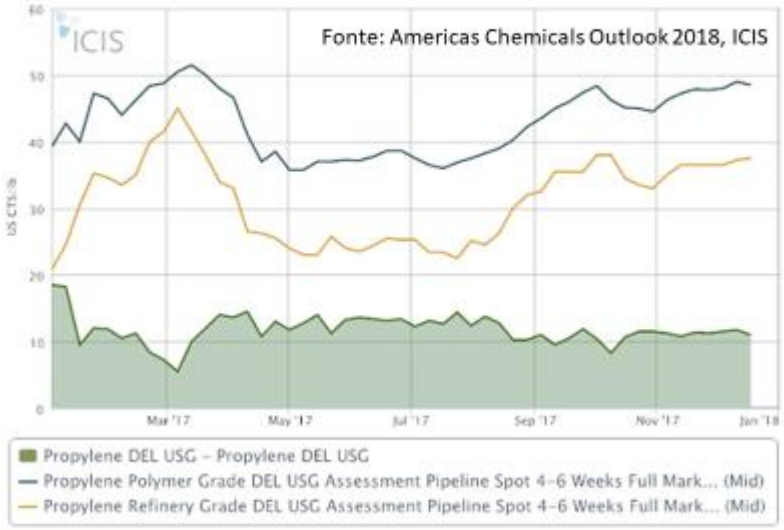


Preço da Glicerina de 680 a 950 US$/t

Preço relativo das matérias-primas

Preços Matérias-primas		US$/t	Mercado	Fonte	Data
Petróleo Brent	46,1 $/bbl	347	Londres		8.11.2016
Petróleo WTI	44,7 $/bbl	340	NY		8.11.2016
Nafta Petroquímica		420	Europa spot	Quotenet.com	8.11.2016
Eteno grau polímero	€ 970/t	1032	Europa spot	Braskem	15.11.2016
Propeno grau polímero	€ 755/t	803	Europa spot	Braskem	15.11.2016
Benzeno		660	Europa spot	ICIS News	8.11.2016
Benzeno		672	EUA contrato	ICIS News	8.11.2016
Açúcar		620	Brasil	ESALQ	
Álcool Anidro	0,653 $/l	824	Brasil	ESALQ	15.11.2016
Álcool Anidro	0,433 $/l (maio 16)	547	Brasil	ESALQ	
Glicerina	(Glicerina loira ~ 85%)	150	Brasil (SP)	BiodieselBR	out/16
Glicerina Bidestilada		472	Brasil (SP)	BiodieselBR	média jan-out2016

Propileno grau polímero, EUA Costa do Golfo



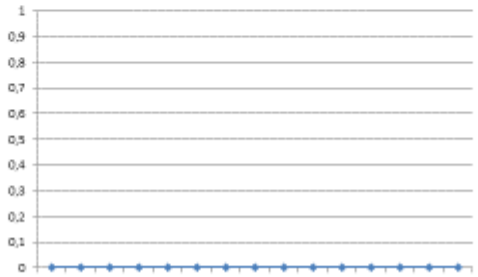
Propeno Grau Polímero ~ 1000 US$/t em 2017

Disponibilidade de Propeno no mercado brasileiro

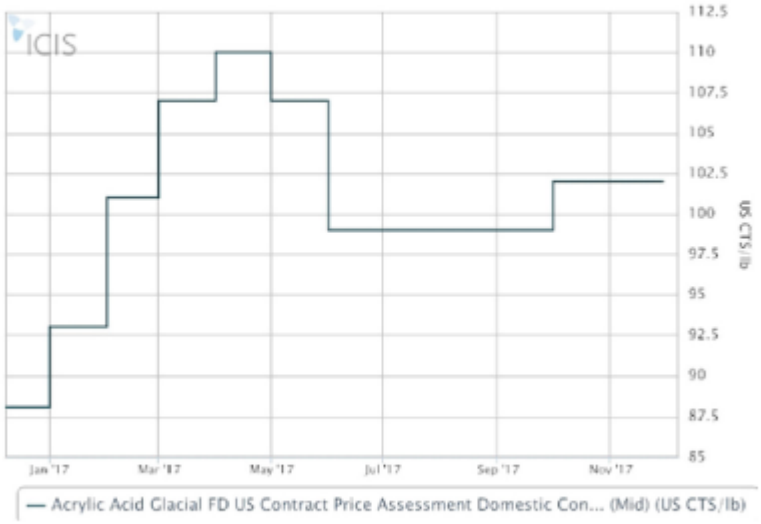
- Em junho 2015 entrou em operação o complexo de ácido acrílico da BASF, que passou a consumir boa parte do propeno que exportávamos.

- A Braskem-Camaçari começou a processar LGN, do *shale gas* americano, em outubro de 2017, o que reduzirá a disponibilidade de propeno.

Exportação de Propeno (t)

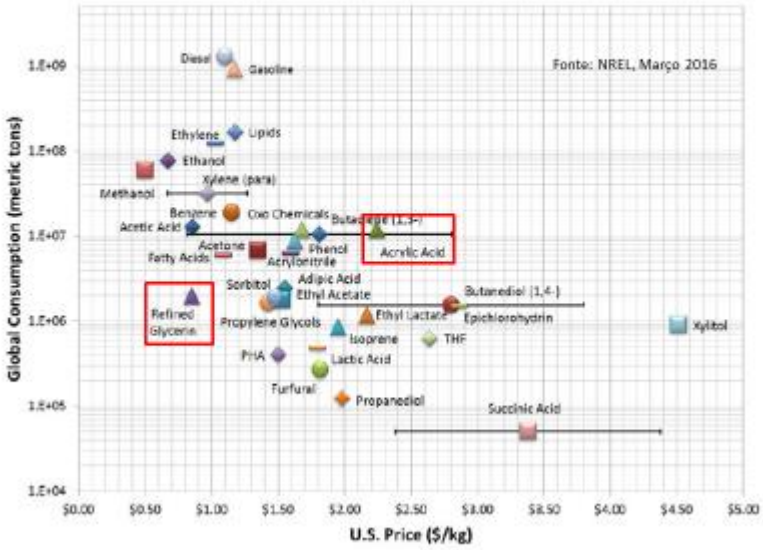


Ácido acrílico glacial nos EUA 2017



Preço médio= $ 99/lb /0,453592 → US$ 2180/t

Confirmação dos preços



Ácido Acrílico glacial China 2017

Preço ácido acrílico = 9500 ¥/t /6,32¥/US$ → ~ US$ 1500/t

Agregação de Valor

Glicerol	→	Ácido Acrílico
< $500/t		$ 1500/t - $ 2180/t
< $200/t (glicerina loira)		

Análise Interna-Externa

SWOT

Roteiro SWOT

- Análise Interna (Brasil): Forças e Fraquezas.
- Análise Externa (Ambiente de Negócios Global): Oportunidades e Ameaças.
- Priorização considerando o Ambiente Externo de Negócios e as Forças e Fraquezas: essencial; muito importante; importante; e pouco importante.
- Como estamos pensando Brasil, a ferramenta estratégica será o "estabelecimento de políticas públicas".
- Políticas públicas que estimulem ou facilitem a viabilização da produção de "ácido acrílico a partir de glicerol" e mitiguem as nossas fraquezas.

Mãos a obra e boa sorte!