



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Química

Iva Oliveira Tavares

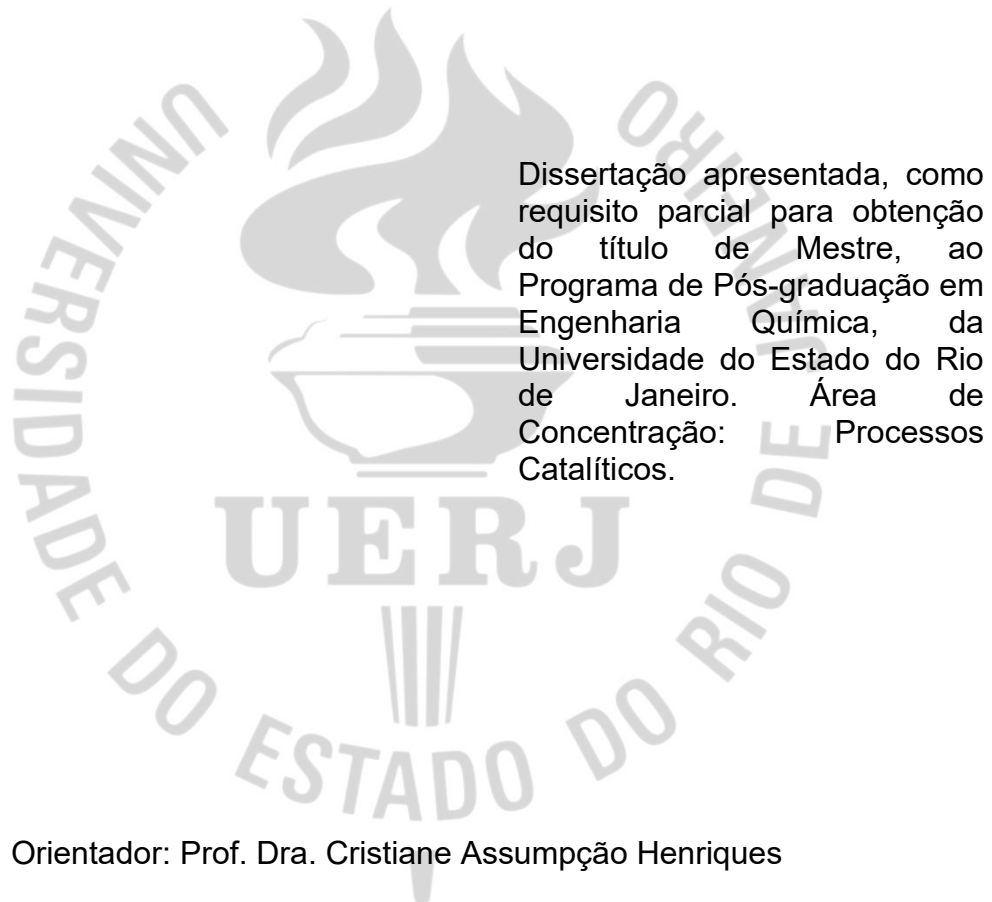
***Technology roadmap: as tendências da utilização do bio-óleo em
processos catalíticos de refino***

Rio de Janeiro

2025

Iva Oliveira Tavares

Technology roadmap: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Processos Catalíticos.

Orientador: Prof. Dra. Cristiane Assumpção Henriques

Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo

Dr. José Marcos Moreira Ferreira

Rio de Janeiro

2025

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/Q

T231 Tavares, Iva Oliveira.

Technology roadmap: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino. – 2025.
108 f.

Orientador (a): Cristiane Assumpção Henriques.
Marco Antonio Gaya de Figueiredo.
José Marcos Moreira Ferreira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Instituto de Química.

1. Catalisadores – Teses. 2. Bio-óleo – Teses. I. Henriques, Cristiane Assumpção. II. Figueiredo, Marco Antonio Gaya de. III. Ferreira, José Marcos Moreira. IV. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Química. V. Título.

CDU 544.47

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

03/08/2025
Data

Iva Oliveira Tavares

Technology roadmap: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Processos Catalíticos.

Aprovada em 30 de maio de 2025

Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo (Orientador)
Instituto de Química - UERJ

Profa. Dra. Cristiane Assumpção Henriques (Orientadora)
Instituto de Química - UERJ

Dr. José Marcos Moreira Ferreira (Orientador)
Fábrica Carioca de Catalisadores S.A.

Banca examinadora:

Prof. Dr. André Luiz Hemerly Costa
Instituto de Química – PPGEQ/UERJ

Dr. Fábio Leal Mendes
Petrobrás/Cenpes

Dr. Tiago Lima Coelho
Fábrica Carioca de Catalisadores S.A.

Rio de Janeiro
2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me dar fé, coragem saúde e resiliência para finalizar o Mestrado em Engenharia Química, a minha família que sempre foi o pilar da minha vida, educação e incentivadora, me motivando a continuar e nunca desistir, mesmo nos momentos de dúvida quando pensava que não seria capaz.

Especialmente aos meus orientadores, Doutora Cristiane Henriques, Doutor Marco Antonio Gaya de Figueiredo e Doutor José Marcos Ferreira por toda a atenção, paciência, conhecimentos passados, conselhos e por acreditarem na minha capacidade de desenvolver esse trabalho de pesquisa.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite para compor a equipe de avaliação do presente trabalho, pelas contribuições que irão enriquecer e auxiliar no crescimento dessa dissertação e em minha formação profissional.

Por fim, agradeço aos meus amigos pela paciência, por compreenderem a minha ausência e me apoiarem nos momentos difíceis.

O risco de ir atrás de seus sonhos é muito menor que a lenta punição que você inflige a si mesmo todos os dias, suprimindo esses sonhos

Mel Robbins

RESUMO

Tavares, I. O. *Technology roadmap: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino*. 2025. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

A necessidade de descarbonização da matriz energética baseada em combustíveis fósseis tem levado diferentes segmentos a buscarem alternativas através do uso de biocombustíveis. O presente trabalho propõe, com o auxílio da técnica de priorização denominada Roadmap, analisar a tendência quanto à utilização do bio-óleo nas diferentes operações realizadas em refinarias, para o coprocessamento de renováveis em suas unidades. A metodologia do Roadmap consiste na avaliação temporal, possibilitando a identificação de associações entre diferentes instituições (empresas e universidades ou centros de pesquisa). O estudo considerou um intervalo de tempo de 11 anos. Utilizou-se, para análise, a taxonomia identificada na leitura de todo o material, permitindo avaliar o estado da arte em termos de tipos de catalisadores, aplicação do processo de hidrodessoxigenação (HDO) do bio-óleo, tipos de coprocessamento, se ocorreu no craqueamento catalítico fluido (FCC), na etapa de hidroprocessamento (HDT) ou hidrocraqueamento catalítico (HCC). Com base na técnica, serão apresentados mapas: da situação de curto prazo, referentes à análise das patentes aprovadas e do que já foi realizado; com a tendência de médio prazo, baseado nos pedidos de patentes; de longo prazo, considerando as informações extraídas de artigos; e um mapa final do estágio atual abrangendo tanto artigos quanto patentes do período, disponíveis em diversas plataformas (Scopus, Science Direct, entre outras). O Technology Roadmap construído permitiu mapear o coprocessamento de bio-óleo em unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) como sendo a tecnologia mais explorada, economicamente viável e com oportunidades de desenvolvimento, possibilitou identificar os catalisadores de FCC, contendo zeólitas em sua formulação, como os mais promissores, concentrando o foco das atuais rotas de pesquisa na necessidade de evitar a desativação dos catalisadores durante o processo.

Palavras-chave: bio-óleo; coprocessamento; roadmap; craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC); catalisadores.

ABSTRACT

Tavares, I. O. *Technology roadmap: trends in the use of bio-oil in catalytic refining processes*. 2025. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

The need to decarbonize the energy matrix based on fossil fuels has led different segments to seek alternatives through the use of biofuels. This study proposes, with the help of the prioritization technique called Roadmap, to analyze the trend regarding the use of bio-oil in different operations carried out in refineries, for the co-processing of renewables in their units. The Roadmap methodology consists of a temporal evaluation, enabling the identification of associations between different institutions (companies and universities or research centers). The study considered a time interval of 11 years. The taxonomy identified in the reading of all the material was used for the analysis, allowing the evaluation of the state of the art in terms of types of catalysts, application of the hydrodeoxygenation (HDO) process of bio-oil, types of co-processing, whether it occurred in fluid catalytic cracking (FCC), in the hydroprocessing stage (HDT) or catalytic hydrocracking (HCC). Based on the technique, maps will be presented: of the short-term situation, referring to the analysis of approved patents and what has already been accomplished; with the medium-term trend, based on patent applications; of the long-term, considering the information extracted from articles; and a final map of the current stage covering both articles and patents of the period, available on several platforms (Scopus, Science Direct, among others). The Technology Roadmap constructed allowed mapping the co-processing of bio-oil in fluidized bed catalytic cracking (FCC) units as being the most explored, economically viable technology with opportunities for development, made it possible to identify FCC catalysts, containing zeolites in their formulation, as the most promising, concentrating the focus of current research routes on the need to avoid deactivation of catalysts during the process.

Keywords: bio-oil, co-processing, roadmap, fluid catalytic cracking (FCC), catalysts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Orçamento Global de Carbono 2023.....	34
Figura 2 - Estruturas de diferentes frações de biomassa (lignocelulose, celulose, lignina e hemicelulose) antes e depois das reações.....	35
Figura 3 - Processos de conversão de biomassa e correspondentes catalisadores heterogêneos.....	36
Figura 4 - Princípios do processo de pirólise rápida.....	37
Figura 5 - Difusão de uma molécula A no interior de um poro.....	39
Figura 6 - Reações consecutivas de matéria-prima complexa que levam aos produtos finais da FCC.....	41
Figura 7 - Representação esquemática de processo típico de uma unidade de craqueamento catalítico em leito fluidizado.....	42
Figura 8 - Estrutura da zeólita Y.....	45
Figura 9 - Estrutura da zeólita ZSM-5.....	45
Figura 10 - Composição química e estrutural típica de uma partícula FCC.....	47
Figura 11 - Fluxograma de refino. Coprocessamento de bio-óleo diretamente na unidade FCC com VGO.....	54
Figura 12 - Coprocessamento de bio-óleo obtido por pirólise rápida, pirólise rápida catalítica e após melhoramento (HDO) em unidade FCC com VGO.....	55
Figura 13 - Esquema geral de <i>Roadmap</i>	60
Figura 14 - Representação esquemática da metodologia.....	64
Figura 15 - Evolução anual do número de publicações de artigos científicos.....	75
Figura 16 - Artigos científicos encontrados separados pelos países de origem.....	76
Figura 17 - Artigos científicos separados por tipo de instituição de origem.....	77
Figura 18 - Porcentagem dos artigos científicos que abordaram cada categoria dentro do grupo Mercado, Processo e Produto.....	78
Figura 19 - Porcentagem dos artigos científicos que abordaram cada tipo de processo de Obtenção do bio-óleo.....	79
Figura 20 - Porcentagem dos artigos científicos que abordaram cada um dos três tipos de Coprocessamento do bio-óleo.....	80
Figura 21 - Porcentagem dos artigos científicos que abordaram os tipos de Catalisadores.....	81

Figura 22 - Série histórica das patentes solicitadas e concedidas.....	83
Figura 23 - Patentes concedidas separadas por país de origem.....	83
Figura 24 - Patentes solicitadas separadas por país de origem.....	84
Figura 25 - Patentes concedidas e solicitadas separadas por empresas que tiveram mais do que uma patente registrada.....	85
Figura 26 - Porcentagem das patentes concedidas que abordaram cada categoria dentro do grupo Mercado, Processo e Produto.....	86
Figura 27 - Porcentagem das patentes solicitadas que abordaram cada categoria dentro do grupo Mercado, Processo e Produto.....	87
Figura 28 - Porcentagem das patentes concedidas que abordaram cada tipo de processo de Obtenção do bio-óleo.....	88
Figura 29 - Porcentagem das patentes solicitadas que abordaram cada tipo de processo de Obtenção do bio-óleo.....	89
Figura 30 - Porcentagem das patentes concedidas que abordaram cada um dos três tipos de Coprocessamento do bio-óleo.....	90
Figura 31 - Porcentagem das patentes solicitadas que abordaram cada um dos três tipos de Coprocessamento do bio-óleo.....	90
Figura 32 - Porcentagem das patentes concedidas que abordaram os tipos de Catalisadores.....	91
Figura 33 - Porcentagem das patentes solicitadas que abordaram os tipos de Catalisadores.....	92
Figura 34 - <i>Technology roadmap</i> : Tendências da utilização catalisadores de FCC no coprocessamento de bio-óleo em refinarias: Estágio Atual.....	94
Figura 35 - <i>Technology roadmap</i> : Tendências da utilização catalisadores de FCC no coprocessamento de bio-óleo em refinarias: Curto Prazo.....	96
Figura 36 - <i>Technology roadmap</i> : Tendências da utilização catalisadores de FCC no coprocessamento de bio-óleo em refinarias: Médio Prazo.....	98
Figura 37 - <i>Technology roadmap</i> : Tendências da utilização catalisadores de FCC no coprocessamento de bio-óleo em refinarias: Longo Prazo.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais propriedades do bio-óleo bruto derivado da madeira.....	38
Tabela 2 - Modelos de technology roadmaps referentes aos objetivos.....	61
Tabela 3 - Método utilizado para pesquisa nas plataformas digitais e seleção de patentes.....	67
Tabela 4 - Método utilizado para pesquisa nas plataformas digitais e seleção dos artigos.....	68
Tabela 5 - Taxonomias meso e micro.....	70
Tabela 6 - <i>Players</i> (empresas) e suas logomarcas encontradas nas patentes solicitadas e concedidas selecionadas para análise.....	71
Tabela 7 - Construção do <i>roadmap</i>	73
Tabela 8 - Lista dos artigos científicos considerada para elaboração do <i>technology roadmap</i> (continua).....	109
Tabela 9 - Lista das patentes concedidas considerada para elaboração do <i>technology roadmap</i> (continua).....	112
Tabela 10 - Lista das patentes solicitadas considerada para elaboração do <i>technology roadmap</i> (continua).....	116

LISTA DE ABREVIACÕES

ABD	Average Bulk Density - Densidade Aparente
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CAFe	Comunidade Acadmica Federada
CENPES	Centro de Pesquisas, Desenvolvimento e Inovação
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPO	leo de pirólise catalítica
FCC	Craqueamento Catalítico em leito Fluidizado
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HCO	leo pesado de reciclo
HDO	Hidrodessoxigenação
HDT	Hidrotratamento
HTL	Liquefação Hidrotérmica
H ₂ O	gua
H ₂ S	Gás Sulfídrico
LCO	leo leve de reciclo
NO _x	óxidos de Nitrogênio
SAR	Relação Molar Sílica/ Alumina
TRM	Technology Roadmap
UFCC	Unidade de Craqueamento Catalítico em leito Fluidizado
VGO	Gasóleo de vácuo

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	26
OBJETIVOS.....	32
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
1.1 Emissão de CO2.....	33
1.2 Processo de obtenção do bio-óleo pela biomassa lignocelulósica	34
1.3 Catálise Heterogênea.....	38
1.4 Processo de Craqueamento Catalítico em leito fluidizado.....	40
1.5 Estrutura e composição do catalisador FCC.....	44
1.6 Propriedades dos Catalisadores de FCC.....	48
1.7 Coprocessamento de bio-óleo em unidade FCC.....	51
1.8 <i>Tecnologia de Roadmapping (TRM)</i>.....	57
1.8.1 <u>Conceito e objetivo da tecnologia <i>roadmapping</i>.....</u>	58
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	64
2.1 Planejamento da Pesquisa.....	64
2.2 Levantamento, análise e seleção de Artigos e Patentes	66
2.3 Elaboração do Roadmap.....	69
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
3.1 Prospecção Tecnológica – Artigos Científicos.....	74
3.1.1 <u>Análise Macro.....</u>	74
3.1.2 <u>Análise Meso.....</u>	77
3.1.3 <u>Análise Micro.....</u>	78
3.2 Prospecção Tecnológica – Patentes Solicitadas e Concedidas.....	82
3.2.1 <u>Análise Macro.....</u>	82
3.2.2 <u>Análise Meso.....</u>	85

3.2.3	<u>Análise Micro</u>	88
3.3	Análise do <i>Technology Roadmap</i>	93
3.3.1	<u>Estágio Atual</u>	93
3.3.2	<u>Curto Prazo</u>	95
3.3.3	<u>Médio Prazo</u>	97
3.3.4	<u>Longo Prazo</u>	99
	CONCLUSÕES	101
	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	103
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICE A - Artigos científicos utilizados como referência para a prospecção tecnológica.....	109
	APÊNDICE B - Patentes concedidas utilizadas como referência para a prospecção tecnológica.....	112
	APÊNDICE C - Patentes solicitadas utilizadas como referência para a prospecção tecnológica.....	116
	APÊNDICE D - Technology roadmap: Tendências da utilização de catalisadores FCC no coprocessamento de bio-óleo em refinarias.....	120

INTRODUÇÃO

O petróleo é um recurso natural de origem mineral não renovável, que vem sendo utilizado há muitos anos como a principal fonte de energia no mundo. O processo de destilação do petróleo é responsável por gerar os derivados de alto valor agregado, utilizados como combustíveis. A dependência pelos produtos derivados do petróleo, a alta demanda necessária para sustentar o modelo energético baseado em fontes fósseis e as crescentes alterações climáticas causadas pelo aumento das emissões de poluentes oriundas da queima dos combustíveis fósseis, tem tornado urgente à busca pela mudança desse cenário, sendo o uso de biocombustíveis uma das alternativas exploradas por diferentes segmentos.

As reservas provadas de petróleo no mundo em 2023 totalizaram 1,8 trilhões de barris, aumento de 0,4% em comparação a 2022. O Oriente Médio, a região detentora da maior reserva mundial, somou 873,6 bilhões de barris, em 2023, representando quase a metade do total mundial, cerca de 48,7%, valor que apresentou crescimento de 0,2% em relação ao ano de 2022. Em 2023 o Brasil ocupou a 15ª posição em relação à quantidade de reservas mundiais evidenciadas de petróleo, totalizando um volume de 15,9 bilhões de barris, o que representa um crescimento de 7% quando comparado ao ano de 2022 (ANP, 2024).

A exploração do petróleo tem como principal finalidade a produção de energia através de seus derivados, os combustíveis (ANP, 2021). No Brasil, em 2023, a produção de petróleo foi de 3,6% do total mundial, ou seja, 3,5 milhões de barris/dia; os Estados Unidos, maior produtor mundial de petróleo com 20,1% do total, apresentou um volume médio de 19,4 milhões de barris/dia. Em 2023 o consumo mundial de petróleo cresceu 2,6% em relação a 2022, o total consumido foi de 100,2 milhões de barris/dia, sendo os Estados Unidos o maior consumidor com 19 milhões de barris/dia, seguido pela China com 16,6 milhões de barris/dia de petróleo, já o Brasil atingiu a sétima posição, consumindo cerca de 2,6 milhões de barris/dia (ANP, 2024).

Os procedimentos iniciais de extração do petróleo, como a exploração e produção, são etapas consideradas muito arriscadas e que necessitam de grandes investimentos financeiros (Thomas, 2004). A expectativa de escassez do petróleo

leve e a necessidade das indústrias em refinarem o petróleo pesado, têm causado aumento dos custos, nos impactos ambientais e levado a estudos de alternativas que possam reduzir ou eliminar a dependência do petróleo.

Como alternativa para o combustível fóssil, os biocombustíveis produzidos a partir da biomassa lignocelulósica têm-se mostrado uma opção promissora (Lin *et al.*, 2022), sendo os catalisadores heterogêneos excelentes para promover esse processo, pois devido às suas características, podem ser removidos do meio após a reação e reutilizados, tornando mais fácil a purificação do produto (Ferreira *et al.*, 2022). As tecnologias de processamento da biomassa lignocelulósica, que visam sua conversão em biocombustíveis, necessitam superar os desafios inerentes ao processo para que possam fazer frente às tecnologias de refino de petróleo, sendo este um dos motivos para que a biomassa ainda seja pouco utilizada (Lin *et al.*, 2022).

Os produtos gerados a partir da biomassa são complexos poliméricos abundantes em água/oxigênio e significativamente contaminados. O elevado teor de água e de oxigênio, excesso de inorgânicos, tais como: potássio, sódio, cálcio, magnésio e heteroátomos como: enxofre, nitrogênio, fósforo, cloro, considerados contaminantes, são capazes de causar a desativação dos catalisadores. A incrustação, envenenamento e degradação do catalisador, utilizado na conversão de biomassa, podem ser causados por: instabilidade hidrotérmica (degradação estrutural induzida pela água em reações ricas em água e oxigênio); espécies de heteroátomos (enxofre, nitrogênio) e espécies inorgânicas; condensação/polimerização das espécies reativas e instáveis (como carboidratos, aldeídos/cetonas) (Lin *et al.*, 2022).

O desenvolvimento dos processos catalíticos impacta diretamente no avanço tecnológico de conversão da biomassa lignocelulósica e sua comercialização, sendo fundamental aprimorar a estabilidade a partir de estudos para redução da desativação e aprimorar a regeneração dos catalisadores. As etapas de conversão da biomassa são divididas em despolimerização (podendo ocorrer na ausência de catalisador ou na presença de um catalisador heterogêneo ou homogêneo) e transformação (produção de combustíveis e produtos químicos) por meio de reações orgânicas utilizando catalisador com funções ácido/base, metálica e redox (Lin *et al.*, 2022).

A técnica de decomposição da biomassa lignocelulósica por pirólise rápida gera 75% em massa de bio-óleo, além de carvão e gás como subprodutos. O bio-óleo produzido é um líquido de coloração marrom escura, formado por uma mistura complexa de compostos orgânicos oxigenados provenientes da quebra das macromoléculas (despolimerização) das três principais frações componentes da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina) (IEA BIOENERGY, 2007).

O alto teor de oxigênio presente no bio-óleo reduz o seu poder calorífico, quando comparado ao dos combustíveis derivados do petróleo, e gera reações que alteram a sua qualidade quando estocados, dificultando o seu aproveitamento energético. O bio-óleo necessita de refino para ser utilizado como alternativa ao diesel ou gasolina. A redução do oxigênio presente no bio-óleo pode ser realizada usando catalisadores no hidrotreamento do bio-óleo ou na pirólise da biomassa, impactando diretamente na melhora das propriedades de acidez, estabilidade, viscosidade e poder calorífico (Chies, 2015).

O tratamento do bio-óleo (*upgrading*) visando o aprimoramento de suas propriedades para uso como biocombustível pode ser realizado através de processos físicos ou químicos, dentre eles a hidroxigenação (HDO), utilizando catalisadores bimetálicos sulfetados (CoMo, NiMo) suportados em alumina, sílica, carbono, removendo o oxigênio presente pela redução catalítica com hidrogênio (Bridgwater, 2004; Chen *et al.*, 2014); o craqueamento promovido por catalisadores à base de zeólitas; a emulsão com diesel e a conversão a gás de síntese por reforma a vapor (Huber *et al.*, 2006).

A técnica de coprocessamento de bio-óleo bruto testada em uma unidade de demonstração de craqueamento catalítico fluido (FCC) obteve resultados positivos e poderia ser realizada nas unidades de FCC existentes em refinarias de petróleo, com até 10 % em massa do bio-óleo processados juntamente com uma carga de gásóleo comum, produzindo gasolina e produtos da faixa de destilação do diesel. Justificando, assim, a viabilidade do processo que, no entanto, ainda possui muitos desafios para serem superados, como aqueles relacionados a algumas características do bio-óleo (alta acidez, favorecimento a formação de coque, baixa estabilidade e pouca miscibilidade com hidrocarbonetos) que muitas vezes representam um impeditivo para sua utilização direta (Pinho *et al.*, 2017).

Os catalisadores de FCC são utilizados na indústria de refino de petróleo, no processo de craqueamento catalítico em leito fluido. Nesse processo ocorre a quebra das moléculas de hidrocarbonetos presentes nas frações pesadas visando obter as frações leves, conhecidas como destilados, que possuem maior valor agregado. Os catalisadores sólidos em forma de pó são inseridos nas unidades de FCC promovendo reações catalíticas heterogêneas, aumentando a velocidade em que ocorrem as reações de craqueamento. Diante do bom desempenho dos catalisadores de FCC nos processos de refino e das propriedades físicas e químicas que possuem, pesquisas são realizadas para avaliar a sua eficácia no coprocessamento de bio-óleo.

As unidades de FCC estão presentes em praticamente todas as refinarias do mundo, destinadas ao processamento do gasóleo de vácuo (VGO) para produzir gasolina, diesel e GLP. O bio-óleo é tratado como matéria-prima intermediária, sendo alimentado juntamente com carga de VGO, no coprocessamento em unidades de FCC visando obter produtos de fontes renováveis, que atendam as especificações ASTM, juntamente com os produtos de origem fóssil. Deste modo, ocorre a redução do teor de carbono não renovável nas frações de combustíveis produzidas, representando uma alternativa para atender os requisitos legais e gerar créditos de descarbonização (MME, 2018).

Segundo Castello e Rosendahl (2018) a alternativa de realizar o coprocessamento de bio-óleo em FCC é justificada pelas reações nessa unidade ocorrerem sobre catalisadores de zeólita que são capazes de remover o oxigênio na forma de H_2O , CO , e CO_2 por meio de reações de desidratação, descarbonilação e descarboxilação, respectivamente. A outra vantagem das unidades de FCC quando comparado às demais tecnologias de coprocessamento, é a ocorrência de transferência de hidrogênio do fluxo fóssil para o bio-óleo, tendo em vista que, o gasóleo de vácuo frequentemente processando junto com o bio-óleo atua como uma fonte compensatória interna e barata de hidrogênio, possibilitando a desoxigenação do bio-óleo sem a necessidade de uma fonte externa de hidrogênio, enquanto ambos são convertidos em produtos na faixa da gasolina.

Atualmente, a metodologia de roadmapping está sendo muito utilizada pelas empresas como um estudo de apoio à inovação, visando realizar uma avaliação que atenda tanto os objetivos estratégicos quanto financeiros, estabelecendo um senso comum das prioridades e sequências de ações a serem tomadas (Phaal, 2015).

Segundo Lee e Park (2005) a ferramenta visual ou plano estratégico, chamado de Technology Roadmap (TRM), permite gerenciar o futuro de uma tecnologia, criar as ações e prioridades necessárias para atingir as metas estabelecidas por uma organização a curto, médio e longo prazo, conectando produtos, mercado e tecnologia.

Justificativa para o estudo realizado

Os materiais lignocelulósicos, originários de resíduos e subprodutos, devido à sua grande disponibilidade e baixo custo, principalmente os resíduos do agronegócio, são potenciais alternativas para aumentar a produção de combustíveis renováveis. Existe ainda a expectativa do crescimento da produção e uso desses biocombustíveis, a partir do incentivo das políticas públicas comprometidas em atender as metas atuais de redução de emissões de gases de efeito estufa (Aguiar; Ximenes, 2020).

A oportunidade de incorporar a corrente oriunda do processo de conversão da biomassa com a corrente de matéria-prima de origem fóssil através do coprocessamento do bio-óleo nas unidades de craqueamento catalítico fluido, aproveitando a estrutura já existente, pode representar uma redução de custos em novos projetos e tecnologia de produção de biocombustíveis, completando a cadeia de valor da produção de combustíveis nas refinarias de petróleo (Aguiar; Ximenes, 2020).

Diante desse panorama, o trabalho teve como objetivo avaliar as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino, destacando o seu coprocessamento nas unidades de FCC utilizando catalisadores de craqueamento catalítico em leito fluidizado, tendo em vista que, esta tecnologia tem sido reconhecida como uma solução mais promissora em comparação com outros métodos convencionais como o hidrotreatamento e hidrocraqueamento, devido ao menor investimento de capital e maior produtividade de combustível. Para isso, foi utilizada a técnica de planejamento estratégico *Roadmap*, ferramenta responsável por auxiliar nos estudos e na compreensão do desenvolvimento e avanço das

tecnologias, produtos e mercados voltados para este processo em um cenário de curto, médio e longo prazo.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo desta dissertação é analisar as tendências tecnológicas no setor de produção de combustíveis renováveis, a partir do coprocessamento do bio-óleo, visando à introdução de cargas lignocelulósicas no refino de petróleo. A elaboração de um *Technology Roadmap* possibilita a avaliação do estado da arte dos setores em curto, médio e longo prazos, realizando uma associação ao mercado, produto e tecnologia, contribuindo para o planejamento estratégico, a tomada de decisões por parte de empresas, universidades e interessados pelo estudo e para o desenvolvimento e inovação no setor.

Objetivos específicos

- Selecionar artigos científicos na base de dados *Scopus* e patentes nas bases de dados *Patent Inspiration*, *WIPO Patentscope* e *Espacenet*, no período de 11 anos (2013 a 2023), relativos às técnicas utilizadas no coprocessamento de bio-óleo nas unidades de refino de petróleo, visando identificar referências precisas e confiáveis sobre o tema;
 - Realizar a prospecção tecnológica (análise macro, meso e micro) e identificar as principais fontes influenciadoras, frequência de abordagem dos processos e as principais tecnologias e produtos utilizados.
 - Elaborar um *technology roadmap* das técnicas de coprocessamento de bio-óleo em refinarias e identificar as atuais tendências tecnológicas utilizando catalisadores de FCC
 - Verificar, dentro das tecnologias abordadas, quais apresentam maior viabilidade em um panorama futuro de processo.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

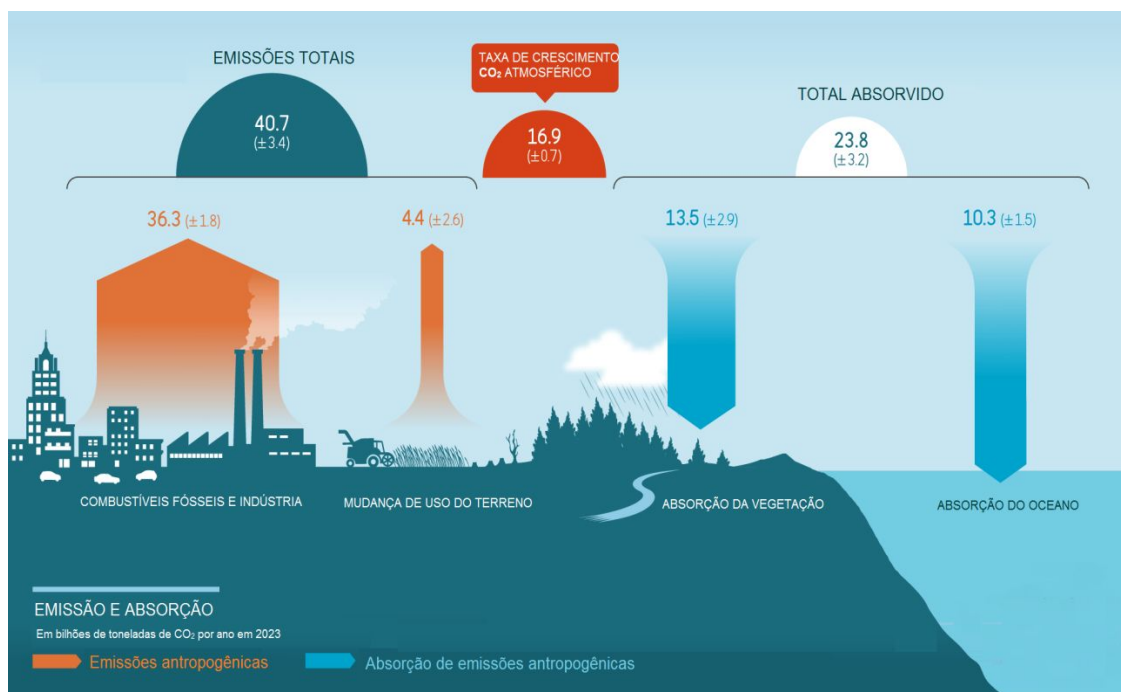
1.1 Emissão de CO₂

A grande quantidade de CO₂ emitida através das atividades antropogênicas é uma das principais causas das alterações climáticas, devido à possibilidade de seu acúmulo na atmosfera ao longo dos anos. Em 2022, a concentração de CO₂ na atmosfera foi provavelmente a maior registrada dos últimos dois milhões de anos e aproximadamente 51% acima do nível anterior à industrialização, tendo ocorrido a uma taxa 10 vezes maior que no período industrial. Embora o aumento global das emissões de poluentes tenha desacelerado, principalmente devido às políticas climáticas, ao avanço da tecnologia, à substituição do carvão pelo gás e ao crescimento das energias renováveis, o mundo continua a emitir CO₂ fóssil ao longo dos anos, estando longe de apresentar reduções expressivas em emissões, necessárias para atingir as metas estabelecidas pelo Acordo de Paris (GCP, 2024).

A estimativa realizada pela GLOBAL CARBON PROJECT engloba todas as emissões e capturas de CO₂ provenientes de maneira direta ou indireta das atividades humanas (Figura 1). As emissões oriundas da queima dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) representam aproximadamente 90% do total de emissões, incluindo uma pequena contribuição da indústria de cimento. O restante das emissões é atribuído às alterações na utilização da terra, tal como os impactos causados pelo desmatamento.

Do total de CO₂ emitido, cerca da metade é removida pelos sumidouros, através da absorção pela vegetação no processo de fotossíntese e pelos oceanos. O restante do CO₂ emitido permanece acumulado na atmosfera contribuindo para as alterações climáticas. Portanto, os sumidouros naturais de CO₂ e as ações voltadas para redução das emissões de gases do efeito estufa são extremamente importantes para redução dos impactos climáticos no planeta (GCP, 2024).

Figura 1 - Orçamento Global de Carbono 2023.



Fonte: Adaptado de GLOBAL CARBON PROJECT, 2024.

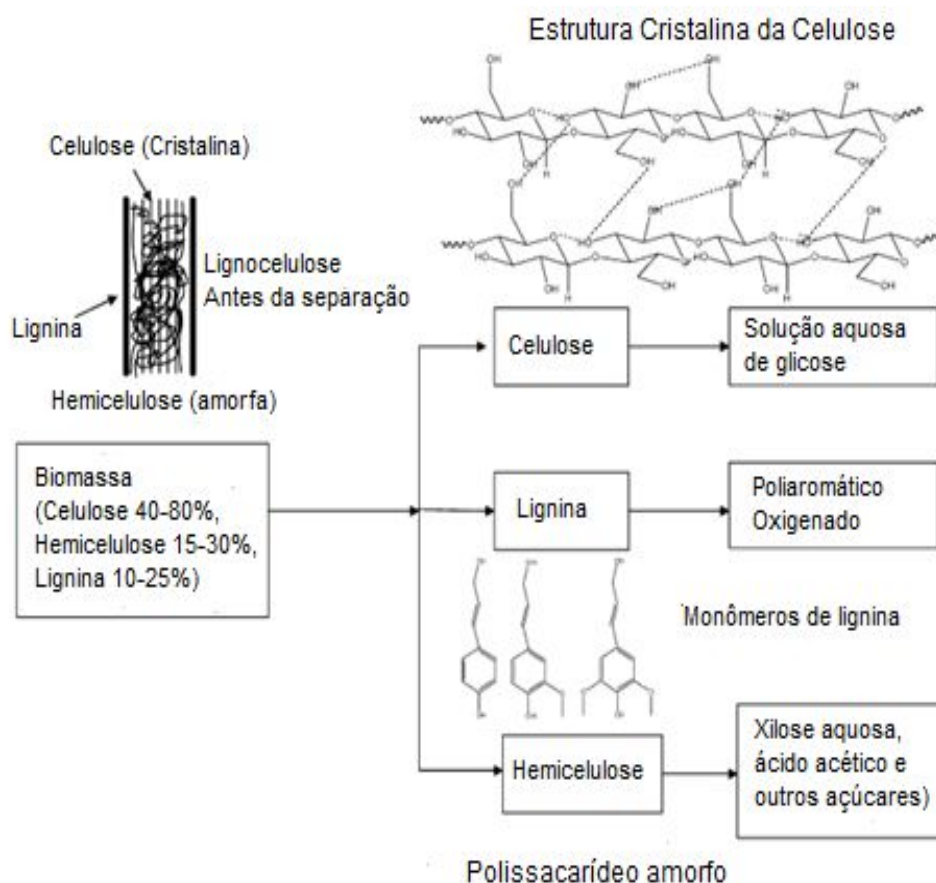
1.2 Processo de obtenção do bio-óleo pela biomassa lignocelulósica

A biomassa lignocelulósica pode ser originada de diversas fontes, tais como, resíduos agrícolas, industriais, urbanos e culturas específicas. A biomassa é composta de basicamente por três frações, hemicelulose, celulose e lignina, como mostrado na Figura 2. As rotas tecnológicas de conversão abrangem os processos físico-químicos e biológicos visando à obtenção de combustíveis líquidos, gasosos e demais produtos para produção de energia térmica por combustão (MME, 2007).

A biomassa lignocelulósica é um recurso renovável que possui carbono em sua estrutura, adquirido durante o processo de crescimento pela fixação de dióxido de carbono. Ao contrário dos combustíveis fósseis, que necessitam de milhões de anos para a efetiva formação, a biomassa é facilmente cultivada e pode ser substituída com rapidez, não representando uma ameaça para o esgotamento dos recursos naturais (Snyder *et al.*, 2014). Além disso, é uma alternativa para substituir cotas significativas das fontes não renováveis utilizadas com finalidade de gerar

energia, principalmente combustíveis líquidos para transporte, termelétricas e como fontes de matéria-prima para a indústria química.

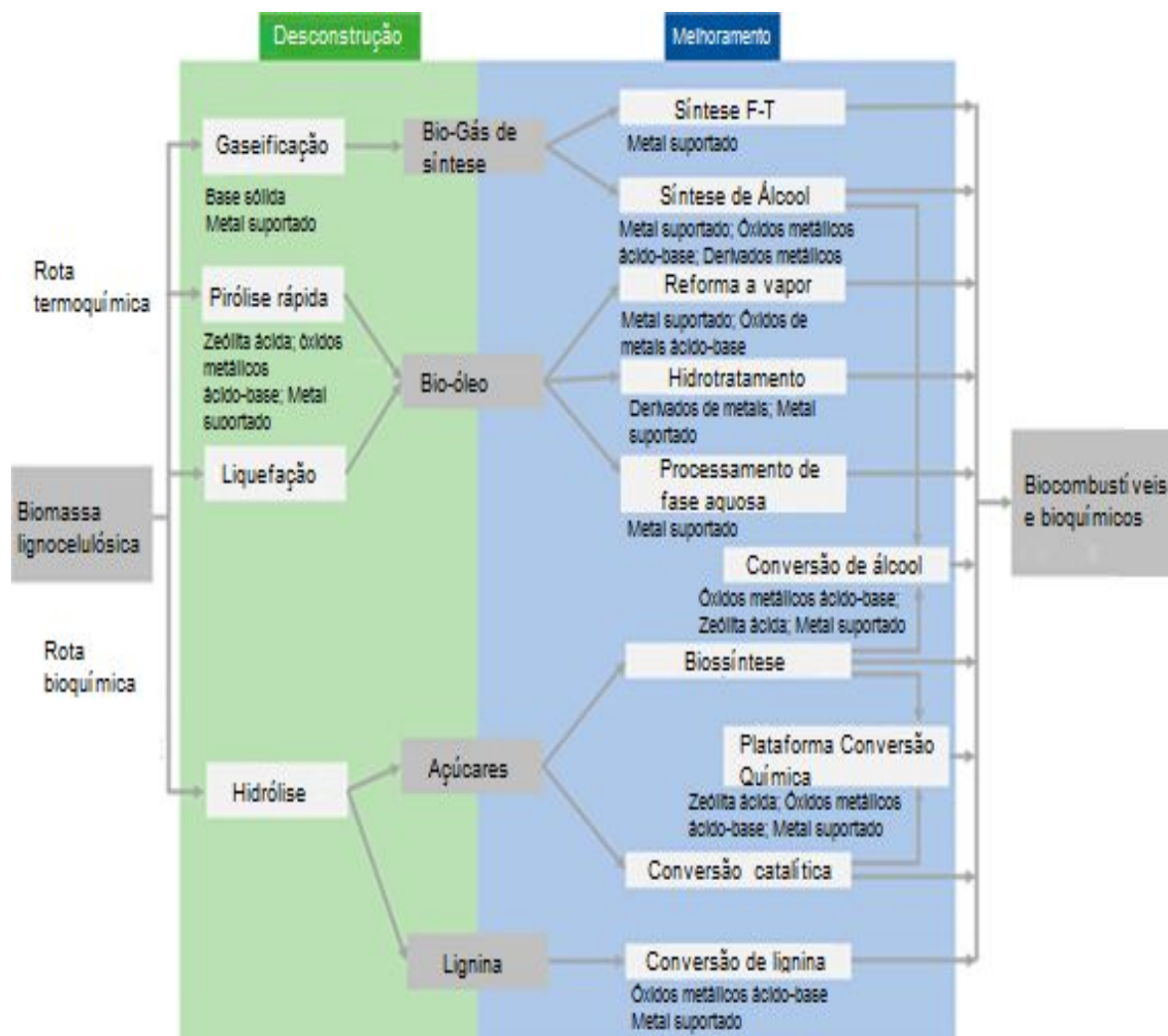
Figura 2 - Estruturas de diferentes frações de biomassa (celulose, lignina e hemicelulose) antes e depois das reações.



Fonte: Adaptado de Huber *et al.*, 2006.

O processo de conversão da biomassa lignocelulósica (Figura 3) é dividido basicamente em duas etapas, iniciando com a despolimerização/desconstrução da biomassa, que pode ocorrer por processos não catalíticos (pirólise rápida, gaseificação, liquefação hidrotérmica), catalíticos heterogêneos (pirólise rápida catalítica, gaseificação catalítica) ou por catálise homogênea (solução ácida/ básica ou alcalina). A segunda etapa é a de transformação/melhoramento (*upgrading*) dos intermediários oxigenados para uso como combustíveis e produtos químicos, utilizando as diferentes tecnologias de catalisadores com funções ácido/base, metálica ou redox (Lin *et al.*, 2022).

Figura 3 - Processos de conversão de biomassa lignocelulósica e correspondentes catalisadores heterogêneos.

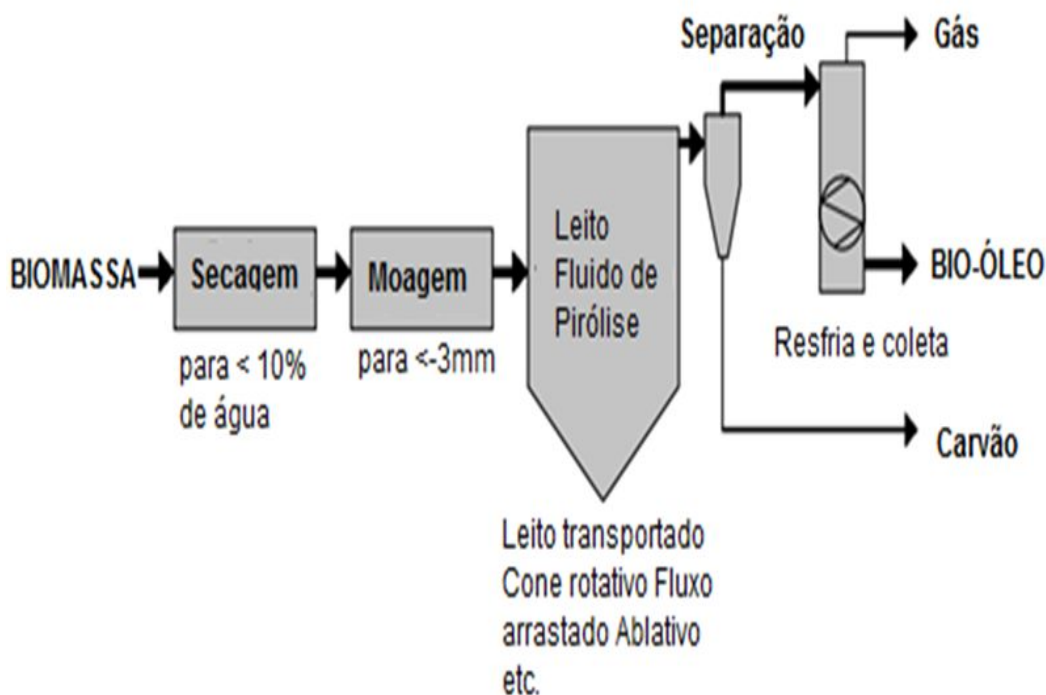


Fonte: Adaptado de Lin *et al.*, 2022.

O processo de pirólise rápida da biomassa é composto inicialmente pela etapa de secagem da alimentação, reduzindo o teor de água para valores inferiores a 10%, visando reduzir a presença de água no óleo líquido a ser produzido, seguido da moagem da alimentação, obtendo uma partícula de aproximadamente 2 mm, tamanho indicado para uso em reatores de leito fluidizado, capaz de garantir uma reação rápida e separação de sólidos (carvão) do produto (óleo de pirólise). A pirólise rápida ocorre em alta temperatura e na ausência de ar, aquecendo rapidamente a biomassa, levando à vaporização e, em seguida, à condensação do bio-óleo. É um processo que está bem desenvolvido e, dependendo dos ajustes

realizados, pode levar a altos rendimentos de líquidos. O sistema de pirólise rápida em leito fluidizado é ilustrado na Figura 4 (Bridgwater; Peacocke, 2000).

Figura 4 - Princípios do processo de pirólise rápida.



Fonte: Adaptado de IEA BIOENERGY, 2007.

A rota termoquímica de processamento da biomassa pela pirólise rápida gera um líquido de coloração marrom-escuro, frequentemente chamado de bio-óleo, possui poder calorífico superior de aproximadamente 17 MJ/kg e presença significativa de ácidos orgânicos derivados da degradação térmica causada pela pirólise, que atribui ao bio-óleo um caráter ácido (pH = 2,5). O bio-óleo é sensível a temperaturas elevadas quando sofre transformação química, não podendo ser destilado e imiscível com líquidos de hidrocarbonetos, representa um potencial substituto do óleo combustível ou diesel para utilização em caldeiras, fornos, motores e turbinas. No entanto, o uso como combustível de transporte depende do melhoramento de suas propriedades, o que embora seja tecnicamente possível ainda não é economicamente viável (Bridgwater; Peacocke, 2000). Na Tabela 1 são apresentadas as principais propriedades do bio-óleo bruto derivado da madeira.

Tabela 1 - Principais propriedades do bio-óleo bruto derivado da madeira.

PROPRIEDADES	VALORES MÉDIOS
Teor de umidade	15 – 30%
Densidade	1,2 kg/l
Oxigênio	35 – 40%
Carbono	55 – 58%
Hidrogênio	5 – 7%
pH	2,5
Poder calorífico superior	17 MJ/kg
Sólidos	1%
Viscosidade	40 – 100 cp (40°C)

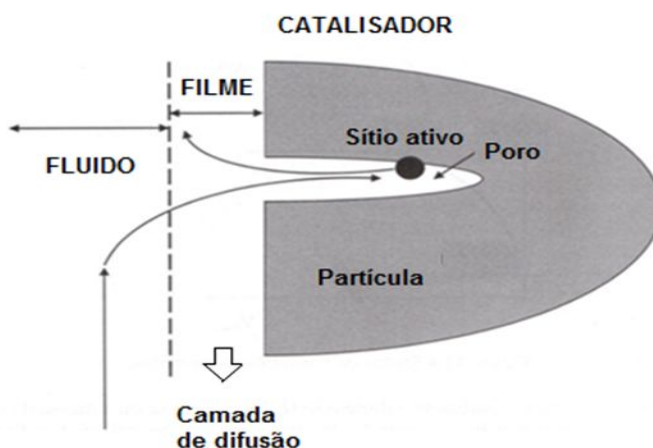
Fonte: Adaptado de Bridgwater, 2003.

1.3 Catálise Heterogênea

A catálise é utilizada em aproximadamente 70% dos processos industriais, sendo muito importante para vários segmentos, tais como: refino de petróleo, produção de combustíveis, na indústria de alimentos, medicamentos, polímeros, química fina e em reparações ambientais. Os produtos oriundos das reações catalisadas, produzidos em menores tempos reacionais, contribuem para o cumprimento dos critérios da Química Sustentável (Ferreira *et al.*, 2022).

As reações químicas ocorridas na presença de um catalisador possuem redução significativa na energia de ativação quando comparadas às reações realizadas sem catalisador. A adsorção das moléculas reagentes nos sítios ativos de catalisadores sólidos heterogêneos é o fenômeno responsável por esta alteração. (Schmal, 2013). Nas reações de catálise heterogênea, para um reagente atingir o sítio ativo do catalisador, basicamente sete etapas são percorridas: difusão da molécula do reagente do seio do fluido para a superfície da partícula do catalisador, difusão (transporte) da molécula reagente pelos poros, adsorção química das moléculas reagentes nos sítios ativos, reação nos sítios ativos, dessorção da molécula do produto e liberação dos sítios ativos, difusão da molécula do produto pelo interior dos poros até a superfície das partículas de catalisador e difusão das moléculas de produtos da superfície do catalisador para o seio do fluido, conforme representado na Figura 5 (Decroocq, 1984).

Figura 5 – Difusão de uma molécula A no interior de um poro.



Fonte: Adaptado de Schmal, 2013.

Os catalisadores são compostos pela fase ativa, suportes e promotores, podem ser classificados como mássicos ou impregnados em suporte pré-moldado e mistos (Schmal, 2013). Os catalisadores baseados em óxidos metálicos, zeólitas e metais suportados em zeólitas são muito utilizados nos processos de conversão de biomassa por pirólise rápida catalítica, já os catalisadores bifuncionais de metais nobres suportados, juntamente com H_2 , geralmente são usados para o melhoramento das propriedades do bio-óleo na hidrodessoxigenação do vapor de pirólise. O bio-óleo produzido por pirólise ou liquefação hidrotérmica pode ser convertido em combustíveis para transporte, porém o desafio encontra-se em melhorar a estabilidade do catalisador. O desenvolvimento das tecnologias de catálise representa o avanço das diversas técnicas de conversão de biomassa, impactando diretamente no aumento de sua comercialização (Lin *et al.*, 2022).

Os sítios ativos dos catalisadores são classificados em: sítios ácido-base, que podem ser aplicados em diversas reações como de conversão de biomassa, polimerização e craqueamento catalítico do petróleo (através dos sítios ácidos das zeólitas); sítios metálicos, utilizados em reações de hidrogenação, conversão de monóxido de carbono em dióxido, hidrogenólise, desidrogenação, descarboxilação e descarboxilação; sítios de óxidos metálicos, muito usados em oxidação seletiva, isomerização, desidrogenação de alcanos, síntese de polímeros e metanol, para valorizar moléculas oriundas do petróleo e reações que ocorrem na presença de um

catalisador de sítios ácidos (isomerização, craqueamento, alquilação de aromáticos, síntese do ácido metacrílico) (Ferreira *et al.*, 2022).

As reações químicas que utilizam catalisadores são classificadas em catalíticas homogêneas (catalisador, reagentes e produtos presentes em uma mesma fase, geralmente fase líquida), catalíticas heterogêneas (catalisador e reagentes/produtos presentes em fases distintas) e catálise enzimática (biocatalisadores enzimáticos em reações de estrito controle de pH, temperatura e na presença de contaminantes). A catálise heterogênea apresenta um diferencial econômico, pois os catalisadores usados nessas reações possuem elevada eficiência, composição com baixo teor de metais, flexibilidade para adequação da sua seletividade aos diferentes produtos e possibilidade de reutilização já que os catalisadores heterogêneos na forma sólida são mais fáceis de serem removidos do processo (Ferreira *et al.*, 2022).

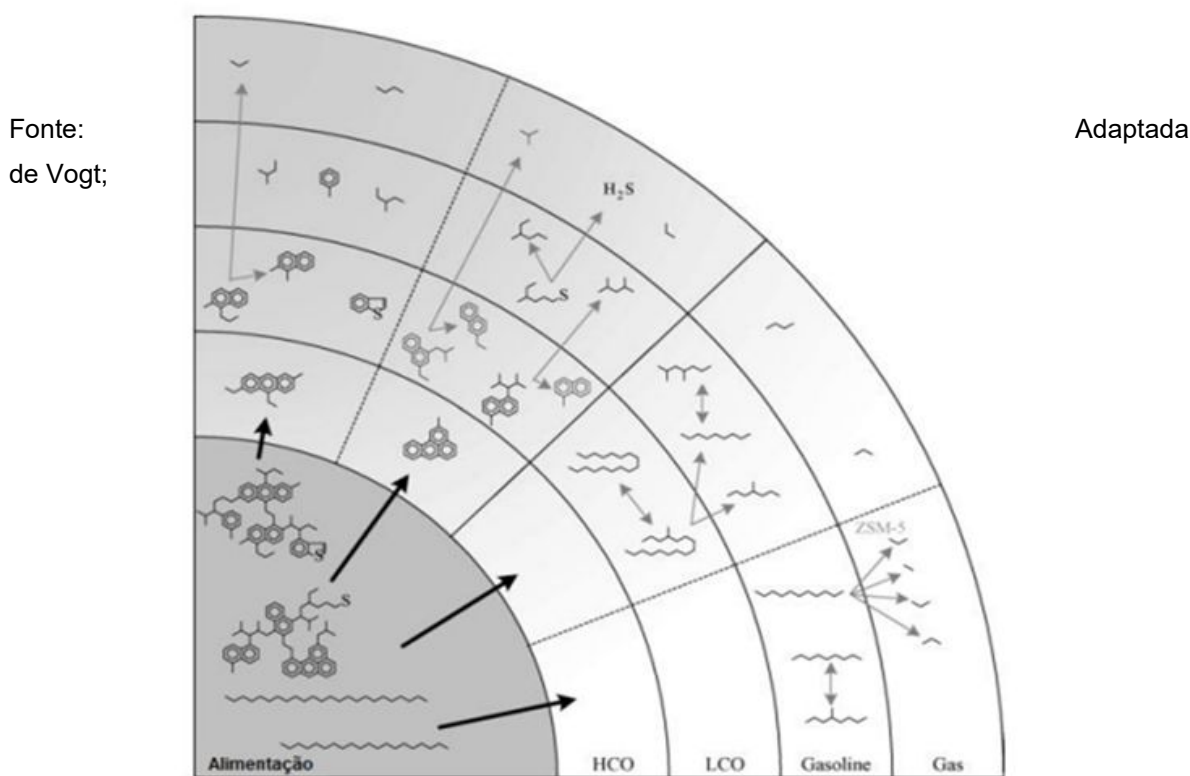
A utilização de catalisadores em processos industriais está diretamente relacionada à necessidade de novos produtos, redução de impactos ambientais pela emissão de gases menos poluentes e produção de energia. A busca por catalisadores com maior atividade, que apresentem menores perdas, tornou-se essencial para a otimização das indústrias (Schmal, 2013).

1.4 Processo de Craqueamento Catalítico em leito fluidizado

O craqueamento catalítico em leito fluido (FCC) é um dos principais processos de conversão nas unidades de refino do petróleo, sendo responsável por produzir a maior quantidade de gasolina em nível mundial. A unidade de FCC também é grande produtora de propeno e de menores quantidades de matéria-prima utilizadas em processos petroquímicos (Vogt; Weckhuysen, 2015). O processo de craqueamento catalítico em comparação aos demais é o que oferece maior lucro para as refinarias (Ancheyta, 2015). Em condições rigorosas de processo e na presença do catalisador, as frações pesadas são transformadas em frações leves, conforme representado na Figura 6, dando origem ao gás combustível, gás liquefeito de petróleo, nafta, gasóleo leve (diesel de craqueamento) e gasóleo pesado (óleo combustível) (UNICENP, 2002).

O catalisador é utilizado na conversão de frações de hidrocarbonetos (mistura de gasóleo de vácuo e óleo desasfaltado) de altas faixas de ebulição e massas moleculares, proporcionando o aumento da razão hidrogênio-carbono pela remoção de carbono (Ancheyta, 2015). Ao acessar um sítio ativo do catalisador, uma parafina (por exemplo) é protonada, formando um carbocátion adsorvido, que pode sofrer craqueamento, produzindo uma parafina e outro carbocátion, propagando a reação por meio da transferência de carga positiva para outra molécula.

Figura 6 – Reações consecutivas de matéria-prima complexa que levam aos produtos finais da FCC.



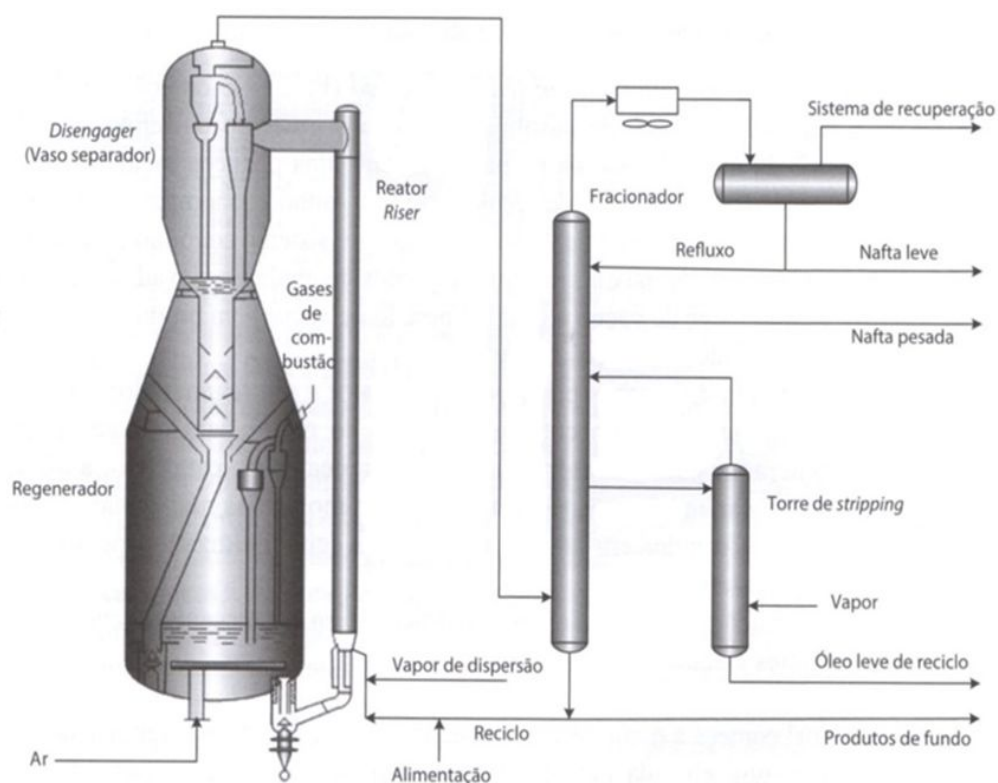
Weckhuysen, 2015.

O catalisador é utilizado na conversão de frações de hidrocarbonetos (mistura de gasóleo de vácuo e óleo desasfaltado) de altas faixas de ebulição e massas moleculares, proporcionando o aumento da razão hidrogênio-carbono pela remoção de carbono (Ancheyta, 2015). Ao acessar um sítio ativo do catalisador, uma parafina (por exemplo) é protonada, formando um carbocátion adsorvido, que pode sofrer craqueamento, produzindo uma parafina e outro carbocátion, propagando a reação por meio da transferência de carga positiva para outra molécula,

propagando a reação por meio da transferência de carga positiva para outra molécula.

A unidade de FCC (UFCC) possui dois equipamentos responsáveis pelo processo: um reator e um regenerador, ambos interligados para permitir a regeneração do catalisador logo após sua utilização na reação e retorno para o reator. O craqueamento catalítico em leito fluidizado, cuja unidade de processamento encontra-se representada na Figura 7, ganhou destaque no período da segunda guerra mundial devido à alta demanda de combustível e necessidade de produtos petroquímicos para as tropas aliadas. Após o período de guerra, o processo de craqueamento foi estabelecido pela produção de baixo custo e alta qualidade da nafta (UNICENP, 2002).

Figura 7 – Representação esquemática de processo típico de uma unidade de craqueamento catalítico em leito fluidizado.



Fonte: Adaptado de Ancheyta, 2015.

No processo de craqueamento catalítico fluido (FCC), a alimentação de hidrocarbonetos é inserida em um reator tubular de leito fluidizado (*riser*) através de

bicos atomizadores e entra em contato com o catalisador quente proveniente do regenerador. A alimentação é vaporizada e craqueada em moléculas mais leves ascendendo junto com o catalisador no interior do reator, à medida que ocorre o craqueamento, a velocidade dos vapores aumenta ao longo da altura do riser (Gupta; Kumar; Srivastava, 2007). Durante as reações de craqueamento do gasóleo, ocorre formação de coque, um produto indesejável que se acumula na superfície da partícula impedindo o acesso aos sítios ativos ou bloqueando os poros do catalisador, causando a desativação do mesmo. O coque (resíduo do craqueamento) é formado pela desidrogenação e condensação de poliaromáticos e olefinas (Ancheyta, 2015).

No separador, os vapores de hidrocarbonetos craqueados são separados do catalisador desativado e enviados para a coluna de destilação principal para posterior separação em várias frações, os vapores adsorvidos na superfície do catalisador são removidos no separador de catalisador utilizando vapor. Os catalisadores desativados são enviados para o regenerador, onde o coque depositado na superfície do catalisador é queimado (Gupta; Kumar; Srivastava, 2007).

A remoção do coque faz-se necessária para recuperação da atividade do catalisador, cujo processo é chamado de regeneração, realizado através da queima do catalisador desativado. A queima do coque gera um gás de elevada energia que é aproveitado para gerar vapor (UNICENP, 2002). O catalisador também funciona como um transportador de calor, pois ainda está quente quando retorna ao reator riser após sofrer o processo de regeneração, fornecendo o calor necessário para reações de craqueamento endotérmico, assim como, o calor necessário para a vaporização da alimentação no riser (Gupta; Kumar; Srivastava, 2007).

O primeiro derivado extraído em maior quantidade do processo de craqueamento catalítico, cerca de 50 a 65% do volume total da carga do reator é a nafta, em seguida aparece o GLP com 25 a 40%. Já em menores quantidades aparecem o óleo diesel de craqueamento, óleo combustível de craqueamento, gás combustível e o gás ácido (H₂S) (UNICENP, 2002). A gasolina proveniente do processo é rica em compostos aromáticos e compostos ramificados (Ancheyta, 2015).

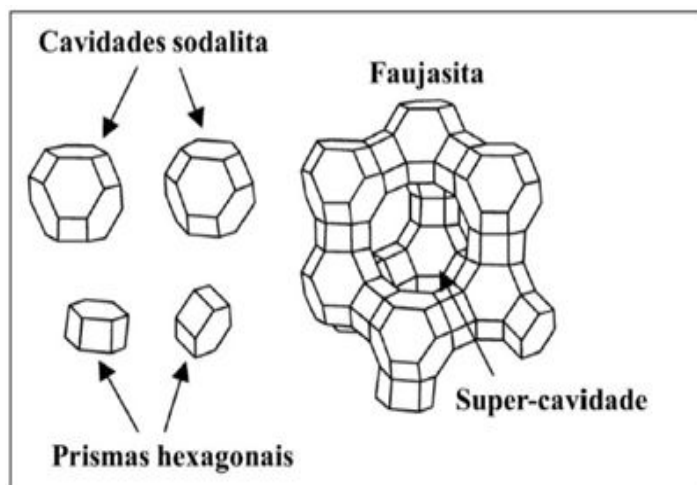
1.5 Estrutura e composição do catalisador FCC

A escolha da formulação ideal do catalisador para cada tipo de processamento será determinada mediante a avaliação do tipo de reação, equipamento (reator), particularidades do processo e aspectos econômicos. Visando, assim, garantir melhor desempenho das reações que ocorrem no reator catalítico. O projeto de um catalisador está estruturado na obtenção de partículas catalíticas com propriedades específicas baseadas nas características do processo em que será utilizado. (Schmal, 2013).

A base estrutural dos catalisadores de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) são as zeólitas, componente ativo. As zeólitas são aluminossilicatos cristalinos microporosos cuja estrutura é formada por uma rede tridimensional de tetraedros AlO_4^- e SiO_4 ligados entre si pelos átomos de oxigênio, cada um deles comum a dois tetraedros vizinhos. A união dos tetraedros origina uma estrutura contendo canais e cavidades regulares e uniformes, com diâmetros bem definidos, na faixa entre 3 a 20 Å. A maior parte dos sítios ácidos presentes nas zeólitas encontra-se no interior da sua estrutura porosa, que também confere à zeólita elevada área específica e volume de microporos. Há vários tipos de zeólitas no mercado, sendo as zeólitas do tipo Y e ZSM-5 as mais comuns para participarem da formulação dos catalisadores de FCC. A grande diferença entre elas está nas características topológicas (Lutz, 2014).

A estrutura da zeólita Y possui uma estrutura tridimensional caracterizada pela união entre octaedros truncados (sodalita ou cavidade β), conectados entre si por meio de prismas hexagonais D6R. Como ilustrado na Figura 8, sua cela unitária é caracterizada por oito octaedros truncados, que estão conectados através de 16 prismas hexagonais, através da união de suas faces hexagonais, dando origem a uma grande cavidade, com aproximadamente 12,4 Å de diâmetro livre. (supercavidades) (Lutz, 2014). Esta zeólita apresenta um sistema de canais principal, formado pela união das supercavidades (diâmetro interno de 12,4 Å), às quais se ingressa por aberturas formadas por anéis de 12 membros, de diâmetro igual a 7,8 Å. (Giannetto, 1989).

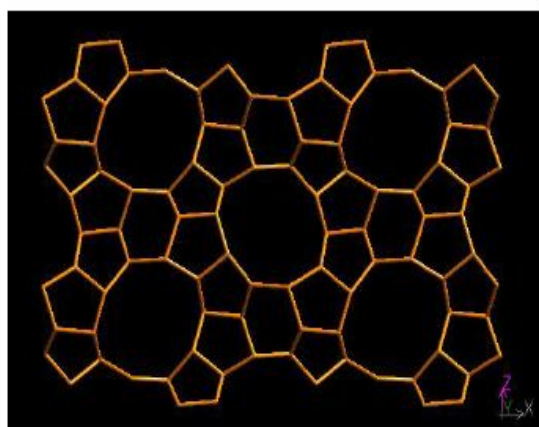
Figura 8 - Estrutura da zeólita Y.



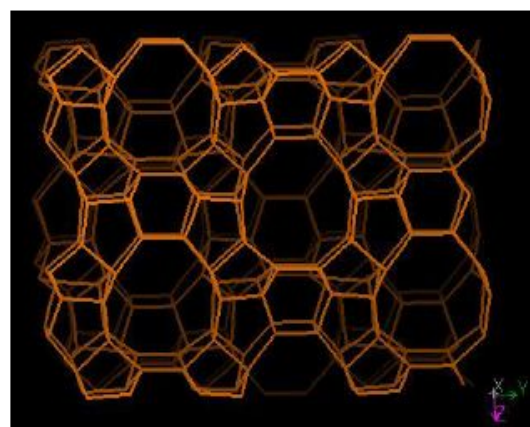
Fonte: Adaptado de Giannetto, 1989.

A zeólita ZSM-5 apresenta poros médios, um sistema de canais tridimensional constituído por dois tipos de canais elípticos: os retilíneos, que são formados por anéis com aberturas de 10 membros, com dimensões de $5,6 \times 5,3 \text{ \AA}$, e os canais sinuosos, que são também formados por anéis de 10 membros, porém com dimensões de $5,5 \times 5,1 \text{ \AA}$, que se interligam aos primeiros. Não possui grandes cavidades, embora as interconexões entre os canais resultem em espaços livres com cerca de $9,0 \text{ \AA}$ de diâmetro (Figura 9) (Giannetto, 1989).

Figura 9 – Estrutura da zeólita ZSM-5.



(a) canais retilíneos direção [010]



(b) canais sinuosos direção [100]

Fonte: Disponível em: www.iza-structure.org. Acesso em: 01 fev. 2025.

As zeólitas presentes na formulação dos catalisadores de FCC são responsáveis pela obtenção de frações na faixa da gasolina. O craqueamento das moléculas maiores ocorre nos sítios ácidos localizados na sua estrutura porosa. Em condições hidrotérmicas as zeólitas não são estáveis, essa característica pode ser atenuada por sequências monitoradas de tratamento hidrotérmico e lixiviação ácida, transformando a zeólita Y em zeólita USY (ultra estável), já para garantir maior atividade da zeólita, é realizada a substituição de parte dos contra-íons por íons de terras raras (RE) (Vogt; Weckhuysen, 2015).

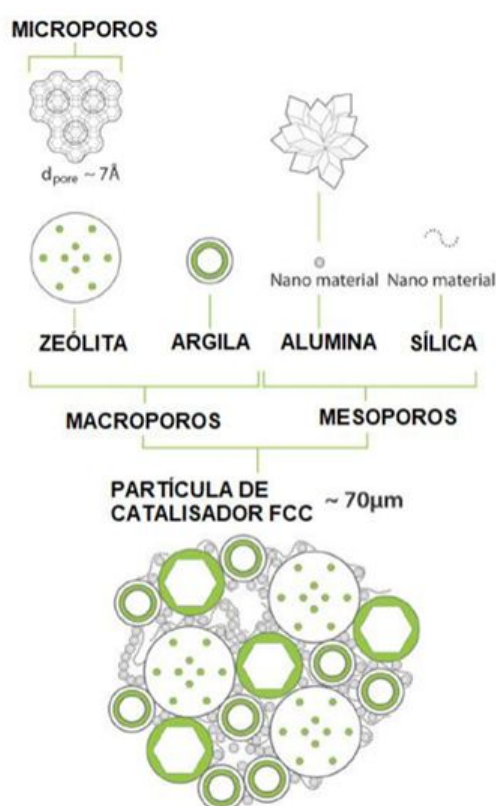
As zeólitas Y quando trocadas por terras raras (RE) geram as chamadas zeólitas REY e adquirem acidez superior às zeólitas USY, já as zeólitas RE-USY (zeólitas USY trocadas por RE) ganham propriedades catalíticas que podem ser classificadas como intermediárias entre as das zeólitas REY e USY. Através da utilização de misturas de zeólitas, alterando a sua proporção na formulação do catalisador, é possível alterar a composição do catalisador final para atender às necessidades específicas de cada refinaria, lembrando que as zeólitas na mistura não possuem as mesmas taxas de desativação, conseqüentemente haverá mudanças do desempenho do catalisador no processo quanto à atividade e seletividade (Scherzer, 1989).

A estrutura típica utilizada na produção de catalisadores FCC é composta por matrizes sintéticas (sílica e alumina), um componente natural (argila) e um componente ativo (zeólita), conforme representado na Figura 10. Entre as matrizes encontram-se dispersos os cristais de zeólita que junto com a argila formam o catalisador após o processo de secagem por pulverização (Scherzer, 1989). Segundo Ferreira, Aguiar e Aranda (2023) os catalisadores FCC são constituídos de componentes ativos e inertes responsáveis por agregarem propriedades físicas ao catalisador:

- Componente ativo: Zeólita - confere ao catalisador atividade e seletividade à fabricação de nafta; dependendo do tipo de zeólita presente no catalisador, o aumento da produção de GLP, rendimento de propileno e octanagem são favorecidos.

- Matriz ativa: Alumina (mesoporosa) - responsável pelo craqueamento das moléculas maiores com elevado ponto de ebulição em moléculas menores, facilitando seu acesso aos microporos das zeólitas.
- Matriz sintética: Sílica polimerizada, alumina, aluminossilicato ou fostato de alumínio - responsável por aglutinar os componentes, também conhecida como matriz ligante interfere diretamente nas propriedades físicas e estruturais; influencia a transferência de calor e a fluidização da partícula do catalisador, podendo ou não possuir atividade catalítica.
- Matriz inerte: Argila/Caulim - responsável por conferir resistência mecânica à estrutura do catalisador, do mesmo modo que a matriz sintética, influencia na densidade, resistência ao atrito e na distribuição do tamanho das partículas, não possuindo atividade catalítica.

Figura 10 - Composição química e estrutural típica de uma partícula FCC.



Fonte: Adaptado de Vogt; Weckhuysen, 2015.

1.6 Propriedades dos Catalisadores de FCC

Um catalisador para ser utilizado na indústria precisa ter atividade necessária para promover adequadamente as reações de conversão, pois em caso de descontrole pode haver a formação de diversos produtos, tal como na reação de craqueamento de hidrocarbonetos. O catalisador deve favorecer as reações que gerem os produtos almejados. Sendo assim, a seletividade é uma das suas propriedades mais importantes, capaz de evitar/reduzir a formação de produtos indesejáveis, impactando diretamente no aproveitamento da conversão da matéria-prima, minimizando as perdas e o aumento de investimentos operacionais e custos com o processo (Decroocq, 1984).

O processo de FCC necessita de catalisadores que possuam propriedades que garantam um bom desempenho nos processos de craqueamento catalítico, como por exemplo:

- **Atividade:** É a capacidade do catalisador promover as reações de craqueamento, logo, um catalisador deve possuir a atividade necessária para converter adequadamente a matéria-prima presente na carga nos produtos desejados através do aumento da taxa de reação. (Decroocq, 1984). A área específica influencia diretamente a atividade do catalisador, pois quanto maior área, mais acessível se encontram os sítios ativos. O acúmulo de metais pesados, principalmente o vanádio, na superfície da partícula causa o envenenamento do catalisador, reduzindo sua atividade pela destruição dos sítios ativos, sendo fundamental renovar o inventário com catalisador fresco visando manter adequado o nível de atividade (Macedo, 2024).
- **Seletividade:** A seletividade do catalisador é considerada uma das propriedades mais importantes, pois favorece a formação em maior quantidade do produto mais valioso comercialmente, ou seja, sua produção com maior rendimento, enquanto a formação de produtos indesejáveis é reduzida (Decroocq, 1984). A seletividade é reduzida pela presença de contaminantes como o coque e metais pesados, que bloqueiam o acesso aos sítios ativos do catalisador (Ferreira; Aguiar; Aranda, 2023).

- Estabilidade: A estabilidade térmica e hidrotérmica do catalisador garantem que a atividade e a seletividade sejam mantidas mesmo após processos de regeneração de alta severidade, logo, é recomendado que os componentes do catalisador, zeólita e integrantes da matriz, possuam boa estabilidade. Essa propriedade é alterada quando ocorre contaminação do catalisador com sódio presente na carga processada na UFCC, sendo ideal reduzir a quantidade de sódio na zeólita e demais componentes (Scherzer,1989). Quanto maior for a relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e a quantidade de Terras Raras na zeólita, maior a sua estabilidade hidrotérmica e, conseqüentemente, maior a estabilidade do catalisador (CATALÍTICA, 2017).
- Área específica (A.E.): É a área total do sólido, incluindo a superfície e o interior dos poros. A maior concentração de zeólita Y modificada leva a catalisadores de FCC com alta área específica, o mesmo ocorre para matrizes ativas com área específica elevada, o que aumenta conseqüentemente a atividade do catalisador. Porém, essas matrizes de maior área, são adsorventes fortes que deslocam mais os hidrocarbonetos durante o processo de craqueamento, podendo causar problemas para separação dos hidrocarbonetos craqueados do catalisador utilizado. Assim, o desejável é uma área de matriz balanceada (Scherzer,1989).

Fatores como área específica, volume de poros, massa específica, porosidade e tortuosidade, influenciam o mecanismo de difusão do catalisador. A taxa de reação do catalisador é impactada quando as etapas de reação ocorrem mais rapidamente que as etapas de difusão (transporte de massa) do fluido para a superfície externa do catalisador através da camada limite, ou seja, na alteração das condições de fluxo ao redor do catalisador que causam mudanças na espessura da camada limite e afetam a taxa geral de reação. Já a difusão dentro dos poros do catalisador pode limitar a taxa de reação, impactando na taxa geral pela difusão interna (Ferreira; Aguiar; Aranda, 2023).

O catalisador fresco possui área específica maior em comparação ao seu correspondente catalisador de equilíbrio (mistura de catalisadores que contêm diferentes tipos de zeólitas Y com diferentes atividades e diferentes graus de desaluminação) (Scherzer,1989). O catalisador de equilíbrio de FCC, também chamado de Ecat é gerado após a regeneração (remoção do coque por combustão) do catalisador desativado durante o processo de craqueamento

catalítico na UFCC. Essa redução ocorre por diversos fatores, entre eles estão a desativação hidrotérmica, que pode ocorrer na etapa de regeneração com a perda parcial da cristalinidade da zeólita e a alteração do volume/estrutura de poros da matriz sintética reduzindo assim a área específica (Scherzer, 1989).

- Diâmetro dos poros: O diâmetro de poros (micro, meso e macroporos) é o resultado do conjunto de poros dos demais componentes do catalisador de FCC, os macroporos e mesoporos determinam a acessibilidade à partícula do catalisador, assegurando a difusão na sua estrutura, permitindo o acesso dos reagentes aos sítios ativos e a perfeita remoção dos produtos. O diâmetro dos poros influencia também na seletividade: no caso de poros pequenos, as moléculas maiores dos reagentes não conseguem atingir os sítios ativos do catalisador (Macedo, 2024).
- Granulometria: É dividida em faixas de distribuição de tamanho da partícula (PSD) que deverão atender as necessidades e particularidades de cada processo de craqueamento. Essa propriedade é muito importante, não só para a fluidização do leito, como para determinar a resistência ao atrito. A faixa de tamanhos de partículas do catalisador varia entre 40 a 105 μm , sendo o tamanho médio desejável de 75 μm a fim de evitar perdas através da quebra das partículas maiores. O PSD do catalisador em uso na unidade FCC é acompanhado para avaliar a perda de partículas para a atmosfera. A resistência ao atrito é uma propriedade importante para determinar a permanência do catalisador em uso no processo e os custos causados por possíveis perdas. Estima-se que partículas inferiores a 20 μm sejam perdidas por elutriação no processo (Ferreira; Aguiar; Aranda, 2023).
- Densidade aparente (ABD): A densidade aparente da partícula é influenciada pela composição e pelas condições de produção do catalisador, por exemplo, quanto maior a quantidade de ligante (sílica sol) maior a densidade, o aumento do teor de sólidos da suspensão de catalisador e da temperatura de saída no processo secagem por pulverização, também causam aumento da ABD. Catalisadores com maior ABD tendem a apresentar menor volume de poros e uma melhor retenção na unidade de craqueamento, já em catalisadores com baixa ABD e alta porosidade é identificada uma menor resistência ao atrito, ocorrendo quebra indesejável das partículas e menor retenção, impactando

diretamente nos custos do processo com a perda de catalisador e possíveis emissões de particulado para atmosfera (Scherzer,1989).

- Volume dos poros: O volume de poros é determinado pelo total de espaços vazios que formam a partícula do catalisador (Macedo, 2024). Em geral as matrizes dos catalisadores de FCC comerciais são formadas por micro, macro e mesoporos, que em grande parte determinam o volume e a distribuição do tamanho dos poros do catalisador. A distribuição do tamanho dos poros da matriz do catalisador influencia no seu desempenho catalítico, sendo desejável uma distribuição otimizada de poros para cada tipo de matéria-prima e condições de craqueamento. O predomínio de poros pequenos pode causar obstrução dos poros pelo coque, problemas de difusão e baixa estabilidade hidrotérmica do sistema de poros da matriz. Já o predomínio de macroporos, relacionado à menor área de superfície, reduz a função catalítica da matriz e a resistência ao atrito do catalisador (Scherzer,1989).

As propriedades consideradas mais importantes para o processo de craqueamento catalítico são: seletividade, atividade e estabilidade hidrotérmica, sendo que uma boa atividade e seletividade dependem da contribuição das características dos componentes e estrutura dos poros do catalisador. Já a distribuição de tamanho e a densidade das partículas são responsáveis por catalisadores fluidos e fáceis de serem separados da corrente de produto (Sanden, 2003).

1.7 Coprocessamento de bio-óleo em unidade FCC

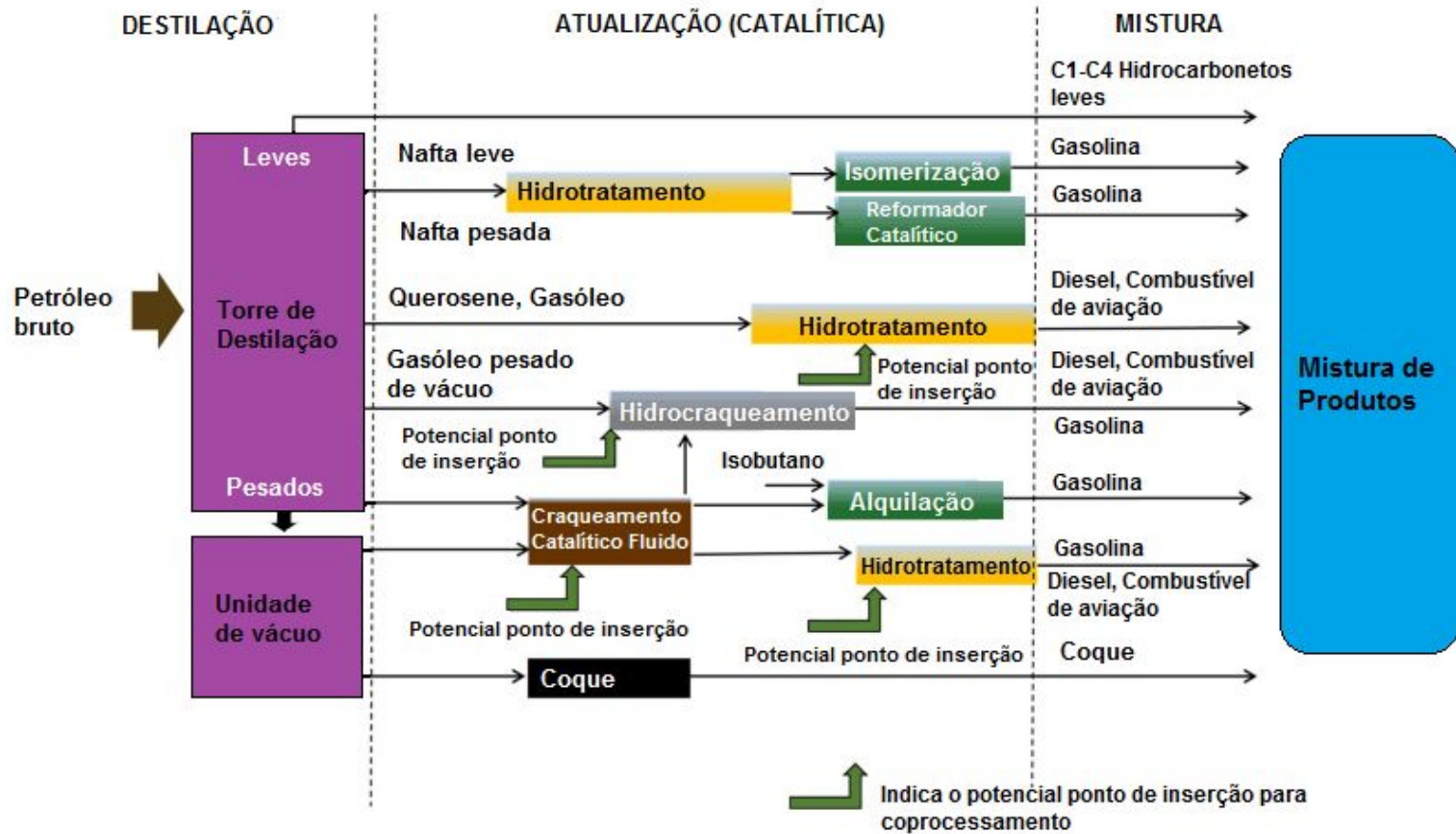
O bio-óleo obtido pela rota termoquímica (pirólise e liquefação hidrotérmica) a partir de biomassa lignocelulósica necessita de melhoramento/ conversão para gerar biocombustíveis que possam ser adicionados às frações de combustíveis fósseis ou utilizados diretamente nos motores. Em função disto, o uso do bio-óleo encontra barreiras tecnológicas e relativas ao custo, como os altos investimentos necessários para sua produção e comercialização. O coprocessamento de bio-óleo nas instalações já existentes nas refinarias de petróleo pode representar uma

significativa redução de custos com investimento, porém ainda são necessários avanços nos métodos de processamento considerando os pontos para sua introdução nas diferentes configurações das refinarias, conforme representado na Figura 11, tais como: (Dyk *et al.*, 2019)

- Hidrocraqueamento – É uma opção favorável, porém ainda pouco investigada como rota de coprocessamento do bio-óleo, apesar do potencial de conversão de aromáticos originados da lignina presente no óleo, um diferencial comparado à rota FCC. O hidrocraqueamento tem capacidade de gerar diversos produtos como gasolina, diesel e combustível de aviação, podendo processar desde óleo de pirólise de biomassa juntamente com frações pesadas de petróleo, até o bio-óleo obtido por liquefação hidrotérmica (HTL) (Alvarez-Majmutov *et al.*, 2021).
- Hidrotratamento – No processo de refino dos hidrocarbonetos oriundos do petróleo, o hidrotratamento é utilizado basicamente para retirar heteroátomos e diminuir a quantidade de aromáticos que, por sua vez, impacta no aumento da qualidade do combustível gerado. A remoção de oxigênio do bio-óleo, presente em quantidade superior ao encontrado no petróleo bruto, se reflete na necessidade de incorporar, nas unidades já existentes das refinarias, o processo de hidrotratamento para desoxigenação da carga. O coprocessamento via hidrotratamento quando bem sucedido, apresenta bons resultados para desoxigenação e dessulfurização, porém esta rota tem sido pouco explorada quando comparada ao coprocessamento do óleo de pirólise no processo de FCC (Castello; Rosendahl, 2018). O processamento de bio-óleo com alto teor de oxigênio, em unidades de hidrotratamento, apresentam algumas características desfavoráveis como: risco de pressões e temperaturas elevadas, ausência de miscibilidade com a carga fóssil, distúrbios na pressão de operação dos reatores, maior formação de coque e desativação do catalisador (Dyk *et al.*, 2019).
- Craqueamento catalítico em leito fluidizado – No processo de refino de petróleo, a unidade de FCC recebe diversas cargas de alimentação, incluindo frações pesadas como resíduo atmosférico ou resíduo de vácuo (Pinho *et al.*, 2014). As reações de craqueamento das moléculas maiores presentes na carga formando moléculas de produto menores acontecem rapidamente, favorecendo a produção de frações de hidrocarbonetos, tais como: gases leves, GLP, gasolina, óleo de ciclo leve (LCO) e óleo decantado (DCO), mas também ocorrem reações

indesejáveis como a de formação de coque, que se deposita na superfície do catalisador, causando a sua desativação (Castello; Rosendahl, 2018).

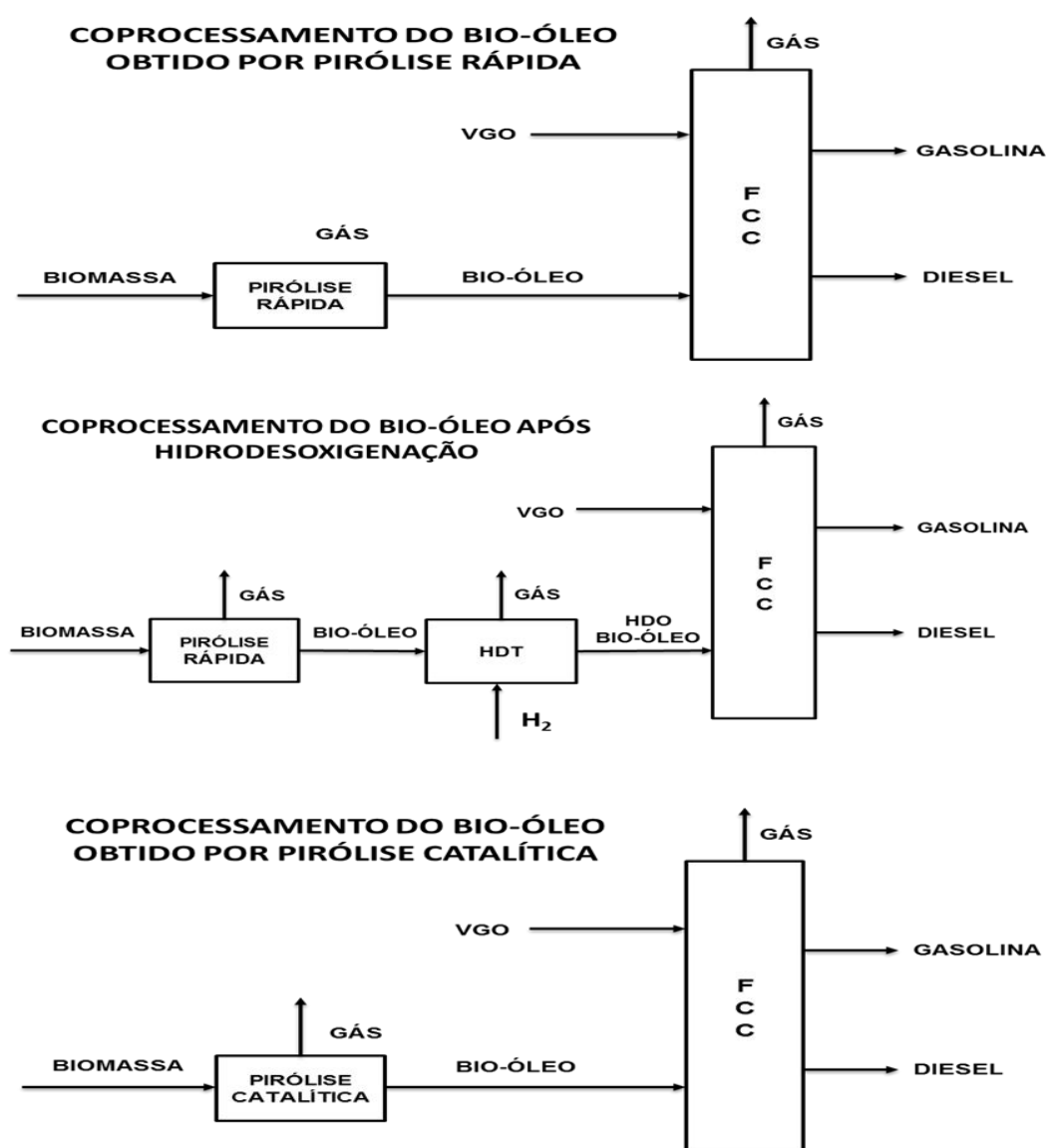
Figura 11 - Fluxograma de refino. Coprocessamento de bio-óleo diretamente na unidade FCC com VGO.



Fonte: Adaptado de Dyk *et al.*, 2019.

Os bio-óleos obtidos pelo processo de pirólise rápida e pirólise rápida catalítica ou após melhoramento (hidrodesoxigenação), ilustrado na Figura 12, de acordo com os estudos realizados podem ser utilizados para o coprocessamento em FCC com matérias-primas derivadas do petróleo, possuem propriedades distintas que requerem diferentes condições de reação, dificultando a análise da influência e eficiência de cada tipo de bio-óleo nas características do coprocessamento (Bezergiannia *et al.*, 2018).

Figura 12 - Coprocessamento de bio-óleo obtido por pirólise rápida, pirólise rápida catalítica e após melhoramento (HDO) em unidade de FCC com VGO.



Os óleos de pirólise rápida são interessantes por sua disponibilidade comercial e maturidade tecnológica, as pesquisas direcionadas para o seu coprocessamento com matérias-primas derivadas de petróleo em unidades de FCC, apresentam um potencial de crescimento baseado na versatilidade e flexibilidade operacional destas unidades em processar diferentes cargas, nas vantagens econômicas, na praticidade e nos menores riscos como ponto de inserção para conversão do bio-óleo em comparação às demais rotas (Dyk *et al.*, 2019). O coprocessamento do bio-óleo ocorre no reator de FCC e envolve vários tipos de reações, tais como: craqueamento, transferência de hidrogênio e isomerização (Bezergiannia *et al.*, 2018).

Para realizar o coprocessamento do bio-óleo com frações de petróleo em unidades FCC é necessário o entendimento de fatores relacionados às condições de reação e conversão, características dos catalisadores, rendimento das diferentes frações, qualidade da composição/propriedades do produto e quantidade efetiva de carbono renovável presente nas frações líquidas (Han *et al.*, 2021). O bio-óleo bruto possui propriedades distintas das frações de petróleo, tornando-os imiscíveis e conseqüentemente causando problemas operacionais (Bezergiannia *et al.*, 2018). Os oxigenados presentes nos óleos de pirólise são polares e adsorvem facilmente nos sítios ácidos dos catalisadores de FCC, levando à desativação dos catalisadores, deficiência do processo e aumento na formação de coque (Han *et al.*, 2021). A presença de agentes alcalinos é responsável pela desativação da zeólita, requerendo uma frequente reposição do catalisador no sistema para manter a atividade (Pinho *et al.*, 2014).

No coprocessamento de bio-óleo e Gasóleo a Vácuo (VGO) em unidades de FCC, ocorrem reações complexas entre os oxigenados presentes no óleo e o catalisador, juntamente com os hidrocarbonetos da matéria-prima derivada do petróleo. A maior parte do oxigênio presente no bio-óleo é convertida nos sítios ácidos de catalisadores à base de zeólita em CO, CO₂ e H₂O, enquanto pequena parte do oxigênio permanece no combustível líquido (Bezergiannia *et al.*, 2018). Uma solução para este problema é a remoção parcial do oxigênio existente no óleo de pirólise antes do seu coprocessamento (Han *et al.*, 2021). Para reduzir o teor de oxigênio no bio-óleo, em geral, são utilizados catalisadores FCC de equilíbrio (Ecat) no processo de pirólise, obtendo o óleo de pirólise catalítica (CPO), e catalisadores

sulfetados ($\text{CoMo/Al}_2\text{O}_3$ ou $\text{NiMo/Al}_2\text{O}_3$), quando realizado o processo de hidrodesoxigenação (HDO) do bio-óleo. A desoxigenação parcial torna os bio-óleos mais estáveis, em comparação aos bio-óleos brutos, e quimicamente mais semelhantes aos intermediários de petróleo (Bezergiannia *et al.*, 2018).

A estabilidade térmica e oxidativa dos bio-óleos podem acarretar problemas de armazenamento devido às mudanças de densidade, viscosidade, acidez e aumento na formação de polímeros. A instabilidade no bio-óleo é principalmente atribuída aos oligômeros de lignina formados durante o processo de pirólise, enquanto os problemas de corrosividade são causados pela presença de compostos oxigenados (fenóis e ácidos carboxílicos). É possível aprimorar a estabilidade térmica do bio-óleo através dos processos de hidrotreatamento, melhoramento por zeólita ou pirólise rápida catalítica (Bezergiannia *et al.*, 2018).

1.8 Tecnologia de *Roadmapping* (TRM)

Technology Roadmap (ou *Roadmap* Tecnológico) é o documento gerado pela aplicação da tecnologia de *Roadmapping* visando identificar o sistema crítico para um conjunto de necessidades que são fundamentais para atingir metas de desempenho e tecnologias alternativas do produto, portanto, a tecnologia de *Roadmapping* verifica “caminhos” tecnológicos alternativos para alcançar determinados objetivos de desempenho (Garcia; Bray, 1997).

Segundo Phaal, Farrukh e Probert (2004), na década de 1970 a Motorola foi responsável pelo desenvolvimento do *Roadmapping* tecnológico, apresentando de forma visual a estrutura do planejamento estratégico, cujo objetivo era aprimorar a relação entre tecnologia e produto. A partir desse momento, várias organizações de diferentes segmentos no mundo, a nível empresarial, setorial e nacional, passaram a adotar este método, realizando as adaptações necessárias para cada objetivo, utilizando como ferramenta de apoio à inovação, estratégias, desenvolvimento e implantação de políticas.

Nas empresas focadas no acompanhamento estratégico de produtos, desde o desenvolvimento até sua implantação, faz-se de grande importância a utilização do *Roadmapping*, necessário para criar um plano de ação contendo o propósito do negócio, custos, propriedades e tecnologias envolvidas no produto visando atingir as metas e estabelecer a sua ligação com o mercado (Albright; Kappel, 2003).

Este capítulo tem como objetivo realizar uma breve revisão do método de tecnologia de roadmapping (*Technology Roadmapping* - TRM), através da definição dos seus processos, tipos e formas de apresentação, visando auxiliar na compreensão da finalidade e aplicação da avaliação prospectiva representada graficamente, dar base à análise das tendências tecnológicas já existentes em curto, médio e longo prazo, fundamental para estruturar um planejamento estratégico e assegurar a melhor decisão a ser tomada.

1.8.1 Conceito e objetivo da *Technology Roadmapping*

A utilização da ferramenta tecnologia de *Technology Roadmapping* serve para apoiar de maneira estratégica a gestão da tecnologia. Na indústria, auxilia na previsão das tendências tecnológicas aguardadas para o futuro, baseando-se em uma metodologia exploratória ou utilizando uma abordagem normativa. Já na área corporativa, estabelece graficamente um método para estudo das relações existentes entre mercados, produtos e tecnologias através do tempo. Um benefício para o uso do roteiro tecnológico, frente às demais ferramentas de gestão, está na possibilidade de um vínculo direto das necessidades do negócio com a tecnologia (Lee; Park, 2005).

Segundo Garcia e Bray (1997) após a elaboração do *Roadmap*, apenas um caminho pode ser selecionado e um plano desenvolvido. Caso haja uma grande incerteza ou risco, então vários caminhos podem ser selecionados e seguidos simultaneamente. O *Roadmap* identifica os objetivos e auxilia a concentrar os recursos nas tecnologias críticas que são necessárias para atendê-los. Manter o foco estabelecido é importante, pois permite utilizar os investimentos de maneira

mais eficaz, portanto, é proposta uma estrutura para o TRM organizado em três fases, a atividade preliminar, seguida pelo desenvolvimento do *Roadmap* e, por fim, a atividade de continuidade, sendo estas descritas abaixo:

- Primeira fase (Atividade preliminar): Atender às condições fundamentais; determinar governança/patrocinador; estabelecer o propósito e os limites para o *Technology Roadmap*.
- Segunda fase (Desenvolvimento do *Technology Roadmap*): Verificar o “produto” que será base do *Roadmap*; verificar as demandas críticas do sistema e suas finalidades; caracterizar as áreas tecnológicas essenciais; identificar os orientadores tecnológicos e seus focos; verificar as possibilidades tecnológicas e suas cronologias; propor opções tecnológicas desejadas; gerar o relatório do *Roadmap*.
- Terceira fase (Atividade de continuidade): Opinar e ratificar o TRM; aprimorar o plano de execução; reformular e modificar.

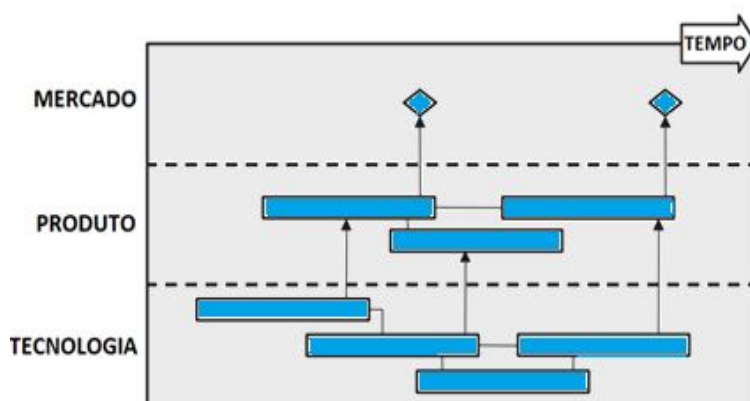
A metodologia proposta por Phaal, Farrukh e Probert (2004) para a elaboração do TRM, denominado de T-Plan, é um processo padronizado constituído de quatro etapas (*workshops*). Os *workshops* são distribuídos ao longo das diretrizes necessárias para a construção do *Roadmap*: configuração, gerenciamento e sequenciamento do processo. O primeiro *workshop* consiste em priorizar mercados e negócios, o segundo foca na estratégia de produtos e serviços, o terceiro é voltado para soluções de tecnologia e o quarto corresponde ao mapa gráfico responsável por vincular os recursos tecnológicos a futuras oportunidades de mercado.

Para Borschiver e Silva (2016) a metodologia utilizada para a realização do TRM é baseada em informações extraídas de documentos científicos, mais precisamente de artigos e patentes. O processo é dividido em três fases: fase Pré-prospectiva – identificação do tema de estudo, obtenção de conhecimentos sobre a tecnologia, definição de objetivos e estratégias para o *Technology Roadmap*; fase de Prospecção Tecnológica - etapa de realização das pesquisas utilizando as palavras-chave, coleta e análise dos documentos selecionados; fase Pós-prospectiva – produção do *technology roadmap* e conclusão do estudo.

A tecnologia de *Roadmapping* é muito utilizada na indústria devido às diferentes formas de aplicação dos roteiros, variando do impulso tecnológico à busca

de mercado (visando um produto determinado pelo cliente). O roteiro mais comum é a representação gráfica fundamentada no tempo abrangendo perspectivas comerciais e tecnológicas, permitindo, dentro destas, a análise do desempenho de mercados, produtos e tecnologias, conforme ilustrado na Figura 13 (Phaal; Farrukh; Probert, 2004).

Figura 13 - Esquema geral de *Roadmap*.

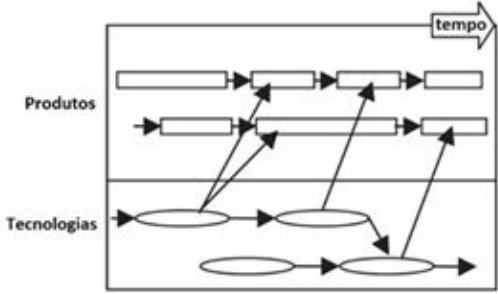
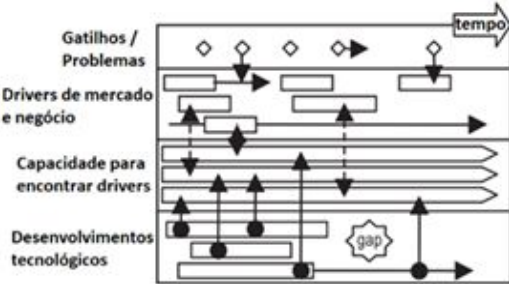

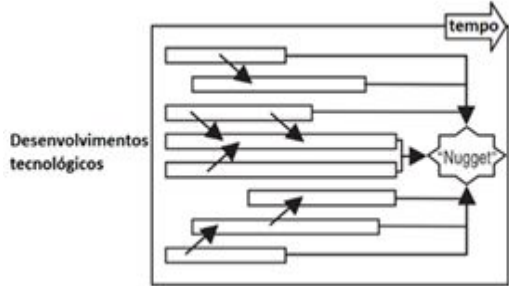


Fonte: Adaptado de Phaal; Farrukh; Probert, 2004.

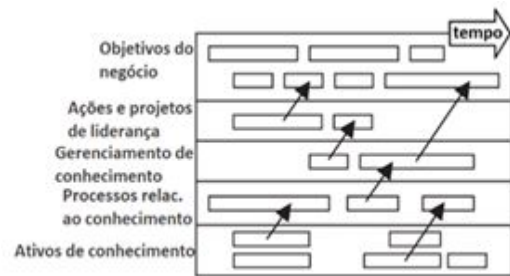
Conforme relatado por Willyard e McCless (1987), o método (*Roadmapping* tecnológico) e o seu resultado (*Roadmap*) podem ser alterados de acordo com sua aplicabilidade, em coerência com o planejamento estratégico do produto. O modelo de *Roadmap* tecnológico retrata o mercado, servindo de base para o desenvolvimento de novos produtos, apontando as necessidades tecnológicas e avaliando as prioridades mais adequadas.

A abordagem do *Roadmapping* tecnológico para diferentes propósitos de uma organização e os diversos modelos gráficos que o *Roadmap* pode abranger representam a facilidade de adaptação dessa ferramenta. Segundo Phaal, Farrukh e Probert (2004) os *Roadmaps* tecnológicos são divididos em três tipos, conforme o objetivo, o formato e o uso, agrupados em 16 setores, resultado da análise de aproximadamente 40 roteiros. A Tabela 2 apresenta oito modelos gráficos de *Roadmap* relacionados aos seus respectivos objetivos de aplicação.

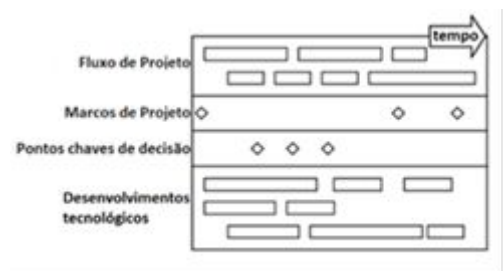
Tabela 2 – Modelos de *Technology Roadmaps* referentes aos objetivos.

DESCRIÇÃO	MODELOS
<p>a) Planejamento de produtos: Considerado o TRM mais utilizado, associa a tecnologia ao produto, pode conter mais de um produto em desenvolvimento.</p>	
<p>b) Planejamento de Serviço/Capacidade: Mais usados em empresas fornecedoras de serviços, tem como objetivo inserir a tecnologia como apoio da inteligência organizacional.</p>	
<p>c) Planejamento Estratégico: Utiliza a análise estratégica de oportunidades (negócio, mercado, produtos, tecnologia e organização) com o objetivo de aprimorar as perspectivas futuras da empresa baseada na situação atual.</p>	
<p>d) Planejamento em longo prazo: Usado para ampliar o campo de planejamento em longo prazo, possui atuação nacional ou setorial, visando reconhecer possíveis ameaças tecnológicas e de mercado.</p>	

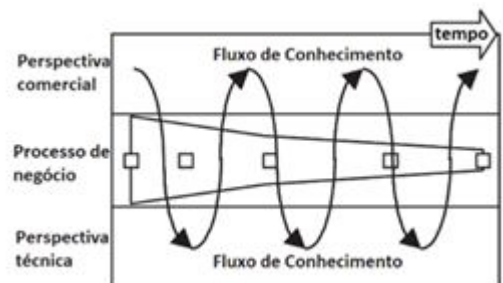
e) Planejamento de ativos de conhecimento: Utilizado para alinhar os conhecimentos do processo, ações e projetos com os objetivos do negócio.



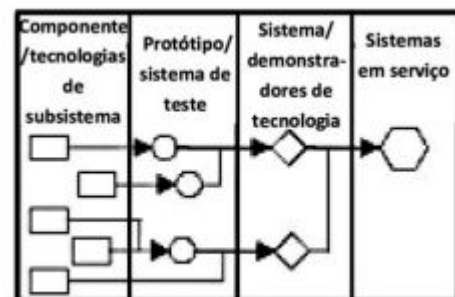
f) Planejamento de programas: Refere-se ao planejamento de projetos, voltados a programas de pesquisa e desenvolvimento, tem como objetivo traçar uma estratégia eficaz para execução do planejado.



g) Planejamento do processo: Utilizado para dar apoio à gestão do conhecimento, objetivando o desenvolvimento de partes distintas do processo de negócio.



h) Planejamento de Integração: Voltado para a inserção, desenvolvimento e acompanhamento do progresso da tecnologia, em suas diferentes associações com produtos e sistemas.



Fonte: Adaptado de Phaal; Farrukh; Probert, 2004.

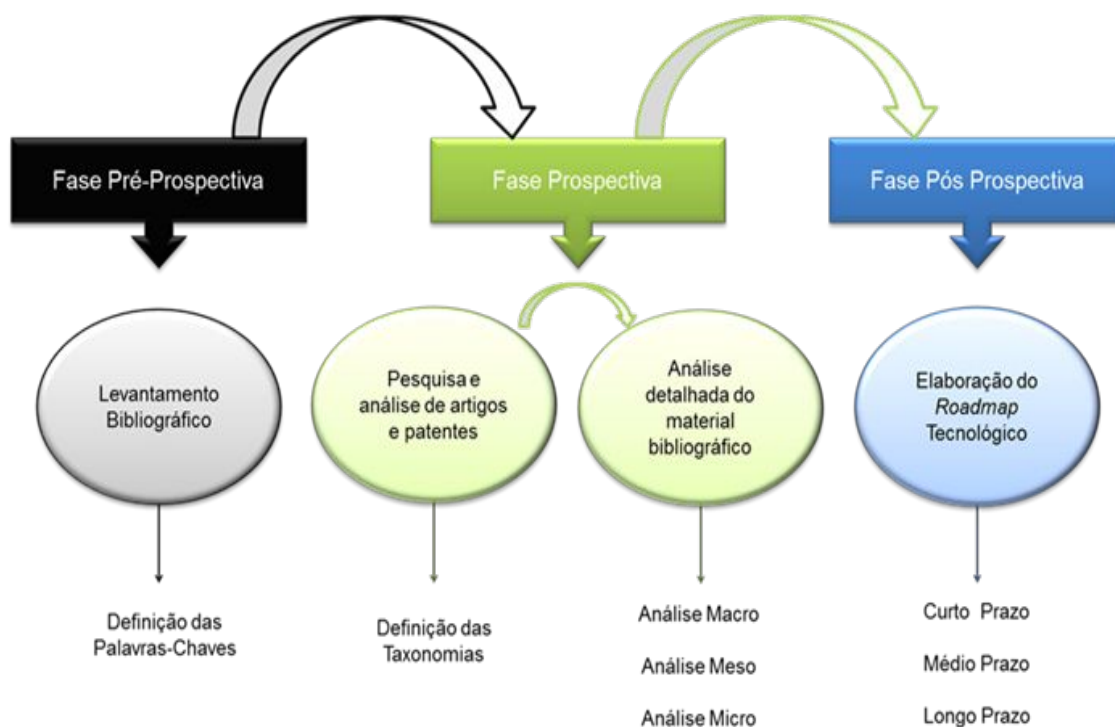
Conforme Garcia e Bray (1997), o *Roadmapping* tecnológico é um método de planejamento útil em cenários competitivos, sendo essencial para o sucesso na aplicação da ferramenta ter conhecimento das razões e da forma de utilizar o *Roadmap*. A elaboração do roteiro é apropriada para coordenar o progresso de diferentes tecnologias pertinentes às habilidades fundamentais da empresa, principalmente em diferentes projetos, informando e permitindo a análise das necessidades e possibilidades tecnológicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Planejamento da pesquisa

A metodologia utilizada para elaboração desta dissertação consistiu na elaboração de um *Roadmap* Tecnológico, após extensa pesquisa, levantamento de artigos, patentes e análise em uma abordagem a curto, médio e longo prazo. O planejamento para a construção do *Roadmap* está dividido nas fases pré-prospectiva, prospectiva e pós-prospectiva, conforme esquema representado na Figura 14.

Figura 14 - Representação esquemática da metodologia.



Fonte: A autora, 2024.

I) Fase Pré-Prospectiva: Trata-se da primeira etapa da elaboração do planejamento estratégico. Após a escolha do tema, é realizado um levantamento bibliográfico geral, leitura de trabalhos (dissertações), publicações e notícias, encontrados utilizando a plataforma digital “*Google*” e artigos coletados através da base de dados “*Scopus*”, visando a coleta de mais informações e uma melhor estruturação teórica sobre o assunto, conteúdo exposto na revisão bibliográfica desta dissertação.

A pesquisa consiste na identificação das tendências tecnológicas de utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino, auxiliando a compreensão, estabelecendo uma base conceitual de sustentação para os objetivos propostos, e auxiliando na definição das palavras-chaves que serão utilizadas na plataforma de busca “*Scopus*” para coleta de artigos científicos, necessários para a próxima etapa (prospectiva) de estudo.

II) Fase Prospectiva: Utilizando as palavras-chaves, definidas na etapa pré-prospectiva, realiza-se a pesquisa dos artigos científicos e patentes referentes ao tema a ser analisado, separados em grupos temporais, definidos como:

- **Estágio Atual:** Englobam os artigos e patentes (solicitadas e concedidas) que apontam as tendências atuais de utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino, encontrados dentro do ano de 2023 em mídias especializadas e websites em geral focados nas ações, tecnologias, e movimentações mais recentes;
- **Curto Prazo:** Agrupa as patentes mundialmente concedidas encontradas dentro do período temporal estabelecido do ano de 2013 a 2015;
- **Médio Prazo:** Patentes mundiais que se encontram em fase de solicitação (análise) no período do ano de 2016 a 2019;
- **Longo Prazo:** Abrange os documentos científicos de universidades e centros de pesquisa ainda na fase inicial de estudo correspondente ao período do ano de 2020 a 2022.

As plataformas utilizadas para reunir as patentes concedidas e solicitadas foram a *PatentInspiration* (<https://www.patentinspiration.com/>), *Espacenet* (<https://www.epo.org/>) e WIPO *Patentscope* (<https://www.wipo.int/>), escolhidas por apresentar uma base de dados que fornece informações tanto de patentes nacionais quanto internacionais, permitindo ao usuário a aplicação de filtros que viabilizam a

pesquisa e facilitam a análise do material e a extração de dados. A plataforma escolhida para realizar o levantamento dos artigos científicos foi a “*Scopus*”, por possuir uma base de dados com vasto acervo que inclui resumos e citações científicas que vão desde revistas e livros até anais de congressos.

Após a avaliação dos artigos e patentes pertinentes para o desenvolvimento do tema e a definição das taxonomias, é realizada uma análise Macro, Meso e Micro dos documentos científicos, classificadas como a seguir:

- **Análise Macro:** Os documentos são separados por ano de publicação, categoria (jornais, revistas e artigos), país e instituições.
- **Análise Meso:** Classificação realizada de acordo com as taxonomias definidas pela análise dos dados, fornecidas pelo material de estudo coletado nas plataformas.
- **Análise Micro:** Organização das taxonomias definidas na análise meso, avaliação das tecnologias, produtos e processos identificados nos artigos e patentes.

III) Fase Pós-Prospectiva: Disposição das taxonomias (coluna vertical) e do conhecimento absorvido durante as análises realizadas na fase prospectiva, distribuição das tendências tecnológicas ao longo do tempo (coluna horizontal) para construção do *Technology Roadmap* e posterior avaliação do mesmo a curto, médio, longo prazos e estágio atual.

As principais empresas, universidades e centro de pesquisas (chamados de *players*), responsáveis pelos artigos ou patentes selecionados na pesquisa, são posicionados entre as taxonomias e a linha do tempo das tendências a que pertencem suas publicações. Os *players* são marcados por setas verticais que indicam a sua taxonomia, finalizando a estrutura e organização dos *Roadmaps*.

2.2 Levantamento, análise e seleção de artigos e patentes

Conforme definido no item anterior, na fase Pré-prospectiva foi realizada uma pesquisa aleatória sobre o tema central abordado neste trabalho, com o objetivo de

adquirir um conhecimento geral do estado da arte e determinar as principais taxonomias a serem utilizadas na pesquisa. Partindo do conhecimento obtido nessa fase e das palavras-chave levantadas, iniciou-se a etapa Prospectiva através do acesso a plataformas digitais, coletando os artigos e patentes (solicitadas e concedidas) no período de tempo de 01/01/2013 a 31/12/2023 para posterior uso na fase Pós-prospectiva e construção do *Technology Roadmap*.

A Tabela 3 apresenta o critério de busca avançada de patentes e palavras-chave utilizadas, número de documentos encontrados durante a pesquisa inicial realizada por títulos e resumos, documentos selecionados após análise e leitura dos resumos do material coletado das mídias digitais e o total de documentos relevantes e pertinentes ao tema e objetivos determinados neste trabalho, definidos após estudo das patentes previamente selecionadas. Para maximizar o número de documentos referentes ao tema, a serem coletados na base de dados das plataformas, foram utilizados os operadores booleanos AND e OR no processo de associação das palavras-chave, delimitando, assim, a área de pesquisa.

Tabela 3 – Método utilizado para pesquisa nas plataformas digitais e seleção de patentes.

	CRITÉRIO	PATENTES		
		PALAVRAS-CHAVE UTILIZADAS	ENCONTRADAS NAS PLATAFORMAS	SELECIONADAS E ANALISADAS
1	bio-oil co-processing			
2	co-processing bio-oil in refineries	300	117	102
3	FCC co-processing of bio-oil in refineries			

Fonte: A autora, 2024.

As palavras-chave utilizadas foram definidas de acordo com o tema e com o número de documentos encontrados durante a pesquisa, atingindo o total de 300 patentes. Na primeira análise excluíram-se os documentos que estavam fora do período determinado e duplicados, restando para análise 117 patentes. Após a verificação do alinhamento do material encontrado com o tema e objetivos a serem desenvolvidos, mais 15 patentes foram removidas por não se enquadrarem no

escopo trabalho, sendo 102 o número real de patentes estudadas e, destas, 42 são patentes concedidas e 60 solicitadas.

O método de pesquisa para o levantamento dos artigos científicos seguiu o mesmo critério utilizado para busca de patentes, os resultados podem ser verificados na Tabela 4, pelos títulos e resumos. Através das palavras-chave foi coletado um número inicial de documentos, realizadas a leitura e análise dos resumos desse material e selecionados e separados os artigos relevantes para a construção do *Roadmap*.

Tabela 4 – Método utilizado para pesquisa nas plataformas digitais e seleção dos artigos.

	CRITÉRIO	ARTIGOS		
	PALAVRAS-CHAVE UTILIZADAS	ENCONTRADOS NAS PLATAFORMAS	SELECIONADOS E ANALISADOS	RELEVANTES
1	bio-oil co-processing			
2	co-processing bio-oil in refineries	49	36	23
3	FCC co-processing of bio-oil in refineries			

Fonte: A autora, 2024.

Do total dos 49 artigos obtidos da base de dados “*Scopus*”, foi verificado, após a leitura do resumo de cada registro, que 36 poderiam ser selecionados para uma análise mais rigorosa e constatado que apenas 23 documentos poderiam ser considerados relevantes para o desenvolvimento do escopo deste trabalho. O critério utilizado para a eliminação de 26 registros foi o fato dos mesmos não se enquadrarem ou não abordarem as técnicas necessárias para embasar e desenvolver os objetivos determinados previamente neste trabalho.

2.3 Elaboração do *Roadmap*

A elaboração do *Roadmap* ocorreu na fase Pós-prospectiva, onde foram analisados os resultados obtidos da fase anterior (Pré-prospectiva), realizada a organização em base de dados com o auxílio da ferramenta do Microsoft Excel, de maneira a facilitar a manipulação das informações para construção do *Roadmap*. Conforme representado na Tabela 5, as taxonomias selecionadas após o estudo dos documentos foram organizadas em grupos (mercado, processo, produto) e classificadas em categorias e subcategorias, chamadas de taxonomia meso e taxonomia micro, respectivamente.

As informações mais importantes são destacadas visualmente, bem como a maneira como elas se relacionam ao longo do tempo e representadas graficamente de forma semelhante a um mapa, onde se encontra posicionado no eixo horizontal o tempo e no eixo vertical as taxonomias. As taxonomias micro da categoria mercado englobam as principais fontes de obtenção do bio-óleo que abrangem os resíduos urbanos, diversos materiais celulósicos ou lignocelulósicos sem especificação de origem e demais resíduos.

Para a categoria processo, foram extraídas taxonomias referentes às principais operações, identificadas dentro das patentes ou artigos, realizadas nas refinarias, desde o pré-tratamento do bio-óleo até o seu coprocessamento. A categoria referente ao produto foi composta pelos catalisadores utilizados nos processos de pré-tratamento e coprocessamento do bio-óleo.

O *Roadmap* foi construído utilizando a ferramenta do Microsoft Excel, as linhas da tabela correspondem às taxonomias e as colunas contêm a linha do tempo classificadas em estágio atual, curto, médio e longo prazos. O encontro entre linhas e colunas é o cruzamento das informações pesquisadas em cada documento. As setas são utilizadas para conectar dentro do horizonte de tempo os resultados extraídos de artigos e patentes.

Tabela 5 – Taxonomias meso e micro.

	MESO	MICRO
Roadmap Tecnológico		
	MERCADO	Resíduos urbanos
		Materiais celulósicos/ lignocelulósicos/ Resíduos agrícolas ou florestais
PROCESSO	Pré-tratamento do bio-óleo (upgrading)	Hidrodessoxigenação (HDO)
	Co-processamento	Craqueamento Catalítico em leito fluidizado (FCC)
		Hidrocrackeamento (HCC)
		Hidrotratamento (HDT)
PRODUTO	Catalisadores	Catalisador de equilíbrio (E-cat)
		FCC (Zeólita ZSM5)
		FCC (Zeólita Y/ USY)
		Sulfetado (NiMo ou CoMo)
		Bimetálico Ni e Co suportado (HZSM-5, HY)
		Molibidênio não suportado
		Sílica-alumina amorfa
		Na/ γ -Al ₂ O ₃ e Pt/TiO ₂

Fonte: A autora, 2024.

As colunas verticais apresentam o período da pesquisa, que ocorreu entre os anos 2013-2023. Para a linha do tempo classificada como curto prazo, foram distribuídas as patentes concedidas encontradas entre 2013 e 2015, para médio prazo, agrupadas as patentes solicitadas entre 2016 e 2019, em longo prazo estão

os artigos científicos correspondentes aos anos de 2020 até 2022 e o estágio atual consiste em artigos e patentes publicados no ano de 2023.

Os *players* encontrados durante o estudo das patentes são retratados por suas logomarcas e posicionados nas setas entre os eixos, vertical e horizontal, que ligam as referidas taxonomias dentro do espaço temporal a que pertencem. Na Tabela 6 é possível visualizar as empresas e suas respectivas logomarcas utilizadas na construção do *Roadmap*.
















EMPRESA	LOGOMARCA	PAÍS
EXXONMOBIL		Estados Unidos
VERTORO B. V.		Holanda
ENSYN		Canadá
NESTE OYJ		Finlândia
PETROBRAS		Brasil
KIOR		Estados Unidos
IFP ENERGIES NOW		França
INAERIS TECH LLC		Estados Unidos
ALBERMARLE CORP		Estados Unidos
PHILLIPS 66		Estados Unidos
WSE LTD		Brasil
DYNAMOTIVE ENERGY SYSTEMS		Canadá
SHELL		Inglaterra
LICELLA PTY LTD		Austrália
UOP LLC		Estados Unidos

Tabela
Players

(empresas) e suas logomarcas encontradas nas patentes solicitadas e concedidas selecionadas para análise.

Fonte: A autora, 2024.

Para destacar os *players* (atores) foram selecionadas apenas as principais empresas com patentes solicitadas e concedidas registradas, os *players* referentes aos artigos científicos (universidades, institutos de pesquisa e empresas), em maior número que os presentes nas patentes, não foram acrescentados no mapa devido ao espaço limitado do gráfico.

A representação de resultados iguais para um conjunto de documentos foi identificada pelo acréscimo do número de artigos/patentes sob cada seta, como apresentado na Tabela 7. Após a construção do *Roadmap*, optou-se por apresentar durante a análise dos períodos: curto, médio, longo prazo e estágio atual, mostrada no item 3.3.1, os cortes temporais na posição horizontal com as taxonomias repetidas para facilitar a visualização e compreensão dos dados expostos, visto que o mapa finalizado, mostrado no Apêndice D, contendo todos os períodos é muito extenso, dificultando a leitura das informações.

Tabela 7 – Construção do *roadmap*.

Roadmap Tecnológico			Curto Prazo		Médio Prazo		Longo Prazo		Estágio Atual
			2013	2015	2016	2019	2020	2022	2023
MERCADO		Resíduos urbanos							
		Materiais celulósicos/ lignocelulósicos/ Resíduos agrícolas ou florestais							
PROCESSO	Pré-tratamento do bio-óleo (upgrading)	Hidrodesoxigenação (HDO)	3		4	5	3	3	2
	Co-processamento	Craqueamento Catalítico em leito fluidizado (FCC)							
		Hidrocrackeamento (HCC)							
		Hidrotratamento (HDT)							
PRODUTO	Catalisadores	Catalisador de equilíbrio (E-cat)							
		FCC (Zeólita ZSM5)							
		FCC (Zeólita Y/ USY)							
		Sulfetado (NiMo ou CoMo)							
		Bimetálico Ni e Co suportado (HZSM-5, HY)							
		Molibidênio não suportado							
		Silica-alumina amorfa							
		Na/ γ -Al ₂ O ₃ e Pt/TiO ₂							
LEGENDA									
■ Número de documentos encontrados que possuem o mesmo foco									

Fonte: A autora, 2024.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

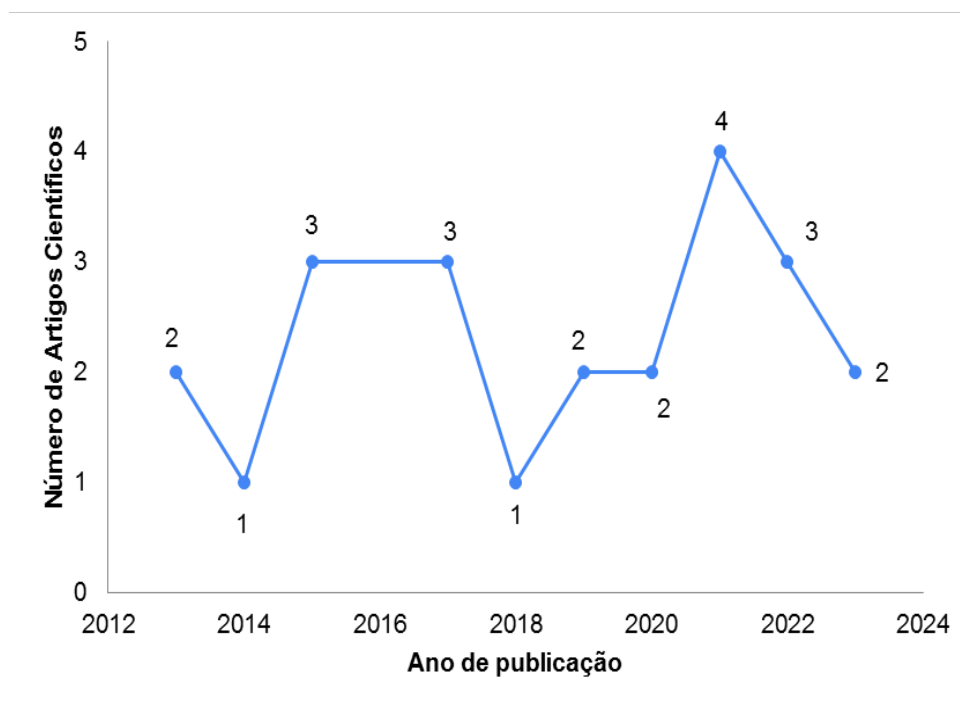
3.1 Prospecção Tecnológica – Artigos Científicos

As análises realizadas nesta etapa baseiam-se nos 23 artigos científicos (Apêndice A) considerados relevantes após leitura e avaliação criteriosa do material de apoio coletado na base de dados “*Scopus*”. O principal objetivo da etapa de prospecção tecnológica é identificar as principais fontes influenciadoras, a frequência de abordagem dos processos destacados em cada artigo e as principais tecnologias e produtos utilizados. Dados extraídos dos artigos como o país e o ano de publicação, as instituições responsáveis pela elaboração dos documentos científicos, tais como universidades e empresas, são expostas graficamente para auxiliar na elaboração das análises.

3.1.1 Análise Macro

O período de onze anos analisado compreende os artigos relevantes publicados nos anos de 2013 a 2023. Avaliando-se o progresso das edições ao longo do tempo, observa-se que o número de publicações mantém uma média de aproximadamente dois artigos por ano; apenas em 2021 é que houve o dobro de publicações em comparação com a média do período, sendo um ano também evidenciado por apresentar altos níveis de emissões atmosféricas, chegando a superar o ano de 2019, conforme relatado por WRI BRASIL (2024). A Figura 15 mostra a evolução anual dos artigos coletados da base de dados “*Scopus*”. Os 23 artigos identificados estão distribuídos por ano de publicação.

Figura 15 - Evolução anual do número de publicações de artigos científicos.



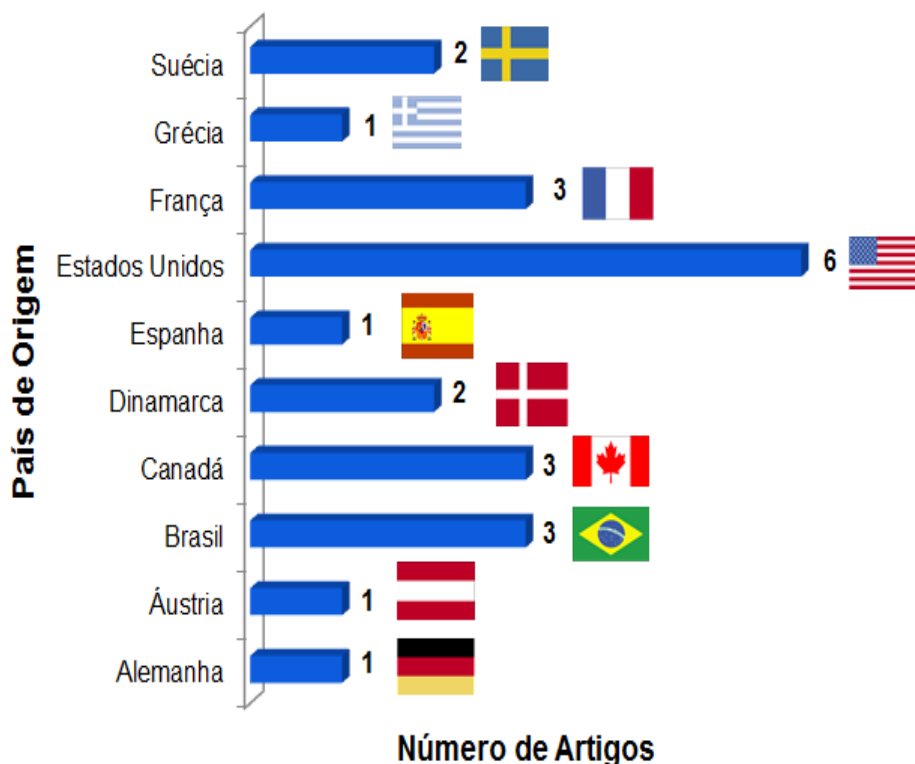
Fonte: A autora, 2024.

Analisando o gráfico representado na Figura 16 é possível verificar que dentro do conjunto de 10 países, identificados como os países de origem onde os artigos coletados foram publicados, os Estados Unidos se destacam como o país com o maior número de documentos científicos publicados com conteúdo da temática deste trabalho. A posição de liderança dos Estados Unidos nos resultados da análise pode ser justificada, conforme informado na revista *Evidência Express* (2022), pelo grande incentivo fiscal que o governo americano realizou para aumentar o consumo de combustíveis de fontes renováveis através da promulgação de leis, estabelecendo a utilização de biocombustíveis e disponibilizando créditos fiscais para isso, visando reduzir a dependência de combustíveis fósseis, as emissões líquidas de carbono e gerar menos poluição do ar.

Conforme relatado por WRI BRASIL (2024), os Estados Unidos e a União Europeia são historicamente os principais emissores de poluentes, representando juntos 37% do acumulado global de emissões. A Lei de Política Energética dos Estados Unidos (*Energy Policy Act*) de 2005 é um exemplo prático das políticas governamentais de incentivo a redução das emissões de poluentes, cujo objetivo era diminuir a importação de petróleo e estabelecia a compra de veículos movidos por

combustíveis alternativos para compor a frota de veículos do governo (EVEX, 2022). Consequentemente, tais incentivos refletiram no aumento de estudos e pesquisas com foco no desenvolvimento de tecnologias e processos capazes de proporcionar o aumento do uso de combustíveis de origem renovável.

Figura 16 - Artigos científicos encontrados separados pelos países de origem.



Fonte: A autora, 2024.

Em relação à distribuição de artigos por instituições, os maiores percentuais de artigos científicos foram elaborados por centros de pesquisas (classificados separadamente na construção do gráfico pela diversidade de vínculos que pode possuir como entre universidades, empresas, órgãos governamentais ou instituições independentes) e empresas, alcançando respectivamente o total de 41% e 38%, conforme exposto na Figura 17, valores muito próximos que podem ser justificados pelas parcerias/associações realizadas com o interesse comum de desenvolver tecnologias voltadas para a produção de biocombustíveis. Destacam-se nesta seleção o Instituto de Pesquisas em Catálise e Meio Ambiente IRCELYON (Institut de Recherches sur la Catalyse et L'Environnement), na França, e o Centro de

Pesquisas, Desenvolvimento e Inovação (CENPES) da PETROBRAS (Indústria de óleo, gás natural e energia), no Brasil, pela maior frequência de publicações de artigos relacionados ao coprocessamento de bio-óleo.

Figura 17 - Artigos científicos separados por tipo de instituição de origem.



Fonte: A autora, 2024.

3.1.2 Análise Meso

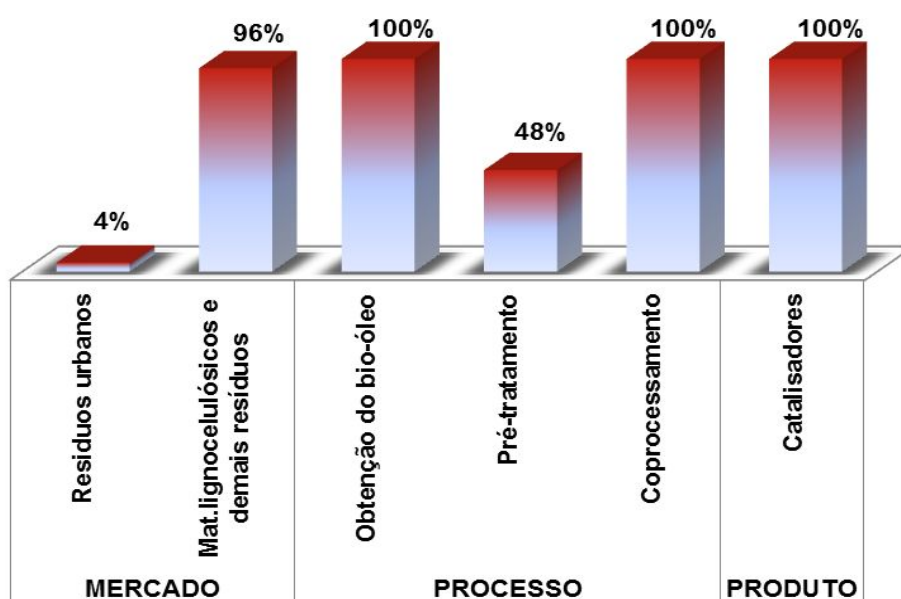
Na etapa de análise meso foram avaliados os resultados obtidos durante a fase prospectiva baseados no grupo de categorias das taxonomias meso: Mercado, Processo e Produto. Os 23 artigos relevantes abordaram as taxonomias selecionadas. O grupo Mercado abrangeu os estudos das principais fontes de biomassa utilizadas para obter o bio-óleo, com o objetivo de verificar a aplicabilidade dos resíduos urbanos, florestais, agrícolas e a demanda pela realização do seu reaproveitamento no processo.

Conforme exposto na Figura 18, 96% dos estudos optaram por adotar materiais lignocelulósicos em geral, resíduos agrícolas e florestais ou suas misturas e apenas 4% dos artigos optaram por usar somente os resíduos urbanos (lignocelulósicos) como fonte de obtenção do bio-óleo. Para o grupo Processo foram abordados os estudos relacionados às principais técnicas de obtenção, realização de pré-tratamento e coprocessamento do bio-óleo. Observa-se, na Figura 18, que a

aplicação da técnica de pré-tratamento não foi explorada em todos os artigos: apenas 48% dos documentos referem-se ao método, as demais técnicas foram mencionadas em 100% das pesquisas.

O fato do pré- tratamento do bio-óleo não ser investigado em todos os artigos é resultado da escolha do foco e da rota de processamento adotada pelo pesquisador, não sendo sua aplicação algo considerado obrigatório para cada processo. Na Figura 18, dentro do grupo Produto verifica-se que os 23 artigos citam os catalisadores utilizados nos estudos, representando não apenas a importância dos catalisadores para o processo, mas que a análise e o levantamento de dados para a investigação e elaboração desse trabalho foram bem sucedidos.

Figura 18 – Porcentagem dos artigos científicos que abordaram cada categoria dentro do grupo Mercado, Processo e Produto.



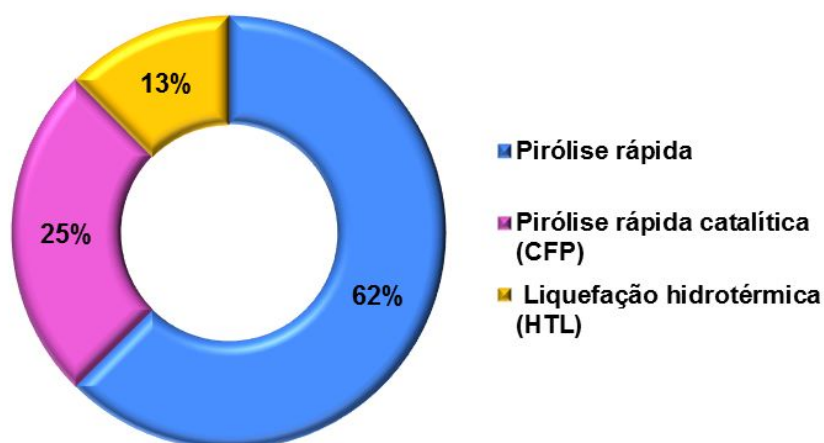
Fonte: A autora, 2024.

3.1.3 Análise Micro

Esta análise consistiu no detalhamento dos grupos das taxonomias micro encontradas para as principais técnicas de obtenção do bio-óleo, tipos de

coprocessamento e catalisadores. A categoria Obtenção do bio-óleo engloba os três métodos mais comuns para esse processo, são eles: pirólise rápida, pirólise rápida catalítica (CFP) e liquefação hidrotérmica (HTL), indicados na Figura 19. A pirólise rápida destaca-se com 62% do total de artigos como sendo rota tecnológica mais aplicada para conversão da biomassa e obtenção do bio-óleo, seguida da pirólise catalítica e da liquefação, que representaram respectivamente 25% e 13% das publicações avaliadas.

Figura 19 – Porcentagem dos artigos científicos que abordaram cada tipo de processo de Obtenção do bio-óleo.

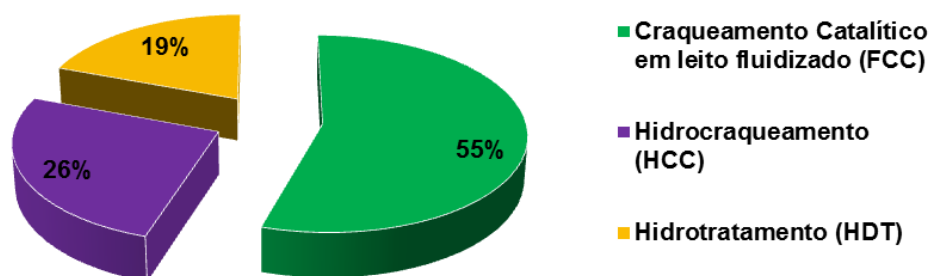


Fonte: A autora, 2024.

Embora a liquefação hidrotérmica forneça um produto com baixa umidade, menor teor de oxigênio e maior poder calorífico, o bio-óleo obtido por essa técnica apresenta alta viscosidade e rendimento muito inferior comparado ao produzido pela pirólise (Demirbas, 2004). Os custos com investimentos em unidades de HTL são um fato que também deve ser considerado quando se justifica uma frequência menor de iniciativas para pesquisas com foco nessa técnica. A escolha da rota tecnológica ideal de conversão da biomassa e as condições operacionais são fatores determinantes para a qualidade do bio-óleo produzido, que por sua vez influencia diretamente as condições e resultados de seu coprocessamento. Características como: alto teor de oxigênio, maior acidez, falta de estabilidade, menor homogeneidade e baixo poder calorífico são indesejadas no bio-óleo.

Em relação aos tipos de coprocessamentos de bio-óleo, o Craqueamento Catalítico em Leito Fluidizado (FCC) foi estudado em 55% do conjunto de artigos selecionados, seguido do Hidrocraqueamento (HCC) com 26% e Hidrotratamento (HDT), que obteve 19%, conforme representado na Figura 20. Embora a maioria das pesquisas de coprocessamento esteja voltada para o hidrotratamento e craqueamento catalítico em leito fluidizado, os documentos coletados para este trabalho apontam o hidrocraqueamento como o segundo método mais abordado, fato justificado pela possibilidade de sua aplicação ser dividida entre o uso na etapa principal de coprocessamento do produto e como uma segunda fase para melhoramento do bio-óleo.

Figura 20 – Porcentagem dos artigos científicos que abordaram cada um dos três tipos de coprocessamento do bio-óleo.

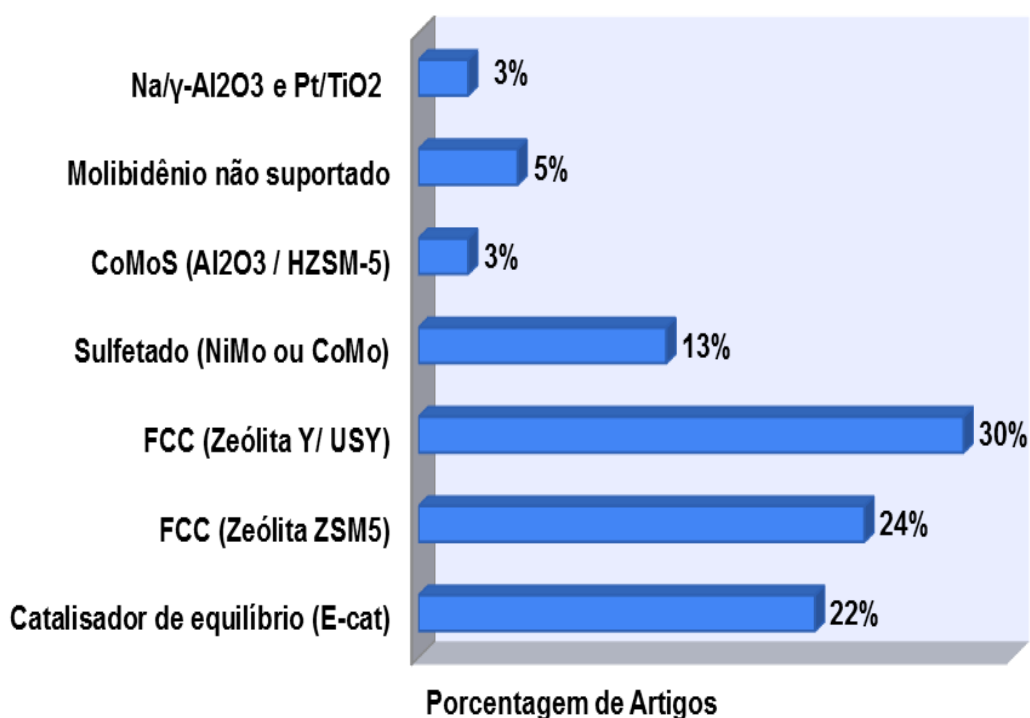


Fonte: A autora, 2024.

Para os tipos de catalisadores com maior frequência de utilização nas pesquisas, destaca-se nas três primeiras posições o catalisador composto por zeólita Y/USY (30%), o composto por zeólita ZSM-5 (24%) e o catalisador de equilíbrio (22%), que possui a mesma composição do catalisador FCC virgem exposto na Figura 21. A utilização de catalisadores à base de zeólitas apresenta vantagem econômica em relação ao custo operacional e ao processamento quando comparado aos de hidrotratamento, pois as reações realizadas em pressão atmosférica e com catalisadores à base de zeólitas, não necessitam da presença de

hidrogênio. Estes catalisadores também podem ser utilizados no processo de pirólise catalítica, em especial os catalisadores a base de HZSM-5, porém seu uso é limitado pela sua rápida desativação e frequente necessidade de substituição (Bridgwater, 2012).

Figura 21 – Porcentagem dos artigos científicos que abordaram os tipos de Catalisadores.



Fonte: A autora, 2024.

A aplicação de catalisadores à base de zeólitas estende-se para os processos de melhoria do bio-óleo para reduzir o teor de oxigênio e melhorar a estabilidade térmica. Já no coprocessamento, possuem a vantagem de serem regenerados no local, adicionados e removidos constantemente visando manter a atividade catalítica na unidade de FCC. Os catalisadores à base de NiMo e CoMo estão sendo aplicados para o coprocessamento de bio-óleo juntamente com derivado de petróleo, em processos de hidrotratamento, enquanto os catalisadores à base CoMoS e molibidênio não suportado demonstraram serem eficazes para processos de HDO. Já os catalisadores bifuncionais de metais nobres suportados

como Pt/TiO₂ em conjunto com hidrogênio são aplicados em pirólise rápida catalítica na hidrodesoxigenação do vapor de pirólise (Lin *et al.*, 2022).

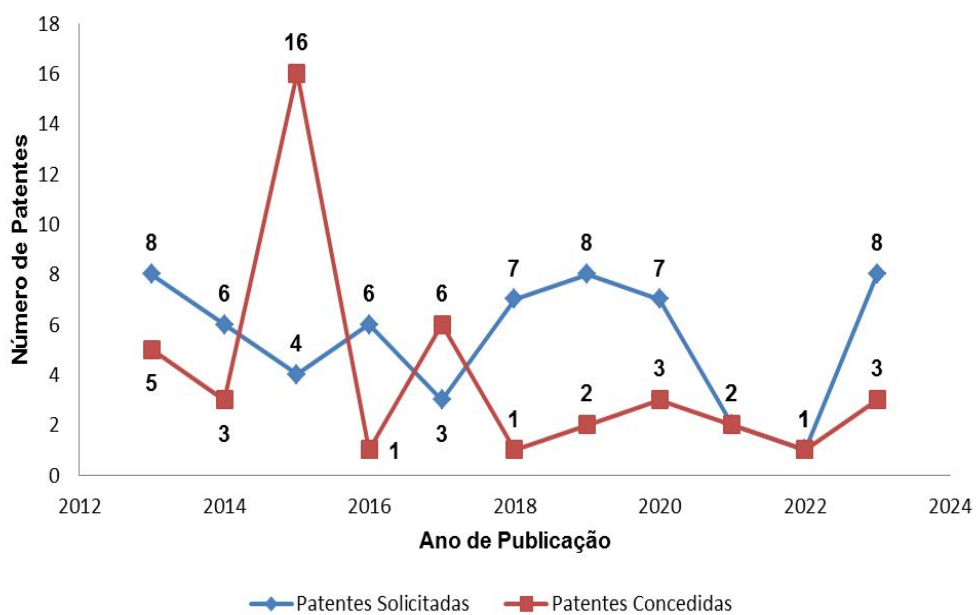
3.2 Prospecção Tecnológica – Patentes Solicitadas e Concedidas

As análises realizadas nessa etapa baseiam-se nas 102 patentes selecionadas dentro do período estabelecido (2013-2023) sendo 42 patentes concedidas (Apêndice B) e 60 solicitadas (Apêndice C) coletadas nas plataformas: *PatentInspiration*, *Espacenet* e *WIPO Patentscope*. Igualmente aos objetivos da análise prospectiva e estratégia utilizada com os artigos científicos, nesta etapa dados são extraídos das patentes, separadas em concedidas e solicitadas, tais como: país e ano de publicação, instituições responsáveis pelo depósito (universidades/ empresas) e expostos em gráficos para facilitar o estudo.

3.2.1 Análise Macro

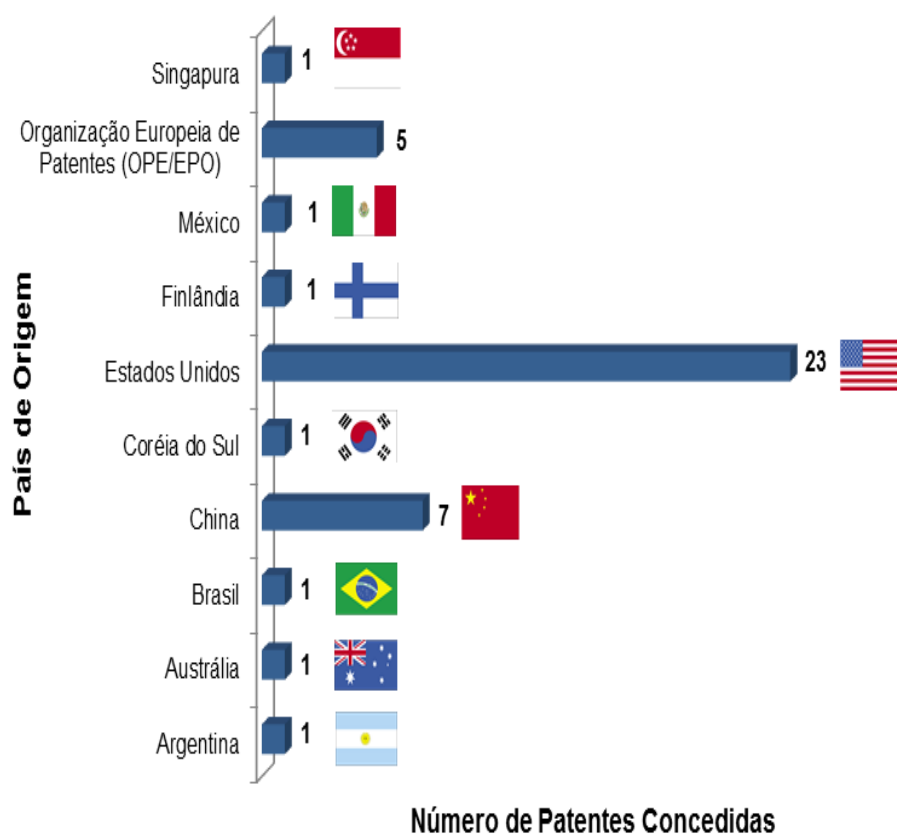
A análise macro nessa etapa prospectiva compreende a avaliação de patentes solicitadas e concedidas em um período de onze anos, partindo de 2013 até 2023, avaliando ao longo deste período o foco e o progresso dos registros de invenções direcionadas ao coprocessamento de bio-óleo. O maior volume de patentes se encontra no ano de 2015, com um total de 16 patentes concedidas. Para o registro de solicitações, houve uma melhor distribuição ao longo do período analisado, sendo 2013, 2019 e 2023 os anos com maior número de patentes solicitadas. A Figura 22 corresponde à série histórica das 102 patentes solicitadas e concedidas coletadas da base de dados, distribuídas por ano de publicação. Conforme exposto na Figura 23, 10 países foram identificados dentro da seleção de patentes concedidas, sendo os EUA o país de maior destaque e contribuição para o tema em estudo, com um total de 23 documentos, enquanto a China alcançou a segunda posição com 7 patentes registradas.

Figura 22 – Série histórica das patentes solicitadas e concedidas.



Fonte: A autora, 2024.

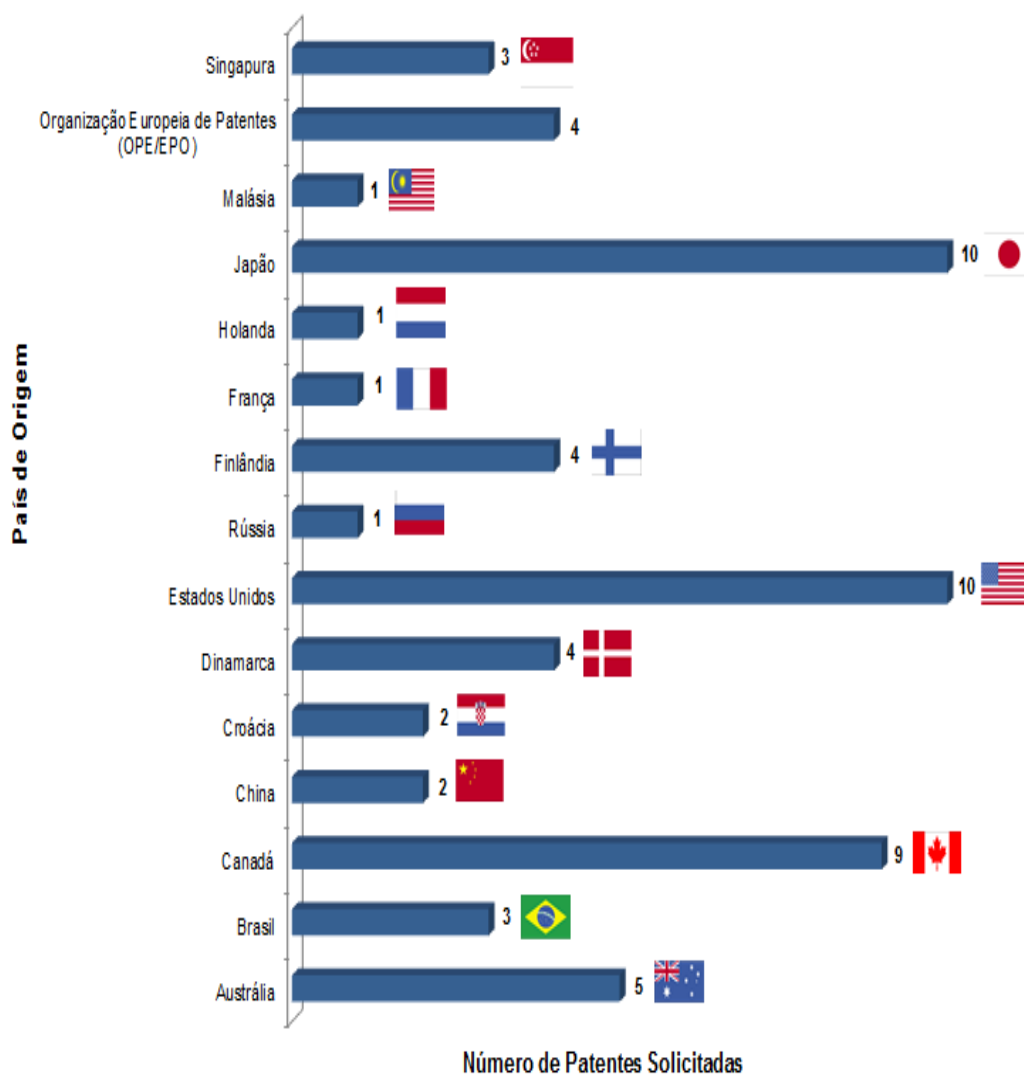
Figura 23 – Patentes concedidas separadas por país de origem.



Fonte: A autora, 2024.

Para as patentes solicitadas, representadas na Figura 24, foram identificados 15 países dentro do material selecionado. Os EUA e o Japão ficaram na primeira posição, cada um com o total de 10 patentes, seguidos pelo Canadá com 9 documentos. É evidenciado o crescimento do número de países interessados em invenções voltadas para o desenvolvimento de tecnologias de coprocessamento de bio-óleo.

Figura 24 – Patentes solicitadas separadas por país de origem.

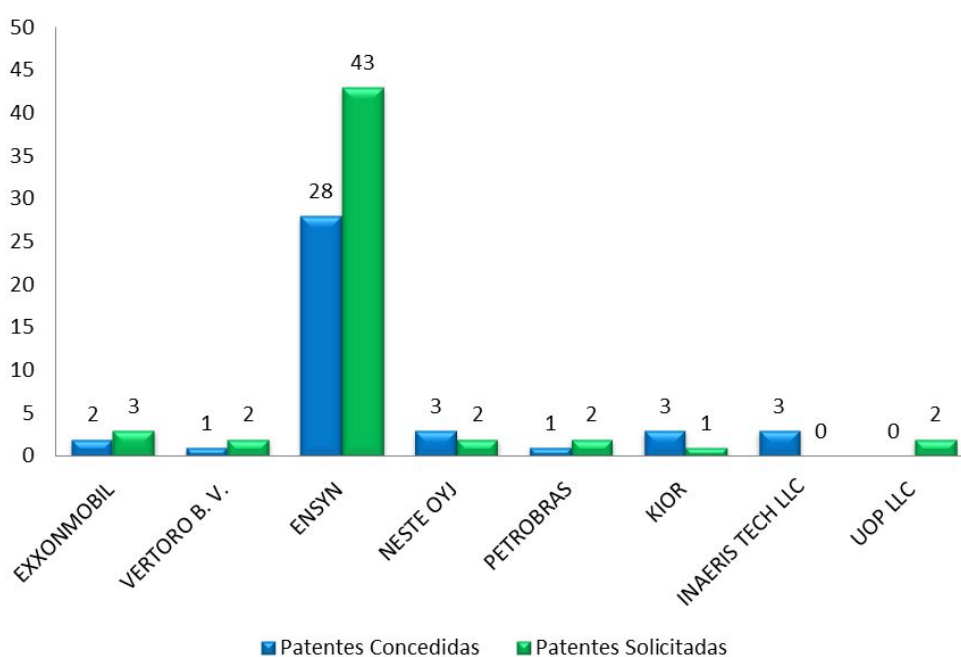


Fonte: A autora, 2024.

Na análise macro das instituições de origem das patentes, verificou-se que tanto as patentes concedidas quanto solicitadas foram registradas apenas por empresas, sendo identificado o total de 15 empresas no material selecionado.

Conforme exposto na Figura 25, optou-se por apresentar somente as organizações com mais de uma patente publicada, reduzindo para 8 o número de empresas. O destaque pelo número de registros, 28 patentes concedidas e 42 solicitadas, pertence à ENSYN localizada no Canadá, produtora de biocombustíveis e produtos químicos de fontes renováveis (biomassa de origem não alimentícia). Possui tecnologia própria para gerar bio-óleo por pirólise rápida a partir de resíduos agrícolas e florestais, que atualmente está em expansão. Um dos projetos é a parceria com a Suzano S.A., em Aracruz, líder na produção de papel e celulose no Brasil (ENSYN, 2024).

Figura 25 - Patentes concedidas e solicitadas separadas por empresas que tiveram mais do que uma patente registrada.



Fonte: A autora, 2024.

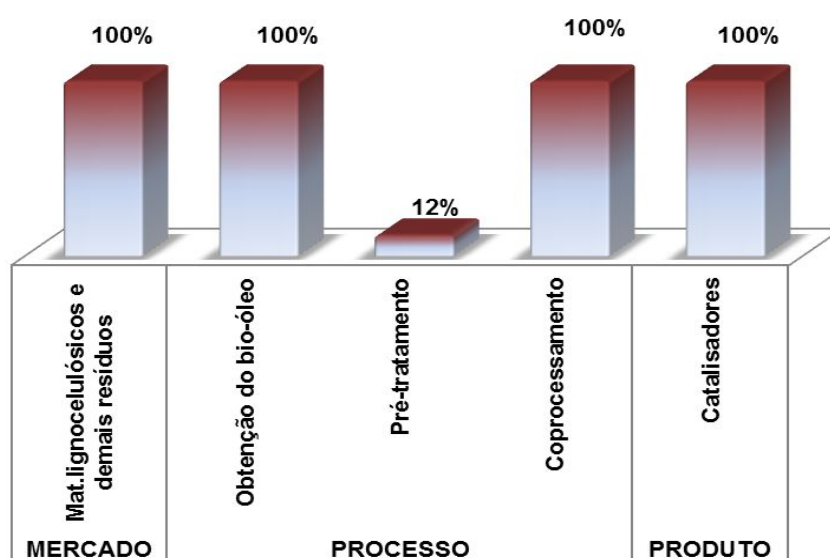
3.2.2 Análise Meso

Na etapa de análise meso das patentes concedidas e solicitadas foram analisados os resultados obtidos durante a fase prospectiva baseados no grupo de categorias das taxonomias meso. As patentes selecionadas, no total de 102,

abordaram as taxonomias selecionadas para mercado, processo e produto. De modo similar ao realizado na etapa de análise dos artigos, o grupo Mercado abrangeu as patentes que mencionaram as principais fontes de biomassa utilizadas para obter o bio-óleo, enquanto o grupo Processo foi composto pelas principais técnicas de obtenção, pré-tratamento e coprocessamento do bio-óleo, já o grupo Produto formou-se pelos principais catalisadores usados em cada processo.

Conforme observado na Figura 26, dentro do grupo Mercado para as patentes concedidas foram usados materiais lignocelulósicos, resíduos agrícolas e florestais, não sendo encontrados registros que tivessem utilizado resíduos urbanos como fonte para obtenção de biomassa. No grupo Processo todos os documentos da seleção destacaram as principais técnicas de obtenção e coprocessamento do bio-óleo, porém apenas 12% das patentes referem-se à técnica de pré-tratamento (HDO). Para o grupo Produto verifica-se que as 42 patentes concedidas relatam os tipos de catalisadores utilizados nas pesquisas e diferentes processos.

Figura 26 – Porcentagem das patentes concedidas que abordaram cada categoria dentro do grupo Mercado, Processo e Produto.



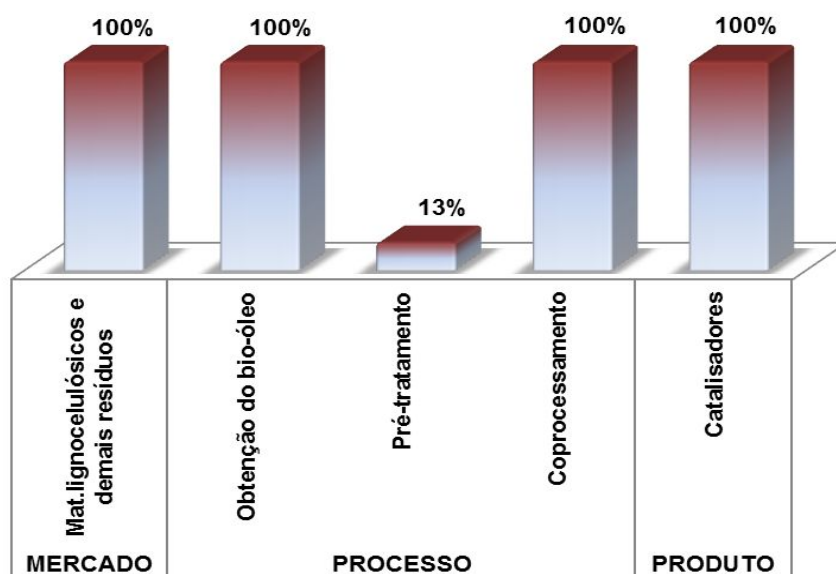
Fonte: A autora, 2024.

A análise meso representada na Figura 27 para o grupo Mercado nas patentes solicitadas mostra que, igualmente ao ocorrido com as patentes

concedidas, não houve a utilização de resíduos urbanos como fonte geradora de biomassa, sendo apenas evidenciados para este fim materiais lignocelulósicos, resíduos agrícolas e florestais. As técnicas tanto de obtenção quanto de coprocessamento do bio-óleo foram relatadas em 100% das patentes dentro do grupo Processo e o método de pré-tratamento (HDO) em 13%. Nas patentes solicitadas analisadas para o grupo Produto, todos os 60 documentos abordaram os tipos de catalisadores usados nos diferentes processos.

A realização da hidrodessoxigenação como etapa de pré-tratamento do bio-óleo atingiu percentuais próximos a 15% das patentes concedidas e solicitadas, mostrando uma tendência à busca por alternativas que evitassem a aplicação dessa técnica como etapa obrigatória para melhoramento do bio-óleo. É relatada, nas patentes selecionadas, a opção de coprocessamento do óleo de pirólise de biomassa juntamente com uma corrente fóssil em unidade de desasfaltação, visando superar as limitações inerentes às características do produto, como alto teor de metais alcalinos e alcalinos-terrosos, antes da sua introdução em processos de conversão em refinarias de petróleo, evitando assim, possíveis impactos na estabilidade do catalisador à base de zeólita.

Figura 27 – Porcentagem das patentes solicitadas que abordaram cada categoria dentro do grupo Mercado, Processo e Produto.

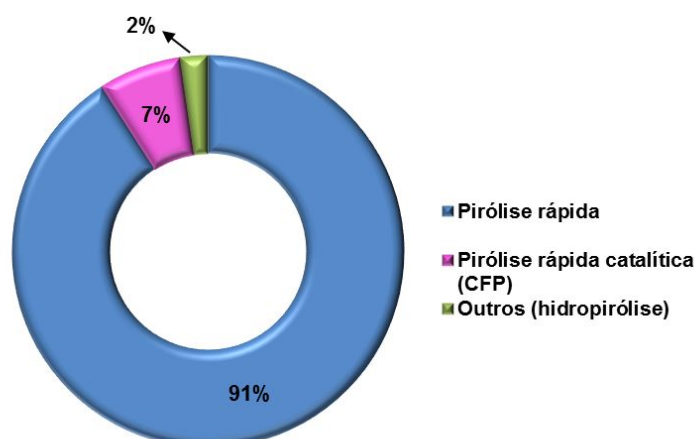


Fonte: A autora, 2024.

3.2.3 Análise Micro

A análise micro das patentes concedidas e solicitadas correspondeu à avaliação das taxonomias micro encontradas para as principais técnicas de obtenção do bio-óleo, tipos de coprocessamento e catalisadores. Na seleção de patentes concedidas verifica-se que apenas dois métodos de processo para a categoria Obtenção do bio-óleo foram abordados, a pirólise rápida e a pirólise rápida catalítica (CFP), conforme representado na Figura 28, não se evidenciando a utilização do método de liquefação hidrotérmica nas 42 patentes concedidas analisadas. A pirólise rápida, com 93%, retrata a maior percentagem da técnica utilizada para conversão da biomassa em bio-óleo e apenas 7% refere-se à CFP.

Figura 28 – Percentagem das patentes concedidas que abordaram cada tipo de processo de Obtenção do bio-óleo.

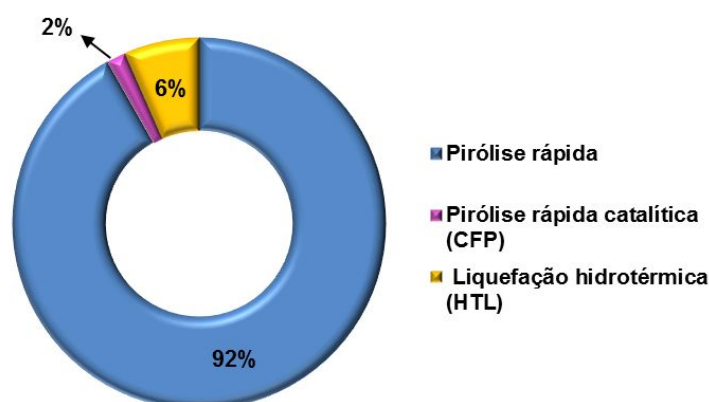


Fonte: A autora, 2024.

Na seleção de patentes solicitadas para a categoria Obtenção do bio-óleo, os três métodos mais utilizados para o processo de conversão de biomassa foram a pirólise rápida, pirólise rápida catalítica e liquefação hidrotérmica, representadas na Figura 29. A pirólise rápida destaca-se com 92% do total das 60 patentes como sendo a rota tecnológica mais usada, uma percentagem inferior é dividida entre a pirólise catalítica e a liquefação hidrotérmica, que representam, respectivamente, 6% e 2% dos documentos analisados.

Os resultados encontrados para as análises das patentes concedidas e solicitadas em relação à rota tecnológica mais utilizada para a conversão da biomassa, quando o objetivo é obter bio-óleo, indicam que a pirólise rápida é o método mais utilizado quando comparado aos demais, embora seja frequentemente comentado nos documentos analisados sobre o alto teor de oxigênio presente no produto da pirólise, fator negativo e que pode exigir um tratamento adicional e consequentemente aumentar os custos do processo.

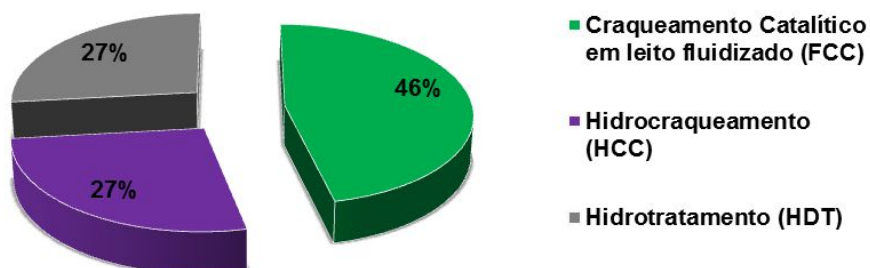
Figura 29 – Porcentagem das patentes solicitadas que abordaram cada tipo de processo de Obtenção do bio-óleo.



Fonte: A autora, 2024.

Para os tipos de coprocessamentos de bio-óleo, o Craqueamento Catalítico em Leito Fluidizado (FCC) foi estudado em 46% das patentes concedidas, seguido do Hidrocraqueamento (HCC) e Hidrotratamento (HDT), ambos com 27%, conforme exposto na Figura 30. Verifica-se que as patentes concedidas favoráveis ao coprocessamento em unidades FCC são superiores ao HCC e ao HDT, porém alguns desafios ainda precisam ser superados quanto ao uso direto do bio-óleo de pirólise, principalmente os relacionados ao aumento de formação de coque no sistema e a maior taxa de desativação dos catalisadores ocorrida durante o processo de craqueamento. Uma vez que esses fatores exercem efeitos importantes sobre a conversão, o rendimento e os custos totais, justificam-se os investimentos no desenvolvimento dessa rota tecnológica.

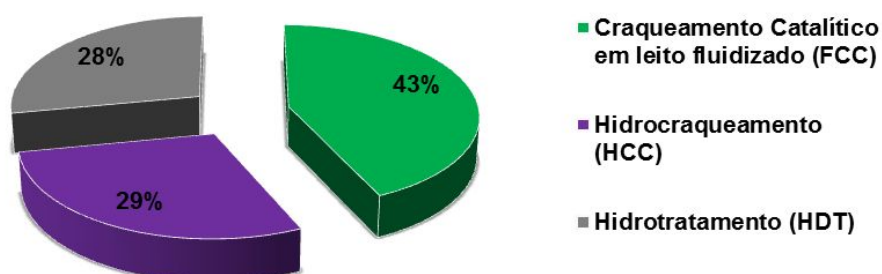
Figura 30 – Porcentagem das patentes concedidas que abordaram cada um dos três tipos de Coprocessamento do bio-óleo.



Fonte: A autora, 2024.

Na Figura 31 são representados os resultados obtidos para os tipos de coprocessamentos de bio-óleo referentes às patentes solicitadas, valores muito semelhantes aos encontrados para as patentes concedidas. O Craqueamento Catalítico em Leito Fluidizado (FCC) foi estudado em 43% das invenções, seguido do Hidrocrackeamento (HCC) com 29% e Hidrotratarmento (HDT) com 28%.

Figura 31 – Porcentagem das patentes solicitadas que abordaram cada um dos três tipos de Coprocessamento do bio-óleo.

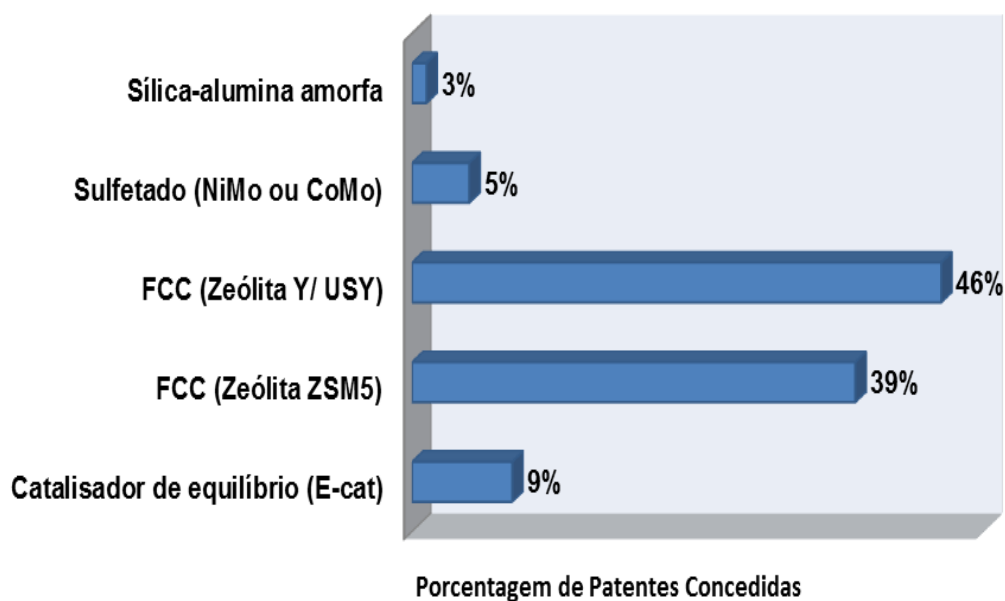


Fonte: A autora, 2024.

Verifica-se a tendência por solicitação de patentes que sigam o mesmo direcionamento e opção de rota tecnológica das invenções já concedidas, demonstrando que, ao longo do tempo, o interesse pelo desenvolvimento do coprocessamento do bio-óleo em unidades FCC permanece sendo superior às demais técnicas disponíveis.

Para a análise micro dos tipos de catalisadores das patentes concedidas, verificou-se que catalisadores que possuem em sua formulação as zeólitas Y/USY e ZSM-5 foram os mais utilizados nas invenções, apresentando respectivamente os percentuais de 46% e 39%, conforme exposto da Figura 32. A fração pesada de bio-óleo em determinadas condições de processamento pode ser craqueada na presença de catalisadores cujo principal componente seja uma zeólita Y com alta relação sílica-alumina, já os catalisadores à base de zeólita ZSM-5 de menor porosidade são usados com maior frequência como aditivos em uma mistura com catalisadores compostos por zeólitas de poros maiores, dando continuidade ao craqueamento de frações mais leves, melhorando a qualidade da gasolina (índice de octanas) e aumentando os rendimentos em olefinas leves.

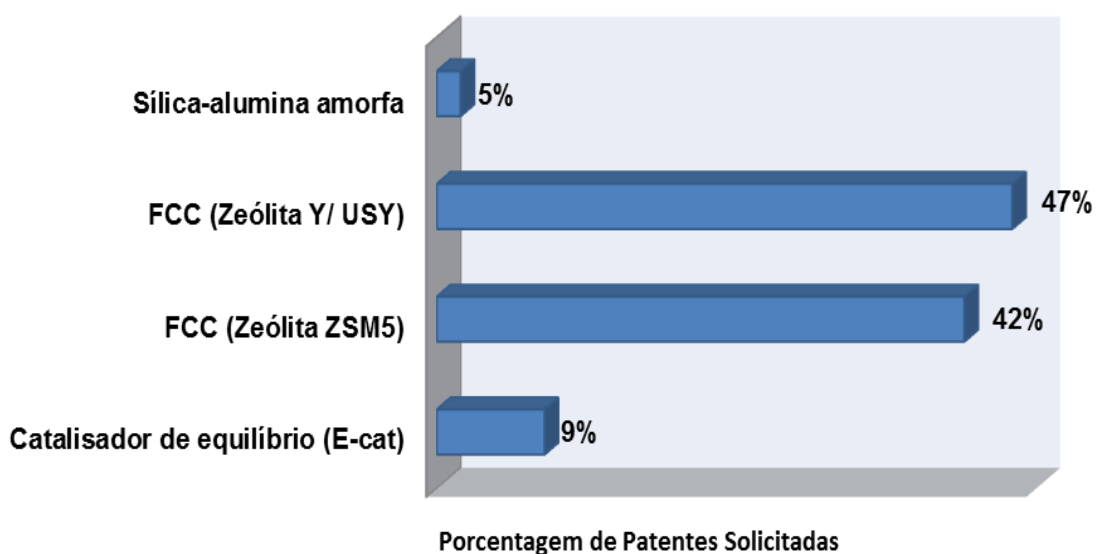
Figura 32 – Porcentagem das patentes concedidas que abordaram os tipos de Catalisadores.



Fonte: A autora, 2024.

Os resultados obtidos na análise das patentes solicitadas, expostos na Figura 33, confirmam a tendência pelo uso de catalisadores à base de zeólita Y/USY e zeólita ZSM-5, apresentando respectivamente os percentuais de 47% e 42%. A superioridade da utilização de catalisadores compostos por zeólitas é observado em patentes concedidas e solicitadas, sendo amplamente estudados, demonstrando aspectos favoráveis para o coprocessamento de bio-óleo em unidades de FCC.

Figura 33 – Percentagem das patentes solicitadas que abordaram os tipos de Catalisadores.



Fonte: A autora, 2024.

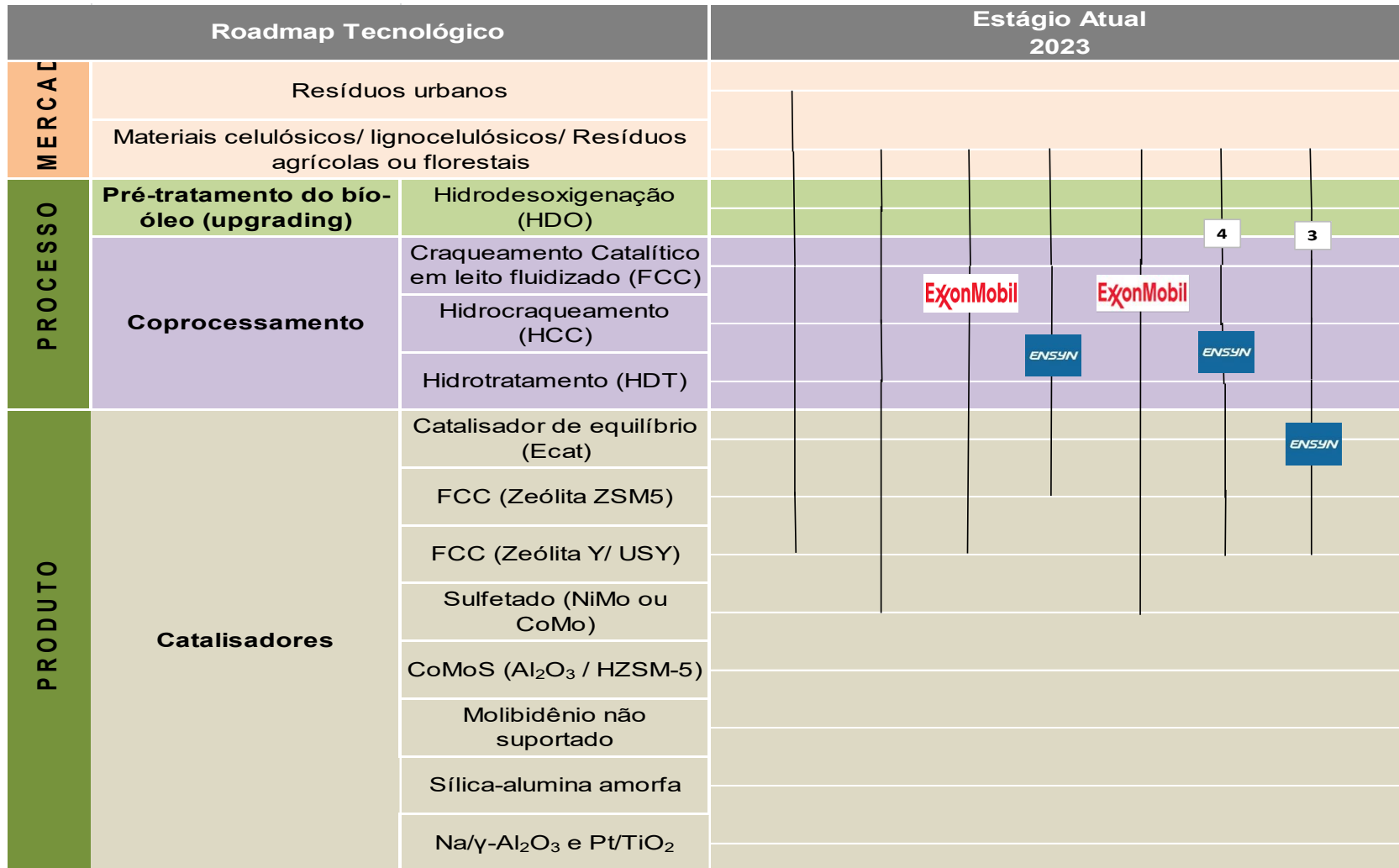
3.3 Análise do *Technology Roadmap*

3.3.1 Estágio Atual

No corte temporal do Estágio Atual (Figura 34) em geral o foco dos artigos científicos e patentes ainda em fase de solicitação, concentra-se no coprocessamento de óleo de pirólise em unidades de FCC utilizando catalisadores à base de zeólitas com menores efeitos de desativação. É explorada a idealização de um modelo de catalisador, aprimorado na maior troca de óxidos de terras raras e/ou utilizando zeólita ZSM-5, para reduzir os impactos da substituição de óleos fósseis por óleos de pirólise, já que o desejo das refinarias é obter valores próximos aos rendimentos com uma alimentação padrão para gasolina e GLP.

Os efeitos de desativação do catalisador são mitigados através do pré-tratamento (HDO) do bio-óleo (produzido pelo processo de pirólise rápida) ou pela obtenção de um óleo de pirólise por hidropirólise (processo que consiste no aquecimento da biomassa em ambiente rico de hidrogênio e utilizando altas temperaturas) de baixa pressão, com características mais favoráveis ao seu coprocessamento em FCC. Objetivam-se, assim, rotas promissoras e economicamente viáveis para a produção de combustíveis, tendo em vista que, a hidropirólise de alta pressão (>2 MPa) gera um óleo de pirólise com um teor de oxigenado inferior a 10% em massa, porém reator utilizado possui um alto custo de projeto, construção, operação e alto consumo de hidrogênio.

Figura 34 - *Technology roadmap*: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino: estágio atual.



Fonte: A autora, 2024.

3.3.2 Curto Prazo

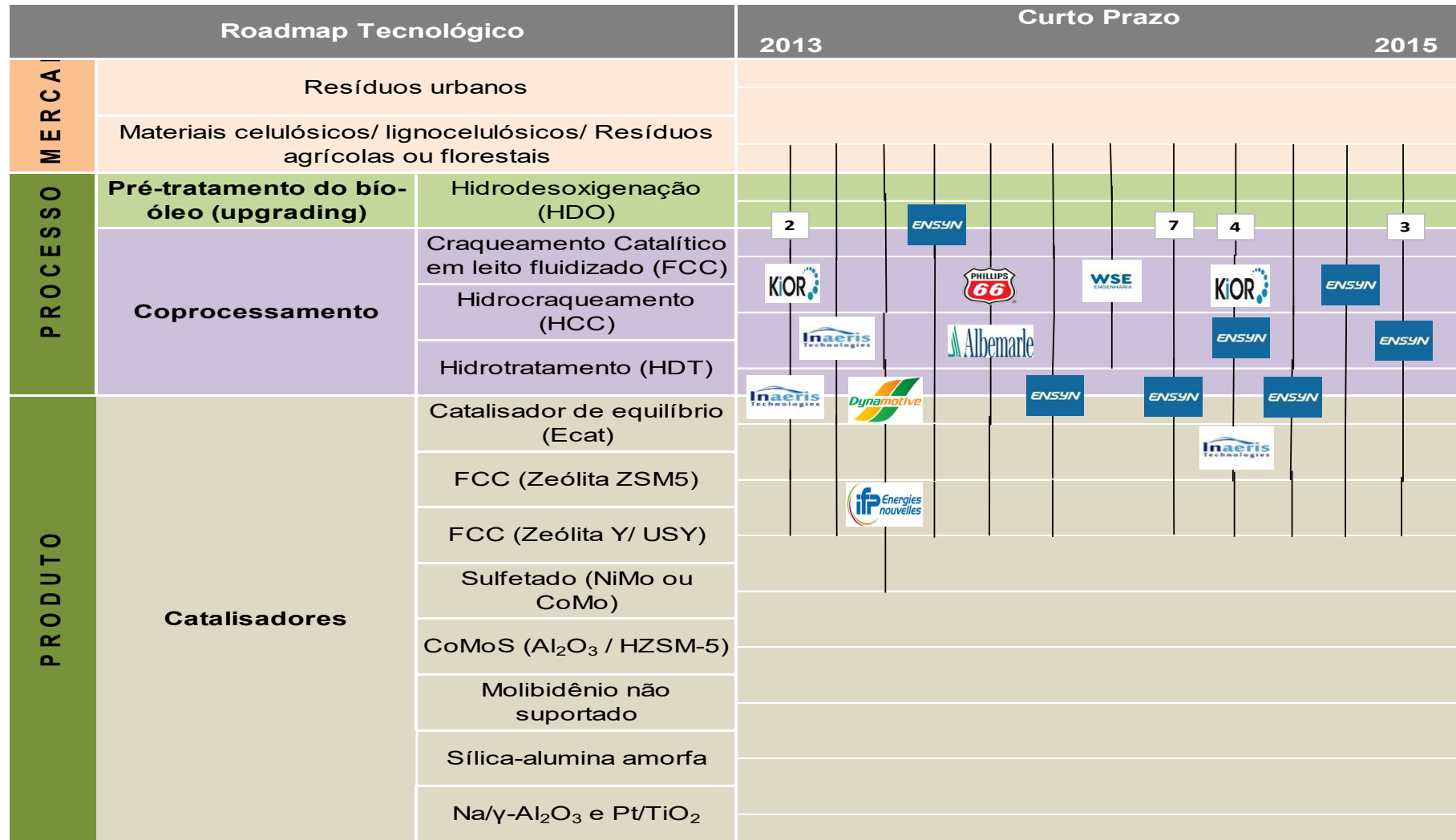
Analisando o corte temporal do *Technology Roadmap* para curto prazo (Figura 35), observa-se que o principal foco das empresas e centros de pesquisas está no desenvolvimento tecnológico. O objetivo dos estudos abrange avaliações e necessidades de adaptações dos processos e das refinarias existentes para o processamento de biomassa, tais como catalisador e tipo de matéria-prima, identificando a viabilidade das rotas disponíveis para otimizar a formação de produtos, reduzir a formação de indesejáveis e de impactos operacionais negativos.

Verifica-se a tendência pelo processo de pré-tratamento (*upgrading*) por hidrodessoxigenação (HDO) em óleos de pirólise, a fim de evitar a rápida desativação do catalisador FCC, incrustações no reator e impedir a produção excessiva de coque e gás, levando em consideração que, após esse processo, os mesmos poderiam ser coprocessados com sucesso juntamente com uma corrente de gasóleo de vácuo (VGO) em uma unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC). Testes com óleo de pirólise catalítica (CPO) são realizados, como uma alternativa que visa eliminar ou substituir a etapa de HDO que exige maiores gastos em energia para o processo.

O potencial do coprocessamento de bio-óleo em unidades de *craqueamento catalítico fluido (FCC)* nas refinarias é explorado por representar uma opção mais econômica na transição para produção dos biocombustíveis, não requerendo grandes investimentos. Os catalisadores de FCC contendo zeólita Y, ZSM-5 e o catalisador de equilíbrio (Ecat) são usados com maior frequência para realizar testes nas unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado (UFCC). A principal matéria-prima utilizada no processo de obtenção do bio-óleo é a biomassa lignocelulósica, sendo a pirólise rápida ou catalítica os processos mais realizados e favoráveis para a produção de combustíveis de fontes renováveis.

O hidrotreatamento e hidrocraqueamento ou a combinação desses dois métodos é capaz remover o oxigênio presente no óleo de pirólise em forma de água, porém a desvantagem reside no elevado custo deste processo, que requer uma grande quantidade de hidrogênio, sendo agravada quando a hidrogenação não apresenta seletividade, atingindo os componentes aromáticos do bio-óleo e consumindo desnecessariamente mais hidrogênio.

Figura 35 - *Technology roadmap*: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino: curto prazo.



Fonte: A autora, 2024.

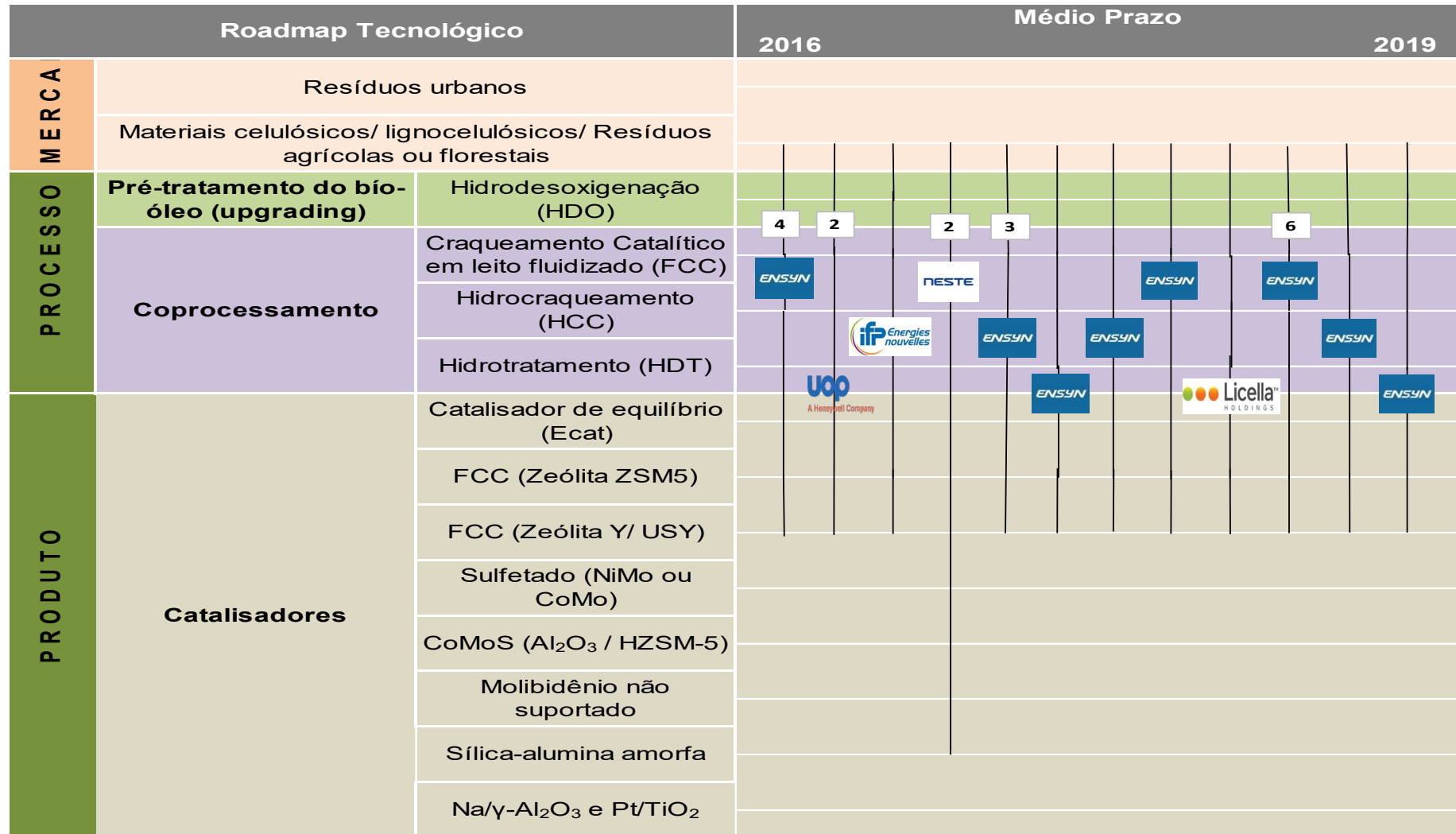
3.3.3 Médio Prazo

No corte temporal do *Technology Roadmap* para médio prazo (Figura 36), verifica-se que a concentração dos estudos e pesquisas identificados nas patentes solicitadas está no desenvolvimento tecnológico do processo de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) do bio-óleo. Os processos de hidrocraqueamento e/ ou hidrotratamento também são avaliados no coprocessamento do líquido termicamente produzido em operações das refinarias existentes.

A hidrodesoxigenação (HDO) do líquido derivado de biomassa é observada, sendo considerada necessária sua realização antes do coprocessamento com gasóleo de vácuo. Os líquidos não tratados não são adequados para conversão em hidrocarbonetos líquidos diretamente no coprocessamento nas UFCCs e outros sistemas de conversão catalítica (DK2852657T3). Os processos de pirólise catalítica de biomassa que são benéficos para formar um produto de pirólise de bio-óleo líquido rico em hidrocarbonetos e simultaneamente com baixo teor de oxigênio, quando um catalisador de remoção de oxigênio é aplicado, são identificados nas patentes selecionadas.

Os métodos explorados usaram em sua maioria os catalisadores de FCC contendo ZSM-5 e zeólitas Y ultraestável para realizar o craqueamento catalítico de óleos de pirólise. A fração pesada do bio-óleo pode ser craqueada por um catalisador composto por zeólita Y modificada para reduzir a taxa de transferência de hidrogênio com uma alta relação sílica-alumina (menor cristalinidade) ou menor quantidade de terras raras. A utilização dos catalisadores de zeólita ainda possui desafios que precisam ser superados, pois tais catalisadores podem ser rapidamente desativados pela formação de coque a partir da decomposição de grandes moléculas orgânicas presentes no bio-óleo, causando o bloqueio dos poros e diminuição do número de sítios catalíticos disponíveis. Outro problema é a grande quantidade de água presente no bio-óleo que leva à desaluminização dos materiais zeolíticos, causando perda de área superficial e desativação irreversível (US2018195006A).

Figura 36 - *Technology roadmap*: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino: médio prazo.



Fonte: A autora, 2024.

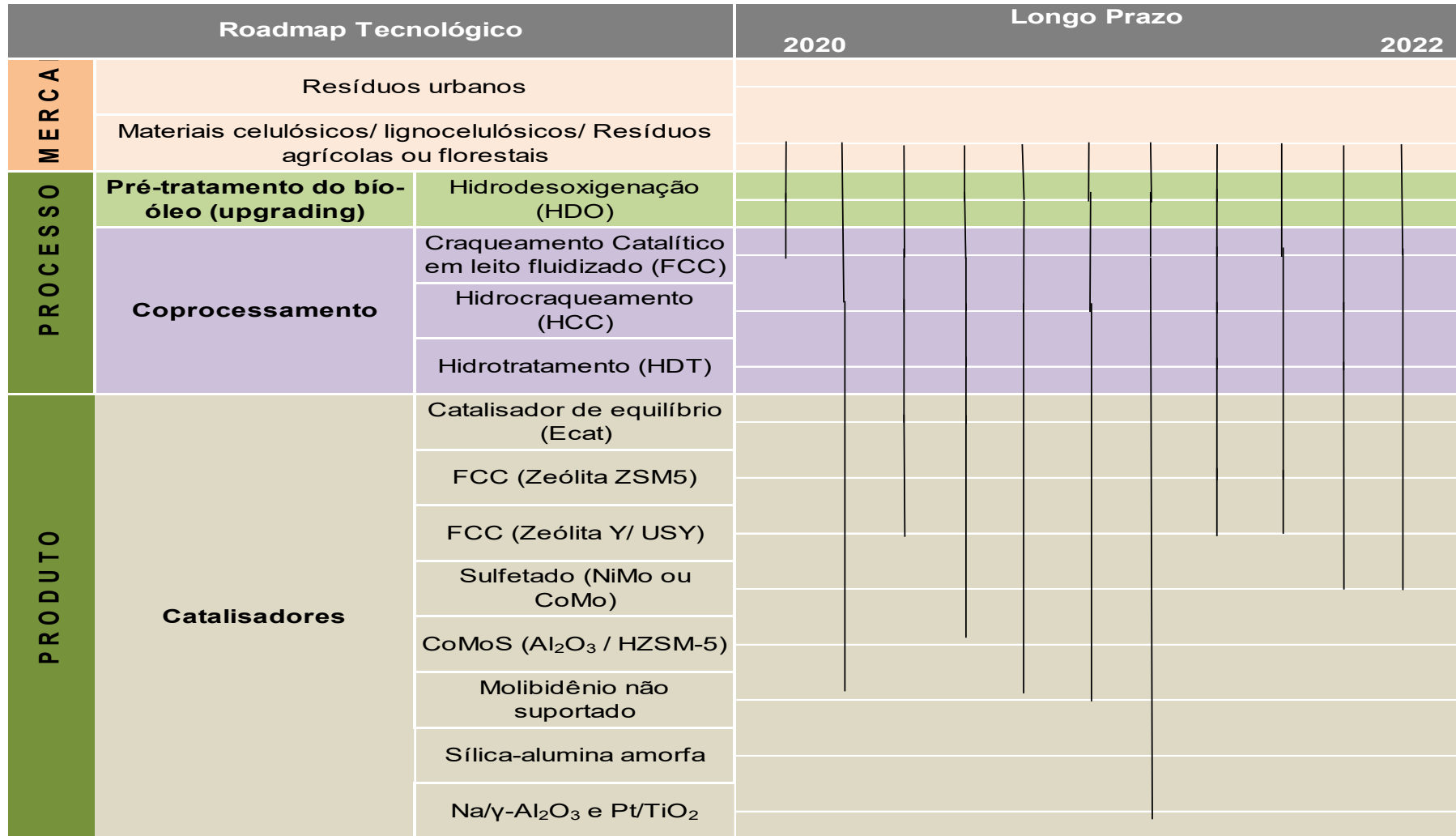
3.3.4 Longo Prazo

Analisando o corte temporal do *Technology Roadmap* para longo prazo (Figura 37) é possível observar a distribuição das pesquisas em sua maioria nos processos de craqueamento catalítico em leito fluidizado e hidrocraqueamento. O hidrotratamento também é abordado, porém com uma frequência inferior à dos demais coprocessamentos. Para o processo de obtenção do bio-óleo, a pirólise rápida é a mais explorada, porém poucos eventos abordam a necessidade da hidroxigenação do óleo de pirólise visando à remoção de compostos excedentes de oxigênio antes do coprocessamento. As pesquisas onde se aplicou o processo de hidroxigenação possibilitaram a melhor estabilização do bio-óleo antes do coprocessamento com VGO, sendo o óleo pré-tratado substituído com resultados satisfatórios pelo óleo de pirólise catalítica, nos casos em que este tenha sido obtido utilizando um catalisador adequado que favoreça a redução do teor de oxigênio durante o processo de pirólise da biomassa.

O direcionamento das pesquisas abrange praticamente todos os processos de coprocessamento, apresentando uma diversificação quanto à utilização de catalisadores. Essa característica observada dentro deste corte temporal pode ser justificada pelo fato dos documentos utilizados na análise serem artigos científicos que fazem parte de estudos acadêmicos desenvolvidos por universidades que almejam aprimorar tecnologias e processos que já estão em uso nas empresas e centro de pesquisas ou que ainda precisam de ajustes para efetiva execução.

A análise em longo prazo indica que a conversão de biomassa lignocelulósica pela pirólise rápida ou pirólise rápida catalítica são técnicas promissoras e muito utilizadas para produção de bio-óleos. Os estudos utilizaram catalisadores convencionais de hidrotratamento/hidrocraqueamento suave, como CoMo ou NiMo, e catalisadores de FCC frescos e de equilíbrio (ambos à base de zeólitas) para o coprocessamento em FCC, sendo o catalisador de equilíbrio usado para simular mais adequadamente as condições da planta industrial em uma planta piloto.

Figura 37 - *Technology roadmap*: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino: longo prazo.



Fonte: A autora, 2024.

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta um *Technology Roadmap* construído para mapear as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino, usando artigos científicos e patentes (solicitadas e concedidas) como indicadores para identificação do foco das principais pesquisas e maior interesse em desenvolvimento tecnológico de catalisadores voltados para produção de combustíveis a partir de fontes renováveis entre os anos de 2013 e 2023.

A pirólise rápida demonstra ser a técnica mais favorável a nível comercial na conversão de biomassa em bio-óleo, pois requer baixos investimentos em relação às demais técnicas e pode ser utilizada com biomassa de diversas fontes. O hidrotratamento e hidrocraqueamento são rotas promissoras para melhoramento do bio-óleo, embora com custos mais elevados, principalmente pela utilização de hidrogênio e altas pressões de operação, porém são alternativas eficazes a curto prazo para as refinarias que não contam com a estrutura de FCC.

O craqueamento catalítico fluido (FCC) demonstra ser a tecnologia com maior maturidade, flexibilidade e possibilidade de desenvolvimento, sendo economicamente viável para o coprocessamento de bio-óleo (não obrigatoriamente pré-tratado por HDO) em refinarias, podendo operar com diversas matérias-primas, não sendo necessários grandes investimentos para alterações na infraestrutura já existente visando novos produtos. As principais e atuais rotas de estudo concentram-se em evitar e/ou reduzir a possibilidade de desativação dos catalisadores causada por metais alcalinos presentes no bio-óleo, que pode acarretar uma taxa maior de reposição de catalisadores e aumento nos custos do processo.

Após análise dos artigos, patentes e construção do *Technology Roadmap* é possível identificar pelos percentuais destacados na análise micro da prospecção tecnológica que o craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC), para o coprocessamento do bio-óleo em refinarias, é a melhor alternativa em um panorama de curto prazo devido à menor necessidade de investimento em infraestrutura e por não requerer uma fonte externa de hidrogênio, refletindo diretamente nos custos do processo. Já os catalisadores de FCC contendo zeólitas em sua formulação, que

são exaustivamente testados e avaliados para o coprocessamento, representam os catalisadores mais promissores, mesmo diante de resultados desfavoráveis acarretados pela sua desativação.

É possível concluir que a tecnologia HDO como pré-tratamento do bio-óleo obtido pela conversão da biomassa por pirólise rápida, em um panorama futuro e menos limitado pelo custo, pode ser a solução para reduzir a geração de coque e evitar a rápida desativação de catalisadores à base de zeólitas, possibilitando o aumento do teor de bio-óleo no coprocessamento com cargas fósseis em unidades de FCC. Para os processos iniciais de conversão de resíduos agrícolas e florestais (principalmente a madeira) em bio-óleo, verifica-se que os processos de pirólise rápida são os mais utilizados e que o melhoramento das propriedades do bio-óleo de pirólise rápida faz-se necessário para melhores resultados do seu coprocessamento.

Para a aplicação do método *Technology Roadmapping* conclui-se que, dentro do contexto proposto pela dissertação, os objetivos gerais e específicos definidos no início do trabalho foram atendidos. O *roadmap* construído nesse estudo é uma ferramenta de prospecção tecnológica eficaz que serve de apoio a planejamentos futuros, seja seguindo rotas de coprocessamento para o bio-óleo ou na priorização para o desenvolvimento e inovação na tecnologia de catalisadores que se mostraram mais favoráveis ao processo, tomando como base o panorama observado dentro do período de tempo pesquisado, ou seja, a proposta para possíveis direções futuras é elaborada através das informações e relatos extraídos de artigos e patentes em um panorama atual.

O maior desafio para a criação desse trabalho está na abordagem de um tema muito específico e ainda em fase exploratória, tendo em vista que, durante as pesquisas, não foi encontrado nenhum *Roadmap* referente a utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino, seja com foco em coprocessamento ou catalisadores, bem como a definição das palavras-chaves, dificuldade que também foi observada durante a etapa de pesquisa e coleta de material (artigos e patentes) nas bases de dados. Portanto, foi necessário criar uma metodologia que melhor se adequasse aos objetivos do estudo e para elaboração gráfica do *Roadmap* apresentado.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

As análises prospectivas e a elaboração do *Technology Roadmap* geraram conhecimento e auxiliaram na identificação da tendência tecnológica de utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino, servindo de base para o desenvolvimento de novas linhas de pesquisas para elaboração de um futuro trabalho mais aprofundado e delimitado. Os novos estudos podem seguir as seguintes sugestões:

- Identificar a matéria-prima ideal derivada de biomassa e determinar o melhor processo de produção de bio-óleo, com o objetivo de obter um bio-óleo mais refinado através da remoção de contaminantes, minimizando os impactos para coprocessamento, como geração de coque e desativação dos catalisadores à base de zeólitas, tendo como foco a biomassa de origem residual e a redução de custos do processo.
- Determinar a viabilidade dos processos de pré-tratamento do bio-óleo obtido por pirólise rápida para seu coprocessamento em unidades de FCC. Para o pré-tratamento via HDO, verificar as principais variáveis de processos que impactam no rendimento do produto e, entre os catalisadores delimitados nesta tese, quais apresentam melhor atividade, seletividade, resistência à desativação e envenenamento durante os processos de HDO do bio-óleo.
- Avaliar as metodologias utilizadas para a modificação da estrutura dos catalisadores à base de zeólitas ZSM-5, com o objetivo de criar mesoporos na superfície do catalisador, melhorando a seletividade a hidrocarbonetos aromáticos, bem como avaliar as modificações com metais de transição visando um melhor desempenho do catalisador.
- Constatar os impactos e embasar, do ponto de vista econômico e ambiental, os efeitos da utilização da biomassa, nas rotas tecnológicas de produção de bio-óleo e seu coprocessamento em refinarias nas unidades FCC.

REFERÊNCIAS

- ABADIE, E. *Curso de formação de operadores de refinaria, processos de refino apostila adaptada do material original de Elie Abadie*. Curitiba: Centro Universitário Positivo (UNICENP), 2002.
- AGUIAR, E. F. S.; XIMENES, V. L. Coprocessamento de biomassa: o futuro da indústria de refino de petróleo. Departamento de Processos Orgânicos da EQ-UFRJ e CENPES-Petrobrás. *Revista de Química Industrial-766*, p. 4, 1º trimestre 2020.
- ALBRIGHT, R.E.; KAPPEL, T.A. Technology roadmapping: roadmapping in the corporation, *IEEE Engineering Management Review*, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 31-41, 2003.
- ALVAREZ-MAJMUTOV, A.; BADOGA, S.; CHEN, J.; MONNIER, J.; ZHANG, Y. Co-Processing of deoxygenated pyrolysis bio-oil with vacuum gas oil through hydrocracking. *Energy&Fuels*, 2021.
- ANCHEYTA, J. Modelagem e simulação de reatores catalíticos para o refino de petróleo. Tradução Giane Gonçalves Lenzi, Marcelo Kaminski Lenzi. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo e do gás natural 2024*. Rio de Janeiro: ANP, 2022. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em 13 abr. 2025.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo e do gás natural 2021*. Rio de Janeiro: ANP, 2021. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em 30 dez. 2023.
- BEZERGIANNIA, S.; DIMITRIADISA, A.; KIKHTYANINB, O.; KUBICKAB, D. Refinery co-processing of renewable feeds. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 68, p. 29-64, 2018.
- BRIDGWATER, A. V.; PEACOCKE, G.V.C. Fast pyrolysis processes for biomass. Renewable and sustainable energy reviews. *Bio-Energy Research Group*, Aston University, Birmingham, B4 7ET, UK, v. 4, p. 1-73, 2000.
- BRIDGWATER, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal 91*, Chemical Engineering and Applied Chemistry Department, Bio-Energy Research Group, Aston University, Birmingham B4 7ET, UK, p. 87–102, 2003.
- BRIDGWATER, A. V. Biomass Fast Pyrolysis. *Thermal Science*, v. 8, n. 2, p. 21-49, 2004.
- BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, Aston University Bioenergy Research Group, Aston Triangle, Birmingham B4 7ET, UK, v. 38, p. 68-94, 2012.

CASTELLO, D.; ROSENDAHL, L. Coprocessing of pyrolysis oil in refineries. *Direct Thermochemical Liquefaction for Energy Applications*. Aalborg University, Denmark. Woodhead Publishing (Elsevier), p. 293-317, 2018.

CATALÍTICA. *A importância dos elementos Terras Raras para os catalisadores de craqueamento*. Rio de Janeiro: Fabrica Carioca de Catalisadores, 2017. Disponível em: <http://www.fccsa.com.br>. Acesso em 30 out. 2024.

CHEN, W.; LUO, Z.; YU, C.; YANG, Y.; LI, G.; ZHANG, J. Catalytic conversion of guaiacol in ethanol for bio-oil upgrading to stable oxygenated organics. *Fuel Process. Technol*, [S. l.], v. 126, p. 420–428, 2014.

CHIES, V. Bio-óleo: alternativa para extrair combustíveis líquidos e químicos renováveis do eucalipto. *Agroenergia em Revista*, [S. l.], p.14-15, 2015.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. *Technology roadmap: planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2016.

DECROOCQ, D. *Catalytic cracking of heavy petroleum fractions*. Paris: Ed. Technip, 1984.

DEMIRBAS, A. Current technologies for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals, *Energy Sources*, [S. l.], v. 26, n. 8, p. 715-730, 2004.

DYK, S. Van; SU, J.; MCMILLAN D.J.; SADDLER, J. Potential synergies of drop-in biofuel production with further co-processing at oil refineries. *Biofuels Bioproducts Biorefining*, [S. l.], jan. 2019.

ENSYN. *Overview: producing biocrude from woody biomass*. Disponível em: <https://www.ensyn.com/overview1.html>. Acesso em 17 dez. 2024.

ESEX. EVIDÊNCIA EXPRESS. *Produção, mecanismos e incentivos governamentais à produção e uso de biodiesel uma revista de práticas internacionais*, 2022. Disponível em: <http://www.enap.gov.br/pt/servicos/avaliacao-eorganizacao-de-evidencias>. Acesso em 06 out. 2024.

IEA BIOENERGY. *Biomass Pyrolysis*. IEA Bioenergy Annual Report 2007. Disponível em: <http://www.ieabioenergy.com>. Acesso em 30 dez. 2023.

IZA. The International Zeolite Association. *In: 3rd International Molecular Sieve Conference to promote and encourage the development of all aspects of zeolite science and technology*, 1973. Disponível em: <http://www.iza-structure.org/>. Acesso em 01 fev. 2025.

KELKAR, S.; SAFFRONA, C.M.; ANDREASSI, K.; LI, Z.; MURKUTE, A.; MILLER, D.J.; PINNAVAIA, T.J.; KRIEGLER, R.M. A survey of catalysts for aromatics from fast pyrolysis of biomass. *Applied Catalysis B: Environmental*. [S. l.], v.174-175, p.85-95, 2015.

LEE, S.; PARK, Y. Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: overall process and detailed modules. *Technological Forecasting & Social Change*. [S. l.], v.72, p.567-583, 2005.

LIN, F.; XU, M.; RAMASAMY, KK; LI, Z.; KLINGER, JL; SCHAIDLE, JA; WANG, H. Catalyst deactivation and its mitigation during catalytic conversions of biomass. *ACS Catalysis*, Idaho National Laboratory Energy & Environmental Science & Technology, v.12, p. 13555-13599, 2022.

LUTZ, W. Zeolite Y: synthesis, modification, and properties: a case revisited. *Advances in Materials Science and Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Germany, v. 2014, p.1-20, 2014.

FERREIRA, M. E. L.; RIBEIRO, A. S. R.; MADRIAGA, C. G. V.; VASCONCELOS, C. S.; SHIMABUKURO, T. T. E.; ROSSA, V.; VIEIRA, S.S.; PASSOS, B. F.; LIMA, M. T. Uma breve revisão sobre a catálise por átomos isolados: conceitos e aplicações. *Química Nova*, v. 45, n. 2, p.194-206, 2022.

FERREIRA, M. M. J.; AGUIAR-SOUSA, F.E.; ARANHA, G.A.D. FCC Catalyst Accessibility: a review. *Catalysts*, Brazil, v. 13, n. 784, 2023.

FIGUEIREDO, J. L.; RIBEIRO, F. R. *Catálise Heterogênea*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.

GARCIA, M. L.; BRAY, O. H. *Fundamentals of technology roadmapping*. Sandia National Laboratories, New Mexico, p. 1-34, 1997.

GIANNETTO, G. *Zeolitas: características, propiedades y aplicaciones industriales*. Caracas: Editorial Innovación Tecnológica, 1989.

GODET, M.; MONTI, R.; MEUNIER, F.; ROUBELAT, F. A “Caixa de Ferramentas” da perspectiva estratégica. Lisboa: CEPES, 2000.

GUPTA, R. K.; KUMAR, V.; SRIVASTAVA, V.K. A new generic approach for the modeling of fluid catalytic cracking (FCC) riser reactor. *Chemical Engineering Science*, v. 62, p. 4510-4528, 2007.

GCP. *Global carbon project*. Disponível em: <https://www.globalcarbonproject.org/>. Acesso em 10 mai. 2024.

HAN, X.; WANG, H.; ZENG, Y.; LIU, J. Advancing the application of bio-oils by co-processing with petroleum intermediates: a review. *Energy Conversion and Management*:X, Canada, v.10, p.1-10, 2021.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering. *Chemical Reviews*, v. 106, n. 9, p. 4044-4098, 2006.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico. *In: Organización Internacional del trabajo CINTERFOR Papeles de La Oficina Técnica*, n. 14, cap. 2, 2004.

LEE, S.; PARK, Y. Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: overall process and detailed modules. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 72, p. 567-583, 2005.

LIN, F.; XU, M.; RAMASAMY, K. K.; LI, Z.; KLINGER, J. L.; SCHAIDLE, J. A.; WANG, H. Catalyst deactivation and its mitigation during catalytic Conversions of Biomass. *Energy & Environmental Science & Technology*, Idaho National Laboratory. ACS Catalysis, United States, v.12, p.13555-13599, 2022.

LLOYD, L. *Handbook of industrial catalysts*. Nova Iorque: Springer, 2011.

MACEDO, R. Propriedades texturais do catalisador: conceitos fundamentais e impactos. Momento técnico. Fábrica Carioca de Catalisadores: Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <http://www.fccsa.com.br>. Acesso em 30 out. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em 01 jan.2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Proposta de metas compulsórias anuais de redução de emissões na comercialização de combustíveis*. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br>. Acesso em 01 jan.2024.

NUNES, M. A. S. N.; Pinheiro, M. R. Propriedade intelectual e busca de informação tecnológica na área da computação. *In: Araújo, R.M; Chueri, L.O.V. (eds.). Pesquisa & Inovação: visões e interseções*. Soluções editoriais. p. 67- 92. 2017.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 71, n. 1–2, p. 5–26, jan. 2004.

PINHO, R.A.; ALMEIDA, B.B. M.; MENDES, L. F.; XIMENES, L. V. Production of lignocellulosic gasoline using fast pyrolysis of biomass and a conventional refining scheme. *De Gruyter, International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)*, Brazil, v. 86, p. 859–865, 2014.

PINHO, R. A.; ALMEIDA, B.B. M.; MENDES, L. F.; CASAVECHIA, C. L.; TALMADGE, S. M.; KINCHIN, M. C.; CHUM, L. H. Fast pyrolysis oil from pinewood chips co-processing with vacuum gas oil in an FCC unit for second generation fuel production. *Full Length Article*, n. 188, p. 462- 473, 2017.

SANDEN, van der, S. C. T. *A fundamental study of spray drying fluid catalytic cracking catalyst*. Netherlands: Technische Universiteit Eindhoven, 2003. ISBN 90-386-2575-8.

SANTOS, M. M.; COELHO, G. M.; SANTOS, D. M.; FILHO, L. F. A prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. *Parcerias Estratégicas*, n.9, dez. 2004.

SCHERZER, J. Octane-enhancing, zeolitic FCC catalysts: scientific and technical aspects. *Catalysis Reviews Science and Engineering*, v.31, p.215-354,1989.

SCHMAL, M. *Cinética e reatores: aplicação na engenharia química: teoria e exercícios*. 2.ed. Rio de Janeiro: Synergia: COPPE/UFRJ: FAPERJ, 2013.

SCOPUS. *Scopus Content Coverage Guide*. 2023. Disponível em: https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0007/69451/scopus_content_coverage_guide.pdf. Acesso em: 13 ago. 2024.

SNYDER, S. W.; YOU, F.; YUE D. Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: overview, key issues and challenges. *Computers & Chemical Engineerin*. Elsevier, v.66, p. 36-56, 2014.

THOMAS, E.J. *Fundamentos de engenharia de petróleo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobras, 2004.

VOGT, E. T. C.; WECKHUYSEN, B. M. Fluid catalytic cracking: recent developments on the grand old lady of zeolite catalysis. *The Royal Society of Chemistry*. Chemical Society Reviews, v. 44,p. 7342-7370, 2015.

WILLYARD, C. H.; MCCLEES C.W. Motorola's technology roadmapping process. *Research Management*. New York, NY, v. 30, p.13-19, 1987.

WIPO. *World Intellectual Property Organization*. Disponível em: <https://www.wipo.int/portal/en/index.html>. Acesso em: 6 nov. 2022.

WRI BRASIL. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/os-paises-que-mais-emitiram-gases-de-efeito-estufa>. Acesso em: 04 out. 2024

APÊNDICE A – Artigos científicos utilizados como referência para a prospecção tecnológica.

Tabela 8 – Lista dos artigos científicos considerada para elaboração do *Technology Roadmap* (continua).

TÍTULO	ANO	PAÍS	REVISTA	INSTITUIÇÃO
Processing renewable and waste-based feedstocks with fluid catalytic cracking: Impact on catalytic performance and considerations for improved catalyst design	2023	Estados Unidos	Frontiers in Chemistry	BASF; Neoliquid Advanced Biofuels and Biochemicals; Combustion and Catalysis Laboratory at the City College of New York
Feedstock and catalyst impact on bio-oil production and FCC Co-processing to fuels	2022	Estados Unidos	Biomass and Bioenergy	The National Renewable Energy Laboratory (NREL), managed and operated by Alliance for Sustainable Energy, LLC, for the U.S. Department of Energy (DOE)
Co-processing bio-oil in the refinery for drop-in biofuels via fluid catalytic cracking	2017	Grécia	WIREs Energy and Environment	Laboratory of Environmental Fuels and Hydrocarbons, Chemical Process and Energy Resources Institute (CPERI), Centre for Research and Technology Hellas (CERTH)
Coprocessing of pyrolysis oil in refineries	2018	Dinamarca	Direct Thermochemical Liquefaction for Energy Applications	Aalborg University
The role of catalysis in the valorization of woody biomass fast pyrolysis liquids: Overview and contribution of IRCELYON	2021	França	Catalysis Today	IRCELYON
Coke chemistry under vacuum gasoil/bio-oil FCC co-processing conditions	2015	França	Catalysis Today	Université Lyon
Coprocessing Biomass Fast Pyrolysis and Catalytic Fast Pyrolysis Oils with Vacuum Gas Oil in Refinery Hydroprocessing	2022	Estados Unidos	<i>Energy & Fuels</i>	Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (United States)
Recent advances in	2013	Estados	ACS Catalysis	U.S. Department of Energy

hydrotreating of pyrolysis bio-oil and its oxygen-containing model compounds		Unidos		Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Biomass program
Co-Processing of Deoxygenated Pyrolysis Bio-Oil with Vacuum Gas Oil through Hydrocracking	2021	Canadá	<i>Energy & Fuels</i>	Natural Resources Canada and the government of Canada's interdepartmental Program of Energy Research and Development (PERD)
Co-refining of fast pyrolysis bio-oil with vacuum residue and vacuum gas oil and in a continuous slurry hydrocracking process	2020	Suécia	Energy Fuels	Swedish Energy Agency and the Kempe foundations
Continuous Slurry Hydrocracking of Biobased Fast Pyrolysis Oil	2021	Suécia	<i>Energy & Fuels</i>	Swedish Energy Agency
Tracking renewable carbon in bio-oil/crude co-processing with VGO through 13C/12C ratio analysis	2020	Estados Unidos	Fuel	National Laboratory, Los Alamos U.S. Department of Energy
Modelling of co-processing of HDO-oil with VGO in a FCC unit	2017	Espanha	Fuel	Instituto IMDEA Energía; Rey Juan Carlos University
Fluid catalytic co-processing of bio-oils with petroleum intermediates: Comparison of vapour phase low pressure hydrotreating and catalytic cracking as pretreatment	2021	Dinamarca	Fuel	CHEC Research Center, DTU Chemical Engineering
Upgrading of bio-oil and subsequent co-processing under FCC conditions for fuel production	2015	Alemanha	The Royal Society of Chemistry	Leibniz Institute for Catalysis at University of Rostock; Vietnam Petroleum Institute
Second-generation biofuels by co-processing catalytic pyrolysis oil in FCC units	2013	França	Applied Catalysis B: Environmental	IRCELYON, Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon, Université Lyon; Chemical Process and Energy Resources Institute
Coprocessing Partially Hydrodeoxygenated Hydrothermal Liquefaction Biocrude from Forest Residue in the Vacuum Gas Oil Hydrocracking Process	2023	Canadá	<i>Energy & Fuels</i>	Natural Resources Canada, CanmetENERGY Steeper Energy Canada Ltd, CanadaDevon, Canada Government of Canada's Office of Energy Research and Development (OERD)

Wood Derived Fast Pyrolysis Bio-liquids as Co-feed in a Fluid Catalytic Cracking Pilot Plant: Effect of Hydrotreatment on Process Performance and Gasoline Quality	2022	Áustria	<i>Energy & Fuels</i>	Institute of Environmental, Chemical and Bioscience Engineering (ICEBE), Technische Universität Wien, Wien 1060, Austria OMV Refining & Marketing AG, BTG Biomass technology Group B.V.
Co-processing raw bio-oil and gasoil in an FCC Unit	2015	Brasil	Fuel Processing Technology	PETROBRAS, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES);PETROBRAS-SIX
Fast pyrolysis oil from pinewood chips co-processing with vacuum gas oil in an FCC unit for second generation fuel production	2017	Brasil	Fuel	PETROBRAS, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES);PETROBRAS-SIX; NREL – National Renewable Energy Laboratory
Potential synergies of drop-in biofuel production with further co-processing at oil refineries	2019	Canadá	Biofuels. Bioprod. Bioref.	IEA Bioenergy; University of British Columbia
Upgrading Bio-oil: Catalysis and Refinery (livro)	2019	Estados Unidos	Biorefinery	National Bioenergy Center, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA
Production of lignocellulosic gasoline using fast pyrolysis of biomass and a conventional refining scheme	2014	Brasil	IUPAC & De Gruyter	PETROBRAS/CENPES

Fonte: A autora, 2024.

APÊNDICE B – Patentes concedidas utilizadas como referência para a prospecção tecnológica.

Tabela 9 - Lista das patentes concedidas considerada para elaboração do *Technology Roadmap* (continua).

NÚMERO	TÍTULO	ANO	CESSIONÁRIO	PAÍS
US2023257664A1	Co-processing of pyrolysis oils, lubricants, and/or plastics	2023	EXXONMOBIL TECHNOLOGY & ENGINEERING COMPANY	Estados Unidos
US2023183586A1	System and methods for renewable fuels	2023	EXXONMOBIL TECHNOLOGY & ENGINEERING COMPANY	Estados Unidos
US2022213389A1	Fluid catalytic cracking process of crude lignin oil (clo)	2022	VERTORO B V	Estados Unidos
EP3919591A1	Methods for renewable fuel	2021	ENSYN RENEWABLES INC	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)
EP3913037A1	Methods for renewable fuel	2021	ENSYN RENEWABLES INC	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)
CN111051475A	Process for increasing gasoline and middle distillate selectivity in catalytic cracking	2020	NESTE OYJ	China
US2020255746A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2020	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
BR102018014578A2	Coprocessamento de uma corrente líquida lignocelulósica e uma corrente intermediária fóssil no processo de refino de petróleo e processo para a produção de combustíveis a partir de uma corrente de óleo desasfaltado	2020	PETROLEO BRASILEIRO SA PETROBRAS	Brasil
SG11201900276WA	Systems and methods for preparing and co-processing biocrude oil	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Singapura
US2019078026A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos

CN108495913A	A process for producing high octane gasoline component from a mixture of VGO and tall oil pitch	2018	NESTE CORP	China
US2018195006A1	Catalytic biomass pyrolysis process	2018	RES TRIANGLE INST	Estados Unidos
US2017275545A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2017	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
CN107022383A	Systems and methods for renewable fuel	2017	ENSYN RENEWABLES INC	China
CN106967465A	Systems and methods for renewable fuel	2017	ENSYN RENEWABLES INC EMPRESA	China
CN106967466A	Systems and methods for renewable fuel	2017	ENSYN RENEWABLES INC	China
US2017275545A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2017	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
FI20156043A	A process for producing high octane gasoline component from renewable raw material	2017	NESTE OYJ	Finlândia
US2016040080A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2016	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
AR095648A1	Sistemas y métodos para combustibles renovables	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Argentina
EP2852657A2	Methods for renewable fuel	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)
US2015068107A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015065759A1	External steam reduction method in a fluidized catalytic cracker	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos

US2015059235A1	Methods for renewable fuels with reduced waste streams	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015066731A1	Method of trading cellulosic-renewable identification numbers	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015065760A1	Fluidized catalytic cracker riser quench system	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015044107A1	Production of renewable biofuels	2015	KIOR INC, INAERIS TECH LLC	Estados Unidos
CN104350131A	Systems and methods for renewable fuel	2015	ENSYN RENEWABLES INC	China
MX2014007050A	Systems and methods for renewable fuel	2015	ENSYN RENEWABLES INC	México
US2015005548A1	Methods to increase gasoline yield	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015005547A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015004067A1	Fluidized catalytic cracking apparatus	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015005549A1	Preparing a fuel from liquid biomass	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015004062A1	Systems for fuels from biomass	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2015000186A1	Generating cellulosic-renewable identification numbers in a refinery	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
US2014316176A1	Deep Deoxygenation of Biocrudes Utilizing Fluidized Catalytic Cracking Co-Processing with Hydrocarbon Feedstocks	2014	PHILLIPS 66 COMPANY, ALBERMARLE CORP	Estados Unidos
KR20140119021A	Systems and methods for renewable fuel	2014	ENSYN RENEWABLES INC	República da Coréia

EP2694621A1	Methods for the production of fuel	2014	WSE BIOENERGY UG, WSE LTD	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)
CN103261381A	Production of renewable biofuels	2013	KIOR INC	China
US2013145683A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2013	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
AU2011303586A1	Methods of upgrading biooil to transportation grade hydrocarbon fuels	2013	DYNAMOTIVE ENERGY SYSTEMS ,IFP ENERGIES NOUVELLES,RADLEIN DESMOND	Austrália
US2013068997A1	Co-Processing Solid Biomass In A Conventional Petroleum Refining Process Unit	2013	INAERIS TECH LLC	Estados Unidos
EP2658954A1	Production of renewable biofuels	2013	INAERIS TECH LLC, KIOR INC	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)

Fonte: A autora, 2024.

APÊNDICE C – Patentes solicitadas utilizadas como referência para a prospecção tecnológica.

Tabela 10 - Lista das patentes solicitadas considerada para elaboração do *Technology Roadmap* (continua).

NÚMERO	TÍTULO	ANO	EMPRESA	PAÍS
JP2023085472A	Fuel and manufacturing method of fuel	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
HRP20230133T1	Methods for renewable fuel	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Croácia
FI3913036T3	Methods for renewable fuel	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Finlândia
DK3913036T3	Fremgangsmåder til vedvarende brændstof	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Dinamarca
FI3913037T3	Methods for renewable fuel	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Finlândia
FI3919591T3	Methods for renewable fuel	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Finlândia
DK3913037T3	Fremgangsmåder til vedvarende brændstof	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Dinamarca
DK3919591T3	Fremgangsmåder til vedvarende brændstof	2023	ENSYN RENEWABLES INC	Dinamarca
US2022213389A1	Fluid catalytic cracking process of crude lignin oil (clo)	2022	VERTORO B V	Estados Unidos
BR132021021668E2	Sistemas e métodos para combustível renovável	2022	ENSYN RENEWABLES INC	Brasil
JP2021143342A	Fuel and manufacturing method of fuel	2021	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
JP2021143341A	Fuel and manufacturing method of fuel	2021	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
WO2020068820A1	Co-processing hydrothermal liquefaction oil and co-feed to produce biofuels	2020	EXXONMOBIL RES & ENG CO	Estados Unidos
CA3112833A1	Co-processing hydrothermal liquefaction oil and co-feed to produce biofuels	2020	EXXONMOBIL RES & ENG CO	Canadá
US2020095510A1	Co-processing hydrothermal liquefaction oil and co-feed to produce biofuels	2020	EXXONMOBIL RES & ENG CO	Estados Unidos
WO2020234369A1	Fluid catalytic cracking process of crude lignin oil (clo)	2020	VERTORO B V	Holanda
EP3741828A1	Fluid catalytic cracking process of crude lignin oil (clo)	2020	VERTORO B V	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)

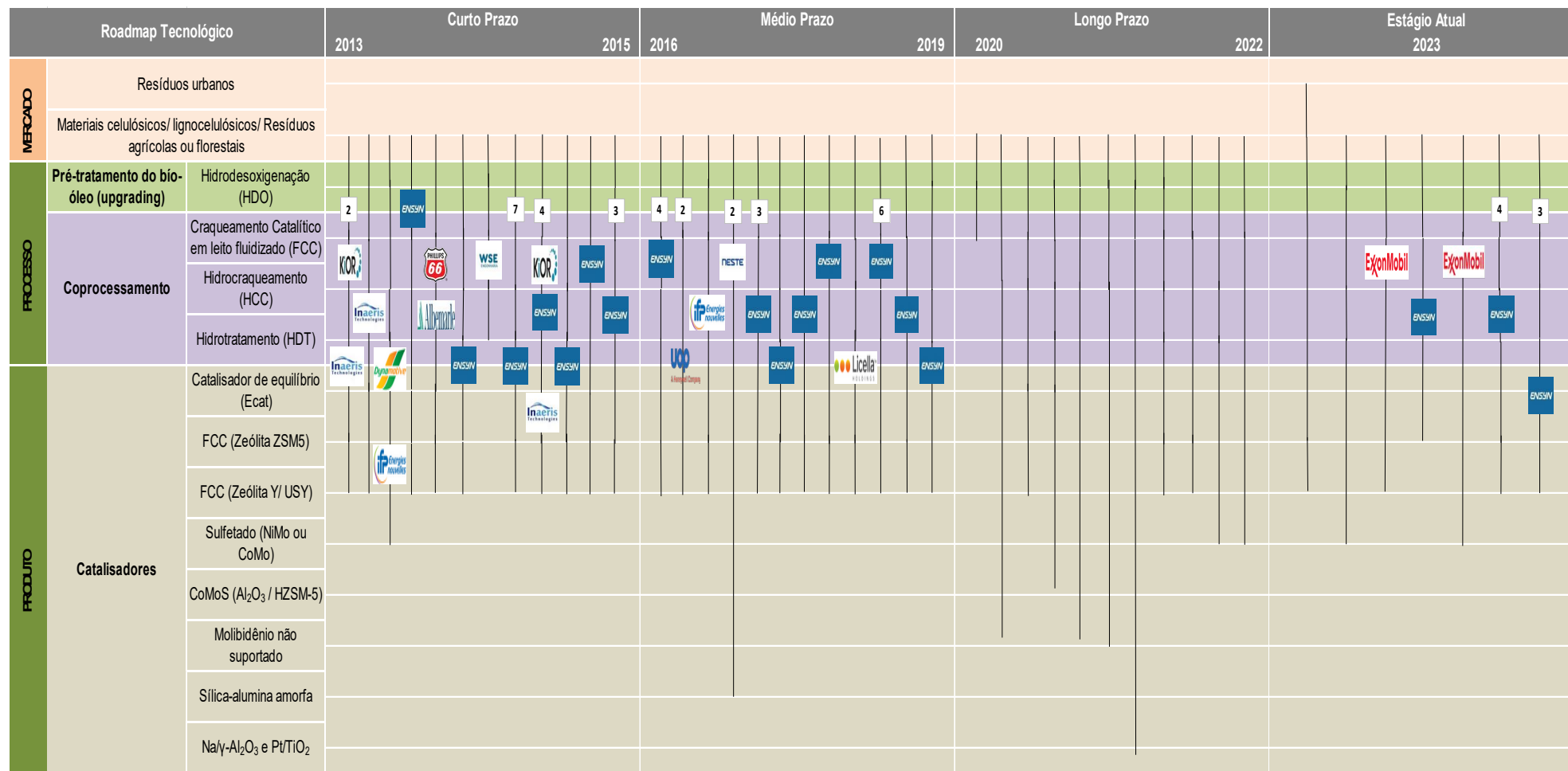
WO2020014760A1	A process of coprocessing a lignocellulosic liquid stream and an intermediate fossil stream in an oil refining process and a process for producing fuel from a deasphalted oil stream	2020	PETROLEO BRASILEIRO SA PETROBRAS	Brasil
CA3106576A1	A process of coprocessing a lignocellulosic liquid stream and an intermediate fossil stream in an oil refining process and a process for producing fuel from a deasphalted oil stream	2020	PETROLEO BRASILEIRO SA PETROBRAS	Canadá
EP3495455A1	Methods for renewable fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)
JP2019196489A	System and method for renewable fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
JP2019173020A	Fuel and manufacturing method of fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
HRP20190597T1	Methods for renewable fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Croácia
EP3495455A1	Methods for renewable fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)
EP3492559A1	Methods for renewable fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)
DK2852657T3	Fremgangsmåder til vedvarende brændstof	2019	ENSYN RENEWABLES INC [US] EMPRESA	Dinamarca
MY169619A	Systems and methods for renewable fuel	2019	ENSYN RENEWABLES INC	Malásia
CA3030625A1	Systems and methods for preparing and co-processing biocrude oil	2018	ENSYN RENEWABLES INC	Canadá
JP2018066009A	Systems and methods for renewable fuel	2018	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
JP2018066008A	Fuel and method for producing the same	2018	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
JP2018066007A	Methods for preparing liquid fuel product	2018	ENSYN RENEWABLES INC	Japão
WO2018058172A1	Biooil refining methods	2018	LICELLA PTY LTD	Austrália
WO2018017664A1	Systems and methods for preparing and co-processing biocrude oil	2018	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos

CA3030625A1	Systems and methods for preparing and co-processing biocrude oil	2018	ENSYN RENEWABLES INC	Canadá
FR3041359A1	Procede optimise pour la valorisation de bio-huiles en bases aromatiques et olefiniques	2017	IFP ENERGIES NOW	França
WO2017114715A1	A process for producing high octane gasoline component from a mixture of vgo and tall oil pitch	2017	NESTE CORP	Finlândia
CA2951614A1	A process for producing high octane gasoline component from renewable raw material	2017	NESTE OYJ	Canadá
US2016355739A1	Systems and Methods for Renewable Fuel	2016	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
BR112014014500A2	Systems and Methods for Renewable Fuel	2016	ENSYN RENEWABLES INC	Brasil
SG10201606610YA	Systems and methods for renewable fuel	2016	ENSYN RENEWABLES INC [US] EMPRESA	Singapura
RU2014128624A	Systems and methods for renewable fuel	2016	ENSIN RENYUEBLS INK	Federação Russa
WO2016100003A2	Methods and apparatuses for co-processing pyrolysis oil	2016	UOP LLC	Estados Unidos
US2016168481A1	Methods and apparatuses for co-processing pyrolysis oil	2016	UOP LLC	Estados Unidos
JP2015500395A	再生可能燃料のためのシステムおよび方法	2015		Japão
TW201546259A	Systems and methods for renewable fuel	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Taiwan
AR095648A1	Sistemas y métodos para combustibles renovables	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Argentina
TW201512388A	Systems and methods for renewable fuel	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Taiwan
CL2014001543A1	Un combustible que consiste en una unidad de craqueo catalítico en lecho fluidizado que tiene una fracción de petróleo y un combustible renovable; método de preparación	2015	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
SG11201403208YA	Systems and methods for renewable fuel	2014	ENSYN RENEWABLES INC	Singapura
AU2012352574A1	Systems and methods for renewable fuel	2014	ENSYN RENEWABLES INC	Austrália
WO2014210150A1	Systems and methods for renewable fuel	2014	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
CO7101230A2	Sistemas y métodos para combustible renovable	2014	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
SG11201403208YA	Systems and methods for renewable fuel	2014	ENSYN RENEWABLES INC	Singapura

AU2012352574A1	Systems and methods for renewable fuel	2014	ENSYN RENEWABLES INC	Austrália
AU2011352020A1	Production of renewable biofuels	2013	KIOR INC	Austrália
WO2013090229A2	Systems and methods for renewable fuel	2013	ENSYN RENEWABLES INC	Estados Unidos
CA3167505A1	Systems and methods for renewable fuel	2013	ENSYN RENEWABLES INC	Canadá
CA3077789A1	Systems and methods for renewable fuel	2013	ENSYN RENEWABLES INC	Canadá
CA3027224A1	Systems and methods for renewable fuel	2013	ENSYN RENEWABLES INC	Canadá
CA2858968A1	Systems and methods for renewable fuel	2013	ENSYN RENEWABLES INC	Canadá
JP2013545841A	Process for the preparation of a biofuel and/or biochemical	2013		Japão
AU2012245160A1	Liquid fuel composition	2013	SHELL INT RESEARCH	Austrália

Fonte: A autora, 2024.

APÊNDICE D - Technology roadmap: as tendências da utilização do bio-óleo em processos catalíticos de refino.



LEGENDA	
	Número de documentos encontrados que possuem o mesmo foco

Fonte: A autora, 2024.