



# **MONITORAMENTO TECNOLÓGICO DE BIO-ÓLEO OBTIDO A PARTIR DE PIRÓLISE DE BIOMASSA: PROCESSOS DE PRODUÇÃO E SUAS APLICAÇÕES**

Victor de Godoy Daiha

**Monografia em Engenharia Química**

**Orientadora:**

Prof.<sup>a</sup> Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.

Agosto de 2018

# **MONITORAMENTO TECNOLÓGICO DE BIO-ÓLEO OBTIDO A PARTIR DE PIRÓLISE DE BIOMASSA: PROCESSOS DE PRODUÇÃO E SUAS APLICAÇÕES**

***Victor de Godoy Daiha***

Monografia de Final de Curso submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

---

Prof. Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.  
EQ-UFRJ

---

Prof<sup>a</sup> Maria Antonieta P. Gimenes Couto, D.Sc.  
EQ-UFRJ

---

Prof<sup>a</sup> Suzana Borschiver, D.Sc.  
EQ -UFRJ

Orientadora:

---

**Prof<sup>a</sup> Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.**  
**EQ-UFRJ**

Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Agosto de 2018

## **Ficha Catalográfica**

Daiha, Victor de Godoy.

Monitoramento tecnológico de bio-óleo obtido a partir de pirólise de biomassa: processos de produção e suas aplicações/Victor de Godoy Daiha. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.  
xi, p. 89; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2018.

Orientadora: Bettina Susanne Hoffmann

1. Monitoramento tecnológico 2. Bio-óleo 3. Pirólise 4. Biomassa 5. Projeto Final.  
(Graduação – UFRJ/EQ). 6. Bettina Susanne Hoffmann. I. Monitoramento tecnológico de bio-óleo obtido a partir de pirólise de biomassa: processos de produção e suas aplicações.

A todos que fizeram e fazem parte da minha jornada interminável pelo conhecimento. Família, amigos, professores, colegas de profissão. Obrigado por toda a bagagem que me faz ser quem eu sou hoje.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, principalmente aos meus pais por terem aberto mão de tanto em prol do meu crescimento e da minha educação. Sou eternamente grato à minha mãe por tudo, simplesmente não existem palavras que expliquem o que sinto. Agradeço também à minha avó Marilena por sempre ajudar em momentos de necessidade e ser a pessoa mais generosa que eu conheço.

Agradeço à minha irmã Nathalia pelas trocas de confidências e por ter me acolhido nessa fase de transição da minha vida em uma nova cidade que se iniciará após a graduação.

Minha irmã Karina, por ter me apresentado ao mundo da Propriedade Intelectual, ser um referencial de profissional para mim e sempre estar disposta a tirar minhas dúvidas, por mais triviais que sejam.

Agradeço aos meus amigos, principalmente Kelvin e Gabriel, por aturarem todos os meus surtos durante essa etapa final e me ouvirem sempre que eu precisava desabafar. Aos amigos da faculdade Pedro, Gizele e Daniela por estarem ao meu lado desde o início da graduação.

Ao escritório Kasznar Leonardos por ter sido fundamental no início da minha carreira e por ter disponibilizado o uso da plataforma *PatSnap* para realização do trabalho. Agradeço também à minha chefe e amiga Tatiana Silveira por ser minha maior inspiração profissional e acreditar tanto no meu potencial.

Agradeço à profissional Bianca por cuidar da minha saúde mental no último ano, sempre me fazendo enxergar por pontos de vista que nunca imaginei serem possíveis e controlar minha ansiedade e auto cobrança excessivas.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores que me ensinaram tudo o que sei hoje, desde antes da alfabetização até o fim da graduação. Um agradecimento especial à professora Susanne pela orientação, pelos *brainstorms* nas reuniões e por não desistir de mim apesar das adversidades e rotina caótica.

Resumo da Monografia de Final de Curso apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

## **MONITORAMENTO TECNOLÓGICO DE BIO-ÓLEO OBTIDO A PARTIR DE PIRÓLISE DE BIOMASSA: PROCESSOS DE PRODUÇÃO E SUAS APLICAÇÕES**

Agosto, 2018

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.

A disponibilidade mundial de resíduos de biomassa e a crescente necessidade de redução de dependência de recursos de origem fóssil têm motivado o desenvolvimento tecnológico de processos capazes de transformar ditos resíduos em energia e fontes de matérias-primas baseadas em carbono. Dentre os processos disponíveis para a conversão de biomassa, o processo de pirólise pode ser considerado de grande importância por possuir grande versatilidade de operação e ser compatível com matérias primas das mais variadas procedências. O produto líquido da pirólise, denominado óleo de pirólise ou bio-óleo, possui tanto aplicações energéticas quanto para percursos de diversos produtos químicos de interesse da indústria. Nesse sentido, o presente trabalho avalia, por meio de documentos de patente, como as tecnologias associadas ao bio-óleo de pirólise de biomassa têm sido desenvolvidas, identificando suas origens, principais empresas e instituições que têm realizado esforços de pesquisa e desenvolvimento na área e quais assuntos têm sido mais abordados dentro do campo sob estudo. Por meio de ajuste em modelo logístico, a presente análise previu um decréscimo nas atividades patentárias nos próximos anos, apesar do surgimento de um importante depositante no ano de 2016. Os estudos demonstram também que, apesar de China e Estados Unidos serem as principais regiões depositantes, houve uma redução da atividade estadunidense e um crescente interesse de depositantes chineses e coreanos na tecnologia no último ano avaliado. Além disso, foi notado um enfoque crescente em tecnologias de equipamentos, sistemas e reatores. Tanto as aplicações em combustíveis quanto em produtos químicos continuam a ser desenvolvidas, apesar de ter sido observada um crescimento maior no depósito de patentes para produtos químicos no início do desenvolvimento tecnológico.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2	OBJETIVOS E ESTRUTURA DO ESTUDO.....	5
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA E FERRAMENTAS APLICADAS.....</b>	<b>7</b>
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.2	PATENTES COMO INDICADORES DE INOVAÇÃO E FERRAMENTAS DE PROSPECÇÃO...	7
2.3	CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA (CURVA EM S) .....	11
2.4	ESCOLHA DA BASE DE DADOS.....	14
2.5	AGRUPAMENTO DE DOCUMENTOS EM FAMÍLIAS DE PATENTES.....	14
2.6	CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE PATENTES (IPC).....	16
2.7	ESTRATÉGIAS DE BUSCA E ANÁLISE DE DADOS.....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS TECNOLOGIAS EM QUESTÃO .....</b>	<b>20</b>
3.1	USO DE BIOMASSA COMO FONTE ENERGÉTICA .....	20
3.1.1	QUÍMICA DA BIOMASSA.....	20
3.1.2	RESÍDUOS DE BIOMASSA E POTENCIAL NACIONAL ASSOCIADO .....	23
3.2	PROCESSOS DE CONVERSÃO TERMOQUÍMICOS.....	24
3.2.1	GASEIFICAÇÃO .....	26
3.2.2	COMBUSTÃO .....	26
3.2.3	LIQUEFAÇÃO.....	27
3.2.4	PIRÓLISE .....	28
3.2.5	PIRÓLISE RÁPIDA .....	30
3.3	BIO-ÓLEO E SUAS CARACTERÍSTICAS .....	31
3.3.1	TEOR DE OXIGÊNIO E TEOR DE ÁGUA .....	33
3.3.2	INSTABILIDADE E ENVELHECIMENTO.....	33
3.3.3	DISTRIBUIÇÃO DE VOLATILIDADE.....	34
3.3.4	CORROSIVIDADE.....	34
3.4	PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO DO BIO-ÓLEO .....	35
3.4.1	HIDROTRATAMENTO .....	37
3.4.2	CRAQUEAMENTO FLUIDO CATALÍTICO (FCC).....	38
3.4.3	GASEIFICAÇÃO PARA COMBUSTÍVEIS A PARTIR DE GÁS DE SÍNTESE.....	39
3.4.4	PIRÓLISE CATALÍTICA.....	40
3.5	BIO-ÓLEO COMO MATÉRIA PRIMA PARA PRODUTOS QUÍMICOS .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>

4.1	ESTRATÉGIA DE BUSCA.....	43
4.2	ESTUDO PROSPECCTIVO.....	44
4.2.1	EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS DEPÓSITOS DE PATENTES E CURVA EM S.....	44
4.2.2	PRINCIPAIS REGIÕES DEPOSITANTES .....	47
4.2.3	ANÁLISE DOS PRINCIPAIS MERCADOS POTENCIALMENTE PROTEGIDOS .....	51
4.2.4	ANÁLISE DO CONTEÚDO TÉCNICO POR IPC .....	52
4.2.5	ANÁLISE DO CONTEÚDO TÉCNICO POR PALAVRAS-CHAVE .....	55
4.2.6	PRINCIPAIS EMPRESAS E INSTITUIÇÕES DEPOSITANTES.....	59
4.2.7	ATIVIDADE PATENTÁRIA DE 2016 E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	71
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>73</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Parcelas do consumo mundial de energia dividido por fonte energética. .....	4
<b>Figura 2</b> - Curva em S para ciclo de vida de uma tecnologia e os quatro estágios de desenvolvimento .....	11
<b>Figura 3.</b> Estrutura química da celulose .....	21
<b>Figura 4.</b> Exemplos não exaustivos de monômeros constituintes da hemicelulose .....	22
<b>Figura 5</b> – (a) Exemplo de estrutura química da lignina; (b) Monômeros encontrados na estrutura polimérica da lignina .....	23
<b>Figura 6.</b> Distribuição dos produtos de pirólise dividida por método de condução .....	29
<b>Figura 7.</b> Resumo dos métodos de beneficiamento. ....	36
<b>Figura 8</b> - Produção de hidrogênio a partir de biomassa e hidrotratamento de bio-óleo. ....	38
<b>Figura 9</b> - Número de documentos de patente por ano de depósito (período de 2002 a 2016). ....	45
<b>Figura 10</b> - Evolução temporal do preço do barril de petróleo, em dólares americanos. ....	46
<b>Figura 11</b> - Modelo logístico de depósitos acumulados versus tempo, com intervalo de confiança de 95%. Parâmetros: $k= 860$ , $a= 15,41$ , $b = 2015$ , $R^2 = 0,943$ .....	47
<b>Figura 12</b> - Principais países depositantes entre os anos de 2002 e 2016.. ...	48
<b>Figura 13</b> - Principais regiões depositantes de pedidos de patente no mundo durante o período estudado (2002-2016) .....	49
<b>Figura 14</b> - Evolução de depósitos por região geográfica. ....	50
<b>Figura 15</b> - Principais mercados protegidos por documentos patentários.. ....	51
<b>Figura 16</b> - Evolução temporal de depósitos dividida por assunto técnico.. ....	57
<b>Figura 17</b> - Porcentagem de depósitos direcionados a cada um dos campos técnicos ano a ano .....	58
<b>Figura 18</b> - Principais depositantes de pedidos de patentes .....	60

<b>Figura 19</b> – UOP LLC - depósitos totais e depósitos direcionados à tecnologia sob estudo.....	61
<b>Figura 20</b> - Kior Inc. e Inaeris Technologies - depósitos totais e depósitos direcionados à tecnologia sob estudo. ....	64
<b>Figura 21</b> - Shenwu Technology Co., Ltd.- depósitos totais e depósitos direcionados à tecnologia sob estudo. ....	66
<b>Figura 22</b> - Evolução dos depósitos das principais universidades (a) Beijing Forestry University (BFU) (b) Central South University of Forestry Technology (CSUFT).....	69

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Vantagens e desvantagens do uso de patentes como indicadores de inovação.....	11
<b>Tabela 2</b> - Exemplo de classificação internacional de patentes por nível hierárquico.....	16
<b>Tabela 3.</b> Composição de diferentes tipos de biomassa.....	21
<b>Tabela 4.</b> Potencial de Produção de Resíduo Agrícola Mundial e Brasileiro. ..	24
<b>Tabela 5.</b> Comparação entre os processos de gaseificação e combustão.....	27
<b>Tabela 6.</b> Distribuições típicas dos produtos da pirólise em diferentes modalidades da mesma, com base em peso seco de biomassa. ....	28
<b>Tabela 7.</b> Composições de bio-óleos oriundos de três diferentes matérias primas. ....	32
<b>Tabela 8</b> – Propriedades do óleo de pirólise.....	35
<b>Tabela 9</b> – Resumo da estratégia de busca realizada na plataforma Patsnap.	44
<b>Tabela 10</b> - Principais Subclasses de IPC encontradas na busca. ....	53
<b>Tabela 11</b> - Estratégias de busca para análise de conteúdo técnico dos documentos patentários. ....	55
<b>Tabela 12</b> - Famílias de patente sob titularidade de UOP LLC divididas por assunto técnico.. ....	62
<b>Tabela 13</b> - Famílias de patente sob titularidade de KiOR divididas por assunto técnico.....	65
<b>Tabela 14</b> - Famílias de patente sob titularidade de Shenwu Technology Co., Ltd. divididas por assunto técnico .....	67
<b>Tabela 15</b> - Famílias de patente sob titularidade de Beijing Forestry University divididas por assunto técnico. ....	70

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Datado do início do século XVIII, o uso de combustíveis fósseis como fonte energética surgiu na Grã-Bretanha como uma alternativa à madeira, visto que a segunda se mostrava cada vez menos atrativa por conta de altos custos de mão-de-obra associados, crescente escassez de suprimento regional de madeira e dificuldade no transporte desta matéria prima devido a sua baixa densidade energética (SOLOMON e KRISHNA, 2011).

Ao final do século XIX, o uso dos combustíveis fósseis superou o fornecimento total de combustíveis de biomassa para se tornar a fonte de energia primária mundial (FOUQUET, 2010). Durante os quase dois séculos que se passaram desde o início do uso de combustíveis fósseis até a sua consolidação como fonte energética primária, a Revolução Industrial e o constante desenvolvimento de máquinas a vapor foram os fatores precursores do crescente uso de carvão como fonte de energia térmica e o consequente aumento da extração do mesmo por meio da mineração (SOLOMON e KRISHNA, 2011).

No século XX, com a chegada das máquinas de combustão interna em substituição às máquinas a vapor, houve o advento da utilização de combustíveis líquidos baseados em petróleo, como diesel e gasolina, possibilitando assim a superação das deficiências associadas às máquinas a vapor (S. TORRENS, 1992), principalmente no que tange à aplicação em transportes rodoviários mais velozes. Este novo cenário tecnológico possibilitou o desenvolvimento de automóveis mais eficientes em vista do desenvolvimento de máquinas movidas a gasolina. Vale salientar que, apesar da parcial substituição do carvão pelos combustíveis líquidos durante o século XX, o carvão se manteve como uma fonte combustível de suma importância até os dias atuais por conta do desenvolvimento contínuo de geradores de turbina a vapor para geração de eletricidade (SOLOMON e KRISHNA, 2011).

No fim do século XX, especificamente nos anos de 1973 e 1974, o embargo de fornecimento de petróleo pela OPEC levou países como Estados Unidos, França e Brasil a diversificarem suas respectivas matrizes energéticas de forma que a dependência de importação de óleo fosse reduzida, evitando que o desenvolvimento de ditos países fosse impedido pelo preço internacional do petróleo. Nesse sentido, a biomassa, fonte energética majoritária até o século XVIII, voltou a ser novamente considerada por muitos governos como uma alternativa viável com potencial para redução do consumo de petróleo e importação do mesmo, visando à redução de déficits na balança comercial oriundos da dependência internacional do petróleo (L. KLASS, 1998a).

Em adição a todas as questões geopolíticas associadas aos combustíveis fósseis, principalmente em relação à instabilidade da cotação internacional, o fato destas matrizes energéticas terem reservas finitas e estarem sendo exploradas de forma indiscriminada pela sociedade nos últimos séculos põe em evidência a sua insustentabilidade, o que incentiva ainda mais a busca por fontes energéticas alternativas e renováveis (GUO e colab., 2015).

A “Revisão Estatística de Energia Mundial de 2017”, publicado pela British Petroleum em junho de 2017, estima, em um cenário hipotético de consumo e reservas estimadas constantes, que as reservas comprovadas de petróleo em 2016 seriam suficientes para suprir o consumo de apenas 50,6 anos, enquanto que as reservas comprovadas de gás natural durariam 52,5 anos considerando o consumo anual registrado em 2016. As reservas de carvão avaliadas, por sua vez, seriam suficientes para suprimento de 153 anos de consumo. (BP, 2017).

A situação torna-se ainda mais alarmante em vista da preocupação crescente nas últimas décadas com questões ambientais, principalmente associadas à emissão de gases estufa, que é inerente ao processo de produção e queima de combustíveis. A combustão de matrizes energéticas fósseis como carvão mineral, gás natural e petróleo são responsáveis por dois terços das emissões antropogênicas de dióxido de carbono, sendo este o principal contribuinte para o aumento da concentração de gases estufa na atmosfera (MOHAN e colab., 2006). Nesse âmbito, o protocolo de Kyoto, assinado no final

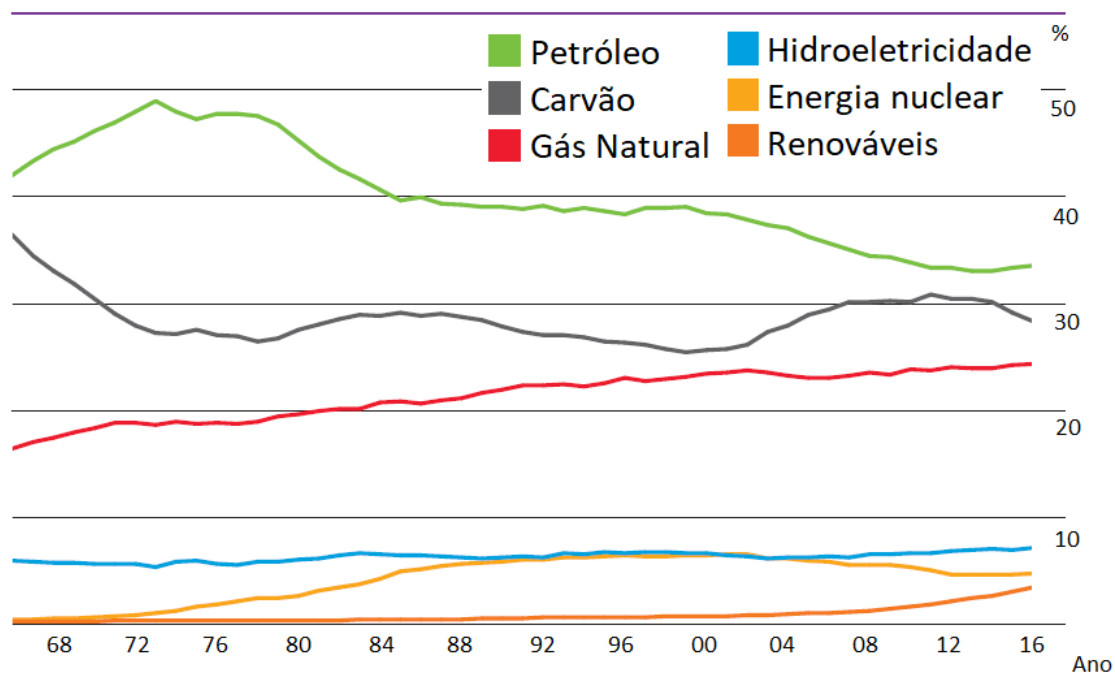
de 1997 e impulsionado principalmente pelas alterações climáticas mundiais, visa uma drástica redução na emissão de gases estufa e é considerado um marco na corrida mundial por fontes energéticas alternativas renováveis (AKELLA e colab., 2009).

Apesar de ter motivado a busca mundial pela redução de gases estufa e, conseqüentemente, implementação de recursos energéticos renováveis, o Protocolo de Kyoto é hoje em dia considerado como uma abordagem inviável para a mitigação das mudanças climáticas. Acordos internacionais posteriores, como o Acordo de Copenhague de 2009 e Acordo de Paris de 2015 podem ser citados como tentativas mais factíveis de estabelecer políticas ambientais mais efetivas e de maior aderência entre os países do globo, inclusive dos maiores emissores de gases estufa como Estados Unidos, China e Índia (FALKNER, 2016).

O acordo de Copenhague de 2009, criado com o objetivo de ser um sucessor de maior eficiência do Protocolo de Kyoto, foi considerado um fracasso na época. Apesar do seu insucesso, o tratado foi capaz de abrir espaço para uma nova abordagem que se concretizou no Acordo de Paris de 2015. Dito acordo, o mais recente tratado internacional no âmbito de mudanças climáticas e emissões de gases estufa, permite que os países estabeleçam seus próprios níveis de ambição para mitigação de mudanças climáticas (FALKNER, 2016).

Independentemente da abordagem feita por cada um dos tratados supracitados, é inegável que, desde a assinatura do protocolo de Kyoto em 1997, até os dias atuais com o estabelecimento de medidas de redução de emissão de gases estufa a partir de 2020 pelo Tratado de Paris de 2015, as matrizes energéticas renováveis possuem um papel fundamental para que os objetivos traçados sejam alcançados.

Na Figura 1 podemos observar a evolução do consumo energético mundial desde a década de 60 até os dias de hoje, separada por fonte energética. O eixo das abscissas representa os anos e o eixo das ordenadas a parcela do consumo energético de cada fonte energética, em porcentagem.



**Figura 1.** Parcelas do consumo mundial de energia dividido por fonte energética. Fonte: adaptado de BP, 2017

Conforme visto no gráfico, apesar de as fontes renováveis - compostas por energia solar, eólica e biocombustíveis - representarem uma pequena parcela do consumo de energia mundial, é possível notar um aumento significativo de sua participação ao longo dos últimos anos, principalmente a partir do início dos anos 2000, com um maior crescimento a partir de 2008, chegando a representar um total 3.2% deste consumo em 2016 (BP, 2017).

No âmbito do desenvolvimento de substituintes renováveis aos recursos fósseis como o petróleo e o carvão, a biomassa recebe papel de destaque por ser considerada a única fonte de carbono natural e renovável disponível em escala suficiente para ser capaz de realizar tal substituição (CHRISTIAN, 2000).

Dentre os inúmeros processos bioquímicos, físicos e térmicos disponíveis para a conversão de biomassa em energia e produtos químicos, o processo de pirólise é particularmente relevante por apresentar uma grande flexibilidade de operação, versatilidade tecnológica e adaptabilidade a uma extensa variedade de matérias primas e produtos (ADAMS e colab., 2018).

Um dos principais produtos resultantes da pirólise consiste de uma complexa mistura líquida de hidrocarbonetos oxigenados denominada bio-óleo,

possuída qual se espera, sendo um líquido, uma maior facilidade de transporte e armazenamento quando comparado, por exemplo, com produtos gasosos como o gás de síntese ou produtos sólidos como o carvão.

Apesar de o bio-óleo ser apontado pela comunidade científica como um promissor biocombustível para substituição de matrizes fósseis convencionais e também como um possível precursor para diversos produtos químicos, as características físico-químicas do óleo dificultam o seu uso em ditas aplicações, o que têm exigido, nos últimos anos, esforços em pesquisa e desenvolvimento de estratégias operacionais de pirólise mais eficientes, além de processos de beneficiamento que contornem as desvantagens do óleo.

## 1.2 OBJETIVOS E ESTRUTURA DO ESTUDO

Em vista do exposto, o objetivo do presente trabalho é a realização de um estudo de prospectivo, utilizando documentos patentários como indicadores tecnológicos, para a maior compreensão das tendências tecnológicas associadas aos processos e aplicações do bio-óleo de pirólise de biomassa.

Dentre os objetivos específicos do trabalho estão a elaboração de uma estratégia de busca em bancos de dados de patente, análise da evolução temporal dos documentos recuperados na busca, construção de curva em S para avaliação do ciclo de vida da tecnologia, identificação da origem geográfica dos documentos patentários e principais detentores, análise das matérias contidas nos títulos e resumos dos documentos para melhor entendimento dos assuntos técnicos abordados e elaboração de perspectivas futuras para a tecnologia sob estudo.

Incluindo esta introdução, o trabalho é estruturado em cinco capítulos, O capítulo dois expõe metodologias e ferramentas aplicadas para o desenvolvimento do estudo, mais especificamente a análise de patentes. O capítulo três contém uma revisão bibliográfica sobre os processos de tratamento térmico de biomassa para obtenção de bio-óleo e, também, das possíveis aplicabilidades do bio-óleo no setor industrial, que fornece o conhecimento necessário para a busca direcionada em documentos de patentes. No capítulo



quatro são descritos os resultados da análise dos documentos patentários e o capítulo cinco apresenta, finalmente, as conclusões do estudo em mãos.

## 2 METODOLOGIA E FERRAMENTAS APLICADAS

Neste capítulo encontra-se uma breve descrição dos fundamentos teóricos de estudos prospectivos, das ferramentas aplicadas neste trabalho e do desenvolvimento do estudo. Em relação às ferramentas, este estudo aplica como principal instrumento a busca em documentos de patentes aplicando o *PatSnap*, uma plataforma que permite buscas sofisticadas em documentos de patentes.

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O necessário conhecimento técnico foi adquirido através de uma ampla revisão bibliográfica sobre os processos de tratamento térmico de biomassa para obtenção de bio-óleo e, também, das possíveis aplicabilidades do bio-óleo no setor industrial, para que assim fosse construída uma visão técnica do assunto aqui abordado.

O estudo inicial teve como base a busca por artigos científicos e capítulos de livros por meio das plataformas Periódicos CAPES e Google Acadêmico pelo uso de palavras-chave relacionadas ao campo técnico sob análise, como “*pyrolysis*”, “*bio-oil*”, “*biomass*”, “*thermochemical*”, “*fuel*” e “*chemicals*”.

A partir do levantamento da literatura foi possível, além da construção de um conhecimento técnico no assunto, a elaboração da revisão bibliográfica desenvolvida na seção subsequente e a obtenção de palavras-chaves em língua Inglesa para uso nas buscas em bancos de dados de patentes.

### 2.2 PATENTES COMO INDICADORES DE INOVAÇÃO E FERRAMENTAS DE PROSPECÇÃO

Os estudos prospectivos podem ser entendidos como a manipulação hipotética de fatores socioeconômicos, políticos, tecnológicos e culturais para compreensão do futuro e a avaliação do grau de influência de ditos fatores sobre organizações e sistemas sociais. Nesse sentido, ditos estudos visam à identificação de demandas futuras e potenciais, além de vislumbrar mudanças nos paradigmas que norteiam tais redes de atores (OLIVEIRA, 2014).

Propostas de classificação dos métodos e técnicas existentes para atividades prospectivas são sugeridas na literatura (COELHO, 2003; PORTER e colab., 2004), os quais são divididos em diferentes famílias. A classificação proposta por PORTER e colab (2004) identifica as seguintes famílias: Criatividade, Métodos Descritivos e Matrizes, Métodos Estatísticos, Opinião de Especialistas, Monitoramento e Sistemas de Inteligência, Modelagem e Simulação, Cenários, Análises de Tendências, e Sistemas de Avaliação e Decisão.

A classificação de maior relevância para o presente trabalho consiste no Monitoramento e Sistemas de Inteligência, constituído por fontes básicas de informação relevante e por isso são quase sempre utilizados. Alguns objetivos possíveis do monitoramento incluem (PORTER e colab., 2004):

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

Em uma abordagem mais estrita, o monitoramento não seria considerado uma técnica de prospecção. No entanto, é a mais básica e amplamente utilizada porque provê o plano de fundo necessário no qual a prospecção se baseia. Assim sendo, é fundamental para qualquer prospecção. Pode ser usado para buscar todas as fontes de informação e produzir um rico e variado conjunto. As principais fontes em que este método se baseia são as de natureza técnica, como revistas, patentes, catálogos e artigos científicos (ROPER e colab., 2011).

O sistema de patentes é uma das instituições mais antigas das sociedades de mercado e se baseia em uma troca entre o Estado, a sociedade e o inventor (ARCHIBUGI, 1992). A patente é um direito legal de propriedade

sobre uma invenção, garantido pelos escritórios de patentes nacionais. Uma patente confere a seu detentor direitos exclusivos durante um certo período para explorar a invenção patenteada, impedindo terceiros de produzi-la ou comercializá-la sem seu consentimento prévio (OECD, 1997).

Ao mesmo tempo, ela revela os detalhes da invenção como um meio de permitir seu uso social mais amplo. Nesse sentido, os inventores obtêm estímulo para continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento enquanto a sociedade passa a ter acesso às novas tecnologias, tendo como resultado final o desenvolvimento tecnológico (MACEDO e BARBOSA, 2000).

Apesar de a inovação ser considerada o motor para o crescimento econômico, medi-la de forma satisfatória não é um processo simples. Diversas tentativas foram feitas para realizar tal medida, como avaliação dos gastos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) ou da produtividade total dos fatores (PTF). Entretanto, ambos possuem limitações que os tornam pouco precisos. Deve-se ter em mente que gastos em P&D não necessariamente se traduzem em inovações de fato, e que o PTF é um parâmetro que engloba diversos fatores não associados à inovação (NAGAOKA e colab., 2010).

Nesse sentido, as patentes têm sido cada vez mais utilizadas como medida de inovação, sendo consideradas uma fonte de informação única por conterem informações públicas e detalhadas sobre invenções que podem ser comparadas a outros indicadores e prover *insights* sobre a evolução da tecnologia. As patentes podem, ainda, funcionar como indicadores úteis da atividade inventiva e de fluxos de tecnologia, pois funcionam como incentivo a uma contínua renovação tecnológica (OLIVEIRA, 2014).

As razões para o aumento no uso de estatísticas de patentes estão principalmente associadas ao desenvolvimento de bases de dados por diversos escritórios nacionais de patentes como o Escritório de Patentes e Marcas dos Estados Unidos (USPTO), Escritório Europeu de Patentes (EPO), Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI – Brasil) e Instituto de Propriedade Intelectual (IIP – Japão), possibilitando o uso das mesmas por empresas para

monitoramento dos desenvolvimentos tecnológicos e atividades patentárias de concorrentes (NAGAOKA e colab., 2010).

Além disso, o desenvolvimento de computadores com maiores capacidades de processamento e de softwares capazes de processar de forma rápida as informações contidas ditas em bases de dados permitem a obtenção de análises estatísticas de forma rápida e prática com programas disponíveis no mercado, tornando a obtenção de estatísticas de patente um processo factível e de mais fácil acesso (NAGAOKA e colab., 2010).

Dessa forma, o monitoramento tecnológico por meio de documentos de patentes tem se constituído em potente ferramenta de apoio à decisão, tendo em vista a riqueza de informação contida neste tipo de documento, que permite: mapeamento da evolução de tecnologias, identificação de novos mercados (protegidos e não protegidos), identificação de tecnologias emergentes, previsão de novos produtos, definição de potenciais rotas para aperfeiçoamentos em produtos e processos existentes, rastreamento de capacitação tecnológica, identificação de fontes de licenciamento, entre outros aspectos (OLIVEIRA, 2014).

A análise de patentes a ser realizada é baseada no pressuposto de que o aumento do interesse por novas tecnologias se refletirá no aumento da atividade de pesquisa, desenvolvimento e inovação e que isso, por sua vez, se refletirá no aumento de depósito de patentes. Assim, presume-se que se podem identificar novas tecnologias pela análise dos padrões de patentes em determinados campos. Os resultados são muitas vezes apresentados de forma quantificada, mas seu uso no processo decisório tem por base uma avaliação qualitativa (CGEE, 2010).

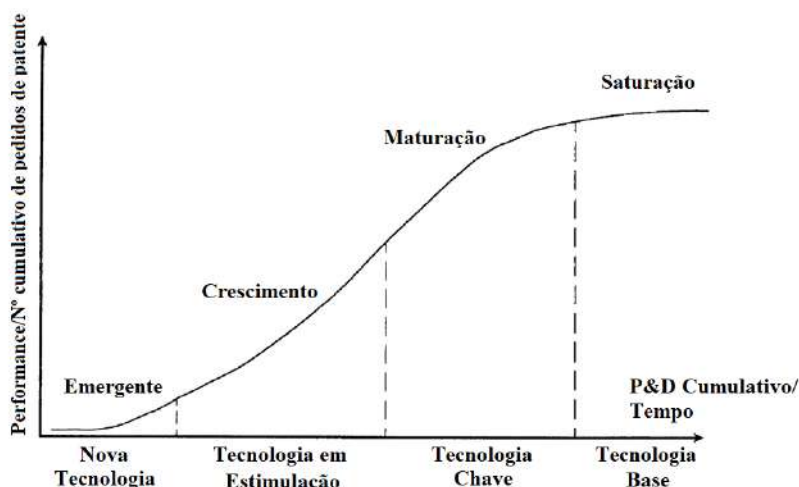
É importante salientar, entretanto, que, como qualquer outro indicador de inovação, as patentes possuem também desvantagens e limitações associadas ao seu uso, sendo os pontos positivos e negativos sumarizados na tabela 1 abaixo.

**Tabela 1.** Vantagens e desvantagens do uso de patentes como indicadores de inovação.  
 FONTE: DAIHA, 2015

Vantagens	Desvantagens
Cobertura mundial	Nem todas as invenções geram patentes
Formato praticamente universal	Apenas parte das invenções patenteadas se tornam inovações
Ampla cobertura temporal	Independência nas decisões de cada escritório nacional de patentes
Facilidade de acesso às informações	Processamento demorado e custoso
Separação das invenções por campos tecnológicos	Sigilo de 18 meses entre depósito e publicação
Comprovada relação positiva entre gastos de P&D e subsequente atividade patentária	Propensão ao patenteamento é diferente a depender do setor industrial

### 2.3 CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA (CURVA EM S)

O método de previsão tecnológica assume que as transformações tecnológicas seguem um padrão, onde diferentes estágios de desenvolvimento podem ser identificados em um processo de evolução de uma determinada tecnologia. Os dados de desempenho tecnológico, aqui traduzidos como número acumulado de pedidos de patente depositados, para uma tecnologia em particular *versus* tempo ou *versus* gastos cumulativos com pesquisa e desenvolvimento (P&D), demonstram uma relação em forma de S. Conforme demonstrado na figura 2, a curva em S para o ciclo de vida de uma tecnologia possui quatro diferentes estágios de desenvolvimento distintos (ERNST, 1997).



**Figura 2** - Curva em S para ciclo de vida de uma tecnologia e os quatro estágios de desenvolvimento. Fonte: adaptado de ERNST, 1997

O estágio de emergência é caracterizado pelo baixo crescimento relativo da performance tecnológica em comparação com a quantidade de esforço em P&D. No estágio de crescimento, o progresso tecnológico marginal é positivo sobre os gastos em P&D, enquanto é negativo na etapa de maturação. No estágio de saturação, pequenas melhorias na performance tecnológica são apenas obtidas por meio de esforços muito elevados em P&D (ERNST, 1997).

O método de modelagem do ciclo de vida de uma tecnologia é baseado na suposição de que a trajetória de crescimento de uma tecnologia segue um modelo de crescimento logístico, isto é, um sistema que cresce exponencialmente até atingir um limite superior inerente, uma vez que dito sistema não é capaz de sustentar um crescimento exponencial indefinidamente, apresentando um comportamento em forma de S tal qual o da figura 2 (MEYER e colab., 1999).

O modelo de crescimento logístico é tipicamente descrito pela equação (1):

$$P(t) = \frac{k}{1 + \exp(-a * (t - b))} \quad (1)$$

em que:

“k” é o limite de crescimento do sistema (quantidade limite de documentos depositados);

“a” é a declividade da curva; e

“b” é o valor de t no ponto médio (ou ponto de inflexão) da curva.

No âmbito da patentometria, as metodologias que empregam a curva em S são baseadas na plotagem de dados cumulativos de documentos de patente *versus* tempo (CHIU e YING, 2012; INTEPE e KOC, 2012; LIU e colab., 2011; WANG, 2010) com o intuito de monitorar a atratividade de uma tecnologia por investimentos (ANDERSEN, 1999).

Nos estudos pontuados acima, a plotagem dos dados é ajustada a modelos logísticos, sendo possível a obtenção dos parâmetros k, a e b, que

permitem determinar os pontos de transição entre as fases de crescimento, maturação e saturação da tecnologia (WANG, 2010; ZARTHA, 2016).

Especificamente, o valor de  $b$  indica o ano em que ocorre o ponto de inflexão da curva, sendo este o marco entre as fases de crescimento e maturação. O ano de início de fase de saturação pode ser obtido conforme o método descrito em WANG, 2010, sendo o ano no qual o depósito acumulado de patentes representa 90% do valor de  $k$  obtido no modelo logístico ( $T_{0,9}$ ), que pode ser calculado por meio da equação (2):

$$T_{0,9} = \frac{\ln(9) + a * b}{a} \quad (2)$$

No presente trabalho, o ajuste dos depósitos acumulados *versus* tempo e a obtenção dos parâmetros foi obtida usando a plataforma Loglet Lab 4, permitindo a determinação dos pontos relevantes da curva em S e enquadramento da tecnologia em uma das quatro fases apontadas. Os dados foram ajustados para o modelo logístico da equação 1, por meio do método dos mínimos quadrados. Os resultados foram analisados para um intervalo de 95% de confiança.

Cabe salientar que o método de ajuste em modelos logísticos consiste de uma estimativa a partir de dados presentes à época da análise, visando a uma orientação quanto ao potencial da tecnologia.

Deve-se ter em mente que o método possui a desvantagem de ser altamente sensível à quantidade de dados disponíveis (INTEPE e KOC, 2012). Assim, em casos em que a tecnologia está em um estágio inicial de crescimento, a trajetória projetada pode apresentar desvios significativos do crescimento real futuro (LIU e colab., 2011). Por esta razão, para a análise do ciclo de vida da tecnologia sob estudo, optou-se por analisar a quantidade de depósitos acumulados desde o início da atividade patentária até o ano de 2016 para diminuição nas incertezas associadas ao método.



## 2.4 ESCOLHA DA BASE DE DADOS

Uma vez que o estudo prospectivo aqui realizado usará documentos patentários como fonte de informação, a etapa seguinte foi a escolha de uma base de dados de patentes para a coleta e análise estatística de informação. Os critérios de escolha aplicados foram:

- a) abrangência de jurisdições dos documentos patentários disponíveis na base de dados;
- b) simplicidade e versatilidade para elaboração de estratégia de busca (“*query*”);
- c) disponibilidade de ferramentas de análises estatísticas para tratamento dos dados obtidos;

Em vista dos critérios listados e das bases patentárias disponíveis para uso, optou-se por utilizar a base de dados *Patsnap*, a qual engloba mais de 120 milhões de documentos patentários originados em todo planeta.

## 2.5 AGRUPAMENTO DE DOCUMENTOS EM FAMÍLIAS DE PATENTES

Além de possuir uma interface simplificada, o *Patsnap* é capaz de realizar buscas em traduções de documentos patentários, sendo possível retornar documentos de língua não inglesa nas buscas. Os resultados podem ser agrupados por grupos de patentes que cobrem uma mesma invenção, denominados de famílias de patente. A base de dados conta com diferentes tipos de família, os quais são formados a partir de critérios diferenciados.

Para que o conceito de família de patentes seja entendido, é primeiro necessário que se defina o que é uma prioridade no âmbito da Propriedade Industrial.

Uma vez que o direito conferido por uma patente segue o princípio da territorialidade, ou seja, é limitado para o país ao qual a patente foi solicitada, faz-se necessário o depósito de um pedido para cada país no qual se deseja obter proteção à invenção. Diante deste cenário, é comum que uma única invenção esteja associada a uma numerosa quantidade de pedidos de patente idênticos ao redor do mundo.

De acordo com a Convenção da União de Paris (CUP), os inventores possuem até 12 meses contados a partir da data de depósito do pedido de patente inicial para depositar pedidos referentes à mesma invenção em outras jurisdições. Para que este direito seja obtido, deve ser reivindicada prioridade para o primeiro pedido quando os pedidos correspondentes são depositados. Dessa forma, qualquer fato verificado no intervalo de tempo entre o depósito da prioridade e dos pedidos correspondentes não serão considerados na análise de patenteabilidade dos mesmos tendo em vista que todos serão analisados com base na data de depósito da prioridade (BODENHAUSEN, 1968).

Torna-se evidente, assim, que pedidos de patentes depositados em diferentes países, mas referentes a uma mesma invenção, estarão relacionados por meio de um pedido de prioridade comum, sendo esta a base para a definição de uma família de patentes. O *PatSnap* conta com diferentes tipos de família de patentes com base em diferentes organizações por prioridade (EPO, 2017; PATSNAP, 2017):

i) Família simples (“simple family”): pedidos de patente que são membros de uma família simples irão possuir sempre a mesma prioridade e, por isso, o conteúdo técnico de todos os membros será idêntico.

ii) Família estendida INPADOC<sup>1</sup> (“*INPADOC extended family*”): consiste de um grupo de pedidos de patentes que cobre a mesma tecnologia. O conteúdo técnico dos pedidos membros é similar, mas não necessariamente o mesmo. Os membros de uma família de patentes estendida terão pelo menos uma prioridade em comum com pelo menos um outro membro – tanto de forma direta quanto indireta.

iii) Família estendida Patsnap (“*Patsnap extended family*”): segue as mesmas regras da família estendida INPADOC, porém com correção de erros associados ao grupamento das famílias como, por exemplo, normalização dos números dos pedidos de patente e prioridade. Dessa forma, evita-se que pedidos pertencentes a uma família erroneamente definidos como um pedido único sejam considerados separadamente.

---

<sup>1</sup> INPADOC consiste de uma abreviação para **I**nternational **P**atent **D**ocuments

É possível notar que o grupamento dos resultados em famílias estendidas tem o importante papel de simplificar a análise dos resultados e evitar que sejam contabilizados mais de um documento patentário direcionado a uma mesma invenção. Desta forma, o presente trabalho fará uso de resultados agrupados em famílias estendidas como forma de gerar análises mais concisas e verossímeis.

Cabe salientar que a base de dados aqui utilizada conta, ainda, com uma seção de análises estatísticas capazes de gerar gráficos referentes a informações relevantes como data de depósito e publicação, classificação internacional e corporativa de patentes (IPC/CPC), principais depositantes, inventores, jurisdições dos documentos encontrados, entre outras.

## 2.6 CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE PATENTES (IPC)

Uma vantagem da utilização de documentos patentários como fonte de informação reside no fato de que há uma indexação por meio da Classificação Internacional de Patentes (*International Patent Classification* – IPC), que classificam os documentos patentários de acordo com os seus conteúdos técnicos (WIPO, 2018).

Os IPC's consistem de um sistema alfanumérico que divide o conhecimento técnico em oito sessões que são subsequentemente divididas em níveis hierárquicos menores, a saber: classes, subclasses, grupos e subgrupos, conforme exemplificado na tabela 2 (EPO, 2018).

**Tabela 2** - Exemplo de classificação internacional de patentes por nível hierárquico. Fonte: adaptado de EPO, 2018

<b>Nível Hierárquico</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
Seção	A	Necessidades humanas
Classe	A21	Cozedura ao forno; equipamento para preparo ou processamento de massas; massas para cozedura ao forno

Sub-classe	A21C	Máquinas ou equipamento para fazer ou beneficiar massas; manipulação de artigos cozidos feitos de massa
Grupo	A21C1	Máquinas para misturar ou sovar na preparação das massas
Sub-grupo	A21C1/06	Com instrumentos para misturar ou sovar, montados horizontalmente; Misturadores de rosca sem-fim

Essa classificação pode ser particularmente útil quando se busca por conceitos que só poderiam ser descritos por uma combinação de numerosas palavras e sinônimos, simplificando assim a busca de documentos (VIJVERS e colab., 1990).

Nesse sentido, os IPC's se tornam uma ferramenta complementar às palavras-chave, sendo útil tanto para restrição de assunto na etapa da elaboração da estratégia de busca, quanto para análises *a posteriori* em relação ao conteúdo técnico dos documentos patentários encontrados.

Cabe notar que um mesmo documento pode ser classificado em mais de uma categoria, sendo relativamente comum que apresentem mais de um IPC associado. Assim, para simplificação da análise por IPC, o presente trabalho fez uso do recurso de IPC Principal (“*Main IPC*”) disponível na plataforma *PatSnap*. Nesse recurso, os documentos são enquadrados em uma única classificação, que seria aquela mais relevante e correlacionada com o assunto técnico abordado no documento.

## 2.7 ESTRATÉGIAS DE BUSCA E ANÁLISE DE DADOS

As buscas foram realizadas em junho de 2018 na base de dados *PatSnap* por meio de palavras-chaves associadas ao campo técnico sob análise e de operadores booleanos, sendo algumas das expressões levantadas na etapa de estudo inicial. Foi utilizado um período de busca de 15 anos (2002 a 2016),

excluindo-se os anos de 2017 e 2018 de forma a evitar resultados não fidedignos associados à não publicação de pedidos recentemente depositados.

A estratégia empregada consistiu de uma busca inicial abrangente de forma a evitar a perda de informações e documentos relevantes. Os resultados foram agrupados por famílias estendidas do *PatSnap* e automaticamente organizados por ordem decrescente de relevância, que é calculada por um algoritmo interno da base de dados.

Subsequentemente, os últimos resultados e, portanto, menos relevantes, tiveram seus conteúdos técnicos analisados por meio da leitura de seus títulos e resumos. Dessa forma, foi possível levantar os motivos pelos quais documentos não relacionados com o assunto estudado estariam aparecendo nas buscas, seja pelo uso indevido de palavras-chave ou por ausência de palavras-chave relevantes ao estudo.

Após esta análise, a estratégia de busca foi revista visando à redução de resultados não relevantes e o processo foi repetido até que os resultados de menor relevância tivessem relação com o campo técnico sob estudo.

A partir da obtenção do conjunto de famílias de patente relevante, foi possível, então, utilizar as ferramentas estatísticas disponíveis no *Patsnap* e a funcionalidade de exportação de dados em forma de planilhas Excel para tratamento de dados. Para a elaboração do estudo prospectivo, as seguintes etapas foram propostas:

- a) Análise de depósito dos documentos patentários ao longo do tempo (2002-2016);
- b) Elaboração de curva em S de desenvolvimento da tecnologia por meio de ajuste logístico dos depósitos acumulados *versus* tempo, desde o início da tecnologia até o ano de 2016;
- c) Determinação dos países de origem da tecnologia e dos principais mercados potencialmente protegidos para documentos de patente;

- d) Reconhecimento dos principais aspectos específicos que têm sido temas dos documentos patentários por meio de análise das Classificações Internacionais de Patente (IPC's);
- e) Classificação dos documentos encontrados dentro dos principais temas reconhecidos na etapa e);
- f) Avaliação da evolução temporal dos depósitos de pedidos de patente em cada uma das classificações encontradas.
- g) Mapeamento das principais empresas e instituições detentoras dos documentos patentários encontrados e avaliação de quais temas são foco de estudo das empresas analisadas.
- h) Análise do panorama patentário do ano de 2016 e elaboração de prospecções futuras.

A sessão de resultados e discussão irá fornecer maiores detalhes do desenvolvimento da estratégia de busca e palavras-chave utilizadas, além das análises propostas nos itens a) a h) listados acima.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS TECNOLOGIAS EM QUESTÃO

#### 3.1 USO DE BIOMASSA COMO FONTE ENERGÉTICA

Em vista das diversas motivações existentes para a busca de fontes mais limpas e renováveis, o uso de biomassa para tal propósito tem sido objeto de variados esforços em pesquisa e desenvolvimento devido a sua grande disponibilidade e potencial para substituição dos recursos fósseis (MCKENDRY, 2002). Além disso, analisando as tecnologias das fontes energéticas alternativas renováveis já suficientemente maduras para serem empregadas comercialmente, a biomassa, utilizada em processos modernos com elevada eficiência tecnológica, é uma opção atrativa por possuir flexibilidade de suprir tanto a produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transportes (CORTEZ e colab., 2008).

##### 3.1.1 QUÍMICA DA BIOMASSA

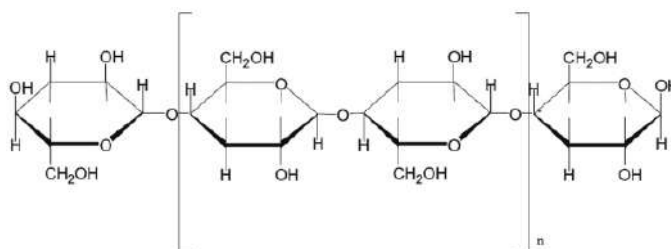
A biomassa pode ser genericamente definida como qualquer material hidrocarboneto consistindo principalmente de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, podendo enxofre estar presente em menores quantidades. Recursos de biomassa incluem diversos materiais naturais e seus derivados, como espécies lenhosas e herbáceas, resíduos dos mesmos, bagaço, resíduos agrícolas e industriais, resíduos animais, resíduos de processamento alimentício, além de plantas aquáticas e algas (YAMAN, 2004).

A nível estrutural, os principais componentes orgânicos que constituem a biomassa terrestre podem ser classificados como celulose, hemicelulose, lignina e proteínas. Como regra geral, os compostos orgânicos majoritários em biomassa lenhosa seca e isenta de cinzas são 50% em peso de celulósicos, 25% em peso de hemiceluloses e 25% em peso de ligninas. Dita tendência, entretanto, não é observada em biomassas marinhas, conforme pode ser visto nas composições de variados tipos de biomassa listados na tabela 3.

**Tabela 3.** Composição de diferentes tipos de biomassa. Fonte: adaptado de L. Klass, 1998b

Tipo de Biomassa	Aquática	Herbácea	Lenhosa	Lenhosa	Lenhosa
Nome	Aguapé	Grama-bermudas	Álamo	Sicômoro	Pinheiro
Componente (% peso seco)					
<b>Celulose</b>	16,2	31,7	41,3	44,7	40,4
<b>Hemicelulose</b>	55,5	40,2	32,9	29,4	24,9
<b>Ligninas</b>	6,1	4,1	25,6	25,5	34,5
<b>Proteínas</b>	12,3	12,3	2,1	1,7	0,7
<b>Cinzas</b>	22,4	5,0	1,0	0,8	0,5

A alfa-celulose ou celulose é o elemento estrutural de maior relevância de muitas espécies de biomassa. Consiste de um polissacarídeo de fórmula genérica  $(C_6H_{10}O_5)_n$  com um peso molecular na faixa de 300.000 a 500.000. É insolúvel em água e forma o esqueleto de maior parte da biomassa terrestre, além de constituir aproximadamente 50% da parede celular. A hidrólise completa da celulose mostra que a mesma é composta por unidades de d-glicose, conforme ilustrado na figura 3. No caso específico dos materiais lenhosos, a celulose está sempre em associação com hemiceluloses e ligninas (L. KLASS, 1998b).

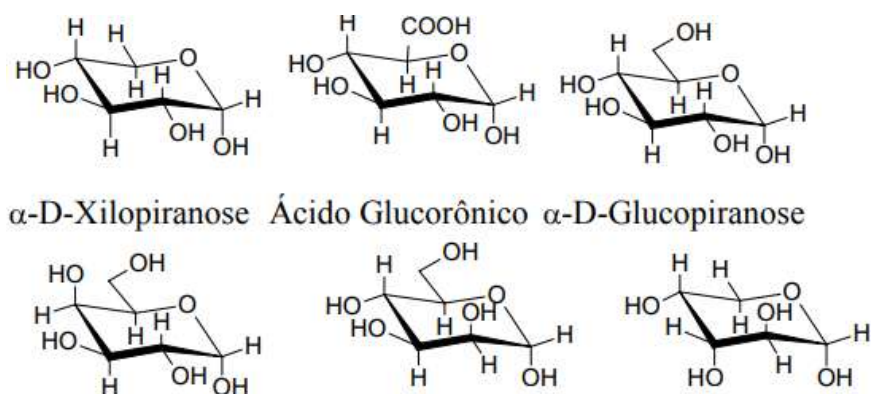


**Figura 3.** Estrutura química da celulose. Fonte: ALMEIDA, 2008

Já as hemiceluloses são polissacarídeos complexos que ocorrem em associação com a celulose nas paredes celulares. São polímeros amorfos de estrutura ramificada que, apesar de variarem significativamente entre as diversas espécies de biomassas existentes, muitas acabam por apresentar fórmula genérica  $(C_5H_8O_4)_n$ . A hidrólise desse polissacarídeo resulta majoritariamente



em pentoses em vez de hexoses, sendo a principal delas o xilano, o qual consiste de unidades de d-xilose ligadas nas posições 1 e 4, além de arabinoses. Algumas hemiceluloses também possuem hexoses como glucomananas, que consistem de unidades de d-glicose e d-manose na cadeia polimérica, e galactoglicomananas, que consistem de d-galactose, d-glicose e d-manose, sendo alguns monômeros apresentados na figura 4. A Hemicelulose possui menor peso molecular e grau de polimerização que a celulose (L. KLASS, 1998b; MOHAN e colab., 2006).



**Figura 4.** Exemplos não exaustivos de monômeros constituintes da hemicelulose.  
Fonte: ALMEIDA, 2008

As ligninas são polímeros altamente ramificados, substituídos e aromáticos. Estão muitas vezes ligadas a fibras celulósicas adjacentes, formando o chamado complexo lignocelulósico. Tanto dito complexo quanto a lignina por si só são resistentes à conversão por sistemas microbianos e por muitos agentes químicos (L. KLASS, 1998b). As estruturas primárias específicas que constituem este polímero ainda não foram completamente definidas devido a sua natureza diversa e complexidade associada. Entretanto, sabe-se que a lignina consiste de um polifenol fenilpropanóide aleatório tridimensional, majoritariamente ligado por ligações de arilglicerol éter entre unidades de monômero de álcoois p-cumárico, coniferílico e sinapílico, conforme mostrado na figura 5 (SETTE e colab., 2011).



mesmos uma promissora fonte de obtenção de energia a nível nacional (CORTEZ e colab., 2008).

**Tabela 4** Potencial de Produção de Resíduo Agrícola Mundial e Brasileiro. Fonte: adaptado de Cortez et al., 2008

<b>Matéria Prima</b>	<b>Produção Mundial (Tons)</b>	<b>Produção Brasileira (Tons)</b>	<b>Produção Brasileira (%)</b>	<b>Resíduo Mundial Estimado (Tons)</b>	<b>Resíduo Brasileiro Estimado (Seco – Tons)</b>
<b>Cana (bagaço)</b>	11.318.178.070	39.6012.158	3,50%	395.453.421	59.401.824
<b>Arroz (casca)</b>	608.496.284	10.334.603	1,70%	172.934.673	2.937.094
<b>Mandioca (rama)</b>	195.574.112	21.961.082	11,23%	58.261.527	6.542.206
<b>Milho (palha e sabugo)</b>	705.293.226	48.327.323	6,85%	934.442.995	64.028.870
<b>Soja (restos de cultura)</b>	206.409.525	51.919.440	25,15%	320.966.811	80.746.839
<b>Algodão</b>	67.375.042	2.199.268	3,26%	16.843.760	-

Um estudo realizado por PORTUGAL-PEREIRA e colab., 2015 mostra a capacidade nacional de geração de energia a partir da biomassa originária de resíduos resultantes da atividade agrícola e agroindustrial brasileira.

Nesse estudo, estima-se que os resíduos vegetais gerados pelas principais atividades agrícolas e agroindustriais do país como cana-de-açúcar, arroz, soja, algodão e café seriam capazes de gerar uma quantidade anual de energia elétrica próxima de 141TWh/ano, caso todo o resíduo estimado fosse direcionado à combustão para geração de energia elétrica. A mitigação na emissão de gases estufa associada a essa geração de energia poderia chegar a 64 milhões de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

### 3.2 PROCESSOS DE CONVERSÃO TERMOQUÍMICOS

A conversão de energia a partir de biomassa engloba uma vasta faixa de diferentes tipos de biomassa, havendo também diversos tipos de processos a serem aplicados. Os principais fatores que norteiam a escolha do processo utilizado são: a) o tipo e a quantidade de biomassa disponível; b) a forma desejada da fonte energética final; c) padrões e normas ambientais associadas;

d) condições econômicas; e) fatores específicos do projeto a ser implementado (MCKENDRY, 2002). A conversão de biomassa para energia é realizada por meio de três principais tecnologias de processo: bioquímica, físico-química e termoquímica.

O primeiro grupo de processos de conversão refere-se àqueles que fazem uso de microrganismos ou enzimas na quebra da estrutura polimérica da biomassa. As chamadas conversões bioquímicas são representadas principalmente pelos processos fermentativos e de digestão anaeróbica. A digestão anaeróbica utiliza bactérias para transformação de matéria orgânica diretamente para biogás – uma mistura de metano e dióxido de carbono com pequenas quantidades de outros gases como sulfeto de hidrogênio (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008). Os processos fermentativos são também anaeróbicos com a conversão de açúcares simples de biomassa para álcool, sendo amplamente conhecido e utilizado em larga escala para produção de bioetanol (MCKENDRY, 2002).

A conversão físico-química é um processo de conversão mecânico usado para produzir óleos a partir de sementes de diversos cultivos de biomassa. Ditos óleos naturais podem ser então esterificados, sendo transformados em ésteres metílicos de ácido graxo, também conhecidos como biodiesel (ADAMS e colab., 2018).

O último grupo de processos de conversão engloba aqueles que se utilizam de energia térmica para a quebra da estrutura polimérica biomassa e são denominados de conversões termoquímicas. Dentre os principais processos de conversão termoquímica estão a combustão, a gaseificação, a pirólise e a liquefação (PATEL e colab., 2016).

De forma geral, processos termoquímicos possuem maior eficiência que processos bioquímicos, além de menores tempos de reação e maior capacidade de destruir a maior parte dos compostos orgânicos complexos da biomassa. A título de exemplo, materiais de lignina são tipicamente considerados não-fermentáveis e, conseqüentemente, não podem ser completamente

decompostos por vias biológicas, enquanto que os tratamentos termoquímicos são capazes de degradá-los (B. WILLIAMS e colab., 2003).

### 3.2.1 GASEIFICAÇÃO

O processo de gaseificação converte biomassa carbonácea em gases combustíveis, como hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono e metano, sendo o gás de síntese (hidrogênio e monóxido de carbono) majoritariamente formado em temperaturas de gaseificação mais elevadas. O processo ocorre em altas temperaturas, em torno de 800 °C, com uma quantidade controlada de oxigênio, tipicamente em torno de 35% da demanda para combustão completa. (ZHANG e colab., 2010). Em temperaturas mais baixas, metano e dióxido de carbono são formados, podendo ainda haver produção de carvão e alcatrão, que reduzem a eficiência da gaseificação e afetam o uso final do gás combustível à jusante (ADAMS e colab., 2018).

### 3.2.2 COMBUSTÃO

A combustão da biomassa é um processo conhecido desde a época pré-histórica, sendo a fonte de energia renovável mais utilizada no planeta, contribuindo para cerca de 97% da produção da bioenergia mundial. O processo consiste da simples conversão termoquímica de biomassa em energia térmica, que ocorre na presença de oxigênio, resultando, em condições ideais, em dióxido de carbono, água e demais produtos de combustão completa como dióxidos de enxofre e nitrogênio, além de particulados (ZHANG e colab., 2010)

Apesar de apresentar baixo custo, ser uma tecnologia confiável, disponível comercialmente e de grande conhecimento da humanidade, a combustão de biomassa apresenta desafios associados ao seu impacto ambiental devido às emissões de óxidos de nitrogênio e enxofre, monóxido de carbono, matéria particulada e formação de cinzas (ADAMS e colab., 2018; KAR e KELES, 2016).

Ambos os processos de combustão e gaseificação, a princípio, tratam-se de processos muito semelhantes por tratarem biomassa a altas temperaturas na presença de oxigênio, resultando na formação majoritária de

gases. Entretanto, é importante enfatizar que os processos possuem usos finais distintos dos gases produzidos, além de serem conduzidos sob condições diversas. As diferenças entre ditas conversões termoquímicas são apresentadas na tabela 5 abaixo (REZAIYAN e P. CHEREMISINOFF, 2005).

**Tabela 5.** Comparação entre os processos de gaseificação e combustão. Fonte: adaptado de REZAIYAN & P. CHEREMISINOFF, 2005

<b>Característica</b>	<b>Gaseificação</b>	<b>Combustão</b>
<b>Proposta</b>	Formação de produtos de valor agregado e ambientalmente amigáveis a partir de resíduos ou materiais de baixo valor agregado	Geração de calor ou destruição de resíduos
<b>Tipo de processo</b>	Conversão térmica e química usando oxigênio limitado ou ausência de oxigênio	Combustão completa com o uso de oxigênio em excesso (ar)
<b>Composição do gás bruto produzido (composição antes do tratamento).</b>	H <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> e particulados	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e particulados
<b>Tratamento do gás bruto</b>	Tratamento de gás de síntese em pressões atmosféricas ou alta pressão; O gás de síntese tratado é usado para produção de químicos, combustíveis, ou geração de energia; Recupera espécies de enxofre no combustível como ácido sulfúrico e enxofre;	Tratamento de gás de combustão a pressão atmosférica
<b>Produtos/Coprodutos Sólidos</b>	Carvão ou escória	Cinzas
<b>Cinzas/alcatrão</b>	Processos a baixas temperaturas produzem carvão que pode ser vendido como combustível; Processos a alta temperatura produzem escória apropriada para uso em materiais de construção; Particulados finos são reciclados ao gaseificador ou processados para recuperação de metais.	Cinzas são coletadas, tratadas e descartadas como resíduo perigoso ou podem ser vendidas como material para produção de concreto
<b>Pressão</b>	Atmosférica a alta pressão	Atmosférica

### 3.2.3 LIQUEFAÇÃO

A liquefação é um processo termoquímico realizado a baixas temperaturas e elevadas pressões, durante o qual a biomassa é quebrada em

fragmentos de pequenas moléculas na presença de água ou outro solvente adequado. Ditos fragmentos são instáveis e reativos, podendo ser repolimerizados em compostos oleosos com várias faixas de pesos moleculares, resultando em produtos líquidos (DEMIRBAS, A, 2000). O processo deve ser realizado na presença de catalisadores específicos como ácidos sulfúrico e sulfônico, carbonato de potássio, além de álcalis e outros sais (LIANG e colab., 2006; MALDAS e SHIRAIISHI, 1997; MUN e MOHAMED HASSAN, 2004; ZHONG e WEI, 2004). Em comparação com a pirólise, processo a ser discutido a seguir, a tecnologia de liquefação é mais desafiadora uma vez que requer equipamentos mais complexos e mais caros (Demirbas, 2001)

### 3.2.4 PIRÓLISE

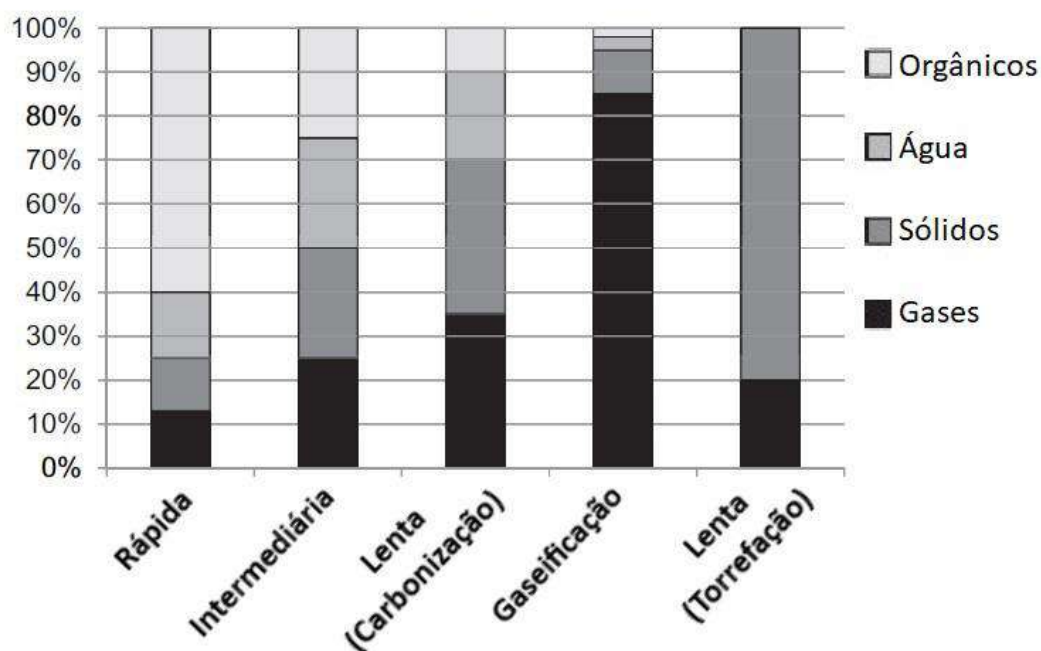
A pirólise, processo a ser estudado no presente trabalho, trata-se da conversão de biomassa para frações líquidas, sólidas e gasosas por meio de aquecimento na ausência de ar, resultando em uma decomposição térmica anaeróbia da biomassa. A pirólise se tornou um processo de interesse em pesquisa e desenvolvimento devido a sua flexibilidade de operação, versatilidade da tecnologia e adaptabilidade a uma grande variedade de matérias primas e produtos (ADAMS e colab., 2018).

Neste processo, as três frações – sólida, líquida e gasosa - são sempre produzidas e as proporções entre as mesmas variam a depender dos parâmetros de processo empregados. A tabela 6 e a figura 6 indicam as distribuições típicas obtidas a partir de diferentes modalidades de pirólise, o que mostra a versatilidade do processo a partir da mudança nas condições operacionais (CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004).

**Tabela 6.** Distribuições típicas dos produtos da pirólise em diferentes modalidades da mesma, com base em peso seco de biomassa. Fonte: adaptado de Czernik & Bridgewater, 2004

Modalidade	Condições	Líquido	Sólido	Gás
<b>Pirólise rápida</b>	~500°C, baixo tempo de residência de vapor quente (<2s)	75% (bio-óleo)	12% de carvão	13%

<b>Pirólise intermediária</b>	~500°C, tempo de residência de vapor quente moderado (5-30s)	50%, bifásico	25% de carvão	25%
<b>Pirólise lenta (carbonização)</b>	~400°C, longo tempo de residência de vapor quente (horas a dias)	30%, bifásico	35% de carvão	35%
<b>Gaseificação</b>	~750-900°C. moderado tempo de residência de vapor quente	3%	1% de carvão	96%
<b>Torrefação</b>	~280°C, tempo de residência de sólidos ~10 a 60 minutos	0%, caso não haja condensação de vapor, caso haja, até 15%	80% de sólidos	20%



**Figura 6.** Distribuição dos produtos de pirólise dividida por método de condução. Fonte: adaptado de ADAMS e colab., 2008

A fração gasosa é composta por monóxido e dióxido de carbono, além de hidrocarbonetos, conforme explicado nos processos de gaseificação e combustão. A fração sólida resultante é o carvão vegetal, amplamente conhecido, e a fração líquida trata-se de uma mistura de coloração escura denominada bio-óleo (ALMEIDA, 2008).



A partir da tabela 6, pode-se observar que menores temperaturas de processo e maiores tempos de residência de vapor favorecem a formação de carvão, sendo este o modo de operação da chamada pirólise lenta. Altas temperaturas e longos tempos de residência aumentam a conversão de biomassa a gás, como no caso da gaseificação. Temperaturas moderadas associadas a pequenos tempos de residência de vapor, aplicados na pirólise rápida, otimizam a produção de bio-óleo. (CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004)

### 3.2.5 PIRÓLISE RÁPIDA

Na pirólise rápida, a biomassa é decomposta muito rapidamente, gerando em sua maioria vapores e aerossol, além de carvão e gás. Após resfriamento e condensação dos vapores formados, um líquido homogêneo de coloração marrom, usualmente chamado de bio-óleo, é obtido. O rendimento da produção de líquido depende do tipo de biomassa a ser processada, temperatura operacional, tempo de residência de vapor, separação de sólidos e conteúdo de cinzas da biomassa. (ADAMS e colab., 2018)

O processo de pirólise rápida inclui a secagem da biomassa de alimentação um teor de água tipicamente menor que 10% em peso visando à minimização do teor desta substância no bio-óleo obtido, além da moagem da biomassa a um tamanho de partícula suficientemente pequeno para garantir a rápida reação das mesmas. Posteriormente, realiza-se a etapa de pirólise com eficiente e rápida remoção de sólidos e rápido resfriamento e coleta do bio-óleo obtido.

As etapas descritas acima possuem o propósito específico de aumento na produção de fração líquida em detrimento das demais. Nesse sentido, as principais características para a otimização de rendimento de bio-óleo em uma pirólise rápida são (CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004):

a) Taxas de aquecimento muito elevadas, chegando a 1000°C/min (PATWARDHAN, 2010; SCHENA, 2015), e altas taxas de transferência de calor na interface de reação da partícula de biomassa. Para que ditas características sejam obtidas, é usualmente necessário a biomassa a ser tratada seja triturada

em partículas finas (3mm), uma vez que este material geralmente possui baixa condutividade térmica;

b) Temperaturas controladas em torno de 500°C;

c) Baixo tempo de residência de vapor quente, tipicamente menos de 2 segundos, para que reações secundárias sejam minimizadas;

d) Rápida remoção dos sólidos produzidos para minimização craqueamento de vapor, o que pode reduzir a produção de líquido e favorecer a produção de gases;

e) Rápido resfriamento dos vapores de pirólise para produção do bio-óleo.

Cabe pontuar que em uma modalidade alternativa da pirólise rápida, denominada pirólise ablativa, a biomassa não é submetida a processo de trituração visto que, neste caso, a taxa de reação não é limitada pela taxa de transferência de calor pelas partículas de biomassa.

Neste método, calor é transferido da parede de um reator quente para que a biomassa se liquefaça e, quando a mesma é posta em movimento, a camada liquefeita se vaporiza nos produtos típicos da pirólise. Nesse caso, a taxa de reação será altamente afetada pela pressão da biomassa na parede do reator, pelo movimento da partícula dentro do reator e pela temperatura da parede (BRIDGWATER, 2018).

### 3.3 BIO-ÓLEO E SUAS CARACTERÍSTICAS

Especificamente no caso da pirólise rápida, o líquido resultante é de particular interesse uma vez que um líquido geralmente pode ser facilmente armazenado e transportado. Assim, o óleo de pirólise poderia ser usado para produção de energia, de produtos químicos, ou, ainda, usado como combustível (ADAMS e colab., 2018).

A fração líquida da pirólise, ou bio-óleo, possui coloração marrom escura e sua composição elementar é aproximadamente igual à da biomassa que o originou. Trata-se de uma mistura complexa de hidrocarbonetos oxigenados, com uma quantidade considerável de água, sendo esta originada tanto da umidade do material original quanto da reação de pirólise. Assim, o teor

de água do bio-óleo varia de 15 a 30% e, nestas concentrações, a água é usualmente miscível nos demais componentes da mistura, resultando em uma fase única. (CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004).

Tanto as substâncias quanto proporção das mesmas no óleo de pirólise variam de acordo com a matéria prima utilizada e com a temperatura empregada na pirólise (TOFT, 1996). Diversos estudos da literatura são direcionados à caracterização de bio-óleo resultante de pirólise rápida, sendo diversas matérias primas utilizadas, desde resíduos vegetais (BERTERO e colab., 2012; PISKORZ e colab., 1988; TOFT, 1996), a resíduos municipais sólidos (ISLAM e colab., 2005) e biomassa marinha (HU e colab., 2013).

A título exemplificativo, as composições de três bio-óleos oriundos de diferentes resíduos vegetais são listadas na tabela 7, demonstrando o alto teor de compostos orgânicos oxigenados.

**Tabela 7.** Composições de bio-óleos oriundos de três diferentes matérias primas. Fonte: adaptado de BERTERO ET AL., 2012

Compostos (% peso, base em peso seco)	Matéria prima		
	Serragem de pinheiro	Serragem de mesquite	Casca de trigo
Ácidos orgânicos	18,71	16,99	18,91
Ésteres	8,29	7,62	8,62
Aldeídos e cetonas lineares	17,52	9,12	7,34
Cetonas cíclicas	6,11	5,77	6,06
Furanos	5,95	6,25	3,44
Álcoois e Açúcares	9,81	8,06	6,04
Éteres	0,31	1,22	1,38
Fenóis	15,74	28,23	19,02
Éteres fenólicos	10,33	20,97	11,33
Oxigenados cíclicos	2,91	3,96	2,64
Hidrocarbonetos e derivados	0,8	2,15	3,81
Nitrogenados	1,53	1,18	1,48
Desconhecidos	11,96	11,32	21,75

Assim como as composições, as propriedades físicas de diferentes bio-óleos foram estudadas e descritas em diversos documentos do estado da técnica, sendo estas propriedades resultantes da composição química da mistura (ELLIOTT, D.C., 1986; PEACOCKE e colab., 1994; SIPILÄ e colab.,

1998). As principais delas são discutidas com maiores detalhes a seguir à luz da aplicação do bio-óleo como biocombustível sendo algumas delas sumarizadas na tabela 8.

### 3.3.1 TEOR DE OXIGÊNIO E TEOR DE ÁGUA

Conforme discutido anteriormente, o óleo de pirólise é rico em hidrocarbonetos oxigenados e água, fazendo com que o mesmo tenha um alto teor de oxigênio - usualmente na faixa de 35 a 40% em peso. A presença deste elemento em muitos dos componentes do bio-óleo é a principal razão para que o comportamento deste se distancie daquele apresentado por combustíveis baseados em hidrocarbonetos (OASMAA e CZERNIK, 1999).

Um alto teor de oxigênio resulta em imiscibilidade com combustíveis hidrocarbonetos e em baixa densidade energética, que usualmente é menor que 50% da densidade energética de óleos combustíveis fósseis. Enquanto combustíveis derivados de petróleo possuem um poder calorífico inferior (P.C.I) na faixa de 41-43MJ/Kg - aproximadamente 36MJ/l) - o óleo de pirólise possui um valor de P.C.I. em torno de 16-19MJ/Kg – aproximadamente 20MJ/l (R. SHADDIX e R. HARDESTY, 1999). Além disso, o oxigênio orgânico é causador de uma das maiores desvantagens do óleo de pirólise, que é a sua instabilidade química (CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004).

Por outro lado, a quantidade de água – já discutida anteriormente – possui tanto efeitos positivos quanto negativos nas propriedades físicas da mistura: ao mesmo tempo em que aumenta a fluidez pela redução da viscosidade e garante um perfil de temperatura mais uniforme, reduz a qualidade calorífica e comburentes quando o óleo é utilizado como combustível (ELLIOTT, Douglas C., 1994).

### 3.3.2 INSTABILIDADE E ENVELHECIMENTO

Óleos de biomassa contêm compostos que, durante armazenamento e manuseamento, podem reagir entre si para formar moléculas maiores. As principais reações químicas observadas são de polimerização de compostos de ligação duplas, além de eterificação e esterificação entre grupos hidroxila,

carbonila e carboxila, em que água é formada como subproduto (CZERNIK, STEFAN e colab., 1994).

Ditas reações ocorrem lentamente com o passar do tempo e resultam em mudanças indesejadas nas características físicas do óleo como aumento da viscosidade e do teor de água, com correspondente diminuição da volatilidade (OASMAA e CZERNIK, 1999). Conforme será visto a seguir, baixa volatilidade é uma característica não desejada quando o bio-óleo é destinado a aplicações combustíveis.

### 3.3.3 DISTRIBUIÇÃO DE VOLATILIDADE

Diferentemente dos óleos combustíveis convencionais, o óleo de pirólise contém uma larga faixa de pontos de ebulição, o que possui diversas repercussões no seu uso e armazenamento. Enquanto que as substâncias mais voláteis podem ocasionar a evaporação parcial do bio-óleo em condições de armazenamento, a baixa volatilidade de outros compostos pode causar o entupimento em sistemas de combustão devido à formação de coque durante o aquecimento (R. SHADDIX e R. HARDESTY, 1999).

Durante a destilação do óleo de pirólise, o mesmo entra em ebulição em temperaturas abaixo de 100°C, e o processo se encerra entre 250-280°C, restando de 35 a 50% do material de partida como resíduo de destilação. Sendo assim, o bio-óleo não pode ser utilizado em aplicações que necessitam a completa evaporação antes da combustão. (CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004).

### 3.3.4 CORROSIVIDADE

Considerando a composição química do óleo de pirólise, um alto teor de ácidos orgânicos faz com que a acidez do mesmo seja elevada, apresentando pH tipicamente na faixa de 2 a 3. Conseqüentemente, o óleo tem poder corrosivo sobre materiais de construção comuns como aço-carbono e alumínio. Entretanto, materiais plásticos como polipropileno, polietileno de alta densidade e politetrafluoretileno mostraram-se muito resistentes, sendo materiais promissores para armazenamento e transporte de bio-óleo (OASMAA e colab.,

1997). O poder corrosivo torna-se ainda mais agravante em temperaturas e teores de água mais elevados.

**Tabela 8** – Propriedades do óleo de pirólise. Fonte: Adaptado de (MOHAN e colab., 2006)

<b>Propriedade Física</b>	<b>Bio-óleo</b>	<b>Óleo combustível pesado</b>
<b>Teor de hidratação (% em peso)</b>	15-30	0,1
<b>pH</b>	2,5	-
<b>Gravidade específica</b>	1,2	0,94
<b>Análise elementar (% em peso)</b>		
C	54-58	85
H	5,5-7,0	11
O	35-40	1,0
N	0-0,2	0,3
<b>Cinzas</b>	0-0,2	0,1
<b>P.C.I. (MJ/Kg)</b>	16-19	~40
<b>Viscosidade (500°C, cP)</b>	40-100	180
<b>Sólidos (% em peso)</b>	0,2-1	1
<b>Resíduo de destilação (% em peso)</b>	Até 50%	1

### 3.4 PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO DO BIO-ÓLEO

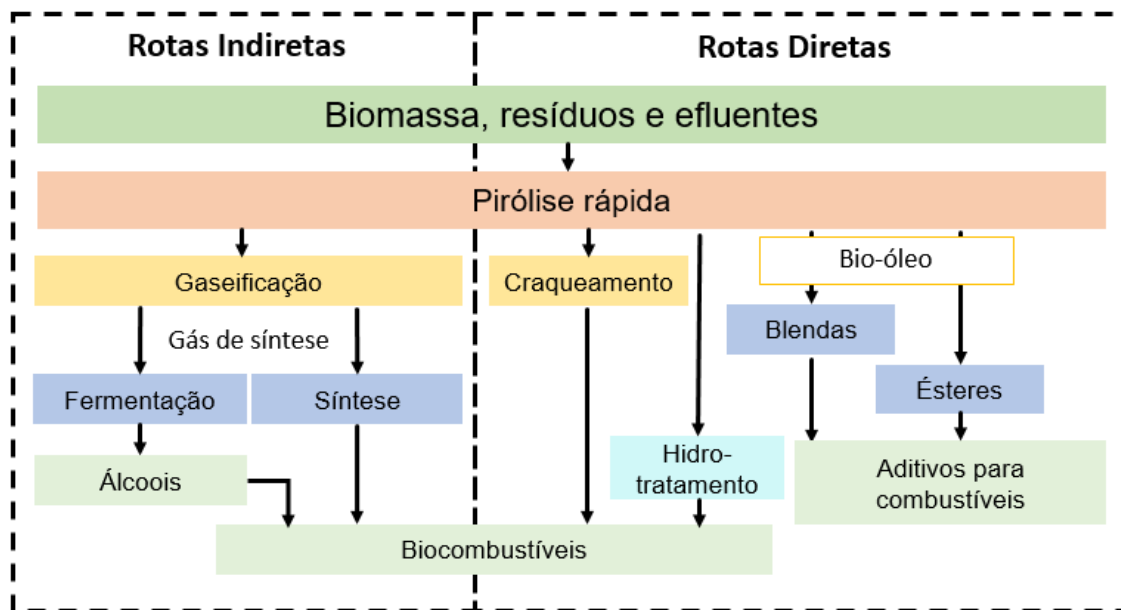
Devido às diversas propriedades oriundas de sua composição e as consequentes desvantagens associadas, o bio-óleo não pode ser utilizado diretamente como combustível de transporte. Entretanto, experimentos mostraram que o bio-óleo pode diretamente substituir combustíveis fósseis em máquinas a diesel, turbinas a gás, caldeiras e fornos para aquecimento e produção de energia (LI e colab., 2015; ZHENG, Ji L. e KONG, 2010)

Nesse sentido, para que a substituição de combustíveis como gás natural, diesel, ou gasolina seja realizada com sucesso, inúmeros processos de beneficiamento foram pesquisados e desenvolvidos para melhorar a qualidade do bio-óleo e, assim, contornar as características ou propriedades indesejadas como alta viscosidade, instabilidade e baixa volatilidade (ZHENG, Ji-Lu e colab., 2016).

Evidentemente, o conceito de qualidade irá depender da aplicação final pretendida. Para uso de bio-óleo como combustível, por exemplo, as propriedades que mais prejudicam a qualidade do produto são o alto teor de

oxigênio, alto teor de sólidos, alta viscosidade e instabilidade química (BRIDGWATER, Anthony V, 2011). Os processos aqui abordados são voltados principalmente para desenvolvimento de combustíveis e produtos químicos em geral.

O bio-óleo pode ser tratado de forma física e química, sendo a segunda feita de forma catalítica ou não. Um resumo dos métodos de beneficiamento é mostrado na figura 7 (ADAMS e colab., 2018).



**Figura 7.** Resumo dos métodos de beneficiamento. Fonte: adaptado de ADAMS e colab. (2018)

As rotas diretas que têm como destino final a produção de combustíveis envolvem os processos de craqueamento catalítico e hidrotratamento, que são normalmente empregados em refino de petróleo. Nesse sentido, a integração de refinarias com o beneficiamento de óleo de pirólise torna-se uma abordagem promissora uma vez que as vantagens de economia de escala e do know-how já disponível em refinarias convencionais podem ser aproveitadas (BRIDGWATER, Anthony V, 2011).

A abordagem mencionada acima, denominada co-processamento, consiste na utilização de refinarias de petróleo já existentes para a realização de todos ou parte dos processos para produção de biocombustíveis, visto que muitas das operações necessárias ao beneficiamento do bio-óleo possuem pontos em comum com aquelas realizadas em refinarias. Assim, o bio-óleo

poderia ser potencialmente alimentado a unidades específicas na refinaria juntamente com correntes fósseis tradicionais, sem a necessidade ou com modificações mínimas aos processos (CASTELLO e ROSENDAHL, 2018).

As demais rotas diretas representadas na figura 7 são direcionadas à síntese de produtos químicos e serão abordadas adiante.

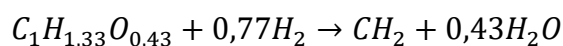
#### 3.4.1 HIDROTRATAMENTO

Hidrotratamento, ou hidrodessoxigenação é um processo capaz de remover oxigênio na forma de água por meio de reação catalítica – normalmente catalisadores de cobalto e molibdênio ou níquel e molibdênio - com hidrogênio. O processo é realizado tipicamente em altas pressões, até 200 bar, e temperaturas moderadas de até 400°C, requerendo uma fonte de suprimento de hidrogênio para tal (HUBER e CORMA, 2007).

O processo pode ser utilizado para converter óleo de pirólise em combustíveis de maior estabilidade e com maior densidade energética passíveis de serem misturados com matérias primas derivadas do petróleo (ADAMS e colab., 2018).

Este processo foi também recentemente aplicado para produção de alquilfenólicos e aromáticos intermediários de refinaria, podendo se enquadrar como também como um processo de beneficiamento para a produção de produtos químicos a partir de óleo de pirólise (FRENCH e colab., 2015; KLOEKHORST e colab., 2014). Demais processos direcionados a este propósito serão abordados em seção específica deste trabalho.

A reação conceitual do processo de hidrodessoxigenação ou hidrotratamento do bio-óleo pode ser definida da seguinte maneira (HUBER e CORMA, 2007):

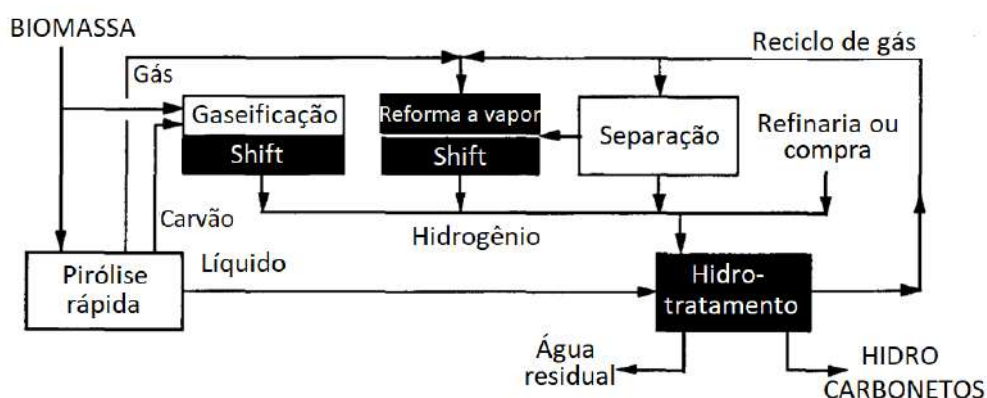


Sendo o CH<sub>2</sub> referente a hidrocarbonetos equivalentes ao nafta, cujo rendimento típico está na faixa de 25% em peso de bio-óleo (BRIDGWATER, A V, 1994).



A maior desvantagem associada ao hidrotreatamento é a quantidade significativa de hidrogênio requerida pelo processo, em torno de 700L/kg de bio-óleo. Nesse sentido, uma vez que há alta demanda de hidrogênio, o mesmo deve ser oriundo de fontes renováveis e sustentáveis, até mesmo por que suprimento de fontes externas deste gás são economicamente inviáveis devido ao alto custo de transporte e armazenamento (ADAMS e colab., 2018).

Algumas das possibilidades para fornecimento de hidrogênio são o aproveitamento do próprio gás gerado na pirólise ou, ainda, a produção por meio de gaseificação da biomassa, conforme ilustrado no diagrama da figura 8 (BRIDGWATER, A V, 1994).



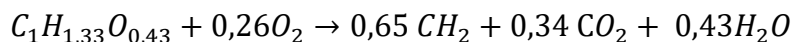
**Figura 8** - Produção de hidrogênio a partir de biomassa e hidrotreatamento de bio-óleo. Fonte: adaptado de BRIDGWATER, 1994

Apesar de inúmeras formas de se realizar o hidrotreatamento e dos inúmeros catalisadores testados no estado da técnica, conforme mostrado em BRIDGWATER, 2011 e HUBER e CORMA, 2007, o processo ainda conta com as desvantagens de requerer altas cargas de hidrogênio e de rápida desativação do catalisador, não sendo possível tempos de campanha extensos.

#### 3.4.2 CRAQUEAMENTO FLUIDO CATALÍTICO (FCC)

Os óleos derivados de biomassa podem também ser beneficiados pelo uso de craqueamento catalítico visando à redução do teor de oxigênio e à estabilização térmica dos mesmos. O craqueamento ocorre com ação catalítica de zeólitas, podendo o processo também ser chamado de craqueamento zeolítico. O craqueamento catalítico é utilizado para o tratamento de alimentações pesadas e complexas, sendo uma alternativa promissora para o

beneficiamento de bio-óleo. No processo, o oxigênio é consumido e liberado na forma de gás carbônico, sendo a reação conceitual do processo definida da seguinte maneira (ADAMS e colab., 2018):



As vantagens associadas a este processo são a não necessidade do uso de hidrogênio, processamento a pressões atmosféricas – o que reduz custos operacionais – e temperaturas de operações próximas àsquelas usadas na produção do bio-óleo, sendo portanto vantajoso em relação ao hidrotratamento por diversos motivos (BRIDGWATER, A V, 1994). Além disso, o craqueamento catalítico é particularmente viável em termos de versatilidade, possibilidade de escalonamento e de valor dos produtos finais obtidos (IBARRA e colab., 2015).

Trabalhos na literatura mostram não só altas conversões de bio-óleo puro ou misturado com frações fósseis em unidades FCC, como também um forte sinergismo entre o craqueamento de hidrocarbonetos e oxigenados, gerando uma gama de frações com altos rendimentos como GLP, gasolina, óleo de ciclo leve (LCO) e óleo de ciclo pesado (HCO), com grande formação de aromáticos. (IBARRA e colab., 2015).

Entretanto, baixos rendimentos de hidrocarbonetos e altos rendimentos de coque podem ocorrer ao realizar craqueamento catalítico com matérias primas derivadas de biomassa, devido à presença de substâncias como aldeídos, fenóis oxigenados e furfurais (HUBER e CORMA, 2007). A formação de coque é particularmente prejudicial devido à desativação do catalisador, reduzindo os tempos de campanha da unidade para que haja reativação catalítica.

### 3.4.3 GASEIFICAÇÃO PARA COMBUSTÍVEIS A PARTIR DE GÁS DE SÍNTESE

As rotas indiretas envolvem um conceito recente de produção descentralizada de bio-óleo e transporte do mesmo a uma instalação central de processamento. Dita central procede com a gaseificação do óleo de pirólise e síntese combustíveis hidrocarbonetos a partir do gás de síntese por meio de, por

exemplo, processo Fischer-Tropsch, ou produção de álcool por meio da fermentação do gás de síntese (ADAMS e colab., 2018).

Estudos realizados por BRIDGWATER, A.V., 2009, mostram que tal alternativa é economicamente viável em uma grande economia de escala, o que é facilmente alcançável tendo em vista a demanda por combustível do setor de transportes.

Adicionalmente, tentativas recentes de gaseificação de bio-óleo oriundo da pirólise rápida de biomassa demonstram que o teor de monóxido de carbono e hidrogênio do gás de síntese resultante são superiores àqueles obtidos a partir da gaseificação da biomassa sólida, além de resultar em menores teores de sólidos.

#### 3.4.4 PIRÓLISE CATALÍTICA

Quando a pirólise rápida da biomassa é realizada na presença de um catalisador heterogêneo adequado, a qualidade da composição química do bio-óleo pode ser melhorada para uma maior compatibilidade com matérias-primas de refinaria e, assim, processos adicionais de beneficiamento podem ser evitados ou minimizados. Nesse sentido, a aplicação do catalisador terá o objetivo chave de aumentar a seletividade para produtos de pirólise específicos, permitindo a obtenção de óleos mais estáveis, com menor teor de oxigênio e menor formação de coque.

A catálise pode ser empregada em diferentes partes de um processo de pirólise podendo ser do tipo *in situ* ou do tipo *ex situ*. Nas modalidades *in situ*, o catalisador pode ser impregnado na biomassa a ser alimentada no reator ou, ainda, ser misturado com a biomassa já dentro do reator. Nas operações *ex situ*, os catalisadores são instalados após o processo de pirólise, que assim realizarão reforma catalítica dos vapores resultantes, que são posteriormente condensados para dar origem ao bio-óleo (YILDIZ e colab., 2016).

### 3.5 BIO-ÓLEO COMO MATÉRIA PRIMA PARA PRODUTOS QUÍMICOS

Além das aplicações referentes a combustíveis, o bio-óleo pode ser também beneficiado para que sejam extraídos compostos de interesse nele presentes uma vez que o mesmo é composto por uma extensa gama de componentes, conforme listado na tabela 7. As classes de compostos totalizam, na realidade, mais de 300 compostos identificados como fragmentos dos componentes básicos da biomassa – composta por celulose, hemicelulose e lignina (BERTERO e colab., 2012).

Uma grande fração do óleo de pirólise consiste de frações fenólicas e formaldeído, que possuem aplicações como resinas adesivas ou extensores de adesivos aplicados à madeira (CHUM e colab., 1989). Nesse âmbito, é possível o uso direto do óleo sem beneficiamento como substituinte parcial destas substâncias, chegando a substituições de 30 a 40% (MEIER, 2017). Demais aplicações do óleo de pirólise em sua forma natural são também descritos em CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004.

Estudos também descrevem a produção de hidrocarbonetos aromáticos como benzeno, tolueno e xileno (BTX) por meio de pirólise catalítica aplicando ambas as estratégias *in situ* e *ex situ* (HEERES e colab., 2018).

Métodos de fracionamento podem também ser utilizados, como condensação parcial, para enriquecimento de frações específicas durante o processo de pirólise. Este processo é realizado pela condensação dos vapores quentes em diferentes temperaturas com o uso de condensadores e precipitadores eletrostáticos em série, sendo possível a obtenção de ácidos orgânicos, fenóis e açúcares de forma mais concentradas a depender da temperatura utilizada (CHANG e colab., 2012; TUMBALAM GOOTY e colab., 2014; WESTERHOF e colab., 2011).

Além disso, os compostos fenólicos usados para a produção de resinas anteriormente citados podem ser fracionados dos demais compostos neutros a partir da alteração do pH do óleo de pirólise, conforme descrito nos estudos de CHAN e colab., 2002 e SUKHBAATAR e colab., 2009.

A adição de água é um outro método utilizado para separação do óleo de pirólise em suas frações aquosas e oleosas. A fração solúvel em água é usada na indústria alimentícia para a produção de aroma de fumaça na forma líquida. Este aroma líquido é capaz de substituir processos tradicionais e ineficientes de defumação para a preservação, flavorização e coloração no tratamento de carnes, salsichas e queijos (MEIER, 2017).

Demais opções com adição de água envolvem o isolamento do levoglucosan, um dos principais produtos da pirólise da celulose e altamente presente na fração aquosa do bio-óleo (BENNETT e colab., 2009). Tal composto consiste de açúcar anidro e pode servir como sintonizador quiral para controlar as reações estéreo-seletivas, podendo também ser usado como extrato para a síntese de surfactantes, polímeros biodegradáveis e resinas (LONGLY e FUNG, 1993; SKOGBERG, 1996).

Processos extrativos para a separação de grupos químicos específicos foram também estudados no estado da técnica. Extrações líquido-líquido com solventes orgânicos como hexano e clorofórmio resultaram em frações ricas em açúcares e compostos fenólicos (WEI e colab., 2014). A separação de ácido acético e glicolaldeído com uso de álcool é descrita em VITASARI e colab., 2012. Extrações avançadas com dióxido de carbono supercrítico resultaram no enriquecimento de compostos furanóides, piranóides, benzenóides, ácidos, aldeídos, cetonas, furanos e aromáticos (FENG e MEIER, 2015; NAIK e colab., 2010; ROUT e colab., 2009).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA

Em um primeiro momento, foi realizado um levantamento dos documentos patentários relacionados ao bio-óleo de forma mais abrangente. Dessa forma, foi possível, a partir da quantidade dos resultados obtidos e do conteúdo técnico dos documentos, definir se maiores restrições deveriam ser feitas e qual a melhor estratégia para realiza-las.

Na primeira estratégia de busca utilizada, foram usadas como palavras-chave a expressão “*bio-oil*”, além de equivalentes e sinônimos mais utilizados no estado da técnica. As expressões foram buscadas no título e no resumo dos documentos. Foram recuperados um total de 3637 famílias estendidas de patente, sendo os documentos não referentes à tecnologia sob estudo direcionados principalmente ao uso da expressão “bio-óleo” e seus equivalentes para definir produtos diferentes do bio-óleo de pirólise.

Nesse sentido, em uma segunda estratégia, optou-se por restringir a busca por meio da palavra “*pyrolysis*”, com uso de expressão truncada, também buscando no título e no resumo. Com esta restrição, foram recuperados um total de 1214 famílias de patente estendidas. Observou-se, entretanto, que documentos não relevantes faziam menção à pirólise de diversos tipos de materiais não renováveis e não relacionados com biomassa como, por exemplo, polímeros de origem fóssil, pneus e resíduos sólidos eletrônicos. Ditos pedidos estariam fora do escopo do presente estudo e precisariam ser desconsiderados.

De forma a obter resultados mais compatíveis com o escopo de estudo do presente trabalho, foi realizada restrição adicional quanto à matéria prima a ser utilizada no processo de pirólise, ou seja, aquelas relacionadas a biomassa e a materiais de origem renovável. Para este fim, foram utilizadas palavras-chave referentes a ditas matérias-primas também no título e no resumo.

Com a utilização da terceira estratégia, foi obtido um total de 471 famílias estendidas, sendo as palavras-chaves e campos utilizados em dita estratégia expostos na tabela 9. Esta estratégia foi estabelecida como estratégia

final, cujos documentos resultantes serão os objetos de estudo do presente trabalho.

**Tabela 9** – Resumo da estratégia de busca realizada na plataforma *Patsnap*.

<b>Campo</b>	<b>Palavras-chave</b>
Título e resumo (TA)	((bio-oil OR biooil OR "bio oil" OR
<b>OR</b>	biocrude OR "pyrolysis oil" OR "pyrolytic
Tradução do título (TTL_ENTRANS)	oil") AND pyroly*)
<b>OR</b>	<b>AND</b>
Tradução do resumo (ABST_ENTRANS))	(biomass OR lign* OR cellulose* OR feedstoc* OR bein* OR biologi* OR wood OR renewable)
<b>AND</b> Data de depósito (APD)	[20020101 TO 20161231]

## 4.2 ESTUDO PROSPECTIVO

### 4.2.1 EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS DEPÓSITOS DE PATENTES E CURVA EM S

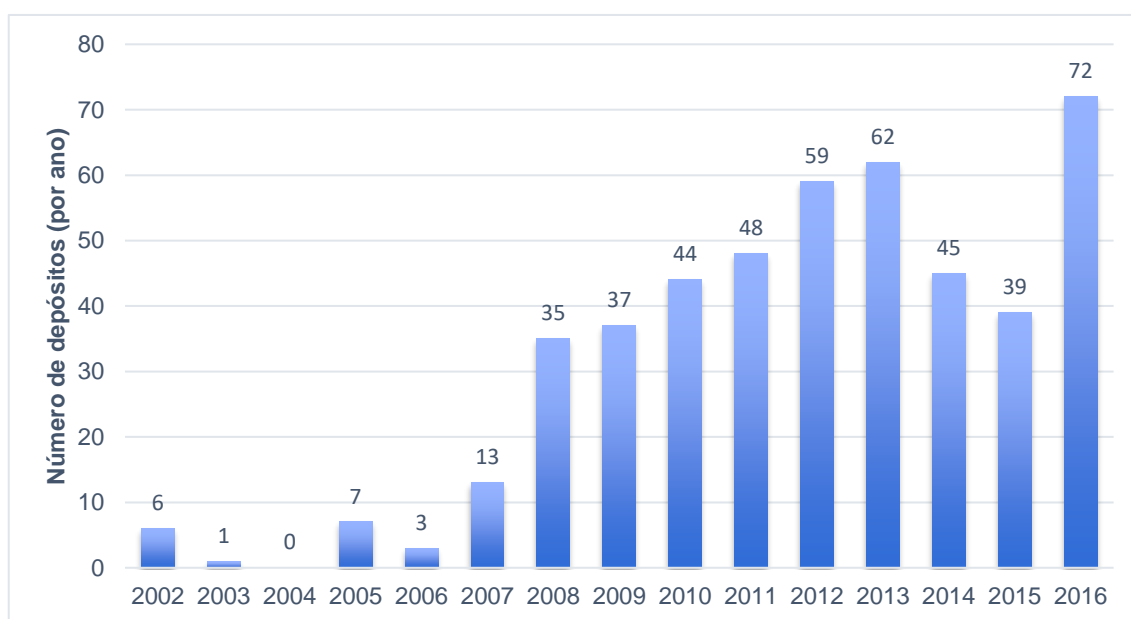
A primeira análise proposta se baseia no acompanhamento do número de depósitos de pedidos de patente ao longo do tempo, para que dessa forma seja possível observar a evolução temporal da tecnologia.

Realizando a estratégia de busca proposta sem a restrição de data de depósito, constatou-se que os primeiros documentos patentários explicitamente referentes à pirólise de materiais renováveis para a produção de óleo de pirólise e processos correlatos são datados da década de 70 (CAPENER e LOW, 1977; SZE e colab., 1979), sendo um forte indício de que os esforços iniciais no desenvolvimento da tecnologia estariam de fato associado à busca de combustíveis alternativos em vista da crise do petróleo de 1974 (CZERNIK, S. e BRIDGWATER, 2004).

As décadas de 70, 80 e 90 são marcadas por um número pequeno de depósitos de pedidos, não representando um desenvolvimento tecnológico significativo na área. Tal fato pode ser explicado principalmente pelo limitado investimento, por ambos os setores público e privado, em pesquisa e

desenvolvimento em tecnologias energéticas no final do século XX em todo o mundo (BETTENCOURT e colab., 2013). Tal cenário coincide com queda no preço do petróleo a partir da metade da década de 80, o que de fato desmotiva os investimentos em pesquisa na área energética, principalmente em matérias primas substituintes ao petróleo (MARGOLIS, 1999).

Esse cenário muda, entretanto, nos anos 2000, como pode ser observado no gráfico da figura 9.



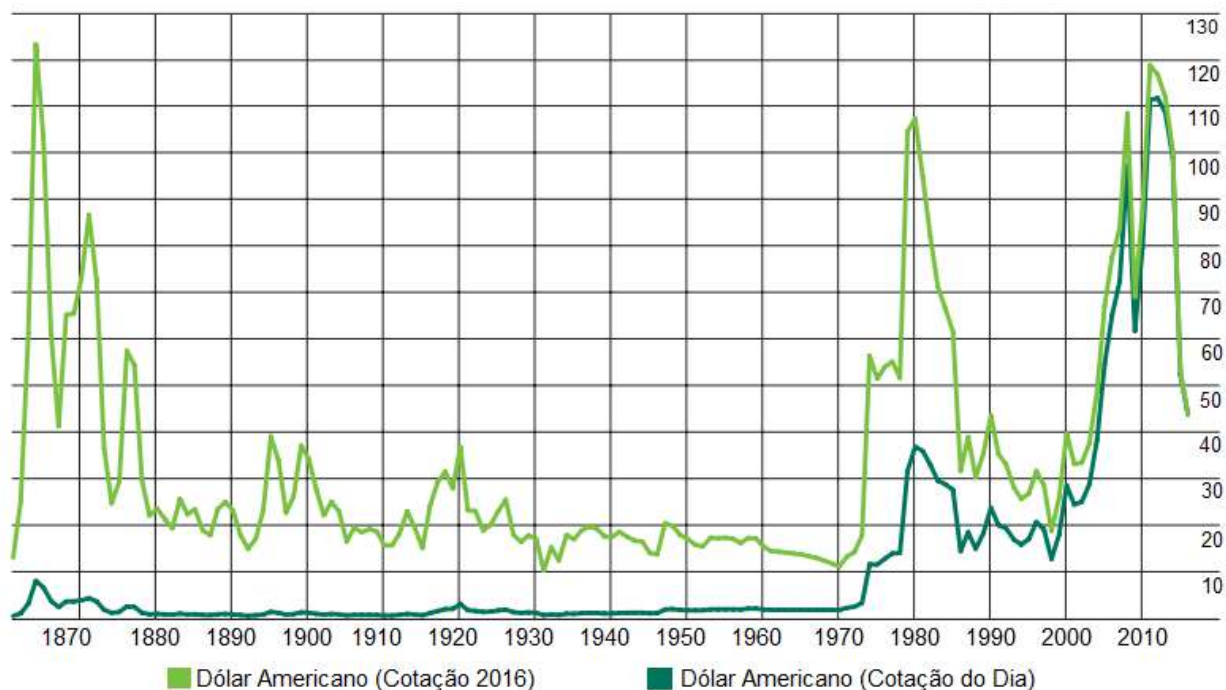
**Figura 9** - Número de documentos de patente por ano de depósito (período de 2002 a 2016).  
Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *Patsnap*

É possível notar um grande aumento no número de depósitos a partir de 2008, que se mantém crescente até 2013, indicando uma fase de crescimento da tecnologia. Em 2014 e 2015 é observada uma queda, com um abrupto aumento em 2016. Tendências semelhantes nos depósitos de pedidos de patentes relacionados a biocombustíveis lignocelulósicos foram também observados nos estudos de TOIVANEN e NOVOTNY, 2017.

A ascensão da tecnologia a partir de 2008 estaria associada principalmente à grande visibilidade aos biocombustíveis nos anos 2000 devido



ao significativo aumento no preço do petróleo ao longo de 2000 a 2009<sup>2</sup>, coincidentemente com pico no ano de 2008, conforme mostrado na figura 10.



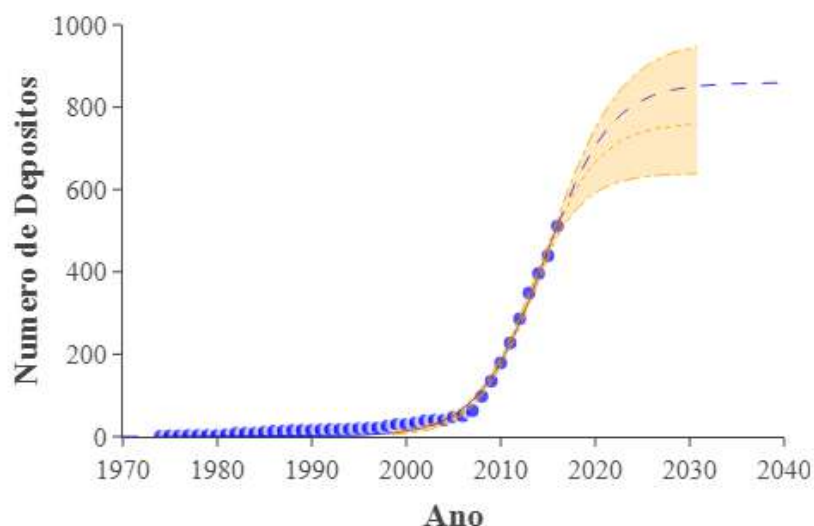
**Figura 10** - Evolução temporal do preço do barril de petróleo, em dólares americanos. Fonte: adaptado de BP, 2017

Conforme já pontuado em sessões anteriores, a busca por alternativas ao petróleo é uma das principais iniciativas que buscam contornar as problemáticas associadas ao aumento da cotação internacional (L. KLASS, 1998a). Nesse sentido, é evidente que o aumento no depósito de pedidos de patente para bio-óleo de pirólise de biomassa pode ser explicado pelas flutuações no preço do barril do petróleo nos anos 2000.

Apesar da queda nos depósitos de pedidos de patente nos anos 2014 e 2015 que, a princípio, indicaria o início de uma fase de maturação da tecnologia, é possível observar que o aumento em 2016 sugere uma continuidade na fase de crescimento. Para que esse entendimento seja comprovado por meio de modelo logístico, a curva em S foi elaborada com os

<sup>2</sup>O aumento na cotação internacional do petróleo no início dos anos 2000 até 2011 deve-se a uma sucessão de eventos geopolíticos e econômicos, como o aumento da demanda chinesa por petróleo (BBC, 2008b), queda na extração de petróleo associada à guerra do Iraque em 2003, conflitos entre Líbano e Israel em 2006 (BBC, 2008a) e testes de mísseis nucleares na Coreia do Norte (CNN, 2006).

depósitos acumulados desde o início da atividade patentária, em 1974, até o ano de 2016, sendo ilustrada na figura 11.



**Figura 11** - Modelo logístico de depósitos acumulados *versus* tempo, com intervalo de confiança de 95%. Parâmetros:  $k=860$ ,  $a=15,41$ ,  $b=2015$ ,  $R^2=0,943$ . Elaborado pelo software Loglet Lab 4 por meio de dados obtidos na plataforma *PatSnap*

Segundo o modelo, o ponto de inflexão da curva ocorre no ano de 2015, indicando o ano de início da fase de maturação da tecnologia, enquanto que o ponto de saturação ( $T_{0,9}$ ) é previsto para o ano de 2023.

Assim, nota-se que, atualmente, a tecnologia estaria no início da fase de maturação, em que há uma necessidade crescente em investimentos em P&D para que os mesmos resultados em inovação, aqui traduzidos em depósitos de patente, sejam alcançados. Nesse sentido, o modelo prevê, para os próximos anos, um decréscimo progressivo nos depósitos de pedidos de patente.

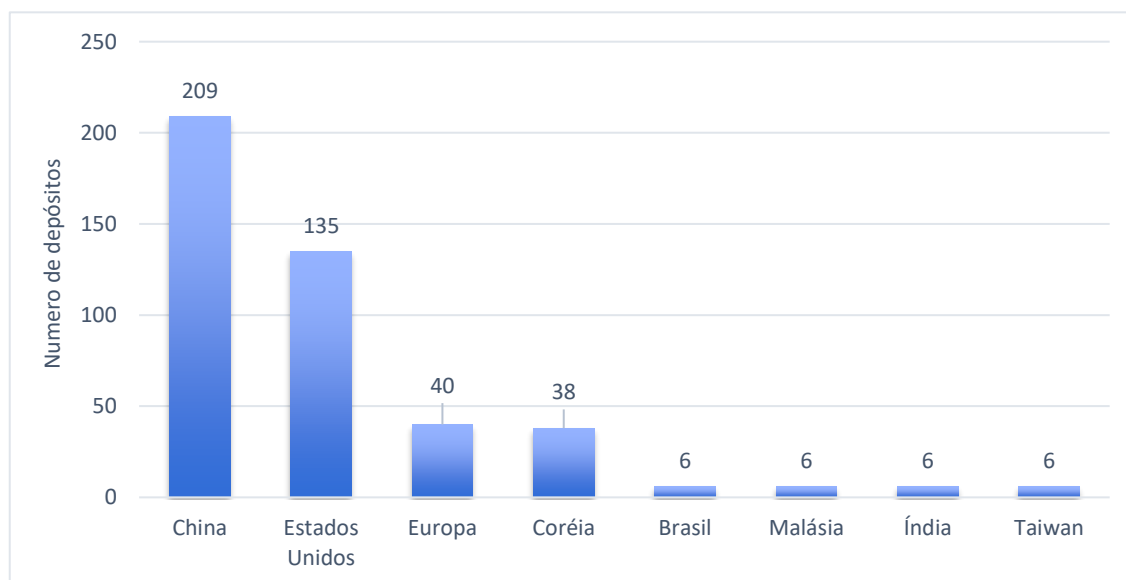
#### 4.2.2 PRINCIPAIS REGIÕES DEPOSITANTES

Para um melhor entendimento da origem geográfica dos documentos, cada uma das famílias estendidas recuperadas na busca foi analisada a partir do país de prioridade que a originou. Nos casos de pedidos sem prioridade, o país de origem foi considerado como o próprio país de depósito. Visando a uma maior uniformidade e simplificação da análise, os pedidos europeus foram

considerados em conjunto, independentemente de terem sido depositados pelo EPO ou pelos respectivos escritórios nacionais.

#### 4.2.2.1 NÚMERO TOTAL DE DEPÓSITOS

O gráfico da figura 12 ilustra os resultados dos principais países por ordem decrescente de número de depósitos, durante o período de 15 anos avaliado.

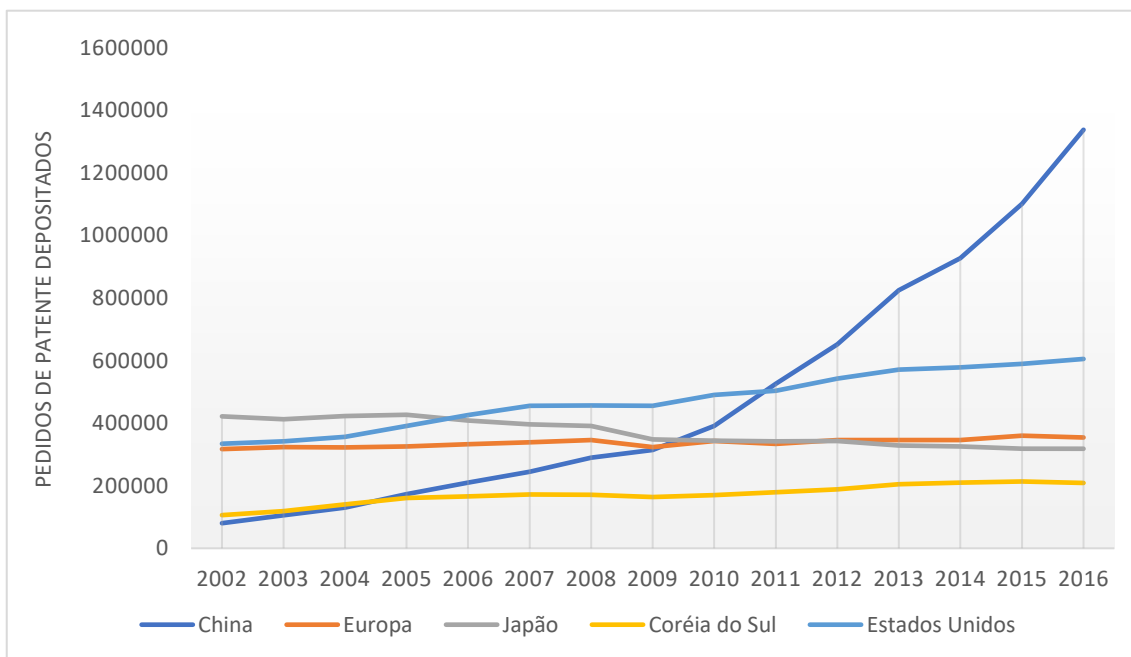


**Figura 12** - Principais países depositantes entre os anos de 2002 e 2016. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *Patsnap*.

Estudos anteriores em energética e biocombustíveis apontam Estados Unidos, China, Europa, Coréia do Sul e Japão como as regiões geográficas de maior depósito de pedidos de patente relacionadas a biocombustíveis em geral, desde a década de 70 até 2009 (BETTENCOURT e colab., 2013).

Nesse sentido, é possível notar uma tendência semelhante, durante o período estudado, para o bio-óleo de pirólise a partir de fontes renováveis, com exceção do Japão, que não possui uma quantidade significativa de depósitos. Como pode ser observado, China é maior depositante, seguido pelo Estados Unidos, ambos com um número de documentos expressivamente superior às demais regiões apontadas.

Uma discussão relevante para análise desses dados direciona-se ao fato de que China e Estados Unidos serem os países que mais depositam pedidos de patente no mundo, conforme mostrado na figura 13.

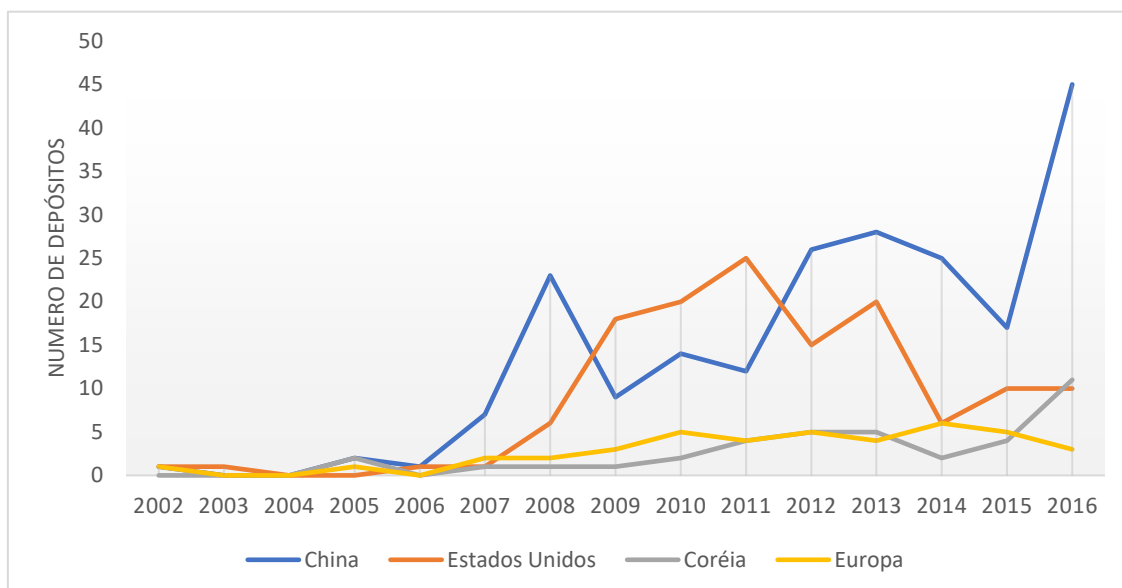


**Figura 13** - Principais regiões depositantes de pedidos de patente no mundo durante o período estudado (2002-2016). Fonte: Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO), 2018

É possível observar, ainda, que dentre os países apontados, China e Estados Unidos foram os únicos que apresentaram uma progressão crescente na quantidade anual de depósitos. Assim, seria intuitivo pensar que, proporcionalmente, ambos os países seriam os potenciais maiores depositantes de pedidos para a tecnologia sob estudo. O mesmo se aplica à Europa e Coreia do Sul, em menores proporções, que também estão entre os principais depositantes no mundo e na tecnologia sob estudo.

#### 4.2.2.2 EVOLUÇÃO TEMPORAL DE DEPÓSITOS POR REGIÃO

Uma segunda análise geográfica foi proposta, no qual a evolução temporal no número de depósitos foi avaliada separadamente para cada uma das principais regiões depositantes. Os resultados são apresentados na figura 14.



**Figura 14** - Evolução de depósitos por região geográfica. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

É possível notar que Europa e Coréia do Sul, apesar de terem apresentado um leve aumento de depósitos a partir de 2007, permaneceram com número de depósitos praticamente constantes, com um aumento abrupto dos depósitos sul coreanos no ano de 2016.

A China pode ser considerada o primeiro país a desenvolver esforços efetivos em inovação na tecnologia sob estudo, apresentando uma grande elevação no número de depósitos a partir de 2006 que, apesar da instabilidade nos anos de 2009, 2010 e 2011, apresenta uma tendência semelhante àquela observada globalmente, com um aumento expressivo de depósitos em 2016.

Os Estados Unidos, por sua vez, foram o segundo país a aumentar seus depósitos de pedidos e se mantiveram acima da China nos anos de 2009 a 2011. Entretanto, é possível observar uma tendência na diminuição nos depósitos a partir de 2011 até 2014, com um leve aumento em 2015.

Nota-se que a tendência global observada na evolução temporal global possui maior influência dos depósitos americanos e chineses, até mesmo pelo fato de serem os países que mais depositaram pedidos de patente na tecnologia sob análise.

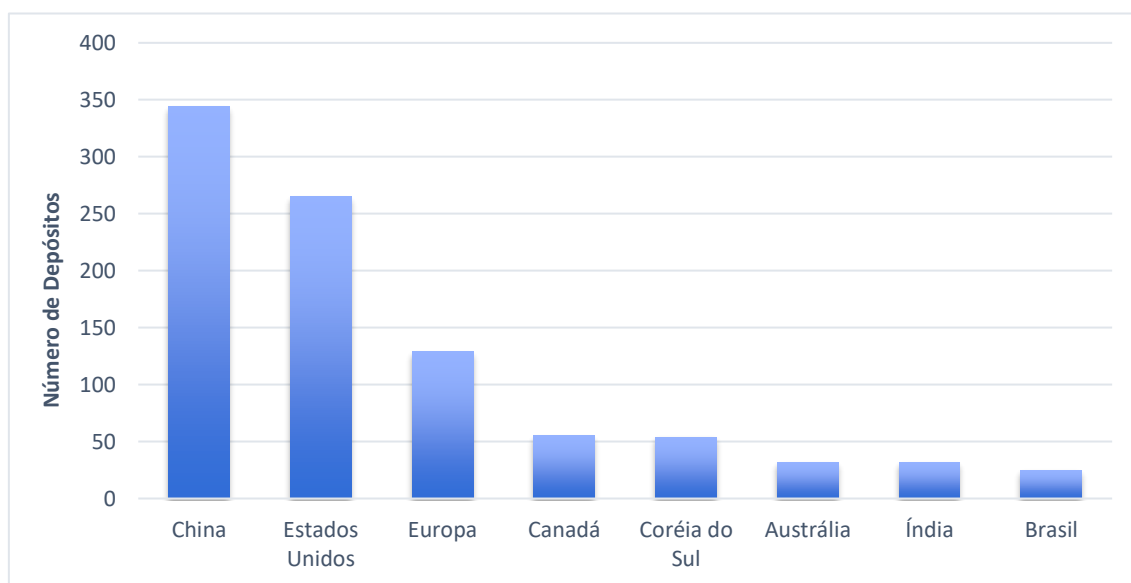
O ponto de maior destaque e que deve ser analisado com maior detalhe são os depósitos de 2016, que são consideravelmente superiores aos

anteriores e invalidam a tendência na diminuição dos depósitos observada nos anos de 2014 e 2015. Cabe notar que os países de maior influência no aumento no número de depósitos no último ano são China e Coréia do Sul.

#### 4.2.3 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS MERCADOS POTENCIALMENTE PROTEGIDOS

Para análise dos principais mercados protegidos pelos documentos de patente encontrados, os pedidos não foram agrupados em famílias, mas sim analisados independentemente da prioridade.

Dessa forma, é possível mensurar quais regiões possuem mais pedidos depositados e, conseqüentemente, seriam de maior interesse mercadológico para os desenvolvedores da tecnologia sob estudo. Os resultados desta análise são mostrados no gráfico da figura 15.



**Figura 15** - Principais mercados protegidos por documentos patentários. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

É evidente a existência de uma tendência semelhante àquela observada para os principais países depositantes verificados na figura 12.

Entretanto, por mais que regiões geográficas como China, Estados Unidos, Europa e Coreia do Sul sejam de grande importância tanto para a origem geográfica da tecnologia, quanto para as regiões protegidas por documentos patentários, é possível notar o surgimento de novas regiões de importância como Canadá, Austrália e Índia.

Assim, ditos países, apesar de não serem grandes desenvolvedores de tecnologias relacionadas ao bio-óleo de pirólise de biomassa, são vistos como regiões de importância mercadológica para depositantes chineses, americanos, europeus e coreanos.

#### 4.2.4 ANÁLISE DO CONTEÚDO TÉCNICO POR IPC

Conforme já pontuado, a classificação internacional de patentes (IPC) é uma ferramenta promissora para auxiliar tanto na busca de documentos patentários quanto na análise do conteúdo técnico dos documentos recuperados na busca.

O primeiro aspecto a ser considerado ao fazer a análise por IPC é a escolha de qual hierarquia de classificação será utilizada para diferenciação dos pedidos. A hierarquia deve ser tal que retrate o conteúdo técnico abordado no pedido, não sendo demasiadamente amplo a ponto de não transparecer o real assunto abordado, nem demasiadamente específico para que não haja perda de documentos e exclusão de pedidos relevantes ou, ainda, diferentes classificações para um mesmo assunto técnico.

Dentro do escopo do presente trabalho, por exemplo, foram observados que os grupos C10G1 e C10G3 estão entre os mais recorrentes, sendo o primeiro direcionado a *“produção de misturas líquidas de hidrocarboneto a partir de xisto betuminoso, de arenitos oleíferos, ou de matérias carbonáceas sólidas não fusíveis ou similares, p. ex. madeira, carvão”* e o segundo referente a *“produção de misturas líquidas de hidrocarboneto a partir de matéria orgânica contendo oxigênio, p. ex. óleos graxos, ácidos graxos”*.

E possível notar, portanto, que se tratando de bio-óleo de pirólise de biomassa, C10G1 e C10G3 estariam relacionados ao mesmo assunto técnico pelo fato de as expressões *“matérias carbonáceas sólidas não fusíveis”* e *“matéria orgânica contendo oxigênio”* estarem ambas compreendidas dentro do conceito de biomassa. Assim, foi escolhida uma hierarquia acima, ou seja, a de subclasses, como a mais adequada para o presente estudo.

Cabe notar que o uso de classificações hierárquicas acima das subclasses, como classes e seções, não foi cogitado por serem demasiadamente amplas. A título de exemplo, a classificação C10 é direcionada a “INDÚSTRIAS DO PETRÓLEO, DO GÁS OU DO COQUE; GASES TÉCNICOS CONTENDO MONÓXIDO DE CARBONO; COMBUSTÍVEIS; LUBRIFICANTES; TURFA”, compreendendo inúmeras possibilidades de assuntos técnicos relacionados à tecnologia sob estudo.

Para que pudesse ser feita uma avaliação mais aprofundada dos assuntos técnicos abordados nos documentos recuperados, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa, foi realizado o levantamento das subclasses de IPC principal (“*Main IPC*”) de maior recorrência, sendo estes apresentados na tabela 10.

**Tabela 10** - Principais Subclasses de IPC encontradas na busca. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma PatSnap

<b>Código IPC</b>	<b>Descrição</b>	<b>Documentos</b>
<b>C10G</b>	Craqueamento de óleos hidrocarbonetos; produção de misturas hidrocarbonetos líquidos, recuperação de óleos hidrocarbonetos de óleo de xisto, areia oleaginosa ou gases; refino de misturas principalmente consistindo de hidrocarboneto; reforma de nafta; ceras minerais	171
<b>C10B</b>	Destilação destrutiva de substâncias carbonáceas para produção de gás, coque, alcatrão ou substâncias similares	74
<b>C10L</b>	Combustíveis não incluídos em outro local; gás natural; gás natural sintético obtido por processos não abrangidos pelas subclasses C10G ou C10K; gás liquefeito de petróleo; uso de aditivos em combustíveis ou ao fogo; acendedores de fogo	58



---

<b>B01J</b>	Processos químicos ou físicos; aparelhos pertinentes aos mesmos	24
-------------	---	----

---

Os documentos referentes a cada uma das subclasses apontadas foram analisados separadamente por meio da leitura de seus títulos e resumos para identificação de tendências quanto ao assunto técnico abordado em cada uma das subclasses de IPC. De forma geral, foi possível identificar cinco diferentes tipos de conteúdo técnico:

- a) Equipamentos, sistemas e reatores: referente ao desenvolvimento de equipamentos específicos, como reatores, ou ainda arranjo específico de equipamentos já existentes para otimização do rendimento ou qualidade de bio-óleo;
- b) Beneficiamento ou tratamento: referente a etapas de pré-tratamento ou beneficiamento do bio-óleo para melhoria de suas características físicas e químicas;
- c) Processos catalíticos e catalisadores: referente ao uso de processos catalíticos na obtenção e no beneficiamento de bio-óleo, além do desenvolvimento de novos catalisadores para esses processos;
- d) Aplicação em combustíveis: a invenção proposta foi desenvolvida com o intuito de utilizar o bio-óleo como combustível;
- e) Aplicação em produtos químicos: a invenção proposta foi desenvolvida com o intuito de utilizar o bio-óleo como precursor de produtos químicos em geral.

Nas subclasses C10G e C10B, foi observada uma grande variedade de assuntos abordados sem uma tendência específica, estando os documentos enquadrados em todos os assuntos a) a e) pontuados acima.

A subclasse C10L apresenta em sua maioria processos de beneficiamento de bio-óleo, de forma catalítica ou não, visando à aplicação deste como combustível, estando majoritariamente enquadrada nas categorias b), c) e d).

Por fim, foi observado que a subclasse B01J é em sua maioria relacionada a processos catalíticos e catalisadores, principalmente ao desenvolvimento de novos catalisadores, estando majoritariamente enquadrada na categoria c).

Portanto, foi possível observar que, apesar de ser possível enquadrar os documentos dentro dos assuntos técnicos específicos listado nos itens a) a e), os IPC's não foram capazes de distingui-los de forma satisfatória, visto que há inúmeras interseções de assuntos dentro das principais subclasses encontradas.

#### 4.2.5 ANÁLISE DO CONTEÚDO TÉCNICO POR PALAVRAS-CHAVE

Uma vez que a análise por IPC não foi satisfatória, uma nova análise do conteúdo técnico dos documentos foi proposta, com base em restrições por palavras-chave.

Durante a análise dos títulos e resumos dos pedidos, foi feito um levantamento das principais expressões referentes a cada uma das classificações a) a e) de forma que fosse possível realizar uma estratégia de busca específica para cada um dos assuntos técnicos pontuados.

Após o levantamento das expressões, as mesmas foram utilizadas em adição à estratégia de busca inicialmente proposta, sendo buscadas no título e no resumo dos documentos. As estratégias para cada um dos assuntos técnicos são apresentadas na tabela 11.

**Tabela 11** - Estratégias de busca para análise de conteúdo técnico dos documentos patentários. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*

<b>Assunto</b>	<b>Palavras-Chave</b>	<b>Documentos</b>	<b>%<sup>3</sup></b>
Equipamentos e sistemas	<b>AND</b> (device* OR apparatus* OR system* OR reactor*)	240	51%
Beneficiamento ou tratamento	<b>AND</b> (deoxygen* OR hydrodeoxygen* OR hydrotreat*	280	59%

<sup>3</sup> É importante notar que as classificações não são mutuamente excludentes e, por isso, um mesmo documento poderá ser enquadrado em mais de uma classificação. Nesse sentido, é plausível que a soma das porcentagens de cada um dos assuntos possa ultrapassar o valor de 100%.

	OR stabil* OR conditioning OR improv* OR treat* OR upgrad* OR pretreat* OR emuls* OR beneficiation OR refin*)		
Processos catalíticos e catalisadores	<b>AND</b> (cataly* OR zeolite*)	162	34%
Aplicação como biocombustível	<b>AND</b> (fuel* OR biofuel* OR energy)	225	48%
Aplicação como produto químico	<b>AND</b> (retardant* OR resin* OR adhesive* OR polymer* OR chemicals OR chemical OR phenol* OR aromatic* OR solvent* OR benzene OR toluene OR xylene OR furfural OR lipid*)	114	24%

Cabe pontuar que as classificações propostas, diferentemente das classificações por IPC principal, não são mutualmente excludentes. Nesse sentido, um mesmo pedido pode estar enquadrado em diferentes classificações.

A título exemplificativo, o pedido internacional WO 2014/209973, recuperado na presente busca, descreve um catalisador e um método para produção do mesmo, sendo dito catalisador aplicável em pirólise catalítica por micro-ondas e também no beneficiamento do bio-óleo para grau de combustível (BOLDOR e HAYES, 2014). Assim, este documento aparecerá na busca por catalisadores, por métodos de beneficiamento e por aplicação como combustível.

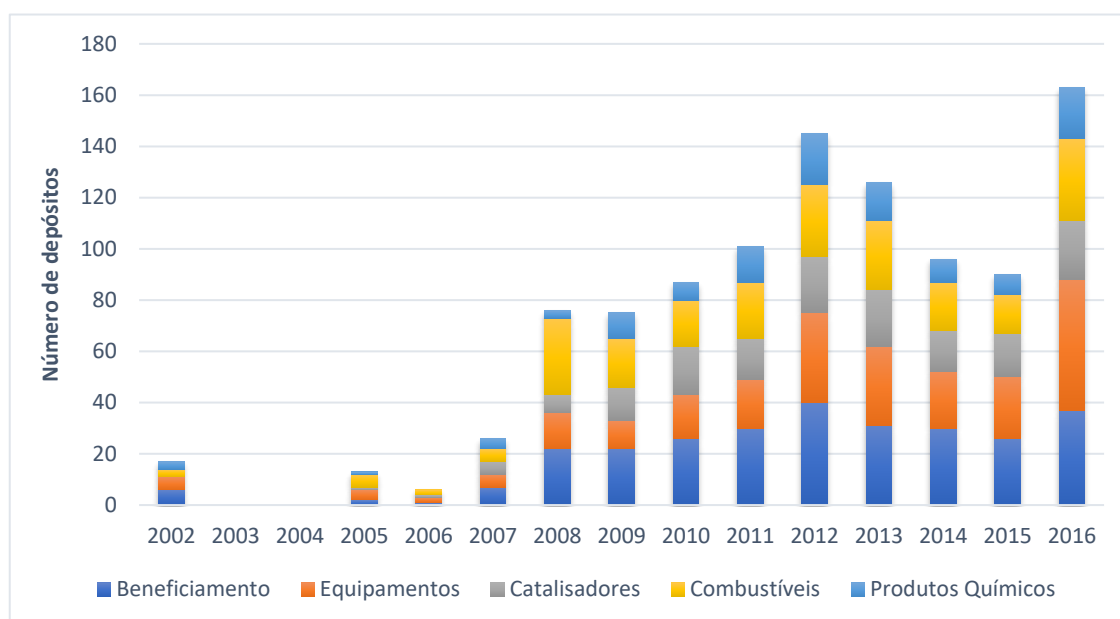
É possível notar que grande parte dos esforços em inovação nos últimos quinze anos tem sido realizado para o desenvolvimento de processos de beneficiamento, o que se justifica pelas diversas desvantagens associadas às características físicas de químicas do bio-óleo, que impede que este seja usado

diretamente como biocombustível ou substituinte para produtos químicos específicos na maioria dos casos.

O segundo assunto de maior relevância é o desenvolvimento de equipamentos ou sistema específico de equipamentos para o processo de pirólise, que estão também associados à obtenção de bio-óleo de maior qualidade e aumento no rendimento do processo de pirólise.

Em relação às aplicações, se observa que uso do óleo de pirólise em biocombustíveis é superior à aplicação como produtos químicos, fato que é a princípio esperado tendo em vista as motivações energéticas iniciais para o investimento na tecnologia.

A evolução temporal de depósito de pedidos direcionados aos cinco assuntos técnicos abordados é apresentada no gráfico da figura 16.

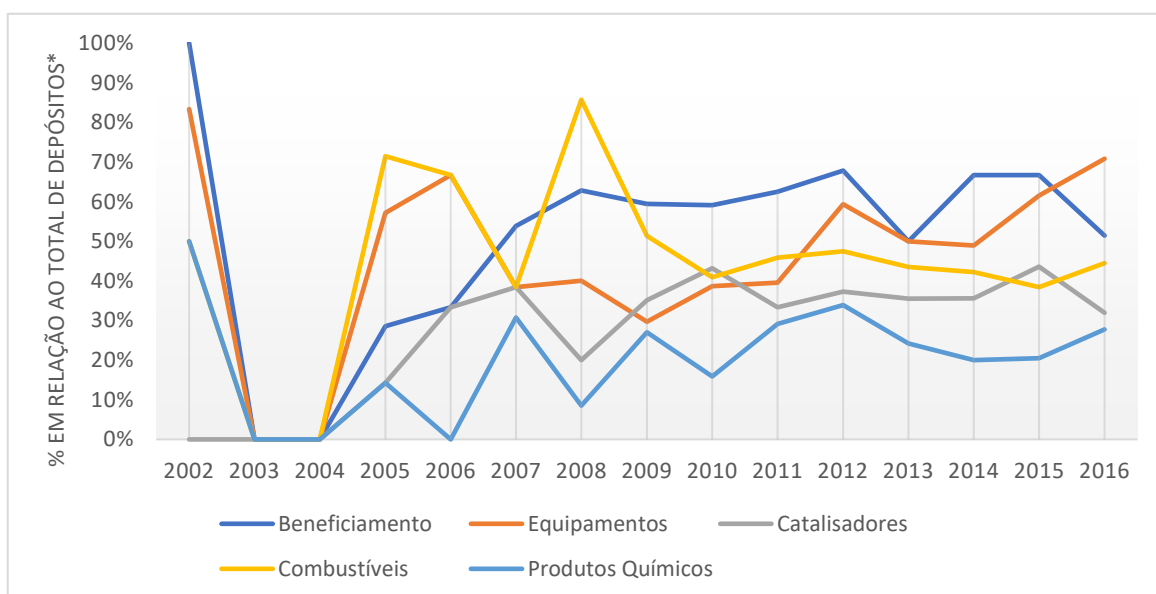


**Figura 16** - Evolução temporal de depósitos dividida por assunto técnico. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

É possível notar, de maneira global, que todas as categorias seguiram tendências semelhantes àquela mostrada na figura 9, com exceção dos catalisadores, que não sofreram decréscimo significativo nos anos de 2014 e 2015 e nem aumentos no ano de 2016.

Os métodos de beneficiamento se mantiveram como o assunto de maior interesse durante todo o período de quinze anos estudado. Em relação às aplicações, nota-se que uso em biocombustíveis foi primeiramente desenvolvido em comparação com o uso em produtos químicos e o segundo se manteve menos relevante ao longo dos quinze anos.

Para uma melhor análise de tendências, foi avaliada a porcentagem de depósitos de cada um dos assuntos técnicos em relação aos depósitos totais ano a ano, ilustrado na figura 17.



**Figura 17** - Porcentagem de depósitos direcionados a cada um dos campos técnicos ano a ano. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma PatSnap

É possível notar que os processos de beneficiamento, apesar de apresentarem um aumento progressivo entre os anos de 2004 e 2008, mantém uma uniformidade entre 2008 e 2015, com diminuição em 2016. Tendência semelhante é observada para os processos catalíticos e catalisadores, que é crescente até 2007 e se mantém relativamente constante até 2016.

Quanto às aplicações, torna-se mais claro que a aplicação em biocombustíveis se manteve mais relevante que nos produtos químicos até o último ano. Nota-se que os combustíveis estavam no foco de interesse em 2008 e perderam importância nos anos subsequentes, enquanto que os produtos químicos apresentaram uma tendência global de aumento até o ano de 2012.

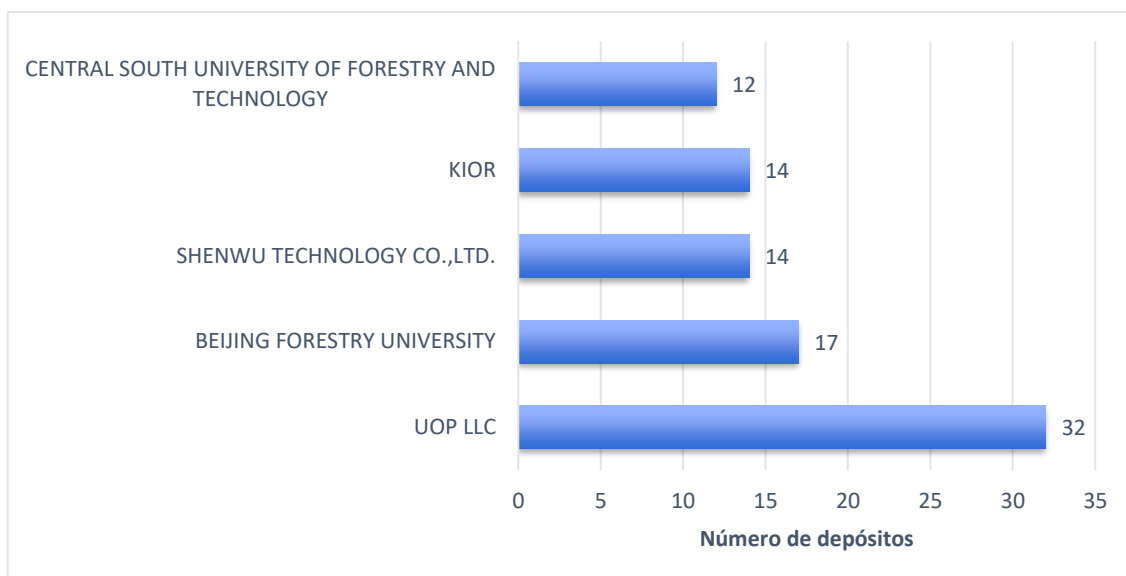
Cabe pontuar que ambos tiveram um aumento nas proporções entre os anos de 2015 e 2016, o que indica que ambas as aplicações ainda seriam de interesse para pesquisa e inovação.

Por fim, nota-se um progressivo aumento na recorrência de pedidos destinados a equipamentos e sistemas a partir de 2010, que se mantém até o ano de 2016, onde se observa um grande aumento de proporção. Os pedidos direcionados a equipamentos e sistemas chegam a representar 70% dos depósitos no último ano, sendo o assunto de maior relevância dentre os analisados neste último ano.

#### 4.2.6 PRINCIPAIS EMPRESAS E INSTITUIÇÕES DEPOSITANTES

A divisão por instituições, empresas e pessoas físicas depositantes foi realizada com base no sistema de normalização de depositantes (*Standardised Assignee*) disponível na plataforma *PatSnap*. Nesse sistema, as possíveis variações para um mesmo depositante são agrupadas, evitando que documentos relevantes de um depositante sejam erroneamente desconsiderados. A título exemplificativo, caso o Titular de um pedido de patente seja IBM ou I.B.M., ambos serão considerados como um mesmo depositante normalizado.

Os cinco principais depositantes e a quantidade de famílias de patente depositadas por cada um destes ao longo do período de 2002 a 2016 são apresentados no gráfico da figura 18.



**Figura 18** - Principais depositantes de pedidos de patentes. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*

Nota-se que os maiores depositantes para a tecnologia sob estudo são de origem estadunidense (Kior e UOP LCC) e chinesa (demais depositantes), reforçando a hegemonia dos dois países anteriormente mencionada. No cenário chinês encontramos duas universidades e uma empresa, denominada Shenwu Technology Co.,Ltd. Cada uma das três principais empresas depositantes (UOP LLC, KiOR e Shenwu Technology Co.,Ltd) e as duas universidades serão aqui analisadas individualmente para que suas atividades patentárias sejam melhor compreendidas.

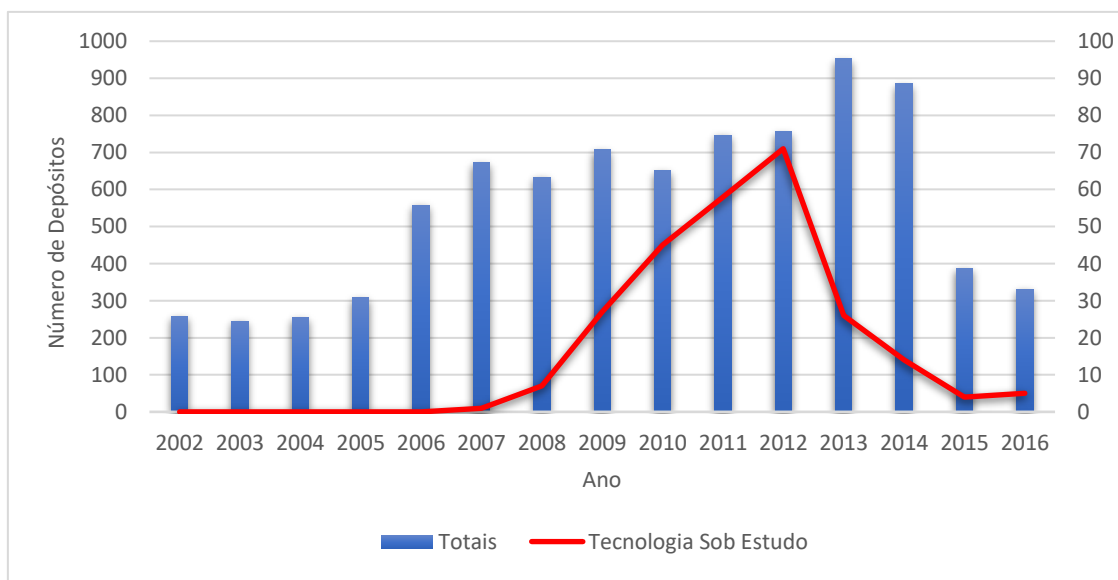
#### 4.2.6.1 UOP LLC

A UOP LLC, também conhecida como Honeywell UOP é uma empresa multinacional, e subsidiária da Honeywell International Inc. desde dezembro de 2015. As atividades da companhia são direcionadas principalmente ao desenvolvimento e fornecimento de tecnologias de refino de petróleo, processamento de gás natural e hidrogênio, produção de petroquímicos, biocombustíveis e tratamento de água. Dentro desse âmbito, a empresa fornece produtos como equipamentos, catalisadores, adsorventes e tecnologias de processo em geral, além de serviços de consultoria e licenciamento (BLOOMBERG, 2018b).

A empresa foi fundada em 1914 e está sediada em Des Plaines, Illinois, Estados Unidos, possuindo instalações de vendas, suporte e fabricação nas Américas, Ásia, Europa e Oriente Médio (HONEYWELL UOP, 2018).

Uma análise do portfólio da empresa por meio da plataforma *PatSnap* demonstra que a mesma possui um total de 17.033 depósitos de pedidos de patentes, sendo 3.139 destes concedidos e ainda em vigência, depositados principalmente nos Estados Unidos, Europa, Canadá, China e Índia.

A Figura 19 ilustra um gráfico comparativo entre os depósitos totais da empresa ao longo do tempo com os depósitos direcionados especificamente a tecnologias de bio-óleo de pirólise de biomassa.



**Figura 19** – UOP LLC - depósitos totais e depósitos direcionados à tecnologia sob estudo. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*

Cabe enfatizar que, para a análise de portfólio, os documentos patentários não foram agrupados em famílias, mas considerados individualmente para que assim fosse possível mensurar o real interesse da companhia nas tecnologias por ela desenvolvida.

Em relação à atividade patentária geral da empresa, nota-se um aumento a partir do ano de 2006, com ascensão progressiva até os anos de 2013 e 2014. Em 2015 se observa uma redução drástica de mais de 50% nas atividades de depósito da empresa, que se mantém baixas em 2016.



A leitura do gráfico ainda indica que a Honeywell UOP iniciou suas atividades patentárias para tecnologia sob estudo juntamente com a ascensão mundial da mesma, em 2007. As atividades se mantiveram crescentes até atingir um pico em 2012, quando então decresceram até 2015 e se mantiveram constantes em 2016.

O início dessas atividades vão de encontro com a formação do negócio de energia e químicos renováveis da empresa, em 2006, que posteriormente resultou na criação de uma joint venture em parceria com a Ensyn, denominada Evergent Technologies, direcionada ao desenvolvimento de tecnologias para conversão de biomassa em calor, eletricidade e combustíveis renováveis (HONEYWELL ENVERGENT TECHNOLOGIES, 2018).

Ao que as tendências indicam, nota-se que a empresa não possui, nos dias atuais, interesse em pesquisar e desenvolver a tecnologia sob estudo. Além disso, considerando a drástica redução nas atividades patentárias em geral, é de se esperar que a Honeywell UOP não será um depositante de relevância nos próximos anos, especialmente em relação ao bio-óleo de pirólise de biomassa.

As 31 famílias de patentes sob titularidade da UOP LLC foram subdivididas nos cinco assuntos técnicos encontrados, conforme demonstrado na tabela 12.

**Tabela 12** - Famílias de patente sob titularidade de UOP LLC divididas por assunto técnico. Elaborada a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

<b>Assunto técnico</b>	<b>Famílias de Patente</b>	<b>% do portfólio</b>
Beneficiamento	25	80%
Equipamentos	12	39%
Catalisadores	20	65%
Combustível	6	19%
Produtos Químicos	3	10%

Como pode ser observado, os esforços da empresa são direcionados especialmente ao desenvolvimento de processos de beneficiamento do bio-óleo,

sendo dezessete das vinte e cinco famílias de processos de beneficiamento diretamente relacionadas ao uso ou desenvolvimento de catalisadores, o que justifica também o grande número de pedidos nesse âmbito.

Observa-se, ainda, que 54% dos pedidos envolvem métodos em associação com etapas já existentes no refino de petróleo, como hidrotratamento e o uso de catalisadores já conhecidos nesse campo técnico, indicando que grande parte dos estudos desenvolvidos são relacionados com conhecidos já dominados pela empresa.

Em relação às aplicações pretendidas ao bio-óleo, é possível notar que poucos pedidos fazem menção explícita ao destino final do produto, sendo a maioria das aplicações direcionadas ao uso como combustível. Especificamente, as aplicações como produtos químicos envolvem a produção de surfactantes (RAY e BENERJEE, 2012), aromáticos (BAIRD e PHAM, 2015) e solventes fenólicos (BAIRD e BANDVOLD, 2012).

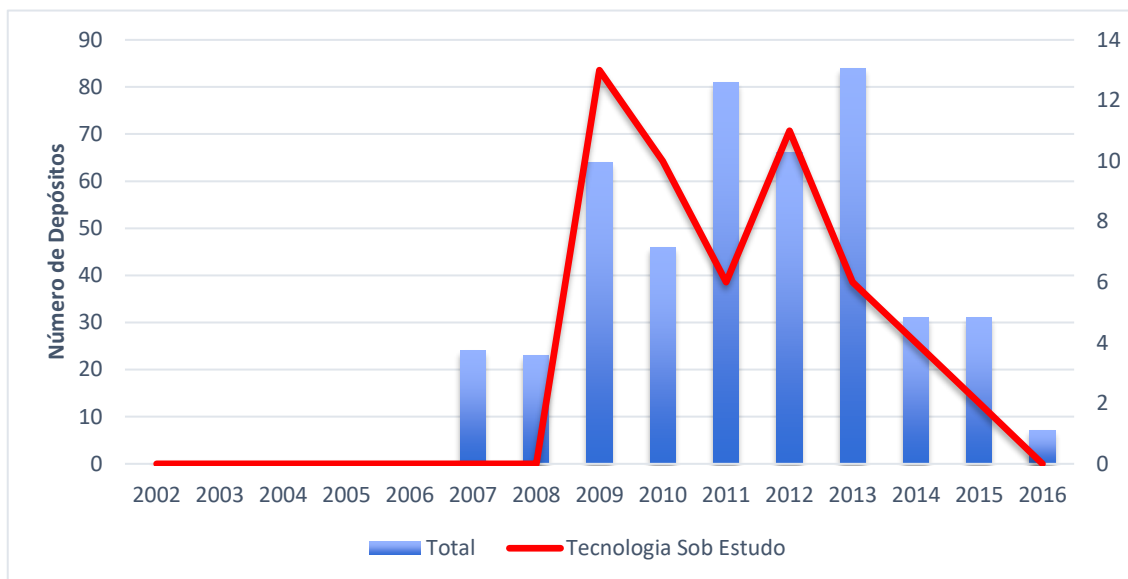
#### *4.2.6.2 KiOR, Inc./Inaeris Technologies*

KiOR, Inc. era uma companhia de combustíveis renováveis que produzia e vendia gasolina e diesel à base de biomassa lignocelulósica, sendo os produtos fabricados em uma plataforma tecnológica própria. O objetivo da companhia era o fornecimento de produtos para refinarias, para terminais de distribuição e para gestores de frotas para uso em seus veículos. A companhia foi fundada em 2007, com sede no Texas, Estados Unidos (BLOOMBERG, 2018a).

Apesar de ter sido considerada uma empresa promissora nos primeiros anos de atuação, a KiOR ficou cada vez mais atrasada em relação às suas metas de produção ao longo de 2013 e anunciou falência em 2014. No mesmo ano, a companhia sofreu uma reestruturação, mudando seu nome para Inaeris Technologies (LANE, 2016).

Nesse sentido, o portfólio da KiOR Inc. foi analisado com base nos pedidos depositados tanto em seu nome, quanto em nome de Inaeris Technologies. Foi observado um total de 459 depósitos, sendo 130 deles patentes concedidas e em vigor, depositados principalmente nos Estados

Unidos, Canadá, China, Índia e Brasil. A evolução dos depósitos é mostrada na figura 20.



**Figura 20** - Kior Inc. e Inaeris Technologies - depósitos totais e depósitos direcionados à tecnologia sob estudo. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

Pode-se observar que a empresa investiu na proteção de suas invenções por meio de direito patentário desde o início de suas atividades em 2007. Os depósitos, apesar de serem instáveis entre 2009 e 2013, apresentam uma tendência global de crescimento, que reduz drasticamente em 2014, sendo quase nulos em 2016 em comparação com os anos anteriores.

Torna-se claro que a declaração de falência da empresa no início de 2014 teve grandes consequências para a atividade patentária da mesma e, pelo que se observa nos últimos anos, é provável que os depósitos se mantenham baixos, a menos que a empresa consiga se reerguer.

Os pedidos explicitamente referentes ao bio-óleo de pirólise de biomassa apresentam um pico em 2009 e decrescem até chegarem a um valor nulo em 2016. É de se esperar que, assim como os depósitos totais, não sejam desenvolvidos esforços tecnológicos para o bio-óleo de pirólise nos próximos anos, mesmo porque a Inaeris foi denominada pelo seu presidente Chris Artzer como uma companhia em estágio piloto, que se tornará robusta com o passar do tempo (LANE, 2016).

Os assuntos técnicos abordados pelos documentos patentários da KiOR são demonstrados na tabela 13.

**Tabela 13** - Famílias de patente sob titularidade de KiOR divididas por assunto técnico. Elaborada a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

<b>Assunto técnico</b>	<b>Documentos</b>	<b>% do portfólio</b>
Beneficiamento	7	54%
Equipamentos	2	15%
Catalisadores	5	38%
Combustível	3	23%
Produtos Químicos	2	15%

Dentro os processos de beneficiamento, nota-se que cinco dos sete documentos envolve a melhoria das qualidades do bio-óleo por meio de pirólise catalítica, estando estes também relacionados com o assunto de catalisadores. Os dois outros documentos citam o uso de solventes para remoção de metais e processo em conjunto com uma etapa de hidrotreatamento.

Diferentemente da abordagem da UOP, em que a maior parte dos processos catalíticos são referentes a etapas à jusante da pirólise, a leitura dos documentos mostra que os processos catalíticos desenvolvidos pela KiOR são totalmente direcionados ao uso pirólise catalítica para formação de bio-óleo com características melhoradas.

Em relação às aplicações, nota-se que, assim como a empresa anterior, poucos pedidos fazem menção direta à aplicação do bio-óleo, havendo uma proporção próxima entre combustíveis e produtos químicos. As aplicações em produtos químicos se referem ao uso de solvente para produção de pneus e de solvente para a desmineralização do bio-óleo na própria planta.

É possível observar também uma baixa proporção de pedidos referentes a equipamentos e sistemas, sendo ambos também referentes a sistemas e reatores para a realização de pirólise catalítica (BARTEK e colab., 2011; DITSCH, 2011).

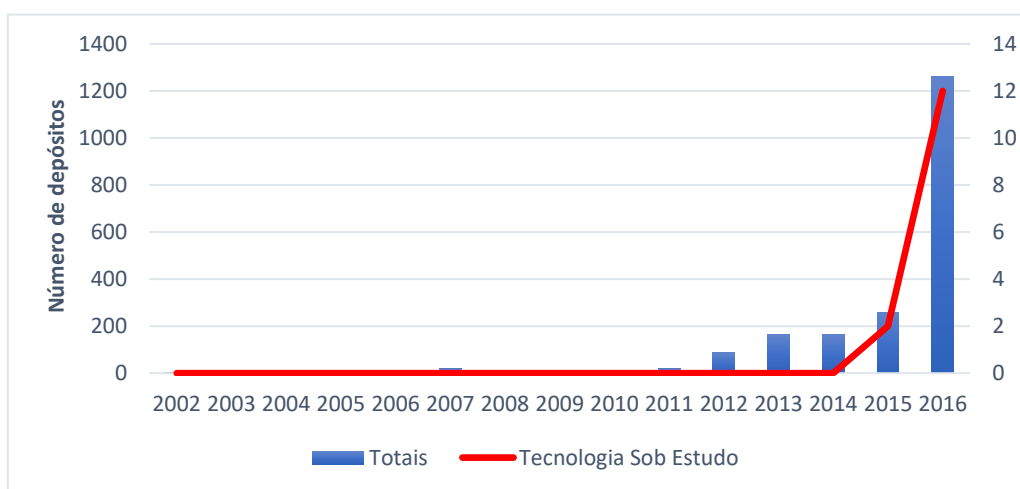
#### 4.2.6.3 SHENWU TECHNOLOGY CO., LTD.

Beijing Shenwu Environment & Energy Technology Corp, conhecida anteriormente como Beijing Shenwu Thermal Energy Technology Co., Ltd. foi fundada em 1996 e está sediada em Pequim, na China. A empresa fornece soluções para conservação de energia e para tecnologia de baixo teor de carbono em combustores, fornos industriais e incineradores, além de desenvolver novas tecnologias e projetos de engenharia nesse âmbito (SHENWU TECHNOLOGY GROUP CORP CO. LTD, 2018).

Seus produtos e serviços incluem, além de equipamentos como combustores, incineradores e fornos industriais, consultorias de projeto, testes/verificação de planta piloto, projeto/layout do processo, gerenciamento/supervisão em engenharia e início/treinamento de sistema e serviços operacionais.

A análise do portfólio da empresa demonstra um total de 2402 pedidos de patente depositados, sendo 1195 concedidos e ainda em vigor. A atividade patentária se concentra no próprio território chinês, uma vez que aproximadamente 98% desses pedidos depositados nacionalmente.

Além disso, apesar de ter sido fundada na década de 90, a análise temporal de depósitos da empresa mostra que os esforços patentários da mesma se iniciaram muito recentemente, a partir de 2012, conforme mostrado na figura 21.



**Figura 21** - Shenwu Technology Co., Ltd.- depósitos totais e depósitos direcionados à tecnologia sob estudo. Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

É possível notar um salto muito significativo de depósitos no ano de 2016, no qual mais de 1200 pedidos de patente foram depositados, fato que corroborou com o posicionamento do grupo Shenwu dentre as empresas de maior atenção no Zhongguancun, conhecido como o “Vale do Silício Chinês”, em 2016 (SHENWU TECHNOLOGY GROUP CORP CO., 2017a).

Recentemente, o grupo Shenwu pesquisou e desenvolveu sete núcleos de tecnologia de economia de energia e baixo teor de carbono, dentre elas a denominada “tecnologia de terceira geração de tratamento de resíduos”, a qual inclui a pirólise de resíduos em geral, como lixo eletrônico, pneus e biomassa, o que justifica os depósitos encontrados para a tecnologia sob estudo (SHENWU TECHNOLOGY GROUP CORP CO., 2017a).

Pela análise do gráfico, torna-se evidente que o grupo Shenwu é um seria um novo entrante na pirólise de biomassa, tendo grandes possibilidades que seja mantido um número significativo de depósitos para produção ou aplicação de bio-óleo nos próximos anos.

Notícias mais recentes, publicadas no final de 2017, demonstram que a empresa ainda demonstra grande interesse em processos de conversão energética de biomassa, tendo em vista a assinatura de um acordo para um projeto de utilização de mil toneladas de biomassa por dia em processos de pirólise e geração de calor e energia (SHENWU TECHNOLOGY GROUP CORP CO., 2017b).

Os assuntos técnicos abordados pelos pedidos de patente sob titularidade do grupo Shenwu são demonstrados na tabela 14.

**Tabela 14** - Famílias de patente sob titularidade de Shenwu Technology Co., Ltd. divididas por assunto técnico. Elaborada a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

<b>Assunto técnico</b>	<b>Documentos</b>	<b>% do portfólio</b>
Beneficiamento	1	7%
Equipamentos	14	100%
Catalisadores	4	29%
Combustível	6	43%
Produtos Químicos	2	14%

É possível observar que todos os pedidos são relacionados a equipamentos, sistemas e reatores, o que vai de encontro com a expertise da empresa, de fornecimento de combustores, incineradores e fornos industriais. Os processos catalíticos são inteiramente relacionados à pirólise catalítica, associados a estruturas específicas de reatores e combinações de equipamentos.

Em relação às aplicações, é possível observar uma maior tendência ao uso como combustíveis, sendo as duas aplicações em produtos químicos associadas à aplicação da pirólise para a produção de benzeno.

#### *4.2.6.4 Beijing Forestry University (BFU) e Central South University of Forestry and Technology (CSUFT)*

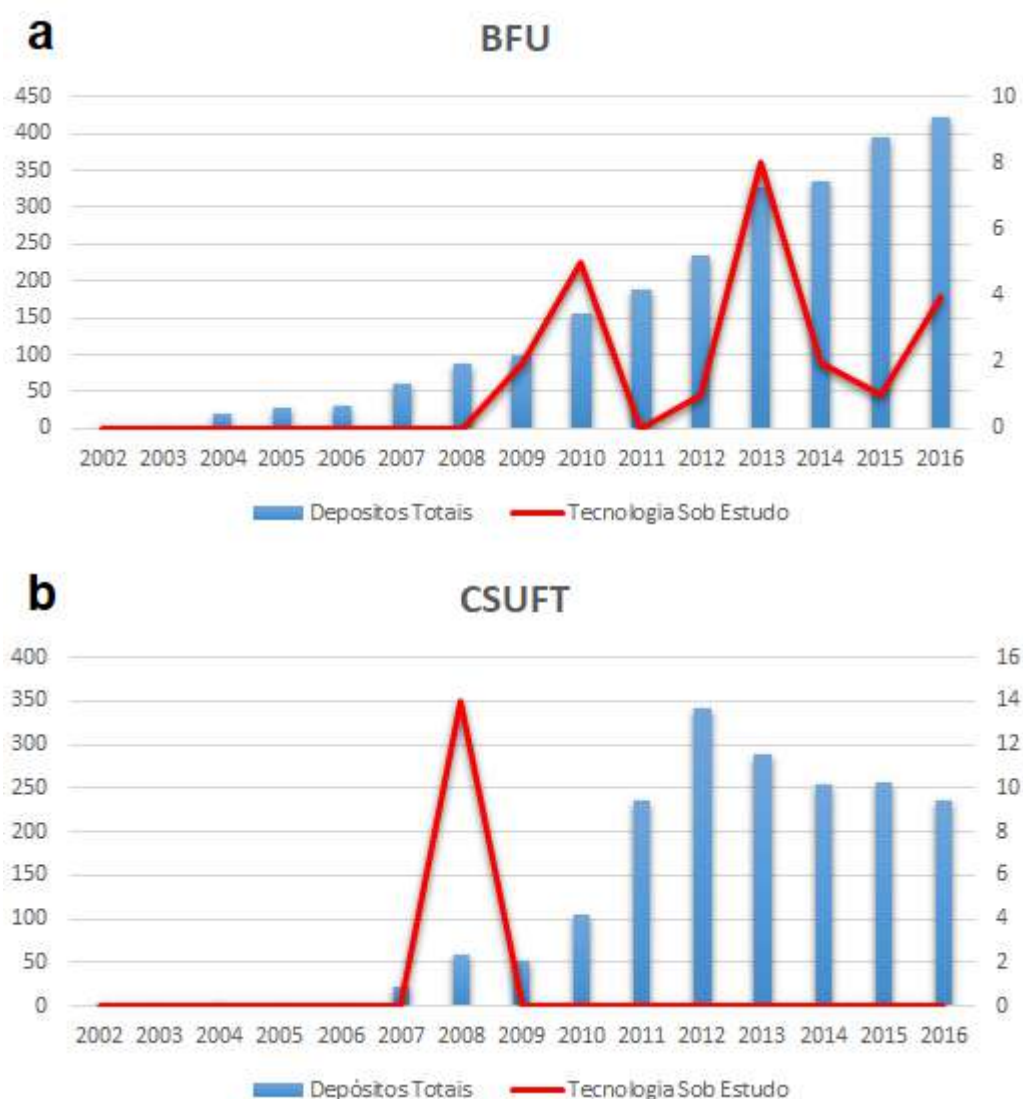
Além das empresas supra analisadas, os principais depositantes também englobam duas universidades chinesas, a Beijing Forestry University (BFU) e a Central South University of Forestry and Technology (CSUFT), com 12 e 17 depósitos, respectivamente.

A Beijing Forestry University (BFU), fundada em 1952, é uma das principais instituições de ensino superior na China e fornece educação avançada nos estudos na área florestal e de ecologia. A BFU é o berço de profissionais especializados em tecnologia avançada de multidisciplinas, incluindo silvicultura, conservação do solo e da água, paisagismo, biotecnologia, construção de ambiente ecológico e gestão econômica (BEIJING FORESTRY UNIVERSITY, 2007).

A Central South University of Forestry and Technology (CSUFT), localizada na cidade histórica de Changsha, China, foi fundada em 1958, e é uma instituição multidisciplinar que abrange uma ampla gama de disciplinas em ciências, engenharia, agricultura, artes, direito, economia, administração e educação. As disciplinas chave da instituição englobam proteção e cultivo florestal, ecologia, ciência e tecnologia da madeira e engenharia de processamento químico de produtos florestais (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGY, 2018).

A análise do portfólio das universidades demonstra que a BFU possui um total de 2864 pedidos depositados, sendo 845 destes concedidas e sob vigor, enquanto a CSUFT possui um total de 2078 pedidos de patente depositados e 498 patentes concedidas e ainda sob vigor. Ambas as universidades depositam seus pedidos unicamente em território chinês.

As evoluções de depósitos de ambas as universidades são ilustradas nas figuras 22a e 22b.



**Figura 22** - Evolução dos depósitos das principais universidades (a) Beijing Forestry University (BFU) (b) Central South University of Forestry Technology (CSUFT). Elaborado a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*

Em relação aos depósitos totais, é possível notar que ambas as instituições possuem um crescente número de depósitos a partir de 2007, que



se mantém crescente até 2016 para a BFU e atinge um pico em 2012 para a CSUFT, que então decresce e se mantém relativamente constante até 2016.

Para a tecnologia de bio-óleo de pirólise de biomassa, não é possível observar nenhuma tendência de depósitos para nenhuma das instituições. Nota-se que todos os pedidos da CSUFT foram depositados em um único ano e, na realidade, são direcionados a tecnologias de processo de pirólise para produção de combustível muito semelhantes, sendo a única diferença entre eles a origem da biomassa utilizada e alguns parâmetros como temperatura e pressão.

Assim, os pedidos de patente depositados pela CSUFT não foram considerados tecnicamente relevantes por consistirem essencialmente de uma única invenção com apenas alguns parâmetros variados.

Os pedidos da BFU não apresentam uma tendência específica de depósitos e são instáveis ao longo do tempo. Os assuntos técnicos abordados pelos pedidos desta instituição são apresentados na tabela 15.

**Tabela 15** - Famílias de patente sob titularidade de Beijing Forestry University divididas por assunto técnico. Elaborada a partir de dados obtidos na plataforma *PatSnap*.

<b>Assunto técnico</b>	<b>Documentos</b>	<b>% do portfólio</b>
Beneficiamento	5	29%
Equipamentos	3	18%
Catalisadores	7	41%
Combustível	10	59%
Produtos Químicos	7	41%

Dentre as empresas e instituições analisadas, é possível observar que a BFU possui o portfólio melhor distribuído entre os assuntos técnicos abordados e que os pedidos de patente são todos explícitos quanto à aplicação do bio-óleo produzido ou beneficiado nas tecnologias desenvolvidas. Em comparação com a CSUFT, nota-se que os pedidos da BFU possuem maior relevância técnica justamente por tem abordagens tecnológicas tão diversas.

Apesar de a maioria dos pedidos ser relacionada à aplicação energética, a BFU foi instituição de maior enfoque na produção de químicos,

englobando a produção de resinas e de misturas fenólicas e aromáticos, sendo a produção de algumas de ditas resinas auxiliadas pelo uso de catalisadores.

#### 4.2.7 ATIVIDADE PATENTÁRIA DE 2016 E PERSPECTIVAS FUTURAS

Conforme discutido anteriormente na sessão 4.2.1, referente à evolução temporal de depósitos dos documentos patentários, o ano de 2016 foi marcado por uma alteração na tendência de depósitos, aumentando de 39 depósitos em 2015 para 72 no ano seguinte. As análises realizadas nas sessões anteriores permitem que alguns pontos relevantes sejam levantados em relação aos depósitos do ano de 2016.

Primeiramente, é possível notar que a maior parte dos documentos depositados no último ano são pertencentes a depositantes chineses e coreanos, sendo estas as únicas regiões geográficas que demonstraram aumento no número de depósitos entre os anos de 2015 e 2016.

Os Estados Unidos, por outro lado, apesar de terem sido uma importante região para o desenvolvimento da tecnologia, têm demonstrado um decrescente interesse no bio-óleo de pirólise de biomassa, conforme visto pela evolução dos depósitos originados no país e pelos principais depositantes americanos encontrados.

Nesse sentido, é de se esperar que os desenvolvimentos futuros na tecnologia sejam impulsionados principalmente por depositantes asiáticos, como o grupo Shenwu, que demonstrou uma atividade patentária intensa no último ano analisado.

Em relação à quantidade de depósitos esperados nos próximos anos, o modelo logístico utilizado para previsão aponta que haverá uma redução nos depósitos nos próximos anos, tendo em vista que a tecnologia se encontra em fase de maturação.

É necessário ressaltar, entretanto, que tais previsões podem não se concretizar tendo em vista a mudança de tendência observada no ano de 2016. Considerando o súbito interesse de empresas como o grupo chinês Shenwu e a empresa coreana Daekyung Esco, que depositou 3 pedidos de patentes para a

tecnologia sob estudo em 2016, haveria uma possibilidade de aumento no número de depósitos nos próximos anos, o que iria contra a previsão do modelo logístico.

Cabe notar também que os depositantes chineses e coreanos, não só em 2016 como em todo o período de 15 anos estudado, tendem a concentrar suas atividades patentárias em território nacional, havendo pouca expansão para mercados internacionais.

Em relação à evolução dos assuntos técnicos abordados, é possível notar que um grande aumento nos pedidos relacionados a equipamentos e sistemas no ano de 2016, o que vai de encontro com as tecnologias desenvolvidas pelo grupo Shenwu e pela Dakeyung Esco, ambas relacionadas a tecnologias de equipamentos para incineração, combustão, pirólise e gaseificação, sendo as principais empresas depositantes no ano de 2016. Assim, se espera, considerando que ambas as empresas mantenham suas atividades de pesquisa e desenvolvimento na área, que mais pedidos referentes a equipamentos e sistemas de pirólise sejam desenvolvidos e aperfeiçoados.

As aplicações referentes a combustível e produtos químicos mantiveram tendências muito semelhantes desde o ano de 2012 até 2016, apesar de os combustíveis estarem em maior destaque. É possível esperar, nesse sentido, que ambas as aplicações continuem sendo foco de pesquisa nos próximos anos, não sendo possível inferir se haverá maior enfoque em uma das aplicações específicas.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo utilizou documentos de patente como indicadores tecnológicos para investigação dos desenvolvimentos realizados na produção, beneficiamento e aplicação do bio-óleo de pirólise de biomassa, focando as análises entre os anos de 2002 e 2016.

A estratégia de busca empregada retornou um total de 1244 pedidos de patente, agrupados em 471 famílias estendidas por meio dos documentos de prioridade associados a tais pedidos.

A análise da evolução temporal dos depósitos dos pedidos indicou que tecnologias relacionadas ao bio-óleo de pirólise, apesar de terem sido estudadas desde a década de 70, só começaram a ser de fato mais amplamente estudadas e desenvolvidas nos inícios dos anos 2000 juntamente com o aumento do preço bruto do petróleo nessa mesma época. Os depósitos de documentos patentários sofreram redução a partir de 2013, mas voltaram a crescer em 2016.

A análise da curva em S da tecnologia e a utilização do ajuste logístico demonstrou que a tecnologia entrou recentemente na sua fase de maturação, caracterizada pela progressiva redução nos depósitos de pedidos de patente e necessidade de maior despendimento financeiro para obter os mesmos avanços em pesquisa e desenvolvimento obtidos, por exemplo, na fase de crescimento. Nesse sentido, seria esperada uma redução na quantidade de depósito nos próximos anos, apesar da atividade patentária do ano de 2016 apontar o oposto. Além disso, o modelo prevê que a tecnologia irá atingir a saturação em torno do ano de 2023.

Ao se avaliar a origem geográfica dos documentos encontrados, foi possível notar uma participação majoritária da China e dos Estados Unidos ao longo dos últimos quinze anos, sendo ambos responsáveis pelo pulso de crescimento de depósitos observados a partir do ano de 2007.

Diferentemente dos Estados Unidos que, nos últimos anos têm reduzido seus depósitos para a tecnologia sob estudo, foi observado que a China

manteve seu interesse na tecnologia, com um grande aumento de depósitos no ano de 2016, sendo estes depósitos concentrados apenas em território chinês. Foi possível notar também uma importante contribuição de depositantes coreanos ao longo dos quinze últimos anos e principalmente no ano de 2016.

Foi também demonstrado que a análise dos pedidos por IPC não foi satisfatória para que os assuntos técnicos abordados pudessem ser avaliados. Assim, foram elaboradas classificações próprias a partir da análise dos títulos e resumos dos pedidos, a partir da qual foram levantadas palavras-chave referentes a cada um dos assuntos técnicos encontrados.

Dentre os quatro assuntos encontrados, foi possível notar um maior destaque para o desenvolvimento de processos de beneficiamento do bio-óleo de pirólise, os quais englobam também processos de pré-tratamento de biomassa. Foi possível notar, ainda, um grande destaque para o desenvolvimento de equipamentos e sistemas específicos para realização de pirólise e desenvolvimento e uso de catalisadores, sendo os equipamentos e sistemas o assunto de maior importância no último ano avaliado no presente estudo.

O presente estudo também avaliou as possíveis aplicações pretendidas para o bio-óleo de pirólise por meio de dois grandes grupos: combustíveis e produtos químicos. No geral, os produtos químicos foram majoritariamente relacionados à produção de resinas fenólicas, adesivos, solventes orgânicos e produtos aromáticos como benzeno, tolueno e xileno.

Ainda em relação às aplicações, foi possível notar que os desenvolvimentos iniciais para o bio-óleo de pirólise de biomassa estavam majoritariamente focados na produção de biocombustíveis, que foi decaindo com o decorrer do tempo e dando maior espaço para o desenvolvimento de produtos químicos. Nos anos mais recentes, foi possível notar que ambas as aplicações possuem importância tecnológica e seguem tendências de desenvolvimento semelhantes.

As sugestões para trabalhos futuros seriam um estudo mais aprofundado das tecnologias propostas nas patentes mais recentes para o

melhor entendimento do potencial das novas atividades patentárias, e se tais invenções estariam de fato sendo aplicadas a nível industrial. Além disso, poderia ser utilizada, em conjunto com a análise de documentos de patentes, buscas em bases de dados de artigos científicos para um maior enriquecimento dos resultados obtidos, além de um estudo voltado para desenvolvimento da tecnologia de bio-óleo de pirólise de biomassa especificamente no cenário brasileiro. Por fim, demais tecnologias de conversão térmica de biomassa poderiam ser avaliadas, como a gaseificação e liquefação hidrotérmica, para que assim fosse analisada qual destas seria a mais promissora para o aproveitamento de fontes renováveis de carbono.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, Paul e colab. **Biomass Conversion Technologies**. [S.l.]: Elsevier Inc., 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101036-5.00008-2>>.

AKELLA, A. K. e SAINI, R. P. e SHARMA, M. P. **Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems**. *Renewable Energy*, v. 34, n. 2, p. 390–396, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.002>>.

ANDERSEN, Birgitte. **The hunt for S-shaped growth paths in technological innovation: A patent study**. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 9, n. 4, p. 487–526, 1999.

ARCHIBUGI, Daniele. **Patenting as an indicator of technological innovation: A review**. *Science and Public Policy*, v. 19, n. 6, p. 357–368, 1992.

B. WILLIAMS, R e M. JENKINS, B e NGUYEN, D. **Solid Waste Conversion: A review and database of current and emerging technologies - Final Report**. . Davis, CA: [s.n.], 2003.

BAIRD, Lance A. e BANDVOLD, Timothy A. **METHODS AND APPARATUSES FOR DEOXYGENATING BIOMASS-DERIVED PYROLYSIS OIL**. . United Stated of America: [s.n.], 2012

BAIRD, Lance A. e PHAM, Trung. **PROCESSES FOR PRODUCING AROMATIC HYDROCARBONS FROM A PYROLYSIS OIL**. . United States of America: [s.n.], 2015

BARTEK, Robert e BRADY, Michael e STAMIREN, Dennis. **BIOMASS PRETREATMENT FOR FAST PYROLYSIS TO LIQUIDS**. . United States of America: [s.n.], 2011

BBC. **Oil hits \$100 barrel**. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/7083015.stm>>. Acesso em: 2 jul 2018a.

BBC. **Oil price “may hit \$200 a barrel”**. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/7387203.stm>>. Acesso em: 2 jul 2018b.

BEIJING FORESTRY UNIVERSITY. **Beijing Forestry University**. Disponível em: <<http://www.bjfu.edu.cn/english/1009.htm>>. Acesso em: 22 jul 2018.

BENNETT, Nicole M. e HELLE, Steve S. e DUFF, Sheldon J B. **Extraction and hydrolysis of levoglucosan from pyrolysis oil**. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 23, p. 6059–6063, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.067>>.

BERTERO, Melisa e PUENTE, Gabriela De e SEDRAN, Ulises. **Fuels from bio-oils : Bio-oil production from different residual sources , characterization and thermal conditioning**. *Fuel*, v. 95, p. 263–271, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.041>>.

BETTENCOURT, Luís M.A. e TRANCIK, Jessika E. e KAUR, Jasleen. **Determinants of the Pace of Global Innovation in Energy Technologies**. *PLoS ONE*, v. 8, n. 10, 2013.

BLOOMBERG. **KiOR, Inc.: Private Company Information - Bloomberg**. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapId=39769476>>. Acesso em: 14 jul 2018a.

BLOOMBERG. **UOP LLC: Private Company Information - Bloomberg**. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapId=1025481>>. Acesso em: 14 jul 2018b.

BODENHAUSEN, G. H. C. **Guide to the Application of the Paris Convention for the Protection of Industrial Property, as Revised at Stockholm in 1967**. [S.l: s.n.], 1968. Disponível em: <<https://books.google.com/books?id=EDfulot5rxQC&pgis=1>>.

BOLDOR, Dorin e HAYES, Daniel. **CATALYSTS USEFUL FOR BIOMASS PYROLYSIS AND BIO-OIL UPGRADING**. . [S.l: s.n.]. , 2014

BP. **BP Statistical Review of World Energy 2017**. British Petroleum, n. 66, p. 1–52, 2017. Disponível em: <



economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf%0Ahttp://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statisti>.

BRANDO BEZERRA DE ALMEIDA, Marlon. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gásóleo em craqueamento catalítico**. 2008. 149 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2008.

BRIDGWATER, A.V. **LIFE CYCLE AND TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF THE NORTHEAST BIOMASS TO LIQUIDS PROJECT**. . [S.l: s.n.], 2009.

BRIDGWATER, Tony. **Challenges and Opportunities in Fast Pyrolysis of Biomass: Part I**. Johnson Matthey Technology Review, v. 62, n. 1, p. 118–130, 2018. Disponível em:

<<http://www.ingentaconnect.com/content/10.1595/205651318X696693>>.

BRIDGWATER, A V. **Catalysis in thermal biomass conversion**. Applied Catalysis, v. 116, p. 5–47, 1994.

BRIDGWATER, Anthony V. Upgrading Fast Pyrolysis Liquids. C. BROWN, R. (Org.). . Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels, Chemicals and Power. [S.l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2011. p. 157–199.

CAPENER, E. L. e LOW, J. M. **METHOD AND APPARATUS FOR CONVERTING SOLID ORGANIC MATERIAL TO FUEL OIL AND GAS**. . United States of America: [s.n.]. , 1977

CASTELLO, D e ROSENDAHL, L. Coprocessing of pyrolysis oil in refineries. ROSENDAHL, L. (Org.). . Direct Thermochemical Liquefaction for Energy Applications. [S.l.]: Woodhead Publishing Series in Energy, 2018. p. 293–317.

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGY. **Central South University of Forestry and Technology**. Disponível em: <[http://english.csuft.edu.cn/xxkk\\_461/xxjj/201006/t20100629\\_17512.html](http://english.csuft.edu.cn/xxkk_461/xxjj/201006/t20100629_17512.html)>. Acesso em: 22 jul 2018.

CGEE. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Disponível em:

<[http://www.cgee.org.br/prospeccao/index.php?operacao=Exibireserv=textos/topicos/tex%0Ato\\_exibetto\\_id=4etex\\_id=1](http://www.cgee.org.br/prospeccao/index.php?operacao=Exibireserv=textos/topicos/tex%0Ato_exibetto_id=4etex_id=1)>. Acesso em: 20 ago 2005.

CHAN, F. e colab. **Performance of Pyrolysis Oil-Based Wood Adhesives in OSB**. Composites and Manufactured Products, p. 31–38, 2002.

CHANG, Chih Chiang e colab. **Fast pyrolysis of biomass in pyrolysis gas: Fractionation of pyrolysis vapors using a spray of bio-oil**. Energy and Fuels, v. 26, n. 5, p. 2962–2967, 2012.

CHIU, Yu-jing e YING, Tao-ming. **A Novel Method for Technology Forecasting and Developing R & D Strategy of Building Integrated Photovoltaic Technology Industry**. v. 2012, 2012.

CHRISTIAN, Dudley G. **Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals**. Journal of Environment Quality, v. 29, n. 2, p. 662, 2000.

Disponível em:

<<https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/29/2/JEQ0290020662b>>.

CHUM, Helena e colab. **Biomass Pyrolysis Oil Feedstocks for Phenolic Adhesives**. Adhesives from Renewable Resources, p. 135–151, 1989.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/bk-1989-0385.ch011>>.

CNN. **Missile tension sends oil surging**. Disponível em:

<<http://edition.cnn.com/2006/BUSINESS/07/05/oil.price/index.html>>. Acesso em: 2 jul 2018.

COELHO, Gm. **Prospecção Tecnológica: Metodologias e Experiências Nacionais e Internacionais**. Projeto CTPetro Tendências Tecnológicas, p. 105, 2003.

CORTEZ, LUÍZ AUGUSTO BARBOSA e LORA, ELECTO EDUARDO SILVA e GÓMES, EDGARDO OLIVARES. **Biomassa para energia**. Editora Unicamp, p. 1–29, 2008.

CZERNIK, S. e BRIDGWATER, Anthony V. **Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil**. Energy and Fuels, v. 18, n. 2, p. 590–598, 2004.

CZERNIK, Stefan e K. JOHNSON, David e BLACK, Stewart. **Stability of Wood**

**Fast Pyrolysis Oil.** Biomass and Bioenergy, v. 7, n. 1–6, p. 187–192, 1994.

DAIHA, Karina de Godoy. **Estudo da Aplicação Industrial de Lipases por Meio de Métodos de Análise Tecnológica Orientada para o Futuro.** 2015. 108 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

DEMIRBAS, A. **Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass.** v. 41, p. 633–646, 2000.

DEMIRBAS, Ayhan. **Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals.** Energy Conversion and Management, v. 42, p. 1357–1378, 2001.

DEUBLEIN, Dieter e STEINHAUSER, Angelika. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction.** [S.l.]: Wiley-VHC, 2008.

DITSCH, Andre. **BIOMASS PYROLYSIS CONVERSION PROCESS WITH HIGH OLEFIN PRODUCTION AND UPGRADE.** . United States of America: [s.n.] , 2011

DOS SANTOS, Márcia Ribeiro Fernandes. **Elaboração Do Technology Roadmap Para Biorrefinaria De Produtos Da Lignina No Brasil.** 2011. 307 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

ELLIOTT, D.C. **Analysis and Comparison of Biomass Pyrolysis - Gasification Condensates - Final Report.** . Richland, Washington: [s.n.], 1986.

ELLIOTT, Douglas C. **Water, alkali and char in flash pyrolysis oils.** Biomass and Bioenergy, v. 7, n. 1–6, p. 179–185, 1994.

ERNST, H. **The Use of Patent Data for Technological Forecasting : The Diffusion of CNC-Technology in the Machine Tool Industry.** p. 361–381, 1997.

EUROPEAN PATENT OFFICE. **International Patent Classification (IPC) system.** Disponível em:

<[https://worldwide.espacenet.com/help?locale=en\\_EP&method=handleHelpTopic&topic=ipc](https://worldwide.espacenet.com/help?locale=en_EP&method=handleHelpTopic&topic=ipc)>. Acesso em: 7 jul 2018.

EUROPEAN PATENT OFFICE. **Patent families at the EPO**. n. July, 2017.

FALKNER, Robert. **The Paris Agreement and the new logic of international climate politics**; *International Affairs*, v. 92, n. 5, p. 1107–1125, 2016.

Disponível em:

<[https://watermark.silverchair.com/inta12708.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW\\_Ercy7Dm3ZL\\_9Cf3qfKAc485ysgAAAcAwggG8BqkqhkiG9w0BBwaggGtMIIBqQIBADCCAaIGCSqGSIb3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMM-EXgpLHiDx3cr\\_7AgEQgIBczSaQ7VcFqmWB526TZOUqSJbUMFRzTddisAN6lNYvVkqT](https://watermark.silverchair.com/inta12708.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAcAwggG8BqkqhkiG9w0BBwaggGtMIIBqQIBADCCAaIGCSqGSIb3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMM-EXgpLHiDx3cr_7AgEQgIBczSaQ7VcFqmWB526TZOUqSJbUMFRzTddisAN6lNYvVkqT)>.

FENG, Yongshun e MEIER, Dietrich. **Extraction of value-added chemicals from pyrolysis liquids with supercritical carbon dioxide**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 113, p. 174–185, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2014.12.009>>.

FOUQUET, Roger. **The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service**. *Energy Policy*, v. 38, n. 11, p. 6586–6596, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.029>>.

FRENCH, Richard J. e colab. **Hydrotreating the Organic Fraction of Biomass Pyrolysis Oil to a Refinery Intermediate**. *Energy & Fuels*, v. 29, n. 12, p. 7985–7992, 2015. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.5b01440>>.

GUO, Mingxin e SONG, Weiping e BUHAIN, Jeremy. **Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, p. 712–725, 2015.

HEERES, André e colab. **Synthesis of Bio-aromatics from Black Liquors Using Catalytic Pyrolysis**. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, v. 6, n. 3, p. 3472–3480, 2018.

HONEYWELL ENVERGENT TECHNOLOGIES. **About Us | Honeywell Envergent Technologies**. Disponível em: <<https://www.envergenttech.com/about-us/>>. Acesso em: 14 jul 2018.

HONEYWELL UOP. **About Us | Honeywell UOP**. Disponível em: <<https://www.uop.com/about-us/>>. Acesso em: 14 jul 2018.

HU, Zhiquan e colab. **Bio-oil production through pyrolysis of blue-green algae blooms (BGAB): Product distribution and bio-oil characterization**. *Energy*, v. 52, p. 119–125, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.059>>.

HUBER, George W e CORMA, Avelino. **Synergies between Bio- and Oil Refineries for the Production of Fuels from Biomass Angewandte**. p. 7184–7201, 2007.

IBARRA, Álvaro e colab. **Dual coke deactivation pathways during the catalytic cracking of raw bio-oil and vacuum gasoil in FCC conditions**. Elsevier B.V., 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.09.044>>.

INTEPE, Gizem e KOC, Tufan. **The Use of S Curves in Technology Forecasting and its Application On 3D TV Technology**. v. 6, n. 11, p. 2491–2495, 2012.

ISLAM, Mohammad Nurul e colab. **Pyrolytic oil from fixed bed pyrolysis of municipal solid waste and its characterization**. *Renewable Energy*, v. 30, n. 3, p. 413–420, 2005.

KAR, T e KELES, S. **Environmental impacts of biomass combustion for heating and electricity generation**. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, v. 5, n. December, p. 458–465, 2016.

KLOEKHORST, Arjan e WILDSCHUT, Jelle e HEERES, Hero Jan. **Catalytic hydrotreatment of pyrolytic lignins to give alkylphenolics and aromatics using a supported Ru catalyst**. *Catal. Sci. Technol.*, v. 4, n. 8, p. 2367–2377, 2014. Disponível em: <<http://xlink.rsc.org/?DOI=C4CY00242C>>.

L. KLASS, Donald. *Energy Consumption, Reserves, Depletion, and Environmental Issues. Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals*. [S.l.]: Academic Press, 1998a. p. 1–27.

L. KLASS, Donald. Photosynthesis of Biomass and Its Properties. Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals. [S.l.]: Academic Press, 1998b. p. 51–90.

LANE, Jim. **KiOR: The inside true story of a company gone wrong**. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/05/17/kior-the-inside-true-story-of-a-company-gone-wrong/>>. Acesso em: 14 jul 2018.

LI, Qi e ZHANG, Yanan e HU, Guiping. **Techno-economic analysis of advanced biofuel production based on bio-oil gasification**. Bioresource Technology, v. 191, p. 88–96, 2015.

LIANG, Lingyum e colab. **Liquefaction of Crop Residues for Polypol Production**. BioResources, v. 1, p. 1–9, 2006.

LIU, John S e colab. **Solar Energy Materials & Solar Cells Photovoltaic technology development : A perspective from patent growth analysis**. Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 95, n. 11, p. 3130–3136, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2011.07.002>>.

LONGLEY, Cindy J. e FUNG, David P. C. **Potential Applications and Markets for Biomass-Derived Levoglucosan**. Advances in Thermochemical Biomass Conversion, p. 1484–1494, 1993. Disponível em: <[http://link.springer.com/10.1007/978-94-011-1336-6\\_120](http://link.springer.com/10.1007/978-94-011-1336-6_120)>.

MACEDO, Maria Fernanda e BARBOSA, A. Figueira. **Patentes , pesquisa e desenvolvimento: um manual de propriedade intelectual**. [S.l.: s.n.], 2000.

MALDAS, D. e SHIRAISHI, N. **Liquefaction of Biomass in the Presence of Phenol and H<sub>2</sub>O Using Alkalies and Salts as the Catalyst**. Biomass and Energy, v. 12, p. 273–279, 1997.

MARGOLIS, R. M. **Underinvestment: The Energy Technology and R&D Policy Challenge**. Science, v. 285, n. 5428, p. 690–692, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.285.5428.690>>.

MCKENDRY, Peter. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass**. Bioresource Technol, v. 83, n. 1, p. 37–46, 2002. Disponível em:

<[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)>.

MEIER, Dietrich. *Pyrolysis Oil Biorefinery*. *Advances in biochemical engineering/biotechnology*. Berlin: Springer, 2017. v. 123. p. 1–37.

MEYER, Perrin S. e YUNG, Jason W. e AUSUBEL, Jesse H. **A Primer on Logistic Growth and Substitution**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 61, n. 3, p. 247–271, 1999.

MOHAN, Dinesh e PITTMAN, Charles U e STEELE, Philip H. **Pyrolysis of Wood / Biomass for Bio-oil : A Critical Review**. *Energy & Fuesl*, v. 20, n. 4, p. 848–889, 2006. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef0502397>>.

MUN, Sung-Phil e MOHAMED HASSAN, El-barbary. **Liquefaction of Lignocellulosic Biomass with Mixtures of Ethanol and Small Amounts of Phenol in the Presence of Methanesulfonic Acid Catalyst**. *J. Ind. Eng. Chem.*, v. 10, p. 722–727, 2004.

NAGAOKA, Sadao e MOTOHASHI, Kazuyuki e GOTO, Akira. **Patent statistics as an innovation indicator**. 1. ed. [S.l.]: Elsevier B.V., 2010. v. 2. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02009-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02009-5)>.

NAIK, Satyanarayan e colab. **Supercritical CO<sub>2</sub> fractionation of bio-oil produced from wheat-hemlock biomass**. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 19, p. 7605–7613, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.024>>.

OASMAA, Anja e CZERNIK, Stefan. **Fuel Oil Quality of Biomass Pyrolysis Oils s State of the Art for the End Users**. p. 914–921, 1999.

OASMAA, Anja e LEVANDER, Johanna e TAPOLA, Eija. **Physical characterisation of biomass-based pyrolysis liquids Application of standard fuel oil analyses**. . [S.l.: s.n.], 1997.

OECD. **Manual de Oslo: Diretrizes para a Coleta e Interpretação de dados sobre Inovação Tecnológica**. OCDE, Eurostat e Financiadora de Estudos e Projetos, p. 184, 1997. Disponível em: <<http://www.oecd-ilibrary.org/science->

and-technology/manual-de-oslo\_9789264065659-es>.

OLIVEIRA, Sabrina Dias De. **Análise da Produção do Ácido Succínico a Partir de Fontes Renováveis : Perspectivas e Desafios**. 2014. 241 f.

Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

PATEL, Madhumita e ZHANG, Xiaolei e KUMAR, Amit. **Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies : A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 53, p. 1486–1499, 2016. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.070>>.

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.070>>.

PATSNAP. **PatSnap platform upgrade: smarter decisions with extended families & standard-essential patents**. Disponível em:

<<https://blog.patsnap.com/extended-families-standard-essential-patents-upgrade>>. Acesso em: 1 jul 2018.

PATWARDHAN, Pushkaraj Ramchandra. **Understanding the product distribution from biomass fast pyrolysis**. p. 153, 2010.

PEACOCKE, G. V.C. e colab. **Physical properties of flash pyrolysis liquids**. *Biomass and Bioenergy*, v. 7, n. 1–6, p. 169–177, 1994.

PISKORZ, J e SCOTT, D S e RADLEIN, D. **Composition of Oils Obtained by Fast Pyrolysis of Different Woods**. {ACS} Symposium Series, p. 167–178, 1988.

PORTER, Alan L. e colab. **Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 71, n. 3, p. 287–303, 2004.

PORTUGAL-PEREIRA, Joana e colab. **Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil**. *Biomass and Bioenergy*, v. 81, n. April, p. 521–533, 2015.

R. SHADDIX, Christopher e R. HARDESTY, Donald. **Combustion Properties of Biomass Flash Pyrolysis Oils : Final Project Report**. . Livermore, California: [s.n.], 1999.



RAY, Ajan e BENERJEE, Soumendra M. **USE OF SURFACTANTS FOR BLENDS OF BIOMASS-DERIVED PYROLYSIS OIL WITH LIPIDS**. . United States of America: [s.n.], 2012

REZAIYAN, John e P. CHEREMISINOFF, Nicholas. **Gasification Technologies: A Primer for Engineers and Scientists**. [S.l.]: CRC Press, 2005.

ROPER, A. L. e colab. **FORECASTING AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGY**. 2nd. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.

ROUT, P. K. e colab. **Supercritical CO<sub>2</sub> fractionation of bio-oil produced from mixed biomass of wheat and wood sawdust**. Energy and Fuels, v. 23, n. 12, p. 6181–6188, 2009.

S. TORRENS, Hugh. **A Study of “Failure” with a “Successful Innovation”:** **Joseph Day and the Two-Stroke Internal-Combustion Engine**. Social Studies of Science, v. 1, n. 3, p. 245–262, 1992.

SCHENA, Tiago. **Pirólise da fibra da casca de coco : caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoramento**. 2015. 173 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2015.

SETTE, Marco e WECHSELBERGER, Rainer e CRESTINI, Claudia. **Elucidation of Lignin Structure by Quantitative 2D NMR**. p. 9529–9535, 2011.

SHENWU TECHNOLOGY GROUP CORP CO., Ltd. **Shenwu Group achieved the glory of ‘brands with the most attention in Zhongguancun in 2016’**.

Disponível em:

<[http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=news&act=view&column\\_id=65&id=624](http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=news&act=view&column_id=65&id=624)>. Acesso em: 16 jul 2018a.

SHENWU TECHNOLOGY GROUP CORP CO., Ltd. **SYET signs agreement on 1000 t/d biomass pyrolysis project**. Disponível em:

<[http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=news&act=view&column\\_id=65&id=691](http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=news&act=view&column_id=65&id=691)>. Acesso em: 16 jul 2018b.

SHENWU TECHNOLOGY GROUP CORP CO. LTD. **Shenwu Technology Group Corp Co., Ltd.** Disponível em:

<[http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=article&act=index&column\\_id=57](http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=article&act=index&column_id=57)>. Acesso em: 15 jul 2018.

SIPILÄ, Kai e colab. **Characterization of biomass-based flash pyrolysis oils.** *Biomass and Bioenergy*, v. 14, n. 2, p. 103–113, 1998. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140670199924232>>.

SKOGBERG, Dave. Levoglucosenone and Levoglucosans, Chemistry and Application . **Frontiers in Biomedicine and Biotechnology, Vol. 2, Edited by Zbigniew J. Witczak (University of Connecticut, Storrs, Connecticut), ATL Press Inc. 1994, iv+ 224 pp. \$125.00 ISBN 1-88236.** *Journal of Carbohydrate Chemistry*, v. 15, n. 2, p. 255–256, 1996. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07328309608005443>>.

SOLOMON, Barry D. e KRISHNA, Karthik. **The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook.** *Energy Policy*, v. 39, n. 11, p. 7422–7431, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.009>>.

SUKHBAATAR, Badamkhand e STEELE, Philip H. e KIM, Moon G. **Use of lignin separated from bio-oil in oriented strand board binder phenol-formaldehyde resins.** *BioResources*, v. 4, n. 2, p. 789–804, 2009.

SZE, M. C. e BENNET, T. M. e UNGER, H. **FEEDSTOCK TREATMENT.** . Canada: [s.n.]. , 1979

TOFT, Andrew Jonathan. **A Comparison of Integrated Biomass to Electrocooty Systems.** 1996. 430 f. Aston University, 1996.

TOIVANEN, Hannes e NOVOTNY, Michael. **The emergence of patent races in lignocellulosic biofuels, 2002–2015.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 77, n. March, p. 318–326, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.089>>.

TUMBALAM GOOTY, Akhil e colab. **Fractional condensation of bio-oil vapors produced from birch bark pyrolysis.** *Separation and Purification*

Technology, v. 124, n. November 2015, p. 81–88, 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1383586614000100>>.

VIJVERS, W G e BOX, P e WEESP, D A. **The International Patent Classification as a Search Tool**. World Patent Information, v. 12, n. 1, p. 26–30, 1990.

VITASARI, Caecilia R. e MEINDERSMA, Geert W. e DE HAAN, André B. **Glycolaldehyde co-extraction during the reactive extraction of acetic acid with tri-n-octylamine/2-ethyl-1-hexanol from a wood-based pyrolysis oil-derived aqueous phase**. Separation and Purification Technology, v. 95, p. 39–43, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2012.04.016>>.

WANG, Chen-yuan Liu Æ Jhen-cheng. **Forecasting the development of the biped robot walking technique in Japan through S-curve model analysis**. n. 152, p. 21–36, 2010.

WEI, Yi e colab. **Liquid-liquid extraction of biomass pyrolysis bio-oil**. Energy and Fuels, v. 28, n. 2, p. 1207–1212, 2014.

WESTERHOF, Roel J.M. e colab. **Fractional condensation of biomass pyrolysis vapors**. Energy and Fuels, v. 25, n. 4, p. 1817–1829, 2011.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION (WIPO). **Guide to the International Patent Classification**. . [S.l: s.n.], 2018. Disponível em: <[http://www.wipo.int/export/sites/www/classifications/ipc/en/guide/guide\\_ipc.pdf](http://www.wipo.int/export/sites/www/classifications/ipc/en/guide/guide_ipc.pdf)>.

YAMAN, Serdar. **Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks**. Energy Conversion and Management, v. 45, n. 5, p. 651–671, 2004.

YILDIZ, Güray e colab. **Challenges in the design and operation of processes for catalytic fast pyrolysis of woody biomass**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 57, p. 1596–1610, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.202>>.

ZARTHA, J W. **S - Curve analysis and technology life cycle . Application in**

**series of data of articles and patents.** n. March, 2016.

ZHANG, Linghong e CHARLES, Chunbao e CHAMPAGNE, Pascale. **Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass.** Energy Conversion and Management, v. 51, n. 5, p. 969–982, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2009.11.038>>.

ZHENG, Ji-lu e colab. **Gasification of bio-oil : Effects of equivalence ratio and gasifying agents on product distribution and gasification efficiency.** BIORESOURCE TECHNOLOGY, v. 211, p. 164–172, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.088>>.

ZHENG, Ji L. e KONG, Yong Ping. **Spray combustion properties of fast pyrolysis bio-oil produced from rice husk.** Energy Conversion and Management, v. 51, n. 1, p. 182–188, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2009.09.010>>.

ZHONG, Chongli e WEI, Xiaomin. **A comparative experimental study on the liquefaction of wood.** v. 29, p. 1731–1741, 2004.