UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

Análise das Iniciativas Empresariais Voltadas ao Aproveitamento da Lignina como Matéria-Prima

Dissertação de Mestrado

Juliana Pereira Targueta

Rio de Janeiro
Abril de 2019

Análise das Iniciativas Empresariais Voltadas ao Aproveitamento da Lignina como Matéria-Prima

Juliana Pereira Targueta

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

.

Orientadora:

Flávia Chaves Alves

Rio de Janeiro

15 de Abril de 2019

T185a

Targueta, Juliana Pereira
Análise das iniciativas empresariais voltadas ao aproveitamento da lignina como matéria-prima / Juliana Pereira Targueta. -- Rio de Janeiro, 2019.
144 f.

Orientadora: Flávia Chaves Alves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2019.

1. Bioeconomia. 2. Biomassa. 3. Lignina. 4. Matéria-prima renovável. I. Alves, Flávia Chaves, orient. II. Título.

Análise das Iniciativas Empresariais Voltadas ao Aproveitamento da Lignina como Matéria-Prima

Juliana Pereira Targueta

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientada por:

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Aprovada por:

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Ana Mehl, D.Sc.

Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Rio de Janeiro

Abril de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ser o meu alicerce, por ter me sustentado no decorrer de todo esse período e por ter me capacitado a desenvolver esse trabalho.

Aos meus pais, Nilda da Silva Pereira e Edis de Macedo Targueta, agradeço pelo cuidado, carinho e por todo investimento em meus estudos ao longo da vida.

Agradeço à minha orientadora, Flávia Chaves Alves pelos conhecimentos compartilhados, por toda atenção, paciência e pelo trabalho ético que desenvolve.

Ao professor José Vitor Bomtempo, agradeço pelos ensinamentos e discussões compartilhados na disciplina de Economia das matérias-primas renováveis ministrada juntamente com a professora Flávia.

Agradeço a FAPERJ pela concessão da bolsa de incentivo à pesquisa.

Agradeço a Escola de Química por proporcionar um programa de pós-graduação de qualidade e pela divulgação e contribuição para a conquista da bolsa FAPERJ.

Por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

Nele estão escondidos todos os tesouros
da sabedoria e do conhecimento

Colossenses 2.3

RESUMO

Atualmente, existe grande perspectiva no aumento do uso de matérias-primas renováveis em substituição às fontes fósseis. Dentre os diversos tipos de biomassa, a lignina, segunda matéria orgânica mais abundante no planeta, desponta como uma matéria-prima de grande potencial para a bioeconomia, devido a sua disponibilidade e por ser uma rica fonte de carbono. A lignina é obtida como um resíduo do processamento de materiais lignocelulósicos para a obtenção das frações de celulose e hemicelulose, em indústrias de papel e celulose e biocombustíveis. Assim, torna-se relevante compreender a dinâmica atual do aproveitamento da lignina como matéria-prima renovável, em relação às tecnologias utilizadas, produtos almejados e formas de estruturação das iniciativas. Portanto, esse trabalho tem o propósito de mapear os projetos que visam o aproveitamento da lignina como matéria-prima de forma a analisar tanto a dinâmica atual destas iniciativas quanto as perspectivas futuras no uso da lignina. Neste sentido, utilizou-se quatro dimensões de análise, referentes aos aspectos relacionados à matéria-prima, tecnologia, produtos e modelos de negócio. A pesquisa consistiu na construção de um banco de dados com as iniciativas empresariais relacionadas à lignina, veiculadas na mídia especializada entre janeiro de 2011 e maio de 2018. Os resultados obtidos mostram que cerca de 40% dos projetos identificados encontram-se com *status* ativo, e possuem a lignina e seus derivados como alvo principal. A análise de tais projetos mostra que as relações de parcerias estão presentes em 81% deles. Observa-se também que 35% das empresas líderes são *start ups* de base tecnológica e 28% são estabelecidas relacionadas aos setores de papel, celulose, embalagens e fibras de madeira. A principal fonte de lignina presente nas iniciativas é a biomassa florestal, o que permite inferir que os geradores de resíduos lignocelulósicos são de grande importância para o avanço no aproveitamento da lignina e estruturação dos negócios. No que tange à tecnologia, a catálise química predomina como rota de conversão, com pouca participação de processos biotecnológicos. Existe uma grande abertura no que diz respeito aos produtos almejados, sendo os mais citados os aromáticos, aditivos e dispersantes além das resinas. Observa-se que a maioria das iniciativas ainda estão em escala de bancada ou piloto, o que sugere que, apesar da euforia a respeito do aproveitamento da lignina para geração de uma ampla gama de produtos, essas iniciativas ainda apresentam um baixo grau de maturidade, necessitando de grandes esforços tecnológicos e de estruturação dos negócios para avançar na bioeconomia.

Palavras-chave: bioeconomia, biomassa, lignina, matéria-prima renovável.

ABSTRACT

Currently, there is a great perspective in increasing the use of renewable raw materials to substitute fossil derivatives. Among the different types of biomass, lignin, the second most abundant organic material on planet, emerges as a raw material of great potential for the bioeconomy, due to its availability and because it is a rich source of carbon. Lignin is obtained as a residue from the processing of lignocellulosic materials for the acquisition of cellulose and hemicellulose in pulp and paper and biofuel industries. Thus, it is relevant to understand the current dynamic in the use of lignin as a renewable raw material, in relation to the technologies used, products sought and ways of structuring the initiatives. Therefore, this work has the purpose of mapping projects that aim the utilization of lignin as a renewable raw material to analyze both the current dynamics of these initiatives and future perspectives in the use of lignin. In this sense, four dimensions of analysis were used, referring to the aspects related to raw material, technology, products and business models. The research consisted in the construction of a database with business initiatives related to lignin, published in the specialized media between January 2011 and May 2018. The results obtained show that about 40% of the projects identified have active status and lignin and its derivatives as the main target. The analysis of such projects shows that partnerships are present in 81% of them. It is also observed that 35% of the lead companies are technology-based start-up and 28% are established related to paper, pulp, packaging and wood fibers sectors. The main source of lignin present in the initiatives is forest biomass, which allows inferring that the lignocellulosic residues generators have great importance for the advancement in lignin utilization and business structuring. With regard to technology, chemical catalysis predominates as a conversion route and there is a little participation of biotechnological processes. There is a great opening with regard to the desired products; the most cited are aromatics, additives and dispersants besides resins. It is observed that the majority of the initiatives are still in bench scale or pilot scale, which suggests that despite the euphoria regarding the use of lignin to generate a wide range of products, these initiatives still present a low degree of maturity, requiring great technological and business structuring efforts to advance in the bioeconomy.

Keywords: bioeconomy, biomass, lignin, renewable raw material.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Dimensões-chave da bioeconomia 29
Figura 2.2 - Representação esquemática da biomassa lignocelulósica 31
Figura 2.3 - Monolignóis constituintes da lignina 33
Figura 2.4 - Possível estrutura para a lignina nativa 34
Figura 2.5 - Mercado potencial para os derivados da lignina (sem data) 40
Figura 3.1 - Fluxograma desenvolvido para a metodologia 42
Figura 3.2 - Dimensões de análise consideradas na base de dados do Excel 44
Figura 3.3 - Esquema da abordagem utilizada para a verificação e seleção das notícias 46
Figura 4.1 - Publicação de notícias relacionadas à lignina 2011-2018 52
Figura 4.2 - Projetos identificados relacionados à lignina 54
Figura 4.3 - Região de origem da organização líder 55
Figura 4.4 - Número de organizações envolvidas nos projetos 58
Figura 4.5 - Acordos de parceria estabelecidos entre as organizações 59
Figura 4.6 - Pré-tratamento empregado nos projetos para aproveitamento da lignina 64
Figura 4.7 - Rotas tecnológicas aplicadas para conversão da lignina 65
Figura 4.8 - Escala em que se encontram os projetos para aproveitamento da lignina 68
Figura 4.9 - Produto principal derivado da lignina 69
Figura 4.10 - Classificação das categorias e quantidade de produtos segundo sua natureza ... 72
Figura 5.1 - Publicação de notícias com foco no aproveitamento da lignina 2011-2018 78
Figura 5.2 - Projetos relacionados ao aproveitamento da lignina como foco principal e *status* ativo 78
Figura 5.3 - Região de origem da organização líder com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 79
Figura 5.4 - Número de organizações envolvidas nos projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 83
Figura 5.5 - Acordos de parceria estabelecidos entre as organizações com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 84
Figura 5.6 - Pré-tratamento empregado nos projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 88
Figura 5.7 - Rotas tecnológicas aplicadas para conversão da lignina com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 89

Figura 5.8 - Escala em que se encontram os projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 91
Figura 5.9 - Produto principal derivado da lignina para projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 92
Figura 5.10 - Classificação das categorias e quantidade de produtos segundo sua natureza para projetos ativos com foco na lignina 96

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Polímeros constituintes de biomassas lignocelulósicas.....32
Tabela 2.2 - Tecnologias de pré-tratamento lignocelulósico.....37
Tabela 3.1 - Resultados provenientes da verificação das notícias.....47
Tabela 3.2 - Resultados constituintes do banco de dados.....49
Tabela 3.3 - Resultados constituintes do banco de dados para projetos atualmente ativos com foco na lignina 50
Tabela 3.4 - Total de projetos identificados para as diferentes etapas metodológicas.....51
Tabela 4.1 - Classificação das organizações líderes dos projetos identificados.....56
Tabela 4.2 - Uso do produto principal derivado da lignina nos projetos 70
Tabela 4.3 - Relação do grau de maturidade dos projetos com os produtos de diferentes naturezas 73
Tabela 4.4 - Organizações produtoras de eletricidade, calor e vapor.....74
Tabela 4.5 - Organizações produtoras de aromáticos.....75
Tabela 4.6 - Organizações produtoras de resinas 75
Tabela 5.1 - Classificação das organizações com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 81
Tabela 5.2 - *Start ups* do setor de tecnologia com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 81
Tabela 5.3 - Uso do produto principal derivado da lignina nos projetos ativos com foco no aproveitamento da lignina 94
Tabela 5.4 - Outros produtos derivados da lignina.....95
Tabela 5.5 - Relação do grau de maturidade com os produtos de diferentes naturezas para projetos ativos com foco no aproveitamento da lignina 97
Tabela 5.6 - Organizações produtoras de aromáticos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo.....99
Tabela 5.7 - Organizações produtoras de aditivos e dispersantes com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo 99
Tabela 5.8 - Organizações produtoras de resinas com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo.....99

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

BIO	Biotechnology Innovation Organization
BIO-HArT	Biorizon Innovation and Upscaling of Renewable Aromatics Technology
BBI JU	Bio-Based Industries Public-Private Partnership
CBP	Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes
DHE	Dihydroeugenol
EUA	Estados Unidos da América
MP	Matéria-prima
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PHA	Polihidroxialcanoato
RYAM	Rayonier Advanced Materials

LISTA DE SÍMBOLOS

€	Euro
GJ	Gigajoule
g	Grama
pH	Potencial hidrogeniônico
t	Tonelada
US$	Dólares americano
%	Percentual
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de Cálcio
CO_2	Dióxido de carbono
H_2O_2	Peróxido de oxigênio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
H_3PO_4	Ácido fosfórico
HCl	Ácido clorídrico
NaOH	Hidróxido de sódio
NH_3	Amônia
O_2	Oxigênio
Sc-CO_2	Dióxido de carbono supercrítico
Sc-H_2O	Água supercrítica

SUMÁRIO

1. Introdução 15
2. A Lignina no cenário da Bioeconomia 20
2.1 Bioeconomia 20
2.1.1 Matéria-prima 23
2.1.2 Tecnologias 25
2.1.3 Produtos 26
2.1.4 Modelos de Negócio 28
2.1.5 Políticas Públicas 29
2.2 A Lignina como Matéria-Prima 31
2.2.1 Fontes de lignina 31
2.2.2 Características da lignina 32
2.2.3 Processos para extração de lignina 35
2.2.4 Mercados de aplicação da lignina 39
3. Metodologia 42
3.1 Definição das fontes de informação 43
3.2 Definição do campo de busca 43
3.3 Definição do período de interesse 43
3.4 Desenvolvimento do quadro analítico 44
3.5 Resultado inicial das buscas nas fontes de informação selecionadas 45
3.6 Verificação dos resultados 45
3.7 Busca das informações sobre as variáveis 47
3.8 Construção da base de dados final 48
3.9 Procedimento para a análise dos resultados 49
4. Discussão dos resultados - Panorama geral sobre os projetos relacionados à lignina 52
4.1 Características gerais dos projetos 52
4.2 Modelos de negócio 54

4.2.1 Perfil da organização líder 54
4.2.2 Relações de parceria 58
4.3 Aspectos relacionados à matéria-prima 61
4.3.1 Fonte de matéria-prima 61
4.3.2 Localização dos projetos 62
4.4 Aspectos tecnológicos 63
4.4.1 Pré-tratamento para obtenção da lignina 63
4.4.2 Processos para conversão da lignina 65
4.4.3 Configuração em biorrefinaria 67
4.4.4 Grau de maturidade dos projetos 68
4.5 Questões relacionadas aos produtos 69
4.5.1 Tipos de produtos 69
4.5.2 Natureza dos produtos 71
4.5.3 Relação do grau de maturidade dos projetos com os produtos gerados 73
4.5.4 Relação das empresas líderes dos projetos com os tipos de produtos 74
4.6 Considerações finais 75
5. Discussão dos resultados - Panorama dos projetos ativos com foco no aproveitamento da lignina 77
5.1 Características dos projetos com foco na lignina e *status* ativo 77
5.2 Modelos de negócio 79
5.2.1 Perfil da organização líder 79
5.2.2 Relações de parceria 82
5.3 Aspectos relacionados à matéria-prima 85
5.3.1 Fonte de matéria-prima 85
5.3.2 Localização dos projetos 86
5.4 Aspectos tecnológicos 87
5.4.1 Pré-tratamento para obtenção da lignina 87

5.4.2 Processos para conversão da lignina 88
5.4.3 Configuração em biorrefinaria 90
5.4.4 Grau de maturidade dos projetos 91
5.5 Questões relacionadas aos produtos 92
5.5.1 Tipos de produtos 92
5.5.2 Natureza dos produtos 95
5.5.3 Relação do grau de maturidade dos projetos com os produtos gerados 97
5.5.4 Relação das empresas líderes dos projetos com os tipos de produtos 98
5.6 Considerações finais 99
6. Conclusão 101
Referências 104
APÊNDICE A - Resumo de projetos identificados para a base de dados final 111
APÊNDICE B - Resumo de projetos identificados para o subconjunto 114
APÊNDICE C - Analysis of business initiatives related to the use of lignin as renewable raw material 115

1. Introdução

A partir do século XX os derivados fósseis ascenderam e consolidaram-se como a principal matéria-prima para a indústria química e de combustíveis. O desenvolvimento de produtos químicos e combustíveis contribuiu para o progresso da sociedade, mas provocou impactos ambientais, causados principalmente pelo elevado nível de emissão de gases de efeito estufa. Atualmente, a implementação de políticas ambientais mais rigorosas, a conscientização da população acerca dos danos ambientais e a volatilidade de preço do petróleo figuram como incentivos ao uso de matérias-primas renováveis como uma alternativa ao uso de derivados fósseis. Argumenta-se que o uso da matéria-prima renovável pode permitir o alcance de maiores benefícios ambientais, econômicos e sociais (BENNETT; PEARSON, 2009).

Coutinho e Bomtempo (2011) destacaram que a *white biotechnology*[1], as restrições ambientais ao uso de derivados petroquímicos, a orientação estratégica das empresas e as inovações tecnológicas também são elementos que incentivam o uso de matéria-prima renovável. Pode-se compreender como matéria-prima renovável o material orgânico proveniente de organismos vivos com potencial capacidade de ser transformado em combustíveis, químicos, fibras ou ração (BENNETT; PEARSON, 2009; MELÉNDEZ; LEBEL; STUART, 2013). Também é importante garantir o uso eficiente da matéria-prima renovável, ou seja, o processo de extração e transformação tecnológica deve assegurar a máxima incorporação desse recurso renovável em produtos (ANNALA; TERÄS, 2017).

De acordo com Bomtempo (2012), a disponibilidade da biomassa deve ser construída, pois envolve alguns desafios como a estruturação das cadeias de suprimentos e logística. A construção de parcerias empresariais pode auxiliar a superação desses desafios, pois viabiliza uma complementaridade de competências[2], como o acesso à matéria-prima, aumento da capacidade de produção e acesso ao mercado, podendo também ser uma janela de oportunidade para a entrada de novos *players* no mercado (COUTINHO; BOMTEMPO, 2011; JESPERSEN *et al*, 2018).

---

[1] A *white biotechnology* ou *industrial biotechnology* refere-se ao uso de células vivas ou enzimas para transformar a biomassa em bioprodutos mais sustentáveis e que podem apresentar um melhor desempenho do que os produtos de origem fóssil (DSM, 2019).

[2] Competências complementares são recursos, como matéria-prima, tecnologia e produtos que determinada organização necessita para o desenvolvimento de suas atividades, porém possui pouca ou nenhuma habilidade de desenvolvê-los, de forma que devem ser fornecidos por outras organizações (TEECE, 2007).

O uso de matéria-prima renovável pode proporcionar a obtenção de produtos mais verdes e impactar o *portfolio* industrial, uma vez que podem ser gerados produtos com composição química idêntica àqueles que têm origem fóssil (*drop-in*) e produtos diferenciados, com composição química diferente e funcionalidade similar (não *drop-in*). A compreensão das características dos produtos e das cadeias de fornecimento (obtenção de matéria-prima, produção, distribuição e vendas) é importante, porque cada produto tem suas especificidades, devendo ser gerenciado de forma única (DANSEREAU *et al*, 2014; OROSKI; ALVES; BOMTEMPO, 2014).

Ainda existem outros fatores imprescindíveis, econômicos, tecnológicos e políticos que influenciam na estruturação de cadeias de valor de base renovável (ROGERS *et al*, 2017). O desenvolvimento de novas tecnologias aliado ou não aos métodos tradicionais precisa garantir a viabilidade econômica do processo, para que seja possível o *scale up* da produção (FABBRI; FISHER; MAZZETTI, 2018). Através das políticas públicas os governos podem impulsionar a bioeconomia ao instituir um ambiente regulatório favorável aos produtos de base renovável e também através de programas públicos de financiamento, buscando fomentar pesquisas e iniciativas empresariais relacionadas ao uso de matéria-prima renovável.

Além disso, quando o uso da matéria-prima renovável destina-se a produção de *commodities* químicas, estas estão sujeitas a uma intensa competição de mercado com os produtos petroquímicos (ROGERS *et al*, 2017). Portanto, entende-se que a produção de especialidades químicas, ou seja, produtos de maior valor agregado, é capaz de oferecer maiores vantagens, já que não há elevada competição de mercado por se tratar de um mercado mais específico (DANSEREAU *et al*, 2014).

Portanto, o estabelecimento de uma economia de base renovável viabiliza a conversão de culturas e resíduos agrícolas, florestais e energéticos em produtos, criando espaço para oportunidades de inovação e para o surgimento de novos mercados (BIO, 2018). Segundo Bomtempo e Alves (2014), a bioeconomia encontra-se em um estágio inicial, no qual a dinâmica de inovação e a competitividade estão em fase de estruturação. A complexidade presente nessa dinâmica de inovação pode ser percebida com base nos diversos elementos compreendidos pelas seguintes dimensões chave que coevoluem: matéria-prima, tecnologia, produtos e modelos de negócio[3].

[3] Os modelos de negócio dizem respeito aos objetivos empresariais para a criação, estruturação e captura de valor (SHAFER; SMITH; LINDER, 2005).

Tomando como ponto de partida a perspectiva das matérias-primas, a biomassa lignocelulósica tem despertado o interesse das empresas, porque é abundante, sustentável, possui baixo custo e pode gerar uma ampla gama de produtos verdes. A lignocelulose é composta por três polímeros naturais: celulose, hemicelulose e lignina (KHALID; AHMAD; YONG, 2017). Desses polímeros, os carboidratos (celulose e hemicelulose) são as frações alvo de indústrias que utilizam materiais lignocelulósicos, como é o caso da indústria de papel, etanol e das biorrefinarias em geral, sendo a lignina o principal subproduto de suas atividades (THAKUR *et al*, 2014).

A lignina desponta como o segundo material orgânico mais abundante, atrás apenas da celulose (KHALID; AHMAD; YONG, 2017). Constitui a parede celular de diversos tipos de biomassa, fornece força, rigidez estrutural e proteção contra o ataque de agentes externos e proporciona o transporte de água e nutrientes (CHENG *et al*, 2017). A abundância da lignina como uma biomassa natural e o grande volume disponibilizado no mercado global tornam atraente o seu emprego como matéria-prima para a geração de produtos e energia que minimizam os impactos ambientais (FABBRI; FISHER; MAZZETTI, 2018).

Segundo Coutinho e Bomtempo (2011), a lignina deveria se tornar um material relevante no período de 2019 a 2030, pois estaria mais disponível em decorrência do uso da celulose em processos industriais, onde a lignina seria um subproduto. Na perspectiva da economia circular, busca-se preservar o valor dos recursos, materiais e produtos durante o maior tempo possível dentro de um ciclo. Assim, a economia circular oferece a oportunidade de se construir novos modelos de negócio a partir de processos mais sustentáveis e mais eficientes, onde busca-se agregar valor, inclusive, aos subprodutos, incorporando-os como recursos em novos ciclos (GHISELLINE *et al*, 2016). Segundo Lacy e Rutqvist (2015) as empresas aproveitam melhor a circularidade quando inovam tanto na produtividade de recursos quanto no valor do produto para o consumidor ao longo de todo o ciclo de vida.

O uso da lignina como matéria-prima pode não só permitir a geração de produtos *drop-in*, mas também contribuir para a expansão dos limites industriais, ou seja, permitir a diversificação dos modelos de negócio e o desenvolvimento de novos produtos. A conversão da lignina em produtos de maior valor agregado contribui para que os negócios desenvolvidos pelas biorrefinarias se tornem mais competitivos e para a geração de uma receita adicional. Entretanto, alguns processos de conversão da lignina não parecem vantajosos sob a perspectiva econômica, pois apresentam baixo rendimento e produtos de baixa qualidade. Além disso, um dos maiores desafios enfrentados para a valorização da lignina é devido à sua

estrutura complexa e recalcitrante, o que dificulta seu uso como matéria-prima (WANG *et al*, 2019).

Segundo Fabbri, Fisher e Mazzetti (2018), no presente momento, a lignina é a biomassa que apresenta o maior potencial para geração de bioprodutos, a partir dos químicos plataforma[4] resultantes de sua desconstrução molecular. Dentre os produtos resultantes estão as *commodities* químicas, como: benzeno, tolueno e xileno, e materiais com aplicações especiais para a produção de aditivos de borracha, resinas e fibras de carbono (DANSEREAU *et al*, 2014; FABBRI; FISHER; MAZZETTI, 2018). Além desses produtos, no decorrer dos anos, a lignina está sendo tradicionalmente empregada para a geração de energia elétrica e cogeração de vapor, caracterizando atividades de menor valor agregado (NALI; RIBEIRO; HORA, 2016). Segundo Xie, Ragauskas e Yuan (2016), apenas cerca de 2% de toda lignina residual produzida pela indústria de papel e celulose, no ano de 2004, tinha como destino seu emprego como matéria-prima para a geração de produtos, sendo toda lignina restante destinada para queima.

Em vista desse contexto, vislumbra-se que a lignina possa ser uma matéria-prima renovável atrativa na construção de uma economia de base renovável, pois é abundante e está, teoricamente, disponível para o mercado. O desenvolvimento de pesquisas e tecnologias economicamente viáveis torna-se fundamental para o alcance de escalas comerciais, que permitam a expansão dos negócios empresariais e a geração de produtos de maior valor agregado.

Neste contexto, surgem as seguintes questões: qual parece ser o papel da lignina na estruturação da bioeconomia atualmente? Quem são os atores e como estão estruturando seus negócios em torno da bioeconomia? Qual trajetória tecnológica pode ser esperada para os próximos anos? Quais produtos estão sendo desenvolvidos? Existem iniciativas em desenvolvimento no Brasil?

Buscando responder estes questionamentos, este trabalho tem como objetivo mapear as iniciativas empresariais que visam utilizar a lignina como matéria-prima e analisá-las segundo quatro dimensões, aspectos relacionados à matéria-prima, tecnologias, produtos e modelos de negócio, de forma a discutir o real potencial de aproveitamento da lignina como matéria-prima atualmente e as perspectivas de avanço futuro. Assim, este trabalho visa contribuir para a discussão acerca da perspectiva de uso da lignina como matéria-prima para a

[4] Químicos plataforma são intermediários químicos que submetidos a processos tecnológicos apropriados são capazes de gerar diversos produtos para diferentes aplicações. Assim, os químicos plataforma podem provocar mudanças estratégicas e promover a inovação dos negócios industriais para a criação de valor comercial por meio dos produtos gerados (BOMTEMPO; ALVES; OROSKI, 2017).

geração de produtos de maior valor agregado, ao apresentar as tecnologias que as empresas estão adotando em seus processos de conversão, como elas estão estruturando seus negócios e quais produtos têm despertado maior interesse.

De forma a alcançar o objetivo geral desta dissertação, tem-se os seguintes objetivos:

- identificar os projetos atuais relacionados ao aproveitamento da lignina;
- identificar dimensões e variáveis analíticas para construção de uma base de dados referente aos projetos identificados;
- elaborar quadros analíticos que permitam suscitar a discussão a respeito da dinâmica atual e futura do aproveitamento da lignina no contexto da bioeconomia.

Esse trabalho encontra-se estruturado em 5 capítulos, além dessa introdução. O capítulo 2 refere-se a revisão da literatura realizada para a construção de uma base conceitual sobre o tema e está subdividido em dois tópicos. O primeiro tópico diz respeito à bioeconomia, apresentando definições de conceitos e dimensões chave. O segundo aborda questões relacionadas ao uso da lignina como matéria-prima, quais são as fontes de obtenção, suas características, processos de extração e mercado de aplicação. O capítulo 3 apresenta a metodologia considerada para o levantamento de dados, como os sites especializados utilizados e os critérios de busca selecionados, assim como o quadro analítico utilizado nas análises desenvolvidas. A discussão dos resultados será desenvolvida nos capítulos 4 e 5. O capítulo 4 abordará os resultados considerando o conjunto total de iniciativas identificadas, enquanto o capítulo 5 focará no subconjunto de iniciativas cujo foco principal é a lignina e que se encontram atualmente ativos. O capítulo 6 traz as conclusões do trabalho, suas limitações e sugestões de trabalhos futuros.

2. A Lignina no cenário da Bioeconomia

Neste capítulo será discutido o conceito de bioeconomia, e a perspectiva de aplicação da lignina para a construção de cadeias de valor. O capítulo está estruturado em duas seções. A primeira seção expõe o conceito de bioeconomia discutindo alguns aspectos relacionados às suas dimensões: matéria-prima, tecnologias, produtos e modelos de negócio, abordando também a dimensão das políticas públicas. Na segunda parte serão discutidos conceitos relacionados especificamente à lignina, alvo de estudo deste trabalho, onde serão abordadas suas características, métodos de obtenção e mercado potencial de aplicação.

2.1 Bioeconomia

No início do século XX houve uma transição das indústrias à base de carvão para a indústria petroquímica, onde o desenvolvimento de novas tecnologias compatíveis com a matéria-prima em questão, petróleo e gás, foi fundamental para a estruturação da indústria. Este processo evolutivo ocorreu durante décadas, até que a indústria de petróleo adquirisse experiência, e se estabelecesse como uma indústria de relevante atuação na produção de combustíveis e no aproveitamento das correntes de subprodutos para a geração de produtos sintéticos de valor agregado (BENNETT; PEARSON, 2009).

Atualmente, vislumbra-se uma nova transição da matéria-prima industrial, devido aos impactos ambientais ocasionados pelas indústrias química e de combustíveis, baseadas em derivados fósseis. As atividades industriais desses setores contribuem para o aumento na emissão de gases de efeito estufa, e consequentemente, com as alterações climáticas. A implementação de políticas ambientais mais rigorosas também contribui para que as indústrias à base de petróleo gerenciem melhor os possíveis danos decorrentes de suas produções, ou busquem novos meios para desenvolvê-las de forma apropriada. Assim, as matérias-primas renováveis são apresentadas como potenciais substitutos às de origem fóssil. Argumenta-se que o uso de matéria-prima renovável não alimentícia é capaz de minimizar os impactos ambientais, gerar benefícios econômicos e sociais, de modo que o aproveitamento dos subprodutos é capaz de gerar bens de maior valor agregado (BENNETT; PEARSON, 2009). Além disso, esta potencial matéria-prima mostra-se menos suscetível à volatilidade de preço do que o petróleo (BENNETT; PEARSON, 2009).

O uso de matéria-prima renovável como insumo industrial encontra-se em estágio de construção, com perspectivas de consolidação futura. A capacidade de lidar com diversas

alternativas de matérias-primas, tecnologias de conversão, produtos e modelos de negócio faz parte da sua dinâmica de inovação, possibilitando modificações nas cadeias de valor estabelecidas, a entrada de novos competidores e o surgimento de novas estruturas industriais (BOMTEMPO; ALVES, 2014). A inovação nesta economia de base renovável ocorre de forma rápida (BIO, 2018) e sofre a influência de condições regulatórias, recursos humanos, propriedade intelectual, aceitação social e estruturas de mercado (OECD, 2009).

Assim, surgiu o conceito de bioeconomia, isto é, uma economia que tem as atividades industriais fundamentadas no uso de matéria-prima renovável. Segundo Birner (2018), é provável que o termo bioeconomia tenha sido usado primeiramente na Associação Americana para o Avanço da Ciência, em 1997. E ainda de acordo com Birner (2018), desde o início dos anos 2000, este conceito tem se difundido mundialmente. Bugge, Hansen e Klitkou (2016) mencionam que, na última década, o conceito de bioeconomia tem se tornado relevante e alvo de pesquisas e debates políticos, devido à expectativa de que o desenvolvimento de uma economia à base de matéria-prima renovável solucione os desafios presentes nas indústrias de base fóssil.

De acordo com Carus e Dammer (2018), a bioeconomia representa a alteração da fonte de carbono, que transita de uma fonte fóssil para uma renovável, proveniente de biomassa agrícola, florestal ou de ambiente marinho, podendo ser o recurso na íntegra ou seus resíduos. Annala e Teräs (2017) expõem que a bioeconomia contribui para o alcance de uma sociedade de baixo carbono e para uma economia de uso sustentável que permite uma maior eficiência dos recursos renováveis. Bugge, Hansen e Klitkou (2016) defendem que a bioeconomia possui 3 visões distintas -*bio-tecnology, bio-resource e bio-ecology*-, das quais as duas primeiras dizem respeito aos aspectos técnicos, como a relevância de pesquisas, desenvolvimento, aplicações e comercialização das rotas biotecnológicas empregadas e ao potencial de transformação das matérias-primas renováveis para a estruturação de novas cadeias de valor. A última visão está relacionada à integração de sistemas e processos que se dispõem a preservar os recursos ecológicos.

Segundo Birner (2018), o conceito de bioeconomia pode ser caracterizado segundo a perspectiva da substituição de recursos e da inovação biotecnológica. Esta é reconhecida como um dos fatores que impulsionou o desenvolvimento da bioeconomia, onde a tecnologia empregada na transformação desses recursos em produtos de maior valor é um dos elementos chave para o seu sucesso. Contudo, não somente a biotecnologia, mas também outros processos tecnológicos, como as rotas química e termoquímica, podem ser empregados para a transformação da matéria-prima renovável (BOMTEMPO; ALVES, 2014).

É importante ressaltar, portanto, que a bioeconomia utiliza inovações tecnológicas para transformar os diversos tipos de biomassa em uma grande variedade de produtos. O conceito de bioeconomia não está, necessariamente, atrelado ao conceito de sustentabilidade. Como destacam Patermann e Aguilar (2017), o processamento e a produção de produtos de base renovável não implicam que os mesmos também sejam sustentáveis, no entanto, desta forma é mais fácil alcançar um desenvolvimento sustentável.

A bioeconomia abrange diversos setores, que se encontram em diferentes níveis de maturidade e de estruturação da cadeia de valor (BUGGE; HANSEN; KLITKOU, 2016). Ainda oferece janelas de oportunidades para diversos *players* que variam desde as *start ups*, que exploram inovações tecnológicas, às grandes empresas estabelecidas, que visam o uso de materiais renováveis para a diversificação de seu *portfolio* de produtos. Portanto, integram a bioeconomia um conjunto de *players* de setores variados, que podem ou não possuir os mesmos interesses (BIRNER, 2018). A construção de parcerias com os governos, que incentivam o desenvolvimento de pesquisas, programas públicos de apoio e parcerias com outras instituições privadas incentivam o avanço da economia de base renovável (BIO, 2018).

Esta transição de matéria-prima revela o surgimento do conceito de biorrefinaria. Ainda não há um consenso acerca dessa expressão. Schieb *et al*. (2015) consideram como características de biorrefinarias a existência de tecnologias verdes, de um gerenciamento sustentável e da integração de processos, onde quanto maior a integração, maior a viabilidade de seu modelo. Schieb *et al*. (2015), Bennett e Pearson (2009) e Ragauskas *et al*. (2006) fazem uma analogia das biorrefinarias com as refinarias de petróleo. Meléndez, Lebel e Stuart (2013) e Ragauskas *et al*. (2006) ressaltam a produção de combustíveis, energia e químicos de base renovável através das biorrefinarias. Contudo, há em comum o fato dessas definições apresentarem o uso da matéria-prima renovável como insumo industrial. Segundo Meléndez, Lebel e Stuart (2013), uma biorrefinaria pode apresentar diversos tipos de biomassa, como corrente de alimentação, e gerar uma multiplicidade de produtos.

Processos inovadores tornam possível o surgimento de novos mercados a partir de culturas/resíduos agrícolas e florestais, gerando produtos renováveis alternativos. Os possíveis produtos resultantes são: biocombustíveis, bioenergia, polímeros de base renovável, químicos renováveis para aplicação no setor de cosméticos e de produtos pessoais, flavorizantes e fragrâncias destinados ao setor alimentício e ingredientes para a produção de alimentos e rações (BIO, 2018).

Segundo a consultoria McKinsey (apud BIO, 2016, p. 1), as vendas de produtos de base renovável atingiram US$ 252 bilhões em 2012, onde os combustíveis e extratos de

plantas representaram mais da metade deste mercado. A comercialização de químicos renováveis representou 9% dos US$ 2,82 trilhões de produtos químicos vendidos em 2012. A perspectiva é de que até 2020 o mercado de produtos renováveis represente 11% dos 3,401 trilhões de produtos químicos comercializados. A consultoria McKinsey espera que os biopolímeros, produtos químicos e biocatalisadores representem a maior parcela do mercado de base renovável em 2020. De acordo com o BIO (2018), estima-se que o mercado global de biotecnologia industrial, químicos e polímeros renováveis, biocombustíveis, enzimas e biomateriais represente US$ 355,28 bilhões em 2018.

A consolidação da bioeconomia enfrenta alguns desafios. Por ser uma atividade nova e apresentar incertezas em relação à aceitação de seus produtos pelo mercado, existe a dificuldade na elaboração de políticas de apoio. Outro obstáculo consiste nos custos dos produtos renováveis, o qual é afetado pela estruturação de sua cadeia produtiva, incluindo o custo envolvido na obtenção da matéria-prima, que apesar de estar sujeita a uma menor volatilidade de preços requer um sistema de logística e transformações tecnológicas que podem envolver tratamentos mais onerosos, além da aceitação desses novos produtos pelo mercado consumidor. Esses fatos podem fazer com que os produtos renováveis tenham custos mais elevados do que os de base fóssil, dificultando a sua competitividade (DUPONT-INGLIS; BORG, 2018). Outro questionamento levantado por Bennett e Pearson (2009), assim como por Priefer, Jörissen e Frör (2017), diz respeito ao potencial de substituição da matéria-prima renovável aos derivados fósseis no mercado petroquímico, e em que proporção isso ocorre.

A seguir, serão discutidas as seguintes dimensões da bioeconomia: matéria-prima, tecnologias, produtos, modelos de negócio e políticas públicas.

2.1.1 Matéria-prima

O uso da biomassa como matéria-prima renovável em substituição às matérias-primas fósseis é viável quando há disponibilidade, acessibilidade e confiabilidade da matéria-prima, além de um pacote tecnológico viável que permita a sua conversão com fins de aplicação comercial, ou seja, os operadores do processo precisam ter conhecimento sobre a facilidade de armazenamento e transporte, sobre as melhores técnicas de obtenção e conversão da biomassa. Assim, é possível verificar se os custos de processo e conhecimentos acerca da biomassa a ser utilizada garantem a viabilidade de sua aplicação como matéria-prima (BOMTEMPO, 2012; LANE, 2015).

De acordo com Bomtempo e Alves (2014), a construção da bioeconomia envolve o desafio da identificação de matérias-primas potenciais, adequadas e cujo processo de conversão tecnológica apresente viabilidade econômica. Apesar da disponibilidade ser um dos requisitos para o uso da matéria-prima, apenas esse fator não é suficiente, de modo que os processos de inovação são fundamentais para a transformação dessa biomassa em produtos (BOMTEMPO, 2012).

Meléndez, Lebel e Stuart (2013) mostram a necessidade de considerar a cadeia de suprimentos e a logística de compra para a estruturação da bioeconomia, pois fatores como manuseio, equipamentos técnicos, transporte e armazenamento interferem nos custos de obtenção da matéria-prima. Para que as atividades industriais tenham êxito é fundamental conciliar a tecnologia empregada com as propriedades de cada material, visando a obtenção de uma matéria-prima de qualidade. Ainda segundo Meléndez, Lebel e Stuart (2013), a biomassa pode ser classificada a partir do processo tecnológico envolvido durante a sua conversão, através de suas propriedades (como umidade e potencial energético), ou ainda com base nas fontes de obtenção.

Um estudo realizado a partir do mercado americano de biomassa prevê um maior potencial de crescimento para o uso de resíduos agrícolas, culturas energéticas, recursos florestais/madeira e resíduos sólidos municipais/outros resíduos (ROGERS *et al*, 2017). Atualmente, há uma grande quantidade de resíduos agrícolas disponíveis, como palhas de trigo e de cana-de-açúcar; casca de café e arroz, espiga de milho e bagaço de cana-de-açúcar, que poderiam ser melhor explorados como insumo para a geração de produtos de maior valor. Também representam oportunidades para a obtenção de materiais lignocelulósicos as seguintes culturas energéticas: *switchgrass*, *miscanthus* e *willow*; e os seguintes resíduos florestais: serragem, casca e toco de árvores (ROGERS *et al*, 2017; SYLDATK *et al*, 2011).

A biomassa proveniente de madeira apresenta a vantagem de não ser afetada pelos fatores climáticos, permitindo assim uma produção contínua e que não sofre por períodos de entressafra como as culturas agrícolas (FRÖHLING *et al*, 2011). Portanto, a biomassa proveniente de madeira apresenta-se como uma matéria-prima potencial para as biorrefinarias.

De acordo com Birner (2018), o Brasil é um país que possui posição privilegiada para o desenvolvimento de biomassa, pois apresenta um território extenso, o que reduz problemas de competição por uso de terra para cultivo alimentar e desenvolvimento de bioprodutos, e possui fatores climáticos favoráveis. O Brasil destaca-se não apenas como um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, mas segundo Foelkel (2016), como um potencial

produtor de biomassa florestal, onde a plantação pode ocorrer de forma sustentável com produção durante todo o ano.

Cabe ressaltar que essa dimensão da matéria-prima está atrelada às características e especificidades de cada região, sendo fortemente impactada pelas condições climáticas, tipos de solo, além dos insumos tecnológicos disponíveis e maquinário que cada local tem disponível para a produção, colheita ou coleta da matéria-prima. Assim, não há uma matéria-prima global, mas sim regiões mais propícias e aptas para a produção de determinadas biomassas.

Por fim, conclui-se que o uso eficaz da biomassa como matéria-prima requer um conjunto de iniciativas e práticas, os quais envolvem o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, fatores de mercado, estruturas políticas, condições climáticas, infraestrutura e logística. A matéria-prima tem um papel de *driver* no contexto da bioeconomia, pois a partir do momento em que se seleciona a biomassa a ser utilizada em um determinado processo deve-se avaliar qual processo tecnológico permite uma melhor conversão e melhor aproveitamento dessa matéria-prima em produtos e como se estruturam os modelos de negócio.

2.1.2 Tecnologias

A dimensão tecnológica está diretamente atrelada à variável matéria-prima, de modo que não podem ser tratadas de forma independente. Visando avaliar a rota tecnológica que melhor se aplica a um determinado processo, deve-se considerar as propriedades de cada matéria-prima individualmente, e os esforços necessários para desenvolver tecnologias que sejam apropriadas, resultando no melhor aproveitamento possível, além de viabilidade econômica.

A inovação tecnológica aliada ao baixo grau de maturidade de algumas tecnologias existentes torna necessário o desenvolvimento de novas pesquisas seja na área da química, ou da biologia que possibilitem a obtenção de diferentes processos para transformação da biomassa. Assim, a tecnologia pode ser considerada em constante evolução, sendo necessária uma avaliação periódica da adequação da tecnologia empregada ao processo. No que tange aos processos de conversão de biomassa lignocelulósica, há a possibilidade de aplicação de rotas biotecnológicas, termoquímicas e químicas, que podem ser empregadas de forma isolada ou em conjunto, dependendo do processo (COUTINHO; BOMTEMPO, 2011).

A rota bioquímica para obtenção de diferentes produtos a partir da lignocelulose, pode ser dividida em duas etapas, as quais utilizam microorganismos (modificados ou não geneticamente). A primeira etapa consiste na obtenção dos açúcares de segunda geração, ou seja inclui processos de pré-tratamento, que serão abordados na subseção 2.2.3, e a hidrólise enzimática. Esta é crucial para a quebra do material lignocelulósico, permitindo a separação da lignina das frações de hemicelulose e celulose (fontes de açúcar). A segunda etapa diz respeito à conversão dos açúcares no produto desejado mediante a ação de microorganismos. Dentre os desafios apresentados para o desenvolvimento da referida rota destacam-se a necessidade de sistemas de pré-tratamento que preservem a qualidade da biomassa, sem gerar altos gastos adicionais ao processo, e o desenvolvimento de microorganismos com melhores atividades e menores custos. Uma das principais aplicações da rota bioquímica atualmente é voltada para a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos (BOMTEMPO; ALVES, 2016; COUTINHO; BOMTEMPO, 2011).

A rota termoquímica admite dois processos distintos, gaseificação e pirólise da biomassa. O produto resultante da gaseificação consiste no gás de síntese que, por sua vez, pode ser convertido em combustíveis líquidos ou produtos químicos, através da reação de Fischer Tropsch. Já a conversão pirolítica consiste em uma exposição rápida da biomassa a altas temperaturas, que resulta na produção de um bio-óleo. A rota química utiliza processos convencionais, com catalisadores químicos e solventes químicos para a transformação da biomassa (BOMTEMPO; ALVES, 2016; COUTINHO; BOMTEMPO, 2011).

De acordo com Coutinho e Bomtempo (2011) as inovações tecnológicas criam oportunidades para a diversificação dos modelos de negócio, através da realização de parcerias entre empresas de diversos setores, com a finalidade de obterem competências complementares. Também há oportunidades para a ascensão de novos *players* no mercado.

2.1.3 Produtos

Os produtos de base renovável ou bioprodutos são gerados a partir de matéria-prima renovável e podem ser biodegradáveis ou não. Os desafios presentes na evolução dos bioprodutos envolvem o planejamento de cadeias de suprimentos, sistemas logísticos, tecnologias e a capacidade de percepção da demanda de mercado. Assim, observa-se que a variável produto também não deve ser analisada de forma isolada, uma vez que há uma relação mútua entre os diferentes elementos chave que constituem a bioeconomia.

Segundo Oroski, Alves e Bomtempo (2014) os bioprodutos podem ser classificados em *drop-in* e não *drop-in*[5]. Os *drop-in* são produtos originados a partir de matéria-prima renovável e possuem a mesma composição química dos produtos gerados a partir de materiais fósseis. Os produtos não *drop-in* são originados a partir de biomassa e constituem uma nova classe de produtos, pois apresentam propriedades diferentes dos produtos tradicionais. O desenvolvimento de produtos *drop-in* oferece a vantagem da existência de uma cadeia de valor estruturada em nível *downstream*, que pode ser adaptada dos produtos fósseis, devido à similaridade técnica, uma vez que se trata de compostos químicos conhecidos, porém produzidos a partir de fontes renováveis. Contudo, de acordo com Dansereau *et al*. (2014) a ausência de diferenciação entre esses produtos de base renovável e fóssil pode significar uma desvantagem, pois o custo envolvido na produção torna-se um fator crítico para o mercado. Produtos não *drop-in* são diferenciados e podem oferecer benefícios ao serem aplicados em determinados nichos, podendo representar uma opção interessante de investimento (OROSKI; ALVES; BOMTEMPO, 2014). Porém, apresentam dificuldade na estruturação por se tratar de uma nova cadeia de valor, o que envolve alguns riscos e incertezas além da tecnologia, como a necessidade de desenvolvimento de aplicações, a qualidade dos produtos e o grau de aceitação pelos consumidores.

Segundo Kline (1976 apud Dansereau *et al*, 2014, p. 717) os produtos químicos ainda podem ser classificados em: *commodities* verdadeiras, *pseudo-commodities*, produtos de química fina e especialidades. Para a análise desse trabalho convencionou-se considerar apenas duas categorias: *commodities* e especialidades. Os produtos considerados *commodities* são aqueles produzidos em grande escala, com menor valor de mercado e comercializados pela composição química; já as especialidades são produzidas em menor escala, possuem preços mais elevados e são comercializadas pelo desempenho.

Segundo Carus *et al*. (2016), a quantidade de biomassa incorporada no produto final está restrita a uma faixa de 25% a 50%. Esta biomassa pode ser melhor aproveitada ao gerar mais produtos por unidade de matéria-prima (DUPONT-INGLIS; BORG, 2018). O aproveitamento de subprodutos provenientes de atividades essenciais cria oportunidades para a diversificação do *portfolio* industrial, que deve ser acompanhada de um modelo de negócio bem planejado. As biorrefinarias de lignocelulose podem investir na produção de bioetanol a partir dos açúcares provenientes das frações de celulose e hemicelulose, e aproveitar os subprodutos do processo para gerar produtos de maior valor agregado. As empresas de papel e

[5] Uma discussão mais aprofundada dessa classificação em *drop-in* e não *drop-in* pode ser encontrada em DOE (2018) e Carus *et al*. (2017).

celulose experimentam a possibilidade de diversificarem seus negócios e expandirem suas fronteiras ao produzirem bioetanol a partir de celulose e hemicelulose e fibras de carbono a partir da lignina, que seriam resíduos de sua atividade principal (DANSEREAU *et al*, 2014).

Dados do *Bioeconomy Strategy* (2017) mostram que as fontes de carbono têm como principal destino o mercado energético, onde 97% dos derivados fósseis e 2/3 da biomassa são utilizados como matéria-prima para este setor. Rogers *et al*. (2017) também destacam que mais de 57% da biomassa é destinada para a produção de calor e energia. Assim, pode-se concluir que uma parcela considerável da biomassa continua disponível para outras finalidades de uso, e que o desenvolvimento de tecnologias que permitam sua valorização e incorporação no mercado são essenciais para um uso mais eficiente da matéria-prima renovável através da geração de produtos de maior valor agregado.

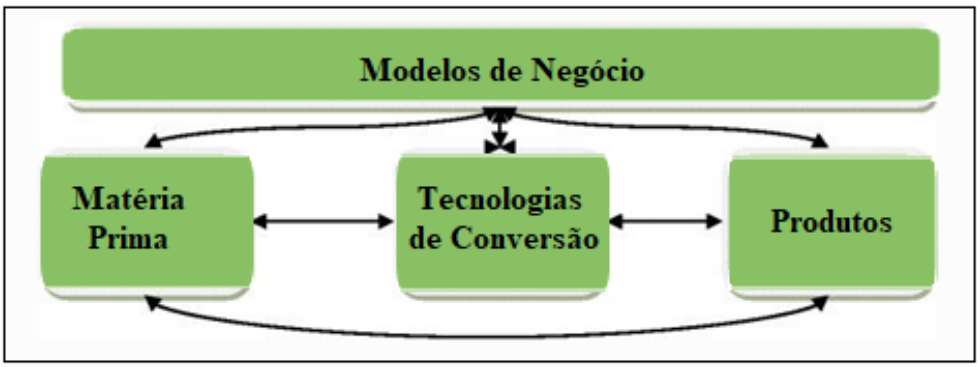
2.1.4 Modelos de Negócio

Chesbrough (2010) ressalta a relevância da inovação e do desenvolvimento de capacidades para a construção dos modelos de negócio. Segundo Shafer; Smith e Linder (2005), a estruturação dos modelos de negócio é importante devido a sua contribuição para a continuidade e progresso de uma empresa. Os modelos de negócio refletem a lógica central e escolhas estratégicas da empresa para a criação, estruturação e captura de valor. Para Teece (2010), um modelo de negócio eficaz gera a proposição e a captura de valor através dos produtos e serviços desenvolvidos pela empresa, permitindo a geração de lucros mediante o alcance de clientes que se interessem pela cadeia de valor desenvolvida.

É importante a consciência de que esses modelos de negócio podem ser alterados em função de sua rede de valor, de modo que não são modelos estáticos, mas sim dinâmicos (SHAFER; SMITH; LINDER, 2005). De acordo com Chesbrough (2010), as experimentações são necessárias para a implementação dos modelos de negócio, e para a verificação de sua eficiência no decorrer do tempo. Magretta (2002) compartilha desse pensamento ao afirmar que os modelos de negócio têm início através do teste de alguma hipótese, destacando que quando necessário esse modelo deve ser revisado, para que se verifique a eficácia de sua aplicação ininterrupta.

Na bioeconomia, a experimentação de novos modelos de negócio, considerando as dimensões matéria-prima, tecnologia e produto são fundamentais, conforme apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Dimensões-chave da bioeconomia



Fonte: *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*.
Acesso em: 11 set. 2018.

A estruturação destes modelos, através de relacionamento com diferentes atores ao longo da cadeia de valor mostra-se como um grande desafio. Diferentes formas de parcerias entre empresas com competências diferentes, visando o acesso a competências complementares podem ser identificadas na bioeconomia, mostrando oportunidade para inovação em modelos de negócio.

As alianças estratégicas também conhecidas como relações de parcerias existem quando duas ou mais empresas independentes unem esforços para o desenvolvimento, a produção ou comercialização de produtos e serviços (KOGUT, 1988; HENNART, 1988 apud BARNEY, 1996). Segundo Barney (1996), as alianças estratégicas podem ser segregadas em três amplos grupos, aliança sem participação acionária, aliança com participação acionária e *joint venture*. O primeiro grupo refere-se à cooperação estabelecida entre empresas independentes por meio de contratos. No segundo, ocorre a compra de participação acionária entre as parceiras, por apenas uma delas ou ambas Na *joint venture* as empresas parceiras criam uma nova empresa independente na qual investem para desenvolver o projeto conjunto. Ainda de acordo com Barney (1996), o sucesso de uma aliança estratégica depende da relação de confiança entre os parceiros e dos contratos legais estabelecidos.

2.1.5 Políticas Públicas

As políticas públicas são importantes porque podem impulsionar e incentivar o desenvolvimento da bioeconomia. Os governos possuem destaque pois podem instituir normas e certificações que estimulem o desenvolvimento da bioeconomia, além de ter a capacidade de incentivar o desenvolvimento tecnológico através de programas públicos de

fomento, influenciando a dimensão tecnológica ao contribuir para que sejam desenvolvidos novos processos para a conversão da matéria-prima em bioprodutos. A transição para uma economia com base em matéria-prima renovável requer uma revisão nas políticas vigentes até o momento, para que essas novas políticas sejam compatíveis e forneçam suporte para a implementação de novos modelos de negócio empresariais estruturados a partir de matérias-primas renováveis.

De acordo com Carus, Dammer e Essel (2014) o governo pode ser um aliado para o desenvolvimento da bioeconomia ao instituir a proibição de atividades com base em insumos fósseis, quando essas causam danos para o meio ambiente e para a sociedade. Outra prática de incentivo ao uso de biomassa diz respeito à criação de impostos para indústrias que usam fontes de carbono fósseis. O governo também tem a possibilidade de criar uma meta (limite percentual) para a redução na emissão de gases de efeito estufa para alguns setores específicos da indústria que gerem mais poluição. Segundo Birner (2018), os governos ainda possuem papel relevante na realização de campanhas de conscientização para a população acerca do tema da bioeconomia e na elaboração de rótulos de produtos de base renovável com informações que facilitem o entendimento do consumidor. Além disso, os governos também exercem o papel de compradores de mercadorias, podendo impactar o mercado ao optar pelos produtos derivados de biomassa em detrimento aos produtos derivados de fontes fósseis.

Segundo Kern, Kivim e Martiskainen (2017), a construção de um conjunto de políticas que regem o sistema deve ser coerente e consistente[6] com as especificidades de cada região. Alguns locais, por exemplo, apresentam condições propícias para a produção de biomassa, e conseguem instalar as biorrefinarias próximas dessas fontes de matéria-prima, reduzindo os custos logísticos. Outros locais necessitam de um sistema logístico mais robusto e caro para obterem os insumos necessários. Portanto, devem ser considerados os diferentes fatores que envolvem a bioeconomia e seus possíveis impactos durante a elaboração de um mix de políticas, para que as mesmas sejam eficientes. Também é importante avaliar a evolução dessas políticas no decorrer do tempo com a finalidade de observar se as mesmas permanecem coerentes e consistentes ou precisam passar por uma reavaliação (KERN; KIVIM; MARTISKAINEN, 2017).

[6] Coerência diz respeito à coexistência entre os múltiplos objetivos políticos e as normas instrumentais de forma lógica. A consistência refere-se à capacidade de diferentes ferramentas políticas auxiliarem o alcance de metas políticas, ou seja, se reforçarem mutuamente (HOWLETT; RAYNER, 2013 apud KERN; KIVIM; MARTISKAINEN, 2017).

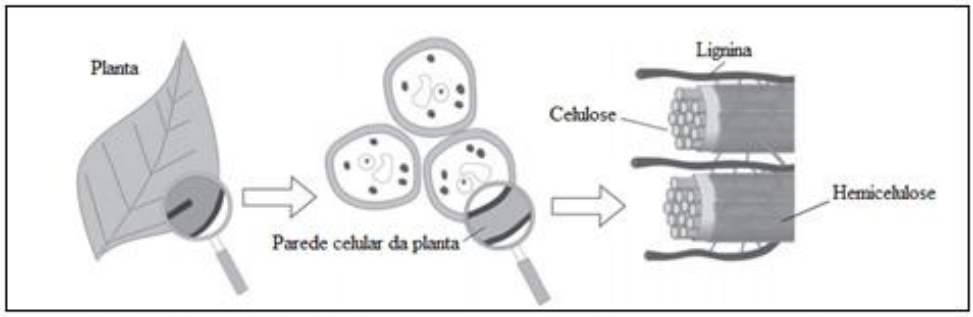
2.2 A Lignina como Matéria-Prima

A lignina pode ser considerada uma matéria-prima importante para a bioeconomia, pois está disponível em diversas fontes de biomassa, as quais contribuem para a absorção de CO_2 da atmosfera. É um material biodegradável, não tóxico e uma importante fonte de carbono renovável (THAKUR *et al*, 2014). A seguir serão apresentadas algumas propriedades, características, métodos de extração e aplicações da lignina.

2.2.1 Fontes de lignina

A biomassa lignocelulósica é constituída majoritariamente por 3 polímeros: celulose, hemicelulose e lignina, além de outros materiais que estão presentes em menores quantidades como as resinas, ceras e os componentes hidrossolúveis. A lignocelulose encontra-se localizada na parede celular de praticamente todos os materiais vegetais. Essa parede celular forma um canal aberto (lúmen) no centro de microfibrilas e é constituída por diferentes camadas, nas quais a celulose está envolta na matriz de hemicelulose e lignina, conforme apresentado na Figura 2.2 (THAKUR *et al*, 2014).

Figura 2.2 - Representação esquemática da biomassa lignocelulósica



Fonte: Adaptada de RUTTEN; RAMÍREZ; DUQUE (2017).

Os materiais lignocelulósicos são obtidos a partir de diversas fontes de vegetais, como: bagaço de cana-de-açúcar, eucalipto, capim elefante, palhas de arroz, de trigo e de milho, em que as quantidades de celulose, hemicelulose e lignina apresentam uma variação de acordo com a sua fonte de extração (FOELKEL, 2016; THAKUR *et al*, 2014). A Tabela 2.1 mostra a porcentagem de cada um desses polímeros para diferentes fontes de biomassa.

Atividades industriais que utilizam materiais lignocelulósicos visam principalmente o uso dos polissacarídeos, isto é, das frações de celulose e hemicelulose, como é o caso da indústria de papel e celulose e de etanol celulósico. Assim, a lignina é obtida como um

subproduto desses processos (THAKUR *et al*, 2014). Segundo Leitão *et al*. (2017), a produção brasileira de cana-de-açúcar para os anos de 2015 e 2016 foi de 654,6 milhões de toneladas, originando 157 milhões de toneladas de bagaço, o qual possui entre 18% e 27% de lignina e resulta em uma média de 35,325 milhões de toneladas desta. Portanto, conclui-se que um grande volume de lignina pode ser obtido como resíduo de indústrias que utilizam matéria-prima renovável em suas operações.

Tabela 2.1 - Polímeros constituintes de biomassas lignocelulósicas

Biomassa	**% Celulose**	**% Hemicelulose**	**% Lignina**
Miscanthus	45-52	24-33	9-13
Switchgrass	37-32	26-33	17-18
Poplar	42-48	16-22	21-27
Eucalipto	39-46	24-28	29-32
Pinheiro	46	23	28
Palha de milho	37	31	18
Palha de trigo	30	50	15
Espiga de milho	45	35	15
Cascas de nozes	25-30	25-30	30-40

Fonte: Elaborado a partir de KHALID; AHMAD; YONG (2017); RAGAUSKAS *et al*. (2014).

2.2.2 Características da lignina

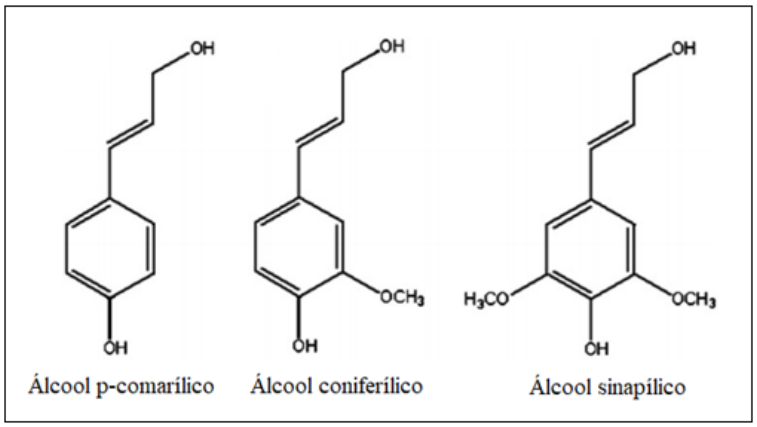
A lignina é o segundo material orgânico mais abundante no planeta terrestre após a celulose (RAGAUSKAS *et al*, 2014) e o polímero aromático encontrado em maior quantidade na natureza segundo Gosselink (2004 apud CARROTT, S.; CARROTT, R., 2007, p. 2301). A lignina constitui de 15% a 30% do peso seco da parede celular dos vegetais (GALL *et al*, 2017), onde desempenha a função de fornecer força e rigidez estrutural, que garantem o transporte de água e nutrientes, e proteção contra a ação de agentes patogênicos impedindo a degradação da planta (CHENG *et al*, 2017).

A estrutura química da molécula de lignina é complexa, porque envolve ligações químicas heterogêneas e estáveis que se formam a partir da união de unidades monoméricas de fenilpropileno, isto é, álcool p-comarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico, também chamados de monolignóis. Esses monolignóis distinguem-se pelo grau de oxigenação do anel fenílico, que ocorre mediante a presença de grupos hidroxila (R-OH) ou metoxila (R-O-CH_3),

conforme Figura 2.3 (DOHERTY; MOUSAVIOUN; FELLOWS 2011; GALL *et al*, 2017; RUTTEN; RAMÍREZ; DUQUE, 2014).

A presença dos monolignóis varia de acordo com o tipo de biomassa, provocando alterações na quantidade de lignina presente em cada planta e, consequentemente, na rigidez de sua parede celular (THAKUR *et al*, 2014). A lignina pode ser classificada em 3 grupos: *hardwood*, *softwood* e *grass*. A lignina *hardwood* também conhecida como angiosperma dicotiledónea é constituída principalmente pelos álcoois coniferílico e sinapílico, com este último em maior proporção. Nas ligninas *softwood* predominam o álcool coniferílico em uma proporção de 90%. Lignina *grass* ou angiosperma monocotiledónea é constituída pelos 3 monolignóis, onde a presença do álcool p-comarílico se encontra em maior proporção do que nos demais tipos de lignina. A presença de lignina em cada um desses grupos é de 18% a 25% para a *hardwood*, 25% a 35% para a *softwood* e 10% a 30% para a *grass* (CARROTT, S.; CARROTT, R., 2007; KHALID; AHMAD; YONG, 2017).

Figura 2.3 - Monolignóis constituintes da lignina



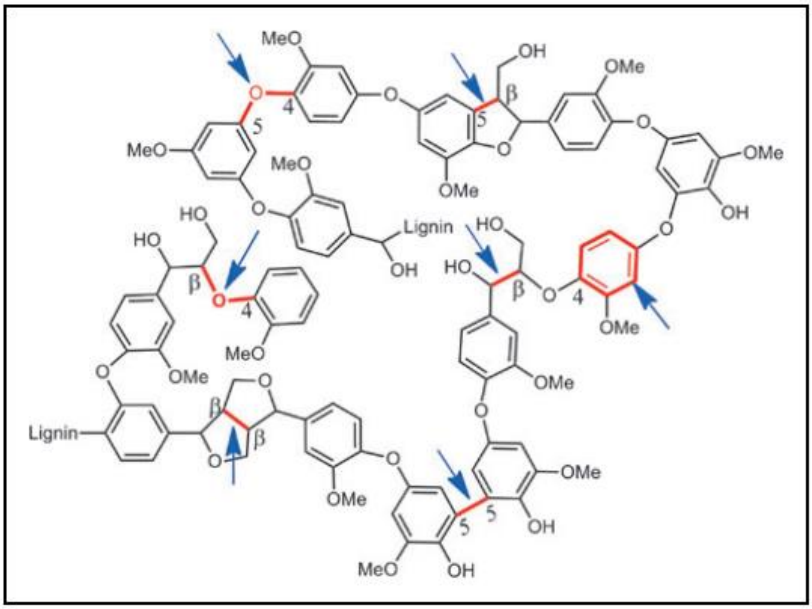
Fonte: CARROTT, S.; CARROTT, R. (2007).

A princípio, a lignina pode parecer apresentar uma estrutura irregular e de formação ao acaso, devido à diferença que ocorre em sua estrutura, em função de sua fonte de extração (FOELKEL, 2016). De acordo com Rutten, Ramírez e Duque (2017), não há uma precisão acerca da estrutura química da lignina, uma vez que os processos empregados na desconstrução do material lignocelulósico afetam a estrutura dos polímeros, gerando possíveis modificações na estrutura da lignina. Dessa forma, segundo Bozell *et al*. (2007), a lignina pode ser classificada em nativa (lignina presente na biomassa) e técnica (lignina isolada da biomassa mediante o emprego de alguma técnica). Segundo Doherty, Mousavioun e Fellows

(2014), a massa molecular da lignina técnica está sujeita a variações na faixa de 1000 a 20000 g/mol.

Estima-se a existência de mais de 10 ligações químicas diferentes entre os átomos de C-O e C-C que formam a molécula de lignina, das quais as principais ligações presentes na lignina nativa são: β-O-4, β-β, β-5, 5-5 e 4-O-5 (XIE; RAGAUSKAS; YUAN, 2016), conforme pode-se observar na Figura 2.4. Segundo Cheng *et al*. (2017), a ligação éter β-O-4 é a mais abundante, representando de 45% a 48% das ligações presentes na lignina nativa.

Figura 2.4 - Possível estrutura para a lignina nativa



Fonte: XIE; RAGAUSKAS; YUAN (2016).

Essas ligações químicas geram uma estrutura tridimensional, amorfa, termicamente estável e de difícil despolimerização para a obtenção de moléculas químicas de menor peso molecular, seja mediante o uso de solventes orgânicos ou a ação de microorganismos (CHENG *et al*, 2017). A característica aromática e a presença de ligações covalentes fazem da lignina uma molécula recalcitrante. Além disso, ela também tem a capacidade de fornecer resistência mecânica e resistência à degradação por raios ultravioletas (GALL *et al*, 2017). De acordo com Foelkel (2016), a lignina natural contém cerca de 60% de carbono, o que agrega um grande valor energético a este polímero. Este fato pode ser verificado pelo poder calorífico da lignina proveniente de biomassa lenhosa se encontrar na faixa de 23 a 26 GJ/t, enquanto a celulose possui um poder calorífico entre 16 e 17 GJ/t e a hemicelulose entre 14 e 17 GJ/t (FOELKEL, 2016).

2.2.3 Processos para extração de lignina

O processo de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica é uma etapa primordial (BOMTEMPO; ALVES, 2016), pois é empregado com a finalidade de romper a camada de lignina, que envolve os materiais hemicelulósicos e celulósicos, a fim de tornar a biomassa mais porosa, a celulose menos cristalina e mais suscetível a hidrólise química ou enzimática (BACOVSKY; DALLOS; WÖRGETTER, 2010). Assim, hemicelulose e, principalmente, celulose podem ser convertidas em açúcares, que são insumos para a produção de etanol e outros bioprodutos (YANG; WYMAN, 2008). Portanto, a etapa de pré-tratamento não é aplicada com o objetivo específico de se obter a lignina. Porém, é possível obtê-la como um subproduto de processos empregados para a geração de açúcares derivados de matéria-prima renovável.

Para definir a tecnologia de pré-tratamento deve-se considerar as características da biomassa adotada em cada processo, pois o emprego de solventes, microorganismos, enzimas e a variação de condições físicas, como temperatura e pressão, impactam as propriedades dos materiais constituintes da biomassa, durante o processo de desconstrução lignocelulósica (RUTTEN; RAMÍREZ; DUQUE, 2017). Também é importante considerar o efeito do pré-tratamento para o alcance do uso eficiente da biomassa, isto é, para garantir o maior aproveitamento possível na conversão das frações lignocelulósicas em produtos (BOMTEMPO; ALVES, 2016).

De acordo com Chen *et al*. (2017), Júnior Pereira (2010), Sivagurunathan *et al*. (2017) e Sun *et al*. (2016), esses processos de pré-tratamento podem ser classificados nas seguintes categorias: química, físico-química, física e biológica, conforme apresentado na Tabela 2.2. As tecnologias químicas são baseadas no uso de solventes. Esses são misturados à biomassa provocando a solubilização ao menos parcial de frações lignocelulósicas (BOMTEMPO; ALVES, 2016). Os tratamentos físico-químicos podem ser caracterizados pela presença de solventes aliada ao uso de temperatura e pressão elevadas, com o objetivo de reduzir o tempo reacional, romper a lignina e tornar a fração de celulose mais acessível para a hidrólise (RABEMANOLONTSOA; SAKA, 2016; SUN *et al*, 2016). Os processos físicos podem ser subdivididos em duas categorias: mecânicos e por uso de radiação, tendo como objetivo a fragmentação do material lignocelulósico e o aumento da área superficial disponível para a hidrólise. São processos mais amigáveis sob o ponto de vista ambiental, porém onerosos, o que pode limitar sua aplicação em escala industrial (CHEN *et al*, 2017; SUN *et al*, 2016). Os pré-tratamentos biológicos estão em fase de desenvolvimento e utilizam microorganismos

para fragmentar o material lignocelulósico, tornando a celulose e hemicelulose disponíveis para hidrólise (SUN *et al*, 2016).

A Tabela 2.2 apresenta algumas tecnologias de pré-tratamento mais citadas na literatura com objetivo de discutir aspectos relacionados a vantagens e desvantagens de sua aplicação, assim como seu grau de maturidade, isto é, se a tecnologia está consolidada ou em fase de desenvolvimento. Caracterizam-se como tecnologias consolidadas aquelas que são empregadas em escala industrial, e em desenvolvimento tecnologias que se encontram em fase de pesquisa. Essa análise visa auxiliar na identificação de tecnologias promissoras para a obtenção simultânea de açúcares e lignina de qualidade, uma vez que os açúcares são foco principal do desenvolvimento tecnológico e para agregar valor à lignina residual é necessária que a mesma apresente certos padrões de pureza.

A partir das informações da Tabela 2.2 conclui-se que a tecnologia *organosolv* pode ser um processo promissor, porque não apresenta a degradação das frações celulósicas e hemicelulósicas não resultando em perdas de produção, e gera uma lignina pura, que pode ser aplicada para a produção de produtos de maior valor agregado. O impasse tecnológico para sua aplicação em larga escala está associado ao elevado custo do processo, causado pelo valor dos solventes orgânicos e pelas condições de processo (temperatura e pressão). Dentre os processos consolidados, Bozell *et al*. (2007) destacam a potencial produção de lignina de qualidade pelo processo de explosão a vapor. Segundo a Tabela 2.2, esse mesmo processo apresenta uma boa recuperação de açúcares, apesar de não recuperar totalmente as frações hemicelulósicas.

Segundo Bozell *et al*. (2007), alguns métodos de recuperação da lignina residual dessas tecnologias podem ser através da alteração de pH do meio e por adição de substâncias químicas que permitam a precipitação da lignina, seguido de filtração e lavagem. Outras formas de recuperação descritas por Bozell *et al*. (2007) são: coagulação da lignina por meio de um aquecimento seguido de filtração, para algumas tecnologias alcalinas; extração por meio de solventes orgânicos, para tecnologias de explosão a vapor.

Tabela 2.2 - Tecnologias de pré-tratamento lignocelulósico

Tecnologia	**Exemplo**	**Vantagem**	**Desvantagem**	**Maturidade**
		Pré-tratamento químico		
Ácido concentrado	H_2SO_4 H_3PO_4 HCl	Degradação da hemicelulose Elevada produção de açúcares	Perda de celulose devido à degradação Problemas de corrosão e toxicidade Recuperação do ácido Alto custo	Consolidado
Ácido diluído	H_2SO_4 H_3PO_4 HCl	Degradação da hemicelulose Baixo consumo de ácido	Alta temperatura e pressão Formação de inibidores Problemas de corrosão Baixa remoção de lignina	Consolidado
Alcalino	NaOH $Ca(OH)_2$	Solubilização da hemicelulose e lignina Temperatura e pressão ambiente Mais eficaz para biomassa agrícola	Menor degradação de açúcares Maior tempo reacional Recuperação do álcali	Consolidado
Organosolv	Etanol Etilenoglicol	Separação e obtenção de lignina, hemicelulose e celulose pura Fácil recuperação do solvente por destilação Eficaz para *softwood*	Alto custo do solvente Questões de segurança ao manusear grande quantidade de solvente orgânico Elevada temperatura e pressão	Em desenvolvimento
Líquido Iônico	Dimetil-éter	Ambientalmente amigável Dissolução da lignina Baixa temperatura	Alto custo do líquido iônico Recuperação do líquido iônico	Em desenvolvimento
		Pré-tratamento físico-químico		
Explosão a Vapor	Vapor	Baixo impacto ambiental Elevada recuperação de açúcares Eficiência energética	Baixa recuperação de hemicelulose Produção de inibidores Ruptura incompleta da matriz lignina-carboidrato	Consolidado

Tecnologia	Exemplo	Vantagem	Desvantagem	Maturidade
		Pré-tratamento físico-químico		
Liquid Hot Water (LHW)	Água	Baixa formação de inibidores Não requer o uso de catalisadores Aplicado para diversas biomassas	Remoção parcial da lignina Alta temperatura Baixa produção de açúcares	Em desenvolvimento
Ammonia Fiber Explosion (AFEX)	NH_3	Baixíssima formação de inibidores	Baixa remoção de lignina Alto custo da amônia líquida Impacto ambiental	Em desenvolvimento
Fluido Supercrítico	Sc-CO_2 Sc-H_2O	Ambientalmente amigável Baixíssima produção de inibidores Não requer catalisadores Isolamento da lignina	A fragmentação da celulose causa perda de açúcares Mais eficaz aliado a outras técnicas Alta pressão	Em desenvolvimento
Oxidação Úmida	O_2 H_2O_2	Baixíssima produção de inibidores Remoção da lignina Baixa cristalinidade da celulose	Alta pressão e temperatura Alto custo	Em desenvolvimento
		Pré-tratamento físico		
Mecânico	Esmagamento Trituração Compressão	Utilizado antes de outros métodos para tornar o processo mais fácil e eficaz, pois reduz o tamanho das partículas	Não remove a lignina e hemicelulose Alto custo	Consolidado
Radiação	Feixe de elétrons Micro-ondas Ultrassônica	Redução do tempo reacional Redução da cristalinidade da celulose O método de feixe de elétrons pode ser empregado em escala comercial	Alto custo O método de micro-ondas gera perdas de produção por degradação	Em desenvolvimento
		Pré-tratamento biológico		
Biológico	Fungos Bactérias	Baixa demanda energética Não requer o uso de químicos Degradação da lignina e hemicelulose	Baixa taxa reacional	Em desenvolvimento

Fonte: Elaborado a partir de ADITIYA *et al*. (2017); BACOVSKY; DALLOS; WÖRGETTER (2010); BHUTTO *et al.* (2017); BOMTEMPO; ALVES (2016), CHEN *et al*. (2017); JÚNIOR PEREIRA (2010); RABEMANOLONTSO; SAKA (2016); SUN *et al*. (2016).

2.2.4 Mercados de aplicação da lignina

O crescimento do interesse por biorrefinarias integradas pode impulsionar o desenvolvimento de atividades que agregam valor para resíduos gerados em grande volume e com potencial aplicação no mercado, como é o caso da lignina. De acordo com Xie, Ragauskas e Yuan (2016), a produção mundial da indústria de papel e celulose, no ano de 2004, gerou 50 milhões de toneladas de lignina, das quais aproximadamente 98% foram destinadas à queima para a geração de energia. Segundo Langholtz *et al*. (2014), anualmente, os Estados Unidos devem utilizar 223 milhões de toneladas de biomassa para a produção de 335 litros de etanol de 2ª geração por tonelada de biomassa seca, gerando 62 milhões de toneladas de lignina, o que ainda se configura como uma expectativa otimista. O desenvolvimento de processos para obtenção de açúcares a partir de materiais lignocelulósicos deve fazer com que o volume de lignina residual disponível seja ainda maior nos próximos anos.

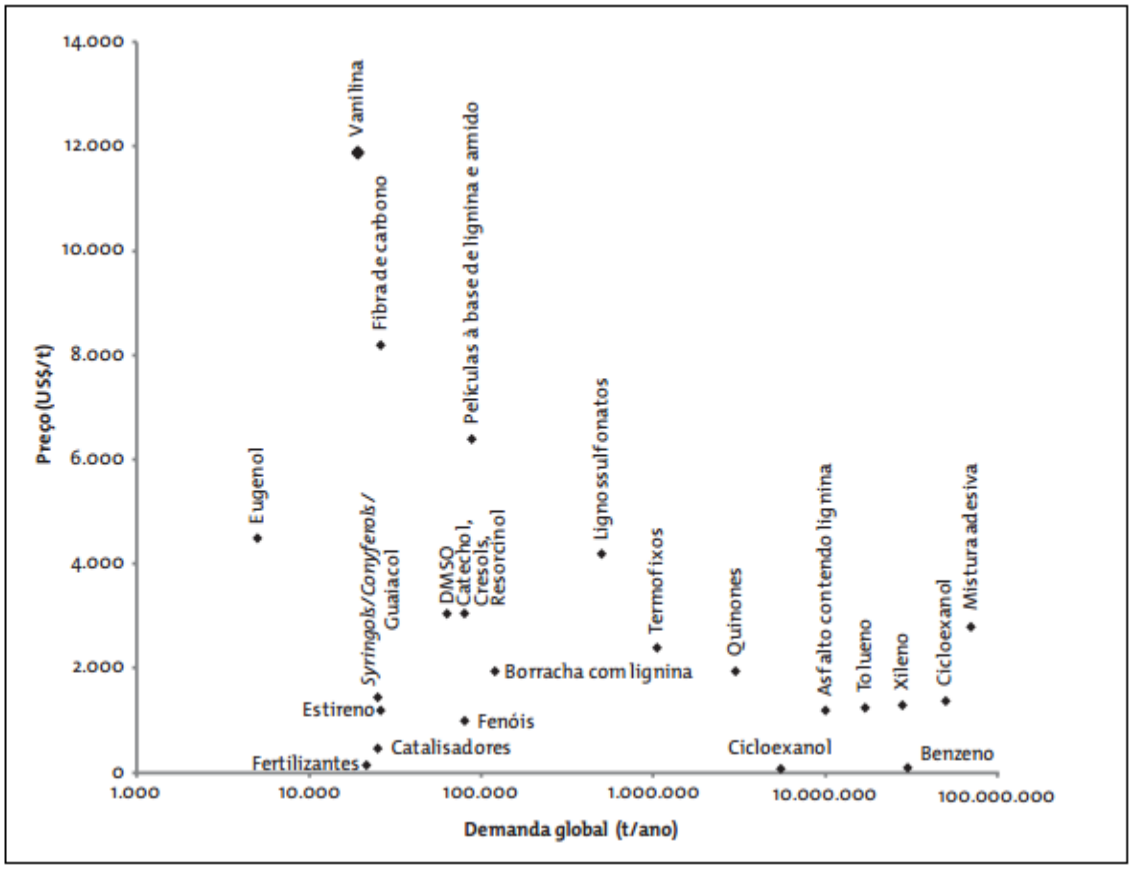
O enorme potencial energético da lignina aliado à ausência de um sistema rigoroso de purificação contribui para que o seu principal destino no mercado, ao longo dos anos, seja o setor energético, isto é, a lignina é queimada, produzindo calor, o qual pode ser utilizado nas próprias unidades industriais, que geram o resíduo de lignina para suprir suas operações industriais em equipamentos como trocadores de calor. O calor também pode ser utilizado para fins de comercialização. Nesse caso, uma caldeira contendo água é alimentada com calor, gerando vapor. Esse, por sua vez, quando fornecido a turbina produz eletricidade (VARANASI *et al*, 2013). No Brasil, as plantas que geram resíduos lignocelulósicos adotam esta prática para suprir sua demanda energética ou para a comercialização do excedente energético (NALI; RIBEIRO; HORA, 2016). Segundo Ragauskas *et al*. (2014), o volume de lignina gerado pelas biorrefinarias pode atingir um valor 60% maior do que a sua demanda interna de energia produzida pela queima de lignina nas caldeiras de suas unidades. Esse fato aliado ao desejo da exploração de produtos de maior valor agregado derivados da lignina, que produzam uma receita maior, pode impulsionar o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a obtenção de novos produtos.

A geração da lignina como subproduto industrial, no geral, apresenta contaminantes do processo. O licor negro proveniente da indústria de papel e celulose, por exemplo, é rico em lignina, mas também contém sódio, hemicelulose entre outros compostos, que precisam ser removidos, para que a lignina seja utilizada para a geração de produtos de maior valor

agregado. Esses processos de purificação da lignina constituem um dos principais entraves tecnológicos, pois é necessário conciliar o fator tecnológico com a viabilidade econômica a fim de que esta matéria-prima seja insumo de mercados mais nobres do que a sua simples queima para a produção de energia (FOELKEL, 2016).

A despolimerização da lignina em compostos de menor peso molecular, como benzeno, tolueno, xileno, ciclohexanol, ácido acético, ácido vanílico, quinones e dimetilsulfóxido representa a geração de produtos de maior valor agregado (VARANASI *et al*, 2013). Também constituem outras aplicações de valor agregado a produção de carvão ativado, aditivos para cimento, dispersantes, pesticidas, biopolímeros, resinas fenólicas, fibras de carbono e biocombustíveis. A lignina também pode ser comercializada na forma de pellets, contudo essa atividade possui um baixo valor de mercado (NALI; RIBEIRO; HORA, 2016). A Figura 2.5 apresenta uma estimativa de valores e demanda global para os produtos obtidos a partir da lignina.

Figura 2.5 - Mercado potencial para os derivados da lignina (sem data)



Fonte: VARANASI *et al*. (2013 apud NALI; RIBEIRO; HORA, 2016, p. 286).

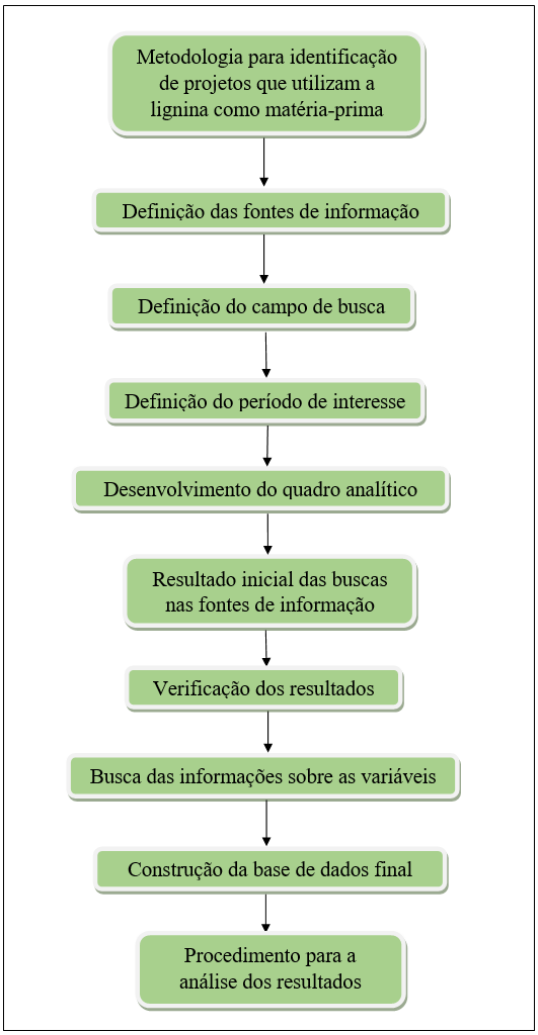
O valor da lignina de baixo grau de pureza comercializada pode atingir o dobro do valor da tonelada de celulose (PURE LIGNIN, 2009). Segundo Nali, Ribeiro e Hora (2016) há uma maior disponibilidade da lignina de baixo grau de pureza no mercado. Assim, pode-se concluir que a lignina possui potencial valor de mercado, sendo a lignina pura destinada para o mercado de produtos mais nobres. A lignina já apresenta participação no mercado global. Em 2014, foram comercializadas aproximadamente 1,1 milhão de toneladas das quais a lignina de baixo grau de pureza foi responsável por 85% desse mercado (ZION RESEARCH, 2015; RADIANT INSIGHTS, 2015 apud NALI; RIBEIRO; HORA, 2016). Os principais consumidores foram os EUA e a Europa, que absorveram 70% desta matéria-prima. A participação das regiões asiática e latino-americana deve crescer nos próximos anos devido ao incentivo à bioeconomia e a tendência na diversificação dos negócios das indústrias de papel e celulose nesses locais (GRAND VIEW RESEARCH, 2015 apud NALI; RIBEIRO; HORA, 2016). O planejamento de biorrefinarias integradas, como no caso das indústrias de papel e celulose é uma oportunidade para expandir as fronteiras industriais, desenvolver novos setores e diversificar o *portfolio* de produção.

Portanto, conclui-se que a lignina pode ser encontrada em diversas fontes de biomassa, contribuindo para a garantia de sua disponibilidade como matéria-prima. As iniciativas de estruturação da cadeia de valor da lignina são impulsionadas devido a sua obtenção como subproduto da indústria de papel e celulose, de usinas de etanol e com o advento das biorrefinarias espera-se que o volume de lignina disponível no mercado aumente ainda mais. Dessa forma, explorar as potenciais aplicações desse material, que é uma fonte renovável de carbono, pode permitir a expansão das fronteiras industriais, o desenvolvimento de novos produtos renováveis em substituição aos derivados fósseis, ou até mesmo o surgimento de um novo mercado, por meio do desenvolvimento de produtos inovadores e atrativos. O desenvolvimento tecnológico é vital para o alcance desse objetivo, pois a lignina possui uma estrutura complexa que precisa ser rompida, originando compostos menores e garantindo o acesso às frações de celulose e hemicelulose, fontes de açúcares fermentáveis, alvo dos processos industriais. É importante empregar uma tecnologia que assegure qualidade compatível das frações poliméricas extraídas com a sua finalidade de uso.

3. Metodologia

Como discutido no capítulo anterior, as indústrias de papel, celulose e etanol geram um grande volume de lignina como subproduto de suas atividades produtivas. Tradicionalmente, essas indústrias empregam a lignina para a produção de energia, devido ao seu elevado poder calorífico. Contudo, a lignina é um composto rico em carbono renovável cuja exploração tecnológica pode resultar em produtos de maior valor agregado. Assim, a metodologia utilizada neste trabalho tem por objetivo auxiliar na identificação de projetos atuais e futuros que visam utilizar a lignina como matéria-prima. A Figura 3.1 mostra o fluxograma com as etapas constituintes da metodologia. A seguir serão apresentados os critérios utilizados para a realização da pesquisa e que serviram de base para a discussão do trabalho.

Figura 3.1 - Fluxograma desenvolvido para a metodologia



Fonte: Elaboração própria.

A metodologia adotada neste estudo possui caráter exploratório e visa identificar as iniciativas empresariais referentes ao aproveitamento da lignina a partir de notícias divulgadas em mídias eletrônicas. Assim, será desenvolvido um estudo quantitativo e qualitativo sobre as variáveis envolvidas na estruturação de seus negócios empresariais relacionados à lignina.

3.1 Definição das fontes de informação

Para realizar o levantamento das informações referentes às iniciativas que utilizam a lignina foram utilizados os seguintes sites especializados: *Bio-based News, Biofuels Digest* e *Green Chemicals Blog* que são de fácil e gratuito acesso, além de serem representativos das atividades relacionadas à bioeconomia em âmbito global. Esses sites reúnem informações sobre iniciativas e investimentos desenvolvidos por diversas instituições para a construção de seus modelos de negócio, permitindo a identificação de múltiplos projetos em diferentes estágios de maturidade. Considerando o objetivo do trabalho de mapear as iniciativas empresarias atuais relacionadas à lignina e discutir as perspectivas futuras, optou-se por não explorar bases de patentes e artigos científicos, os quais trariam majoritariamente informações relacionadas apenas à tecnologia e produtos voltados para desenvolvimentos de longo prazo. A opção por estudar projetos em andamento visava justamente perceber o processo de estruturação das iniciativas em conjunto com aspectos tecnológicos e dos produtos.

3.2 Definição do campo de busca

O termo "*lignin*" foi utilizado no campo de busca, pois permitia a identificação de quaisquer notícias em que esse termo estivesse presente, podendo variar desde projetos mais complexos, como a geração de produtos não *drop-in* até a apresentação de sua remoção de materiais lignocelulósicos para o uso das frações de celulose e hemicelulose sem mencionar o destino final da lignina. Assim, acredita-se que foi possível reunir o maior número de informações relacionadas à lignina existentes nos sites especializados.

3.3 Definição do período de interesse

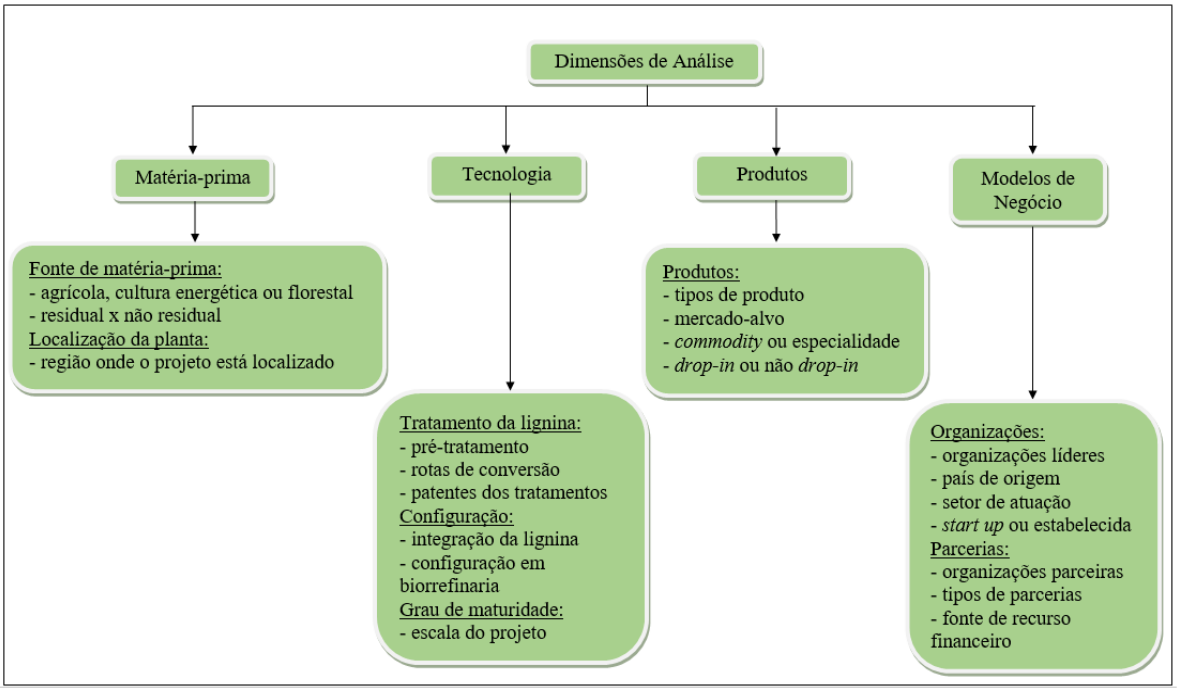
Adotou-se como período de interesse notícias compreendidas entre janeiro de 2011 e maio de 2018, com o objetivo de avaliar a dinâmica de uso da lignina como matéria-prima a partir do ano de publicação do artigo de Coutinho e Bomtempo (2011). Na elaboração do

roadmap[7] tecnológico discutido no artigo, os autores apontaram uma perspectiva de longo prazo para a chegada ao mercado de produtos derivados da conversão de lignina, isto é, esperando uma potencial exploração desta para a geração de produtos no período compreendido entre 2019 e 2030. Logo, todas as notícias desde o ano de publicação do referido artigo até o momento de início da análise dos resultados, em maio de 2018, foram mapeadas.

3.4 Desenvolvimento do quadro analítico

Para a realização da análise dos projetos identificados, foi elaborado um banco de dados no Excel, segundo a perspectiva de quatro dimensões de análise, que englobam as variáveis relacionadas à matéria-prima, tecnologia, produtos e modelos de negócio. A Figura 3.2 apresenta as variáveis consideradas dentro de cada uma dessas dimensões em estudo.

Figura 3.2 - Dimensões de análise consideradas na base de dados do Excel



Fonte: Elaboração própria.

Cada uma das variáveis da Figura 3.2 acima foi considerada para a análise com o objetivo de permitir uma melhor compreensão acerca da dinâmica de inovação atual no aproveitamento da lignina, buscando explorar tanto de forma quantitativa quanto qualitativa o

[7] "Um *roadmap* é a representação gráfica de uma visualização do futuro que procura integrar os aspectos relevantes do negócio (mercado, produtos, tecnologias, processos e pessoas) na dimensão tempo" (COUTINHO; BOMTEMPO, 2011).

conjunto de informações do banco de dados, de forma a suscitar a discussão do panorama atual e as perspectivas futuras do uso da lignina na bioeconomia.

3.5 Resultado inicial das buscas nas fontes de informação selecionadas

Com base nos critérios definidos nos itens anteriores o *Bio-based News* apresentou 538 resultados, o *Biofuels Digest* 451 resultados e o *Green Chemicals Blog* 39 resultados. Cabe a ressalva de que a notícia mais antiga identificada no site *Green Chemicals Blog* relacionada aos critérios definidos foi referente ao ano de 2012. Os demais sites apresentavam notícias que cobriam o período de 2011 até 2018. Também convém ressaltar o período de acesso das notícias nos sites especializados, uma vez que esses sites podem apresentar alteração na quantidade de notícias disponíveis para diferentes períodos em que se realiza o acesso. Todas as notícias foram acessadas no ano de 2018. As notícias *do Green Chemicals Blog* foram acessadas no mês de maio, as buscas no *Biofuels Digest* foram realizadas nos meses de maio, junho e setembro e as buscas no *Bio-based News* foram realizadas nos meses de setembro, outubro e novembro.

3.6 Verificação dos resultados

Essa etapa consistiu na leitura dos resultados provenientes da busca inicial com a finalidade de verificar se as notícias obtidas estavam em conformidade com o tema em estudo, ou seja, se havia alguma iniciativa mencionada na notícia sobre o uso da lignina que apresentasse potencial aplicação de mercado através da geração de produtos ou energia. Assim, as notícias referentes a atividades de pesquisa, rotas para desconstrução da lignina e modificações na estrutura da lignina, sem perspectivas de aplicação mercadológica foram descartadas.

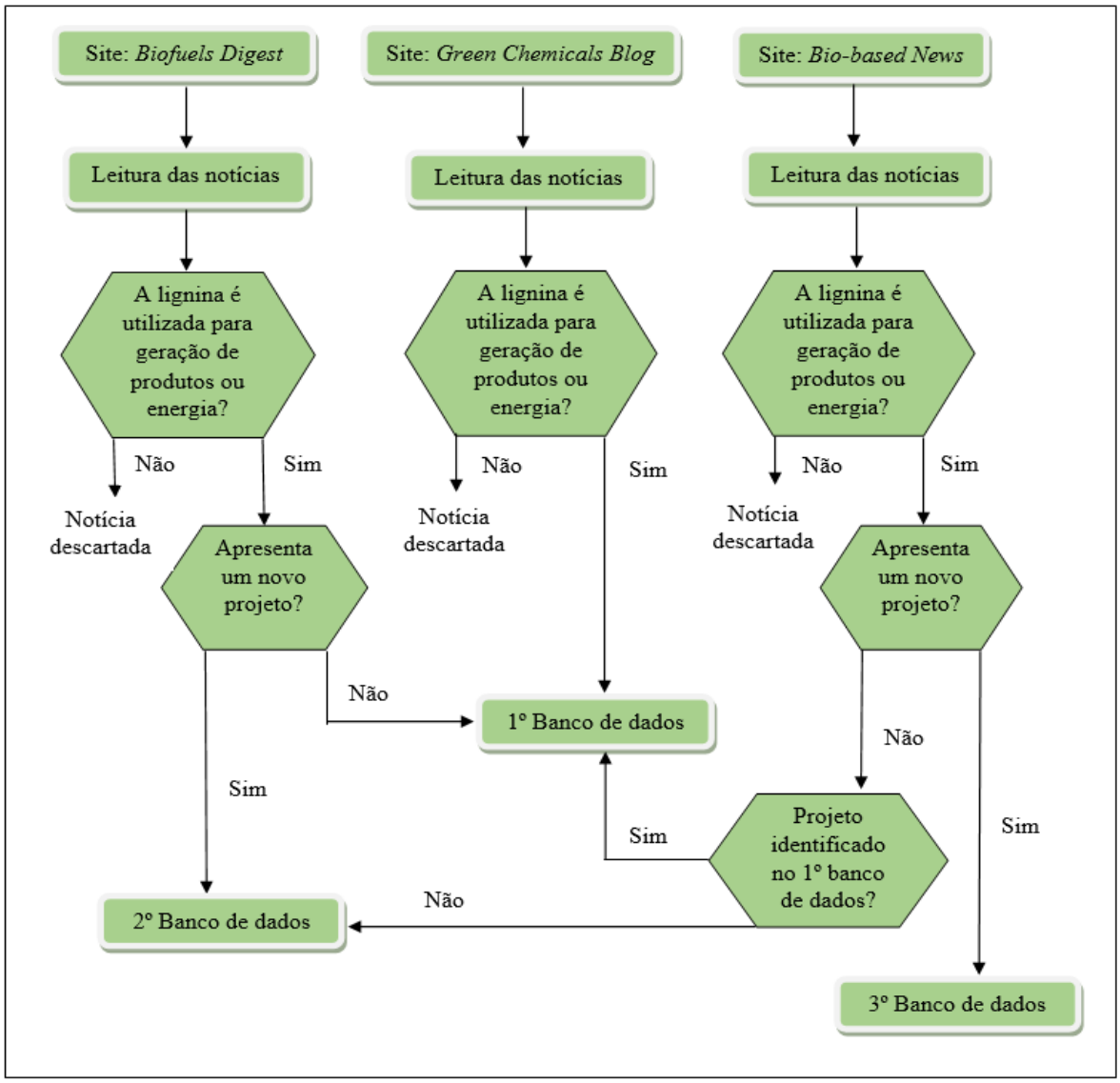
A leitura foi realizada na seguinte ordem de sites especializados: *Green Chemicals Blog*, *Biofuels Digest* e *Bio-based News*. Construiu-se 3 quadros analíticos no Excel, com as mesmas dimensões de análise (citadas no item 3.4), em que cada um desses quadros correspondia aos projetos identificados através das notícias de seus respectivos sites especializados.

Os resultados que sinalizavam projetos de estruturação de cadeias de valor para o aproveitamento da lignina como matéria-prima foram selecionados para análise, segundo a

identificação de variáveis de negócio e tecnológica a partir das informações obtidas das notícias, permitindo, portanto, a construção dos 3 bancos de dados.

Contudo, há notícias de um mesmo site especializado ou de diferentes sites especializados que fazem referência a projetos em comum. Nesses casos foi adotado o critério de atribuir todas as notícias referentes a um mesmo projeto em um só banco dados. A Figura 3.3 ilustra a abordagem utilizada para a verificação das notícias e construção dos bancos de dados.

Figura 3.3 - Esquema da abordagem utilizada para a verificação e seleção das notícias



Fonte: elaboração própria.

Portanto, respeitando a ordem de leitura nos sites especializados, ao identificar notícias do *Biofuels Digest* que faziam referência a projetos já identificados no banco de

dados do *Green Chemicals Blog* (primeiro a ser construído), atribuiu-se tais notícias do *Biofuels Digest* aos projetos identificados pela base de dados do *Green Chemicals Blog* com a finalidade de reunir o maior número de informações sobre cada projeto.

O mesmo procedimento foi adotado ao realizar a leitura das notícias do *Bio-based News*, isto é, notícias do *Bio-based News* que faziam referência a projetos já incorporados ao banco de dados do *Green Chemicals Blog* foram atribuídas a esse banco de dados. E notícias do *Bio-based News* que faziam referência a projetos presentes no banco de dados do *Biofuels Digest* foram atribuídas a esse.

Assim, buscou-se identificar o maior número de projetos através dos 3 sites especializados. Concluída essa etapa, o conjunto de resultados inicial de 1028 notícias foi reduzido para 249 notícias, ou seja, 24,2% das notícias iniciais estavam de acordo com o objetivo do estudo e foram utilizadas para a construção do banco de dados inicial resultando em 117 projetos. A Tabela 3.1 apresenta um resumo das notícias e do número de projetos identificados até essa etapa de verificação dos resultados.

Tabela 3.1 - Resultados provenientes da verificação das notícias

Período de busca: janeiro/2011 a maio/2018			
Sites especializados (palavra-chave: "*lignin*")	Total de notícias iniciais	Total de notícias selecionadas	Total de projetos identificados
Green Chemicals Blog	39	18	14
Biofuels Digest	451	113	57
Bio-based News	538	118	46
Total	1028	249	117

Fonte: Elaboração própria.

Assim, uma vez que foram identificados os projetos, a etapa seguinte apoiou-se pela busca das informações complementares que integram as dimensões de análise de cada um desses projetos constituintes quadro analítico.

3.7 Busca das informações sobre as variáveis

As notícias provenientes dos sites especializados não foram suficientes para a obtenção das informações sobre as variáveis que compunham o quadro analítico relacionadas a todos os projetos. Dessa forma, a busca de dados complementares teve como ponto de

partida a identificação das organizações envolvidas nos projetos. Identificada(s) a(s) organização(ões) foram realizadas buscas em seus respectivos sites e nos seguintes *reports*: *Advancing the biobased economy: renewable chemical biorefinery commercialization, progress and market opportunities, 2016 and beyond* (2016), *Renewable chemical plataforms building the biobased economy* (2018), *Bio-based products – from idea to market* (2018) e *Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications* (2018).

As informações obtidas nessa fase de pesquisa foram de extrema importância para a construção de uma base de dados consistente, que auxiliasse no desenvolvimento das análises referentes ao aproveitamento da lignina para a geração de produtos ou energia. Assim, foi possível a realização de um novo refino do número de projetos e consequentemente do número de notícias, porque foram excluídos os projetos que não possuíam a participação de empresas, isto é, projetos desenvolvidos apenas por universidades que não apresentavam algum tipo de parceria com empresa(s) foram removidos, devido à dificuldade para identificá-los nos sites de universidades e obter informações sobre os mesmos.

O critério relacionado ao grau de maturidade foi utilizado para a exclusão de projetos desenvolvidos apenas por instituições de pesquisa que possuíam um estágio de desenvolvimento bastante inicial. Ainda foram excluídos projetos previamente identificados que não citavam a organização responsável, mas apenas algum processo ou tecnologia que exploravam para uso da lignina. Adotou-se esse critério porque não era possível utilizar o nome da instituição para fazer a busca das informações referentes as dimensões de análise. Por fim, ao realizar as buscas no site das organizações responsáveis pelos projetos, a inexistência de informações que comprovassem o desenvolvimento de iniciativas referentes ao aproveitamento da lignina, em algum momento entre 2011 e 2018, corroborou para a sua exclusão da base de dados. Além disso, ao completar a base de dados inicial e verificar as informações sobre as dimensões de análise, foi possível perceber que havia alguns projetos duplicados. Portanto, todas as informações dos projetos antes individualizados foram reunidas em um único projeto. Essa etapa também foi essencial para apurar o fechamento de alguma (s) empresa(s), implicando em encerramento do projeto.

3.8 Construção da base de dados final

Após a realização das etapas anteriores, o passo seguinte consistiu em reunir os projetos provenientes dos três bancos de dados em um único banco de dados. Dessa forma, foi construída uma nova planilha no Excel, contendo as mesmas dimensões (matéria-prima,

tecnologia, produtos e modelos de negócio) presentes no quadro analítico inicial, obtendo-se o resultado de notícias e projetos mostrado na Tabela 3.2. Esses resultados integram o banco de dados final, isto é, o quadro analítico final, que reuniu as informações provenientes das buscas realizadas nos 3 sites especializados aliadas as buscas nos sites das organizações e relatórios mencionados anteriormente.

Tabela 3.2 - Resultados constituintes do banco de dados

Período de busca: janeiro/2011 a maio/2018			
Sites especializados (palavra-chave: "*lignin*")	Total de notícias iniciais	Total de notícias selecionadas	Total de projetos identificados
Green Chemicals Blog	39	18	14
Biofuels Digest	451	94	40
Bio-based News	538	79	15
Total	1028	191	69

Fonte: Elaboração própria.

3.9 Procedimento para a análise dos resultados

A análise da amostra geral constituída pelos 69 projetos que incluem o aproveitamento da lignina ao seu escopo será realizada através da investigação das informações coletadas referentes às dimensões de modelos de negócio, matéria-prima, tecnologia e produtos.

A dimensão de modelos de negócio está dividida em 2 subgrupos. O primeiro subgrupo visa identificar as organizações líderes dos projetos, o setor em que cada uma dessas atua, a região de origem dessas organizações, além da classificação das empresas em estabelecidas ou *start ups*. O segundo subgrupo tem variáveis como a identificação das empresas parceiras e os tipos e objetivos das parcerias construídas.

Os aspectos relacionados à matéria-prima constituem a segunda dimensão a ser avaliada e envolvem o tipo de biomassa utilizado para obtenção da lignina, se essa biomassa é ou não um resíduo e os locais onde os projetos estão sendo desenvolvidos.

A dimensão tecnológica engloba os aspectos tecnológicos, ou seja, variáveis relacionadas à identificação de processos de pré-tratamento, rotas de conversão e a configuração desses projetos em biorrefinarias, assim como o grau de maturidade dos projetos.

A quarta dimensão tem por objetivo apresentar os produtos principais derivados da lignina relatados nos projetos em estudo, identificando suas potenciais aplicações e analisá-los segundo sua natureza em *commodities* ou especialidades, *drop-in* ou não *drop-in*. Também serão apresentados outros produtos que podem ser gerados a partir da lignina, isto é, produtos que têm menor nível de desenvolvimento do que os produtos principais, estando muitas vezes em fase de pesquisa e desenvolvimento.

Posteriormente será analisado um conjunto mais restrito de projetos atualmente ativos que tem a lignina como foco principal, seguindo a mesma ordem de discussão atribuída para a amostra geral e procedendo uma discussão comparativa entre os resultados apresentados para esse subconjunto com aqueles obtidos para a amostra geral. A Tabela 3.3 mostra a quantidade de projetos ativos com foco na lignina.

Tabela 3.3 - Resultados constituintes do banco de dados para projetos atualmente ativos com foco na lignina

Sites especializados (palavra-chave: "*lignin*")	Total de notícias selecionadas	Total de projetos identificados
Green Chemicals Blog	8	5
Biofuels Digest	32	15
Bio-based News	46	7
Total	86	27

Fonte: Elaboração própria.

Portanto, as quatro dimensões de análise consideradas para a avaliação da amostra geral e do subconjunto reúnem as informações referentes aos projetos identificados e norteiam a discussão acerca do panorama atual e as perspectivas futuras a respeito do uso da lignina como matéria-prima renovável. A Tabela 3.4 apresenta o total de projetos identificados após as seguintes etapas:

- verificação das notícias dos sites especializados, a qual permitiu a construção de uma base de dados inicial;
- busca das informações sobre as variáveis analíticas, resultando na construção da base de dados final referente à amostra de projetos relacionados à lignina;
- aplicação de filtros na base de dados final visando a análise de um subconjunto de projetos ativos com foco principal no aproveitamento da lignina.

Tabela 3.4 - Total de projetos identificados para as diferentes etapas metodológicas

Sites especializados (palavra-chave: "*lignin*")	Total de notícias selecionadas	Total de projetos identificados
Base de dados inicial	249	117
Base de dados final	191	69
Subconjunto	86	27

Fonte: Elaboração própria.

Os Apêndices A e B apresentam a lista de projetos identificados para a base de dados final e para o subconjunto respectivamente, com algumas informações referentes aos mesmos.

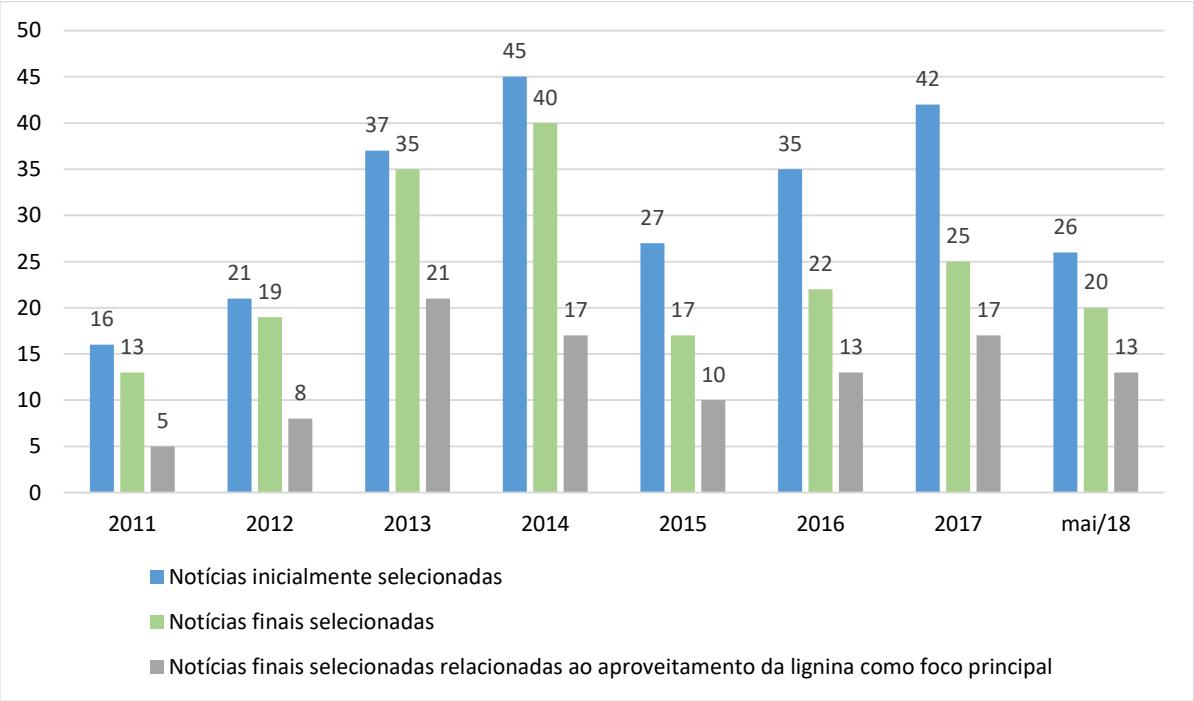
4. Discussão dos resultados - Panorama geral sobre os projetos relacionados à lignina

Neste capítulo será realizada uma caracterização da amostra geral dos 69 projetos que compõem a base de dados final, e posteriormente serão discutidos os resultados coletados para as variáveis analíticas que integram as dimensões de modelos de negócio, matéria-prima, tecnologia e produtos referentes a esses projetos estudados.

4.1 Características gerais dos projetos

Com o objetivo de avaliar a dinâmica temporal de publicação das notícias, foi construído o gráfico apresentado na Figura 4.1, o qual confronta a evolução das notícias inicialmente selecionadas, as finais selecionadas e aquelas cujo foco principal era o aproveitamento da lignina.

Figura 4.1 - Publicação de notícias relacionadas à lignina 2011-2018



Fonte: Elaboração própria a partir de notícias obtidas nos sites especializados.

Através da Figura 4.1 é possível perceber que durante o período de 2011 a 2014 há um grande crescimento das notícias inicialmente selecionadas e finais selecionadas, com números bastante próximos ano a ano. Este foi um período de ascensão dos projetos de etanol celulósico que podem justificar, de certa forma, este comportamento e também a grande

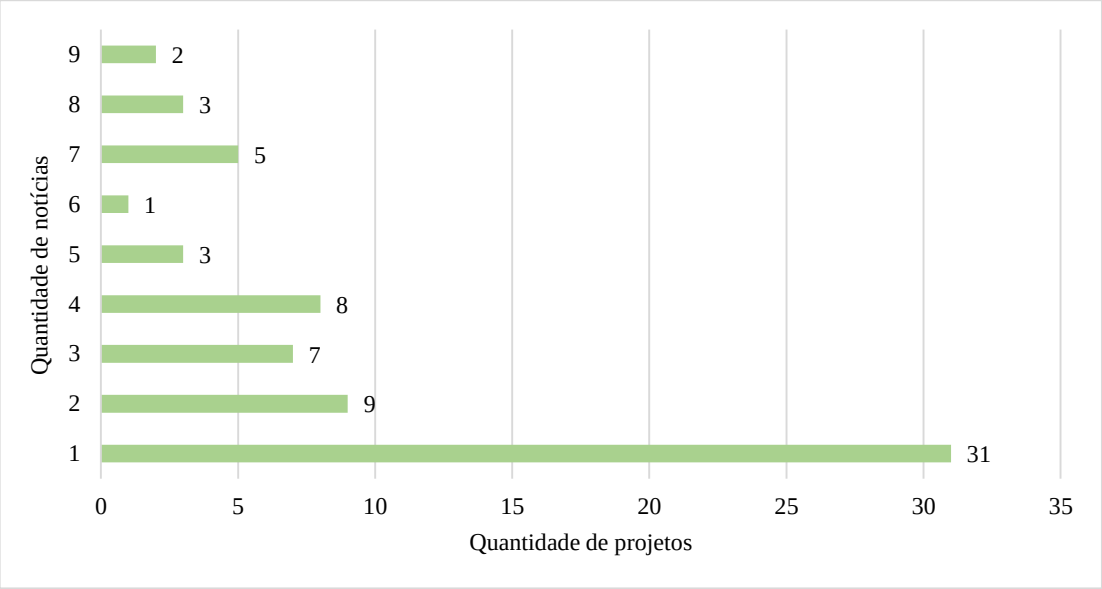
diferença destes em relação aos projetos com foco principal na lignina. Neste período, em média 90% das notícias inicialmente selecionadas compunham o grupo de noticiais finais selecionadas, enquanto que as com foco no aproveitamento da lignina representavam, em média 40% das notícias inicialmente selecionadas. É possível então inferir que neste período grande parte das notícias realmente abordava o aproveitamento da lignina, mas a maioria dizia respeito a projetos onde a lignina não era o foco principal.

Entre 2015 e 2017 (descartando 2018 pelo curto período analisado) observa-se novamente uma tendência de crescimento, após uma queda entre 2014 e 2015, mas neste intervalo a representatividade das notícias finais selecionadas cai em relação às inicialmente selecionadas (média de 65% do total) enquanto que as notícias que tratavam de iniciativas com foco principal na lignina possuem um patamar médio de 40% em relação às notícias inicialmente selecionadas. Esta mudança de resultados para as notícias inicialmente selecionadas e finais selecionadas entre os períodos de 2011-2014 e 2015-2017 índica uma redução no número de notícias na amostra inicial abordando projetos relacionados à lignina, mas cujo foco principal não é a própria lignina. Nesses casos a lignina é majoritariamente utilizada para a geração de calor, vapor e eletricidade. Contudo, para o período de 2011-2013 e 2015-2017 pode-se fazer uma leitura de um crescimento de interesse na lignina propriamente dita e em projetos visando especificamente seu aproveitamento sendo os principais derivados da lignina os aromáticos, aditivos e dispersantes. As análises a seguir irão permitir uma avaliação mais detalhada desta percepção inicial das características do universo de notícias identificadas.

Essa análise das notícias permite vislumbrar a evolução temporal da divulgação de iniciativas relacionadas ao uso da lignina nas fontes de informação selecionadas. Contudo, é importante ressaltar que um mesmo projeto é abordado, algumas vezes por mais de uma notícia. Desse modo, a Figura 4.2 mostra a quantidade de notícias obtidas dos sites especializados atribuídas a cada um dos projetos, e a quantidade total de projetos identificados.

A Figura 4.2 mostra um predomínio de projetos identificados a partir da publicação de apenas uma notícia. Isso ressalta a importância de fundamentar as atividades de busca em 3 sites especializados, variando a fonte de informação, de modo a identificar o maior número de projetos para retratar o estágio atual das iniciativas de aproveitamento da lignina como matéria-prima renovável e discutir as dimensões de análise nesse contexto. O número total de projetos identificados foi de 69, sendo que 45% destes era abordado em apenas uma notícia.

Figura 4.2 - Projetos identificados relacionados à lignina



Fonte: Elaboração própria a partir das notícias obtidas nos sites especializados.

Os projetos também foram classificados segundo seu *status* atual como ativo, concluído e inativo/sem informação sobre o *status* atual. Foram considerados como ativos projetos em desenvolvimento, cujas plantas poderiam estar em operação ou em fase de construção apresentando perspectivas futuras para iniciarem suas operações. Os projetos concluídos são aqueles que seguiram seu propósito de desenvolvimento desde a etapa inicial até a final e se encontravam concluídos até o mês de dezembro de 2017. Considerou-se como inativos/sem informação sobre o *status* atual os projetos cujas empresas líderes decretaram falência culminando na interrupção do projeto, ou cujas empresas permanecem operantes, mas não apresentam informações atuais sobre os projetos inicialmente identificados por meio das notícias. Assim, o número de projetos que apresenta *status* atual ativo é de 47, os projetos concluídos são 7 e inativos/sem informação sobre o *status* atual são 15.

4.2 Modelos de negócio

4.2.1 Perfil da organização líder

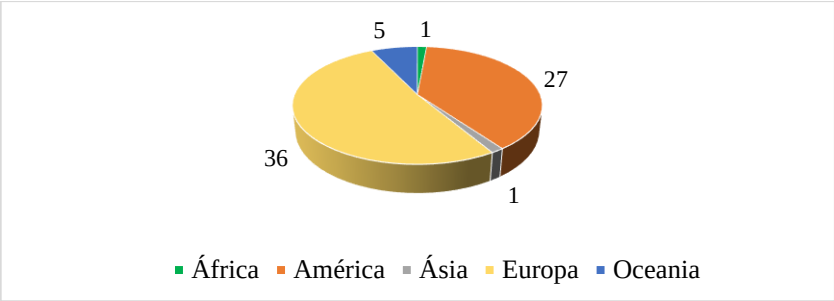
Com o objetivo de analisar o perfil das organizações responsáveis pelos projetos, foram adotadas as seguintes variáveis para o estudo: país de origem, setor de atuação e classificação quanto a ser ou não *start up*.

Para os 69 projetos estudados, foram identificadas 70 organizações líderes[8], porque para um dos projetos não foi possível constatar uma única organização como responsável, mas sim duas organizações, a *Preem* (que atua no setor de combustível) e *RenFuel* (com atuação no campo dos biocombustíveis) que atuam juntas em um projeto para a produção de bio-óleo a partir de resíduo florestal.

Os países de origem das organizações concentram-se predominantemente nos continentes europeu e americano, conforme mostra a Figura 4.3, indicando que essas regiões aparentam estar mais empenhadas em utilizar a lignina como matéria-prima renovável, contribuindo para o avanço da bioeconomia.

Um aspecto notável é a forma como estão distribuídos os países de origem das organizações líderes dentro de cada uma dessas regiões. Enquanto na Europa existe uma distribuição mais homogênea, uma vez que as organizações estão distribuídas em torno de 13 países distintos, no continente americano existe uma concentração majoritária dos EUA como país de origem de 23 organizações líderes. As demais instituições líderes têm sua origem no Canadá e Brasil com um número de duas empresas para cada um desses países. As empresas líderes brasileiras são a *GranBio*, atuante no setor de biocombustíveis e a *Fibria* que tem sua origem no setor de celulose.

Figura 4.3 - Região de origem da organização líder



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A presença da Oceania ocorre devido à participação de 5 empresas: *Australian Paper* (com atuação no setor de papel e embalagens), *Ethanol Technologies* (provedora de soluções tecnológicas), *Greenpower Energy* (com origem no setor de carvão), *Leaf Resources* (empresa de biotecnologia industrial) *e Licella* (provedora de soluções tecnológicas) que possuem a

[8] Definiu-se como organização líder aquela que estava empenhada em estabelecer parcerias com outras organizações para estruturar seus negócios, assim como as organizações que eram proprietárias da maior parte dos negócios, e as organizações que foram apresentadas como as coordenadoras dos projetos.

Austrália como país de origem. A participação da África é representada pela *Sappi* (que desenvolve negócios a partir de fibras de madeira) cujo país de origem é a África do Sul, e a Universidade de Putra localizada na Malásia contribui para a integração da Ásia às regiões representantes dos países de origem.

Contudo, ao avaliar a difusão da construção de uma economia de base renovável a partir da lignina observa-se uma predominância de iniciativas coordenadas por organizações líderes de países desenvolvidos, as quais são responsáveis por 94% dos projetos. Os 6% restantes são projetos executados por instituições líderes de países em desenvolvimento, África do Sul, Brasil e Malásia.

Posteriormente, foi realizado um levantamento em relação ao setor de atuação de cada uma das 70 organizações líderes. Primeiramente, as organizações foram segregadas em dois grupos: empresas *versus* instituições de pesquisa e universidades. Há 61 empresas e 9 instituições de pesquisa/universidades assumindo o papel de organização líder das iniciativas estudadas. Para a análise das organizações quanto a classificação em *start ups* ou estabelecidas, não foram considerados os 9 projetos liderados pelas instituições de pesquisa e universidades, com o objetivo de considerar apenas as empresas para essa avaliação.

Segundo Hamilton (1985), uma empresa emergente ou *start up* é aquela criada para explorar uma nova tecnologia. Estas firmas focam seus esforços em inovações tecnológicas específicas voltadas para nichos de mercado. As empresas estabelecidas são aquelas já posicionadas em mercados existentes. A Tabela 4.1 mostra a classificação quanto ao setor de atuação, segundo 10 categorias distintas e a classificação em *start ups* ou estabelecidas para as empresas.

Tabela 4.1 - Classificação das organizações líderes dos projetos identificados

Setor de atuação	***Start ups***	**Estabelecidas**	**Total**
Biocombustível e Bioprodutos	6	4	10
Biotecnologia industrial	8	1	9
Carvão	0	1	1
Combustível e Energia	0	4	4
Papel, Celulose, Embalagens e Fibras de madeira	0	8	8
Químicos	3	6	9
Pesquisa	-	-	3
Tecnologia	15	4	19
Universidade	-	-	6
Vestuário e acessórios	0	1	1
Total	32	29	70

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Assim, avaliando apenas as empresas líderes, ou seja, excluindo os setores de pesquisa e universidade, verifica-se que 52% das empresas podem ser classificadas como *start ups* e 48% como estabelecidas, ou seja, há um equilíbrio entre os diferentes perfis das empresas que atuam no aproveitamento da lignina, mostrando uma diversidade de atores característica da bioeconomia.

Os dados apresentados na Tabela 4.1 indicam que as organizações que se declaram como provedoras de tecnologia ou de soluções tecnológicas, representadas pela categoria de tecnologia, possuem a maior representatividade (27%) no que se refere ao setor de atuação. Na sequência encontram-se as instituições que atuam no setor de biocombustíveis e bioprodutos, em que a proporção é de 7 empresas de biocombustíveis para 3 empresas *start ups* de bioprodutos. As empresas de biotecnologia industrial compõem o terceiro grupo em termos de representatividade de setor de atuação. Dentre essas, apenas a empresa *American Process* encontra-se classificada como estabelecida.

As empresas que atuam nos seguintes setores: combustível e energia; papel, celulose, embalagens e fibras de madeira, juntas são responsáveis por 17% dos setores de atuação das organizações líderes e todas foram classificadas como estabelecidas. Esse valor (17%) é superior àquele que representa as empresas do setor de biocombustível e bioprodutos (14%), e pode revelar um dado interessante com relação ao perfil das empresas que atuam no aproveitamento da lignina. Todas as empresas dos setores de combustível e energia; papel, celulose, embalagens e fibras de madeira citam que em suas atividades há integração da matéria-prima da qual se obtém a lignina, isto é, essas empresas geram resíduos de lignina em suas atividades essenciais ou têm acesso a esses resíduos por meio de parcerias estabelecidas com outras empresas para o fornecimento desse insumo. Assim, aproveitam a lignina para a construção de novos negócios.

Para as 10 empresas do setor de biocombustível e bioprodutos, apenas duas, a *Biome Bioplastics* e a *Tecnaro* parecem não realizar integração da matéria-prima para obter a lignina, ou seja, nesses projetos não haveria acesso direto à biomassa lignocelulósica, mas sim o acesso ao resíduo rico em lignina proveniente de outras indústrias que não estão envolvidas nesse projeto, e têm o papel de atuar apenas fornecendo a lignina ou resíduos contendo lignina, como o licor negro. Para as 8 empresas que relatam possuir integração da biomassa só o projeto liderado pela *Preem e RenFuel* cita como é feita essa integração, a qual se dá por meio de uma parceria estabelecida com a *Rottneros* e a *Nordic Paper*, empresas de papel e celulose, para a aquisição dos resíduos provenientes de suas atividades, contendo lignina.

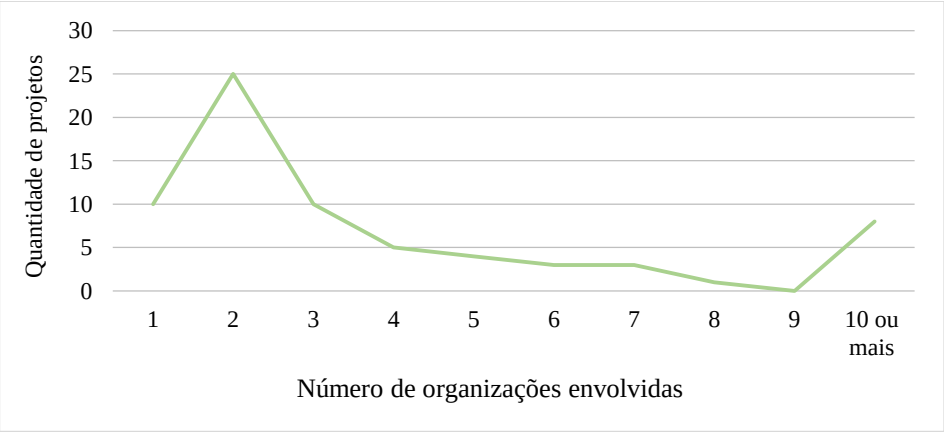
4.2.2 Relações de parceria

As relações de parceria são importantes para as organizações que estruturam modelos de negócio inovadores, porque permitem a obtenção de recurso financeiro e o acesso às competências complementares, isto é, competências que a organização líder não dispõe, porém é capaz de acessar através dos parceiros, de modo a viabilizar a execução do projeto (OROSKI; ALVES; BOMTEMPO, 2015). Portanto essa seção tem o propósito de discutir questões relacionadas às parcerias nos projetos em estudo, como o número de organizações envolvidas nos projetos e quais são esses tipos de parceria.

Dentre os 69 projetos em estudo 10 desses, ou seja, cerca de 15% do total de iniciativas não apresentam nenhuma relação de parceria, ou seja, são conduzidos por apenas uma organização. Esse dado sugere que as relações de parceria são essenciais para a estruturação de negócios a partir do aproveitamento da lignina, já que aproximadamente 85% das iniciativas apresentam algum tipo de acordo entre organizações.

A partir da Figura 4.4 pode-se extrair informações relacionadas ao número de organizações envolvidas nos projetos. A maior quantidade dos projetos avaliados apresentou duas organizações envolvidas. Acima de duas organizações envolvidas, não é possível observar uma tendência, havendo uma oscilação na quantidade de projetos relacionados ao aproveitamento da lignina, quando o número de organizações envolvidas varia entre 3 e 10 ou mais organizações.

Figura 4.4 - Número de organizações envolvidas nos projetos



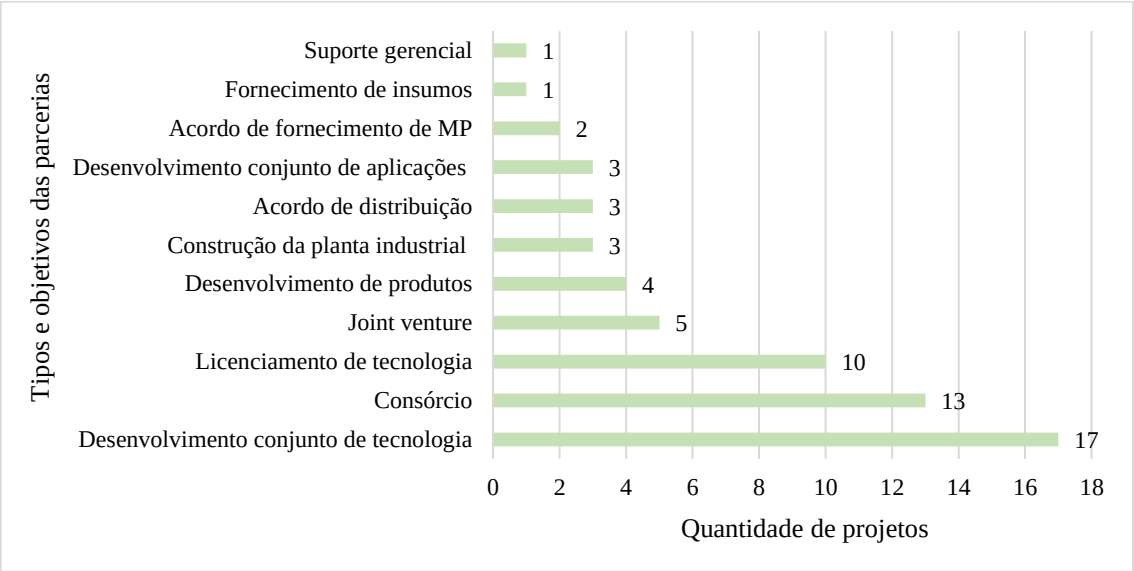
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Os 8 projetos que envolvem a participação de 10 ou mais organizações, *Bioforever*, *Sweetwoods*, *Biocore*, *Carboprec*, *Rewofuel*, *LigniOx e Bio-HArT*, e uma iniciativa liderada

pela *ZeaChem*, foram classificados como consórcios. Um consórcio empresarial é um arranjo que une diferentes empresas através de contratos, geralmente com foco na realização de grandes empreendimentos, os quais ultrapassam a capacidade individual de cada participante (SEBRAE, 2018). Destes, 6 projetos visam o desenvolvimento de produtos derivados do açúcar celulósico e lignina, e apenas 2, *Carboprec* e *LigniOx*, são projetos onde a lignina e seus derivados são o produto alvo.

A Figura 4.5 mostra os tipos e objetivos das parcerias identificados para os projetos em estudo. Foram verificados 62 casos de parceria presentes em 59 projetos, já que 3 desses projetos apresentaram 2 tipos e objetivos de acordo estabelecidos, sendo eles liderados pelas seguintes empresas: *Domtar*, *Preem*/*RenFuel* e *Avello Bioenergy*.

Figura 4.5 - Acordos de parceria estabelecidos entre as organizações



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A *Domtar* é uma empresa do setor de papel e celulose, que está desenvolvendo negócios para a comercialização da lignina gerada a partir dos resíduos de suas atividades sob a marca *BioChoice® Lignin*. A *Domtar* possui um acordo com a *Valmet* (uma empresa de base tecnológica), que licencia a tecnologia *Lignoboost*™ para sua planta, e um acordo de distribuição com a *UPM* (com origem no setor de papel e celulose) para a comercialização dessa lignina na Europa. Além disso, por meio da *Prisma Renewable Composites*, a *Domtar* investe no desenvolvimento de aplicações para a lignina, como a produção de materiais plásticos.

A *Preem* e a *Renfuel* são empresas do setor de combustível e biocombustível, respectivamente e atuam conjuntamente no desenvolvimento de tecnologia para a produção de bio-óleo a partir de resíduos florestais. Essa biomassa florestal é proveniente de um acordo estabelecido com a *Nordic Paper* e a *Rottneros*, empresas do setor de papel e celulose, para o fornecimento da matéria-prima contendo lignina. O projeto liderado pela *Avello Bioenergy* (com atuação no campo da tecnologia) encontra-se inativo/sem informação sobre o *status* atual, mas relatou acordo com outras 5 organizações para a construção de uma planta industrial, voltada para a produção de bio-óleo a partir da lignina, e para o desenvolvimento de aplicações. A *Cargill* (uma empresa do setor de agronegócio) deveria testar esse bio-óleo em suas unidades industriais a fim de verificar a aplicação desse bio-óleo da *Avello* como combustível, e a *Borregaard* (cuja origem é o setor de papel e celulose) deveria testar a viabilidade de utilizar frações desse óleo para o desenvolvimento de outros produtos renováveis.

Ainda de acordo com a Figura 4.5, serão discutidos os 3 principais tipos e acordos de parcerias identificados nos projetos. O acordo de parceria com maior incidência foi para desenvolvimento conjunto de tecnologia, o qual envolve organizações líderes dos mais variados setores. Em 15 dessas parcerias há a participação de pelo menos uma organização do setor de tecnologia, instituto de pesquisa ou universidade. Portanto, para esses 15 projetos existe alguma organização com *know-how* no desenvolvimento de soluções tecnológicas. Para os outros 2 projetos restantes, não se verifica a participação de empresas de tecnologia, instituições de pesquisa nem universidades, mas um esforço de empresas de diferentes setores para desenvolverem uma tecnologia aplicável aos seus negócios, este seria o caso do projeto liderado pela *Preem* (do setor de combustível) e *RenFuel* (do setor de biocombustível), e o projeto liderado pela *Renmatix*, uma empresa de bioprodutos, que estabelece parceria com empresas do setor de papel e celulose e químico.

Existem 13 projetos que são do tipo consórcio, envolvendo a participação de organizações líderes de 9 setores distintos, que estabelecem acordos com parceiros para o desenvolvimento conjunto dos negócios. O número de organizações envolvidas nesses projetos é igual ou superior a 6 havendo, também, organizações parceiras de diversos setores envolvidas em um mesmo projeto, com a finalidade de contribuírem com suas competências essenciais para a execução do projeto.

Com relação aos consórcios, também foi possível extrair informações acerca das fontes de recursos para o financiamento dos projetos. Para esses 13 projetos, foi possível avaliar as fontes de financiamento em 11 deles. Nesses 11 projetos verifica-se a presença de

investimentos externos, sendo 4 os seguintes projetos: *Bioforever, LigniOx, Rewofuel* e *Sweetwoods* caracterizados por uma parceria pública-privada, estabelecida por meio da *Bio-Based Industries Public-Private Partnership* (BBI JU), que envolve a União Europeia e um consórcio de indústrias de base renovável operando sob o *Horizon 2020*[9] (BIO-BASED INDUSTRIES, 2014). A presença de programas de apoio financeiro como o BBI JU pode ser um incentivo para o avanço dos negócios relacionados ao aproveitamento da lignina como matéria-prima na Europa, uma vez que auxiliam o desenvolvimento de pesquisas de inovação.

Outro consórcio que possui investimento de fundos europeus (*Interreg V Flanders-The Netherlands* e financiamento adicional de outras províncias) é o BIO-HArT. Esse projeto foi iniciado em 2016, envolve 10 organizações diferentes e tem como objetivo o desenvolvimento de tecnologias para a produção de aromáticos de base renovável, a partir, principalmente, da biomassa lenhosa. A perspectiva é de que no ano de 2018, tivesse sido alcançada a produção desses aromáticos em escala de quilogramas para demonstração em indústrias (não há informações se este resultado foi alcançado), e que até 2025 seja atingida a produção em escala comercial (TNO, 2019).

O terceiro tipo/objetivo de parceria com maior incidência para a amostra geral é o licenciamento de tecnologia. Nesse caso, a organização líder estabelece acordo com outras organizações parceiras que proveem tecnologias para o desenvolvimento das iniciativas relacionadas à lignina. Dentre os 10 projetos que relatam esse tipo de acordo, em 7 deles existe alguma patente envolvida (conforme foi possível observar por meio das notícias provenientes dos sites especializados e dos sites das empresas), seja por conta da tecnologia licenciada pela organização parceira ou de alguma outra tecnologia desenvolvida pela organização líder.

4.3 Aspectos relacionados à matéria-prima

4.3.1 Fonte de matéria-prima

Adotou-se como referência a classificação utilizada por Rogers *et al*. (2017) para o mercado americano de biomassa em que foram discernidas 3 categorias de biomassa: resíduos

[9] O *Horizon 2020* é um programa de incentivo à inovação da União Europeia que dispõe de instrumentos de financiamento para o período de 2014 a 2020, e busca facilitar as relações entre o setor público e privado para o alcance da inovação. Esse instrumento tem como finalidade incentivar as atividades de pesquisa e inovação tornando viável que grandes ideias passem do nível de laboratório para escala comercial (HORIZON 2020, 2019).

agrícolas, culturas energéticas e recursos florestais/madeira[10]. As informações obtidas da base de dados relatam que 70% dos projetos avaliados utilizam biomassa florestal, como pinheiro, eucalipto, abeto e *poplar*. A vantagem do uso desse recurso florestal como fonte de lignina é a garantia da sua disponibilidade, já que a produção ocorre de forma ininterrupta, não sofrendo com períodos de entressafra, segundo Fröhling *et al*. (2011).

48% dos projetos utilizam a biomassa agrícola, havendo destaque para o uso da palha de cereais e cana-de-açúcar, com predominância das palhas de trigo e milho. As culturas energéticas aparecem como fonte de matéria-prima em 19% dos projetos. E, por fim, para 10% dos projetos não foi possível identificar a sua fonte de obtenção de lignina.

A quantidade de iniciativas que relata a possibilidade de utilizar 2 ou 3 tipos de biomassa para a execução de suas atividades é de 36%. Essa flexibilidade no uso da biomassa é um fator positivo, pois garantiria o acesso à matéria-prima em períodos de entressafra de biomassas agrícolas, evitando paradas na execução dos projetos.

A segunda variável analisada em relação à matéria-prima é a forma como as organizações obtêm a biomassa, podendo ser na condição de resíduo ou de biomassa na íntegra. Dentre os projetos que especificaram a condição de obtenção da biomassa, 70% citam tipos residuais e 42%[11] biomassas não-residuais, sendo que 22% dos projetos admitem o uso tanto de biomassa residual quanto não-residual.

4.3.2 Localização dos projetos

Os projetos tendem a instalar suas plantas próximas das fontes de obtenção da matéria-prima com o intuito de reduzir os custos de logística (KERN; KIVIM; MARTISKAINEN, 2017). Segundo Fröhling *et al*. (2011), há limitações para a quantidade de matéria-prima que pode ser armazenada e o transporte dessa biomassa para longas distâncias apresenta desvantagens, devido ao alto conteúdo de água que esses materiais podem conter, tornando ainda mais complicado a estruturação do sistema logístico. Portanto, a localização das plantas próximas das fontes de obtenção de matéria-prima parece ser a opção mais viável para a estruturação dos negócios a partir da biomassa.

---

[10] Rogers *et al*. (2017) também consideram em seu estudo os resíduos sólidos municipais/outros resíduos como uma fonte de biomassa. Contudo, esses resíduos não se configuram como fontes para a obtenção de lignina, de modo que não foram considerados para as análises desse trabalho.

[11] Esse valor assim como as porcentagens identificadas para os tipos de matéria-prima excede 100%, pois há projetos que apontam o uso de diferentes tipos de biomassas (residuais ou não residuais).

Assim como ocorre em relação à região de origem das organizações líderes (Figura 4.3), há uma predominância de projetos localizados nos continentes americano (42%) e europeu (39%). A semelhança com as características identificadas a partir da região de origem das organizações líderes também é mantida quando se verifica que os projetos localizados na Europa estão distribuídos de forma mais homogênea em torno de pelo menos 14 países, enquanto na América a distribuição se dá em apenas 3 países, havendo uma concentração de 27 projetos localizados nos EUA, além de 2 no Canadá e 1 no Brasil.

Interessante notar que, apesar do Brasil apresentar duas organizações líderes, apenas a *GranBio* possui sua planta localizada no estado brasileiro de Alagoas, atuando na produção de biocombustível a partir de palha de cana-de-açúcar e utilizando a lignina do bagaço residual da cana para a produção de eletricidade em parceria com a empresa Caeté (do setor energético). A Fibria, organização líder de origem brasileira (do setor de celulose) desenvolve suas iniciativas no campo da lignina através da *Fibria Innovations*, a antiga *Lignol Innovation* localizada no Canadá, uma aquisição realizada em 2015, que concentra tecnologia de ponta voltada para estudos de novas aplicações para a lignina.

4.4 Aspectos tecnológicos

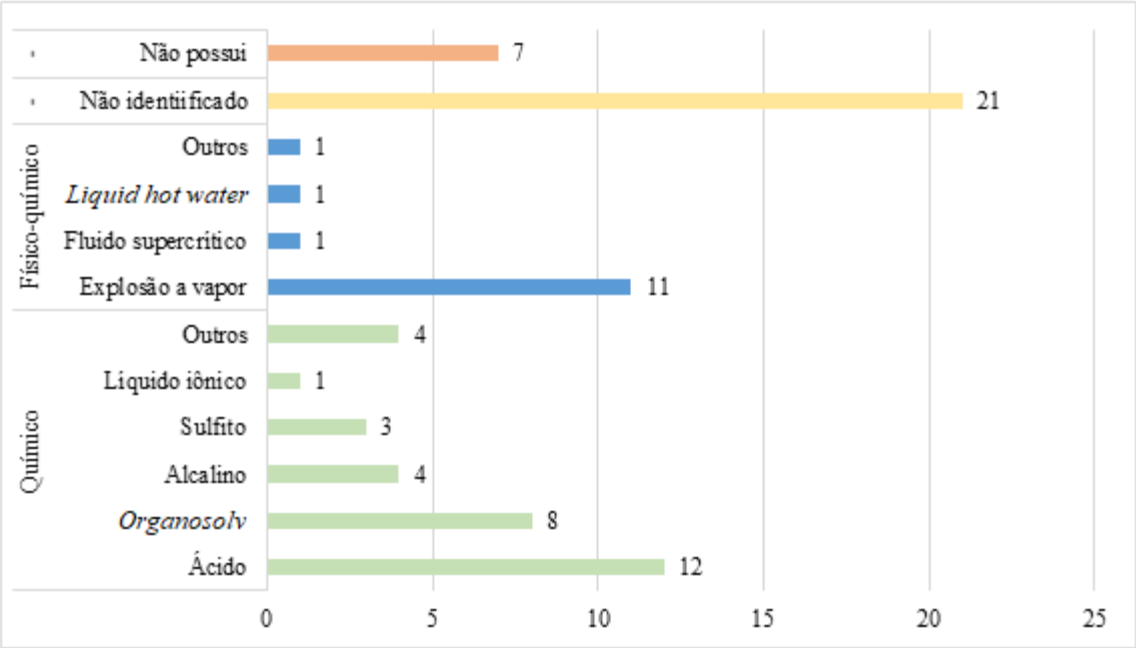
Nesse tópico serão abordadas questões relacionadas às variáveis tecnológicas como o emprego de pré-tratamento, os processos de conversão e a possível configuração dos projetos como uma biorrefinaria. Também será discutido o grau de maturidade dos projetos.

4.4.1 Pré-tratamento para obtenção da lignina

Conforme descrito na seção 2.2.3, o emprego do pré-tratamento tem como finalidade o rompimento da camada de lignina dos materiais lignocelulósicos, para permitir a obtenção das frações celulósicas e hemicelulósicas, a partir das quais são gerados açúcares, que, por sua vez, podem ser transformados em outros produtos. Assim, a lignina é obtida como um subproduto dos processos empregados para a obtenção de açúcares e permanece disponível para o desenvolvimento de uma proposição de valor.

No item 2.2.3 os pré-tratamentos também foram classificados em 4 categorias distintas: químico, físico-químico, mecânico e biológico. A Figura 4.6 apresenta os tipos de pré-tratamento aplicados nos projetos em estudo.

Figura 4.6 - Pré-tratamento empregado nos projetos para aproveitamento da lignina[12]



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A análise dos projetos relacionados ao aproveitamento da lignina aponta que 46% dos projetos que incluem a obtenção da lignina utilizam pré-tratamento químico. Dentre os diferentes tipos de pré-tratamento químico, foram classificados na categoria ácidos aqueles que utilizam ácido concentrado ou diluído. Assim, os pré-tratamento ácidos representam 38% do conjunto de pré-tratamento químico, sendo empregado para o tratamento da biomassa agrícola e florestal por organizações de diversos setores. Sob o ponto de vista de se obter a fração de lignina, o pré-tratamento com ácido diluído é menos favorável quando comparado ao ácido concentrado, pois não permite uma boa remoção da lignina, de modo que parte dessa permanece misturada aos demais compostos lignocelulósicos (Sun *et al*, 2016).

Outro pré-tratamento químico que possui destaque nos projetos em estudo são os processos *organosolv*, responsáveis pela parcela de 25% dos pré-tratamentos químicos. Processos *organosolv* utilizam solventes orgânicos sob condições de alta temperatura e pressão, para promover a separação dos materiais lignocelulósicos. A lignina obtida é de alta qualidade e pode ser recuperada por meio da evaporação do solvente. Esse tipo de processo químico ainda se encontra em fase de desenvolvimento para ser aplicado em projetos com

[12] A soma total dos pré-tratamentos empregados nos projetos aliada àqueles que não empregam pré-tratamento e para os quais não foi possível identificá-los excede o número total de projetos da amostra geral (69), porque em alguns projetos admite-se o uso de mais de um tipo de pré-tratamento.

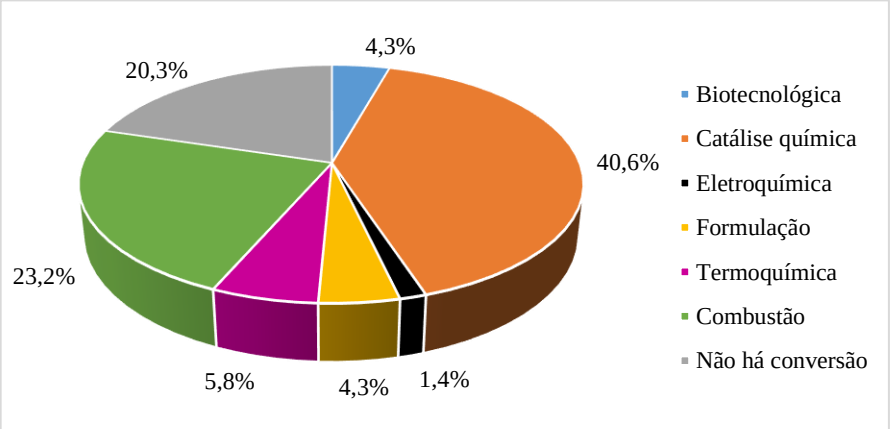
escala demonstração e comercial, devido ao alto custo e aos riscos de explosão por utilizar solventes inflamáveis. (BOMTEMPO; ALVES, 2016).

Os pré-tratamentos físico-químicos são utilizados em 20% dos projetos em análise, com a explosão a vapor representando 79% desse conjunto. Esta é empregada em projetos que utilizam biomassas agrícolas, florestais e culturas energéticas. Esse pré-tratamento consiste em tratar a biomassa com vapor sob elevadas temperatura e pressão seguida por uma rápida descompressão, a qual permite a separação das frações lignocelulósicas. Não ocorre uma ruptura completa da matriz hemicelulose-lignina, e parte da hemicelulose é degradada, caracterizando uma desvantagem do processo. Contudo, a explosão a vapor é um processo consolidado com emprego em escala demonstração e comercial e a lignina obtida possui alta qualidade para uso (BOZELL *et al*, 2007; BOMTEMPO; ALVES, 2016). Para 21 projetos (30% do total) não foi possível identificar o tipo de pré-tratamento empregado e 7 projetos (10% do total) relataram não utilizar etapas de pré-tratamento, focando apenas na conversão da lignina.

4.4.2 Processos para conversão da lignina

As rotas tecnológicas de conversão foram classificadas em 6 categorias distintas, conforme mostra a Figura 4.7.

Figura 4.7 - Rotas tecnológicas aplicadas para conversão da lignina



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A catálise química inclui processos como: hidrólise, hidrogenólise e oxidação, que utilizam solventes, catalisadores homogêneos e heterogêneos sob condições apropriadas de

temperatura e pressão, para promover a despolimerização da lignina em químicos aromáticos (CHENG *et al*, 2017). A catálise química predomina na amostra, sendo empregada em 40,6% dos projetos para a conversão da lignina em outros produtos.

A combustão é a segunda rota tecnológica mais empregada nos projetos, sendo que a combustão direta predomina em 94% desses processos e a combustão incompleta em 6% dos projetos, ou seja, apenas 1 projeto. A combustão direta ocorre quando o material contendo lignina entra em contato com o oxigênio fornecido pelo sistema para geração de calor (ANEEL, 2005). Uma vez que esse calor é fornecido para a água no interior de caldeiras, gera-se vapor. Esse vapor, ao ser alimentado em uma turbina produz eletricidade. Já na combustão incompleta nem toda matéria-prima é consumida pelo oxigênio e o produto gerado nesse projeto é o carvão ativado.

A rota termoquímica compreende os processos de gaseificação e pirólise, sendo empregada em 5,8% dos projetos em estudo com a finalidade de produzir gás de síntese e bio-óleo. Esses processos termoquímicos foram considerados, porque segundo a metodologia adotada, eles não partem da biomassa, mas sim de fração residual de lignina para realizar o processo de conversão.

A rota biotecnológica possui uma baixa representatividade dentro do conjunto amostral de projetos, sendo responsável por 4,3% das rotas de conversão. Nos processos biotecnológicos são os microorganismos e enzimas que promovem a despolimerização da lignina, de modo a torná-la uma fonte de carbono renovável para a geração de bioprodutos, como polihidroxialcanoato (PHA) e lipídios (XIE *et al*, 2016). Acredita-se que a complexidade desse processo aliada a investimentos recentes na estruturação desse tipo de rota tecnológica justifique sua baixa representatividade nos projetos em análise e o empregado em escala de bancada e piloto.

Os 4,3% dos projetos que aplicam processos de formulação são aqueles que misturam a lignina a outros materiais para a geração do produto sem aplicar processos que alterem a estrutura molecular da lignina. A rota tecnológica classificada como eletroquímica representa 1,4% dos projetos, ou seja, apenas 1 projeto que se encontra no nível de bancada. Os processos eletroquímicos dizem respeito às reações de oxidação e redução utilizando corrente elétrica. Nesse processo, a lignina estaria sujeita à despolimerização por meio da reação de oxidação. Em 20,3% dos projetos não são empregadas rotas de conversão, já que essas iniciativas são voltadas para a produção de algum tipo de lignina, que pode ser comercializada para o posterior desenvolvimento de aplicações comerciais, e pellets. Assim, não há alteração da estrutura química da lignina nem sua mistura a outros materiais.

4.4.3 Configuração em biorrefinaria

Segundo a literatura utilizada na seção 2.1, convencionou-se considerar os seguintes critérios: integração da matéria-prima e multiplicidade de produtos para verificar se os projetos buscam uma configuração de biorrefinaria.

Considera-se que há integração de matéria-prima para obtenção da lignina, quando o projeto tem acesso direto à biomassa, seja a biomassa na íntegra, ou o seu resíduo, como lascas e aparas de madeira, ou palhas de cana-de-açúcar, milho e trigo. Essa biomassa pode ser de propriedade da organização líder ou das organizações com as quais foram estabelecidas parcerias. Dado que os projetos em análise utilizam materiais lignocelulósicos (constituídos essencialmente por celulose, hemicelulose e lignina) há integração da matéria-prima quando se aproveita pelo menos duas frações poliméricas de um mesmo material, sendo uma delas, obrigatoriamente, a fração de lignina, alvo de estudo do trabalho. Também há integração quando há múltiplas correntes de biomassas, isto é, são utilizados pelo menos dois tipos de biomassas distintos para o aproveitamento da lignina. Os casos nos quais foi relatada integração representam 80% dos projetos.

Não foi considerada a existência de integração para os projetos em que a organização líder e suas parceiras não relatam possuir a biomassa da qual se extrai a lignina, ou seja, a lignina provém de organizações externas. Esses casos representam 20% dos projetos. Portanto, a maior parte dos projetos está sendo desenvolvido por organizações que já utilizam biomassa em seus processos tradicionais. Não foram identificados muitos projetos onde ocorre a aquisição da lignina para o desenvolvimento de aplicações comerciais.

Para os casos de integração há a necessidade de processos de pré-tratamento para a extração da lignina seguidos por tecnologias de conversão que transformam a lignina no produto almejado. Nos casos em que não há integração, o pré-tratamento já teria sido realizado pela organização que fornece a lignina na forma de resíduo, como por exemplo no caso do licor negro. Assim, seria aplicada uma tecnologia para a purificação da lignina contida nesse resíduo, de acordo com a finalidade de uso no projeto. Caso não seja necessária a purificação da lignina comprada, aplica-se direto a tecnologia de conversão.

Já a multiplicidade de produtos pode ser constatada quando são geradas ao menos duas categorias distintas de produtos, exemplo: biocombustível e eletricidade, papel e resinas. O biocombustível e o papel podem ser gerados a partir da fração de celulose, enquanto a lignina residual pode ser aproveitada para a produção de eletricidade e resinas.

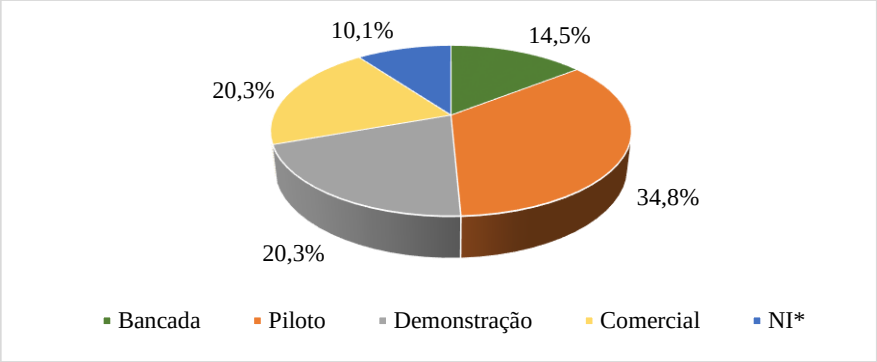
Portanto, adotando os critérios de integração de matéria-prima e multiplicidade de produtos os projetos puderam ser classificados segundo sua configuração em biorrefinarias. Os projetos liderados por universidades e instituições de pesquisa foram excluídos do detalhamento em biorrefinarias, restando 60 projetos liderados por empresas para serem avaliados. Para esses projetos, 72% deles desenvolvem iniciativas caracterizadas como biorrefinarias e 28% não sugerem configuração em biorrefinarias, devido a não atender a pelo menos um dos critérios estabelecidos.

Por fim, todas as iniciativas cujas empresas líderes pertenciam aos setores de biotecnologia industrial; papel, celulose, embalagens e fibras de madeira foram percebidas como buscando uma configuração de biorrefinaria.

4.4.4 Grau de maturidade dos projetos

O grau de maturidade aqui discutido limita-se a analisar a escala em que se encontra cada projeto: bancada, piloto, demonstração e comercial. Através da Figura 4.8, é possível observar que iniciativas em escala piloto predominam, visto que 34,8% dos projetos analisados se enquadram nessa escala.

Figura 4.8 - Escala em que se encontram os projetos para aproveitamento da lignina



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.
NI* - não foi possível identificar.

Os projetos que possuem plantas construídas ou em fase de construção do tipo demonstração e comercial correspondem a 40,6% dos projetos, com uma divisão homogênea entre esses dois graus de maturidade. Projetos em nível bancada representam 14,5% da amostra, e, por fim, em 10,1% dos projetos não foi possível identificar o grau de maturidade. Portanto, dentre os projetos cujo grau de maturidade é conhecido, conclui-se que a maior

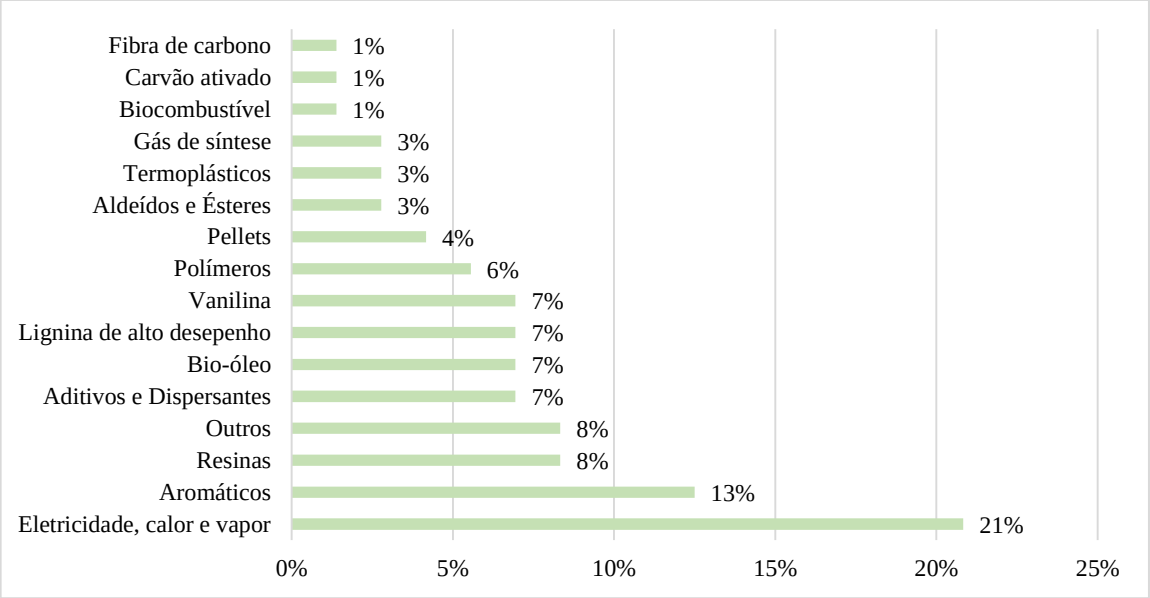
parte encontra-se em nível bancada e piloto, o que sugere o uso da lignina como matéria-prima ainda em um estágio inicial de desenvolvimento.

4.5 Questões relacionadas aos produtos

4.5.1 Tipos de produtos

Foi realizado um levantamento dos produtos derivados da lignina identificados nos projetos presentes no banco de dados, conforme detalha a Figura 4.9. Convencionou-se classificar tais produtos segundo 16 categorias, de modo a mapear de forma abrangente os tipos de produtos gerados. Vale ressaltar que esta classificação foi feita a posteriori, de forma indutiva, a partir dos produtos identificados nos projetos Dentre essas categorias, é possível perceber que o uso da lignina para a geração de eletricidade, calor e vapor, uma atividade de menor valor agregado ocupa o maior patamar. Esses produtos juntamente com os pellets, que caracterizam biocombustíveis sólidos, somam 25% dos produtos gerados.

Figura 4.9 - Produto principal derivado da lignina



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A segunda posição é ocupada pelos aromáticos, como benzeno, tolueno, xileno entre outros derivados, que respondem por 13% dos produtos identificados. As resinas representam 8% dos produtos gerados. Aditivos e dispersantes, bio-óleo, lignina de alto desempenho (uma lignina mais pura para ser empregada em produtos de maior valor agregado) e vanilina

ocupam a quarta posição. Os polímeros respondem por 6% dos produtos gerados. Aldeídos e ésteres, termoplásticos, gás de síntese, biocombustível, carvão ativado e fibra de carbono somam 12% dos produtos citados nos projetos.

A diversidade de produtos identificados a partir do aproveitamento da lignina corrobora para a existência de um vasto campo de aplicações, conforme mostra a Tabela 4.2. Os produtos podem ser utilizados desde para produção de combustíveis até fabricação de aromatizantes e flavorizantes, passando pela produção de materiais avançados, como resinas, adesivos e fibras de carbono.

Tabela 4.2 - Uso do produto principal derivado da lignina nos projetos

Produto principal relacionado à lignina	**Uso do produto**
Aditivos e Dispersantes	Construção civil e plásticos
Aldeídos e Ésteres	Agentes flavorizantes e aromatizantes, corantes e fármacos
Aromáticos	Agentes flavorizantes e aromatizantes, combustível, materiais avançados (adesivos, espumas, resinas e fibras de carbono), plásticos e setor automotivo
Biocombustível	Substituto para combustível fóssil
Bio-óleo	Substituto para combustível fóssil
Carvão ativado	Tratamento de água potável e filtros de água
Eletricidade, Calor e Vapor	Geração de energia
Fibra de carbono	Setor automotivo e pás de turbinas eólicas
Gás de síntese	Substituto para o combustível fóssil, geração de energia e matéria-prima para a indústria química
Lignina de alto desempenho	Aditivos, adsorventes, catalisadores, plásticos, materiais avançados (espumas, resinas e fibras de carbono para reforço de compósitos) e materiais para isolamento
Outros	Materiais avançados (resinas, dispersantes, compósitos, fibras de carbono e espumas), embalagens, geração de energia, vestuário e acessórios (óculos)
Pellets	Geração de energia
Polímeros	Agricultura, construção civil, materiais avançados (adesivos, dispersantes, espumas, fibras e resinas), plásticos, laminação, materiais de isolamento, setor automotivo
Termoplásticos	Agricultura, artigos de esporte e lazer, brinquedos, construção civil, embalagem, instrumentos musicais, utensílios domésticos e setor automotivo
Vanilina	Agentes flavorizantes e aromatizantes
Resinas	Adesivos, laminação, espumas, embalagens e materiais de isolamento

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Dentre o conjunto de 69 projetos analisados, 20 deles relatam desenvolver iniciativas para a obtenção de outros produtos a partir da lignina, além do prioritário, o que representa 29% dos projetos. Uma dessas iniciativas é liderada pela *Stora Enso*, uma organização finlandesa, que tem origem no setor de papel e celulose e está diversificando seu modelo de negócio ao desenvolver bioprodutos. Desde 2015 o principal produto comercializado derivado da lignina são as resinas cuja marca comercial é *Lineo*™ (STORA ENSO, 2019). No entanto, está em fase de pesquisa e desenvolvimento a geração de um outro produto a partir da lignina, que são as fibras de carbono. Ainda desse total de 20 projetos, 20% deles citam que seus outros produtos são a eletricidade e o vapor, ou seja, produtos de baixo valor agregado.

4.5.2 Natureza dos produtos

De acordo com os conceitos apresentados no item 2.1.3, os produtos também podem ser classificados em *drop-in* (bioprodutos com propriedades iguais aos produtos de origem fóssil) e não *drop-in* (bioprodutos com propriedades técnicas distintas daqueles de origem petroquímica e que requererem o desenvolvimento de novas aplicações), em *commodities* (produção em grande escala, baixo preço e comercialização pela composição do produto) e especialidades (menor escala de produção, preços mais elevados e os produtos são comercializados segundo seu desempenho).

A Figura 4.10 apresenta as categorias de produtos segundo sua natureza em *commodity* e especialidade relacionando-as com as classificações *drop-in* e não *drop-in*. Assim, segundo essa perspectiva 61% dos produtos derivados da lignina podem ser considerados como *commodities* e 39% como especialidades. Já a análise quanto ao grau de "*dropinidade*" mostra que 71% dos produtos são classificados como *drop-in* e 29% como não *drop-in*.

O fato da maior parte deles ser considerada *commodity* sugere que a principal competição com os produtos petroquímicos constitui-se no fator custo e não de diferenciação, o que sugere uma busca pela substituição direta em mercados existentes ao invés do desenvolvimento de novas aplicações. O fato da maior parte dos produtos derivados do aproveitamento da lignina ser *drop-in* corrobora para a substituição de produtos derivados de fontes fósseis, com a vantagem de possuírem sua cadeia estruturada em nível *downstream*.

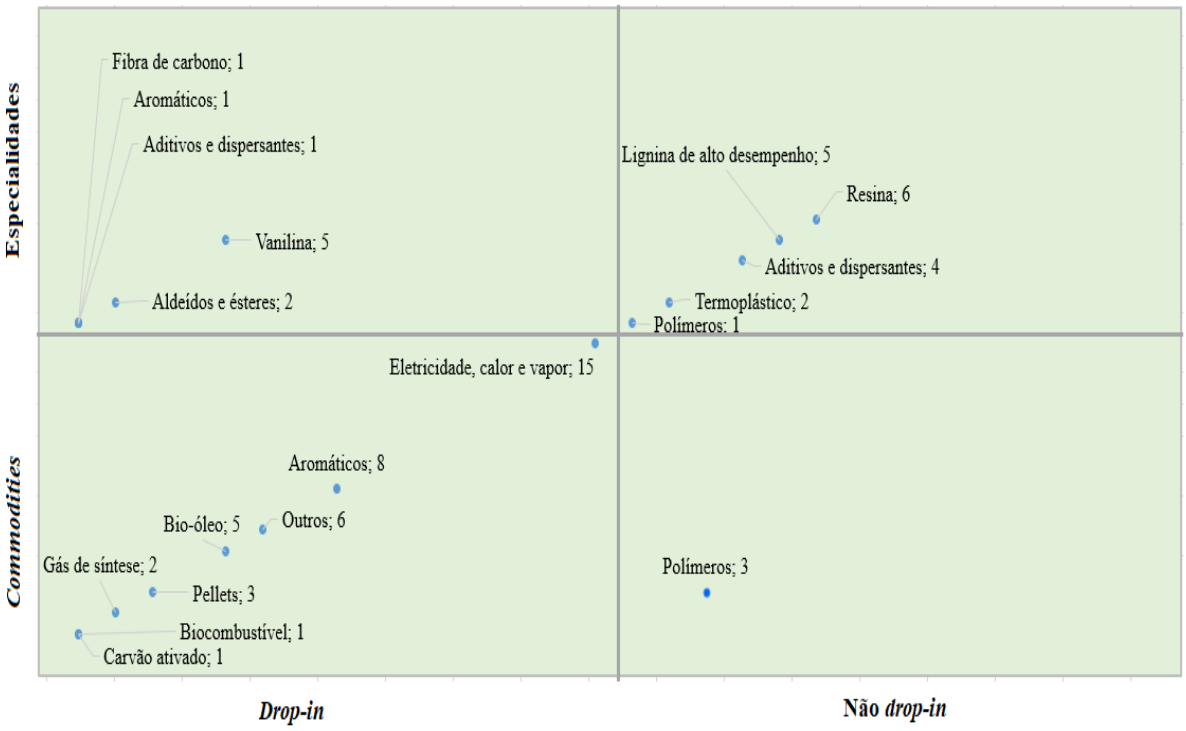
Algumas categorias podem representar produtos com características distintas, por isso admitem mais de uma classificação. A categoria dos aromáticos é composta pelos seguintes produtos: benzeno, tolueno, xileno, derivados aromáticos e *dihydroeugenol* (DHE). O

benzeno, tolueno, xileno e derivados aromáticos foram considerados como *commodities* e *drop-in*. Já o aromático identificado como DHE foi considerado como uma especialidade e *drop-in*, porque é utilizado em flavorizantes, aromatizantes, cosméticos e aplicações farmacêuticas, além de ser comercializado com valores mais elevados.

A maior quantidade dos produtos na categoria de aditivos e dispersantes foi classificada como especialidade e não *drop-in*. A exceção dessa categoria é um aditivo para mistura de concreto, o qual tem a mesma função de aditivos produzidos a partir de derivados petroquímicos, sendo capaz de substituí-los, por isso classificado como uma especialidade e *drop-in*.

Os produtos identificados como polímeros derivados da lignina foram classificados de duas formas distintas. A primeira classificação envolve os polímeros modificados, que foram considerados como *commodities* e não *drop-in*, já que podem ter produção em maior escala, menor valor de mercado e características distintas daquelas encontradas nos polímeros derivados de fontes fósseis. Já a segunda classificação refere-se ao polímero identificado como PHA, o qual foi considerado uma especialidade, devido a sua menor escala de produção e maior preço.

Figura 4.10 - Classificação das categorias e quantidade de produtos segundo sua natureza



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

4.5.3 Relação do grau de maturidade dos projetos com os produtos gerados

A Tabela 4.3 apresenta a relação entre os produtos de diferentes naturezas gerados a partir do aproveitamento da lignina, confrontando-os com o grau de maturidade dos projetos.

Tabela 4.3 - Relação do grau de maturidade dos projetos com os produtos de diferentes naturezas

	Produtos	Grau de maturidade					Total
		Bancada	Piloto	Demonstração	Comercial	NI*	
Especialidades	Resinas	1	3	-	1	1	6
	Aditivos e Dispersantes	1	2	-	1	1	5
	Lignina de alto desempenho	1	2	2	-	-	5
	Vanilina	2	1	-	1	1	5
	Aldeídos e Ésteres	-	1	-	-	1	2
	Aromáticos	1	-	-	-	-	1
	Fibra de carbono	-	-	-	-	1	1
	Polímeros	-	1	-	-	-	1
	Termoplásticos	1	-	-	1	-	2
	Total	7	10	2	4	5	28
Commodities	Eletricidade, calor e vapor	1	3	3	8	-	15
	Aromáticos	2	5	1	-	-	8
	Bio-óleo	-	3	1	-	1	5
	Polímeros	-	-	2	1	-	3
	Pellets	-	-	1	2	-	3
	Gás de síntese	-	1	1	-	-	2
	Carvão ativado	-	-	1	-	-	1
	Biocombustível	-	-	-	-	1	1
	Outros	-	3	2	-	1	6
	Total	3	15	12	11	3	44

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A partir da Tabela acima, percebe-se que a maior parte das especialidades ainda está em desenvolvimento, em escalas de bancada e piloto, enquanto a maior parte das *commodities* encontra-se em demonstração ou escala comercial. Eletricidade, calor e vapor possuem uma representatividade expressiva dentre os produtos que se encontram em escala comercial, sendo os principais determinantes para que as *commodities* identificadas estejam relacionadas a projetos com maior grau de maturidade.

Nos projetos identificados com maior grau de maturidade a lignina tem papel secundário, ou seja, o foco de desenvolvimento não é no seu aproveitamento, de forma que esta é encarada como subproduto e direcionada para a geração de eletricidade, calor e vapor.

4.5.4 Relação das empresas líderes dos projetos com os tipos de produtos

De forma a entender a relação entre o setor de origem da empresa líder dos projetos e os produtos derivados da lignina por eles almejados, optou-se por analisar o perfil das organizações líderes nos projetos relacionados aos produtos mais representativos, segundo a Figura 4.9: calor, eletricidade e vapor; aromáticos e resinas. Assim, foram construídas as Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6 a seguir, que apresentam as organizações líderes e seus respectivos setores segundo os produtos obtidos a partir da lignina.

A Tabela 4.4 mostra que 40% das organizações líderes que produzem eletricidade, calor e vapor a partir da lignina são dos setores de biocombustível e energia e 33% são dos setores de biotecnologia industrial e tecnologia voltados para a produção de etanol celulósico. Assim, este resultado corrobora para o entendimento de que os produtos derivados da lignina nesses casos não constituem atividades prioritárias em seus projetos.

Tabela 4.4 - Organizações produtoras de eletricidade, calor e vapor

Eletricidade, calor e vapor	
Organização líder	**Setor de atuação**
GranBio	Biocombustível
ZeaChem	Biotecnologia industrial
Ethanol Technologies (Ethtec)	Tecnologia
Wageningen University & Research	Universidade
M&G Chemicals	Químicos
Abengoa	Tecnologia
Inbicon	Biocombustível
POET	Biocombustível
Clariant	Químicos
Patriot Renewable Fuels	Biocombustível
ST1	Energia
Beta Renewables	Biotecnologia industrial
ENEL	Energia
Beta Renewables	Biotecnologia industrial
DuPont Industrial Biosciences	Químicos

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A Tabela 4.5 diz respeito às organizações líderes de projetos que visam a produção de aromáticos a partir da lignina, apresentando características distintas em relação a Tabela 4.4. Observa-se uma alteração no perfil das organizações, que passam a ser majoritariamente do setor de tecnologia (44%) e pesquisa/universidade (33%). Já a Tabela 4.6 apresenta um perfil bastante diversificado para o setor de atuação das organizações líderes de projetos voltados à obtenção de resinas a partir de lignina, sugerindo que no caso da obtenção de novos produtos a partir da lignina há esforços de atores com perfis bem distintos.

Tabela 4.5 - Organizações produtoras de aromáticos

Aromáticos	
Organização líder	**Setor de atuação**
Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes (CBP)	Pesquisa
Biome bioplastics	Bioplásticos
Greenpower Energy	Carvão
Compagnie Industrielle de la Matière Végétale (“CIMV”)	Tecnologia
BioBTX: Companhia do Grupo KNN	Tecnologia
Spero Energy	Tecnologia
Ohio University Department of Chemistry	Universidade
Valmet	Tecnologia
TNO	Pesquisa

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Tabela 4.6 - Organizações produtoras de resinas

Resinas	
Organização líder	**Setor de atuação**
Stora Enso	Papel e celulose
Leaf Resources	Biotecnologia industrial
American Process API Europe	Biotecnologia industrial
Wageningen University & Research	Universidade
Ava Biochem	Químico
Attis Innovation (Meridian Waste Solutions)	Tecnologia

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

4.6 Considerações finais

A amostra referente aos projetos relacionados ao aproveitamento da lignina que compõe a base de dados em estudo revela que a maior parte destes encontra-se com *status* atual ativo, com plantas operando, projeções de construção futura, ou desenvolvimento em bancada, com uma diversidade muito grande no que concerne as variáveis analisadas.

Os projetos coordenados por empresas revelam um equilíbrio entre a participação de *start ups* e estabelecidas, reforçando o entendimento sobre a diversidade de atores na bioeconomia para o caso de aproveitamento da lignina. Os setores de atuação mais relevantes referentes a essas empresas são os de tecnologia, biocombustíveis e biotecnologia industrial, sendo as relações de parceria entre as organizações líderes e outras parceiras essenciais para o desenvolvimento dos projetos.

A principal biomassa utilizada para se obter a lignina nos projetos analisados é a florestal, seja porque as organizações líderes já utilizam essa biomassa para o desenvolvimento de suas atividades essenciais, ou porque estabelecem parcerias com outras instituições que utilizam biomassa florestal e fornecem a lignina residual. A integração em um mesmo projeto da obtenção da matéria-prima até a conversão da lignina nos produtos almejados predomina, ou seja, apenas uma pequena parcela dos projetos está voltada para a compra de lignina e a estruturação de negócios focados apenas nessa fração lignocelulósica. Os projetos que simultaneamente integram a matéria-prima e geram múltiplos produtos podem ser caracterizados como biorrefinarias, representando uma parcela expressiva das iniciativas em estudo.

As principais rotas de conversão empregadas nos projetos são a catálise química e a combustão, tecnologias consolidadas no mercado, sendo que a catálise permite a geração de produtos diversificados, enquanto na combustão gera-se majoritariamente o calor, a partir do qual podem ser gerados vapor e a eletricidade. A categoria de produtos identificada como eletricidade, calor e vapor é a mais expressiva para a amostra de projetos em estudo, indicando que essas iniciativas ainda desenvolvem atividades antigas de queima da lignina, e não investem no aproveitamento dessa fração lignocelulósica para a geração de produtos de maior valor.

Com relação à natureza dos produtos, a maior parte foi identificada como *commodities* e *drop-in*, ou seja, são produzidos em grande escala, baixo preço e possuem composição química igual à dos derivados fósseis sendo comercializados segundo a sua composição química e não pelo seu desempenho. Analisando o grau de maturidade dos diversos projetos, percebe-se que a maioria destes estão voltados a obtenção de *commodities* encontrando-se em escalas de demonstração ou comercial.

Esta análise da amostra geral suscitou o interesse em estudar um subgrupo específico de projetos: aqueles onde a lignina é o foco principal e que se encontram com *status* ativo, de forma a discutir se é possível notar alterações nas dimensões que compõem o quadro analítico e suas implicações. O capítulo 5, a seguir, se debruça sobre tal questão.

5. Discussão dos resultados - Panorama dos projetos ativos com foco no aproveitamento da lignina

O capítulo 5 tem como objetivo analisar um conjunto mais restrito de projetos, utilizando como critério duas variáveis: a lignina e seus derivados devem ser considerados como o alvo principal do projeto e este deve ter *status* atual ativo. Essa nova avaliação visa aprofundar a análise, discutindo também se os resultados provenientes desse novo subconjunto apresentam características distintas dos resultados obtidos no Capítulo 4. Os novos estudos serão pautados nas mesmas variáveis analíticas utilizadas para a construção do Capítulo 4. Assim, esse capítulo também se encontra estruturado em 6 seções.

5.1 Características dos projetos com foco na lignina e *status* ativo

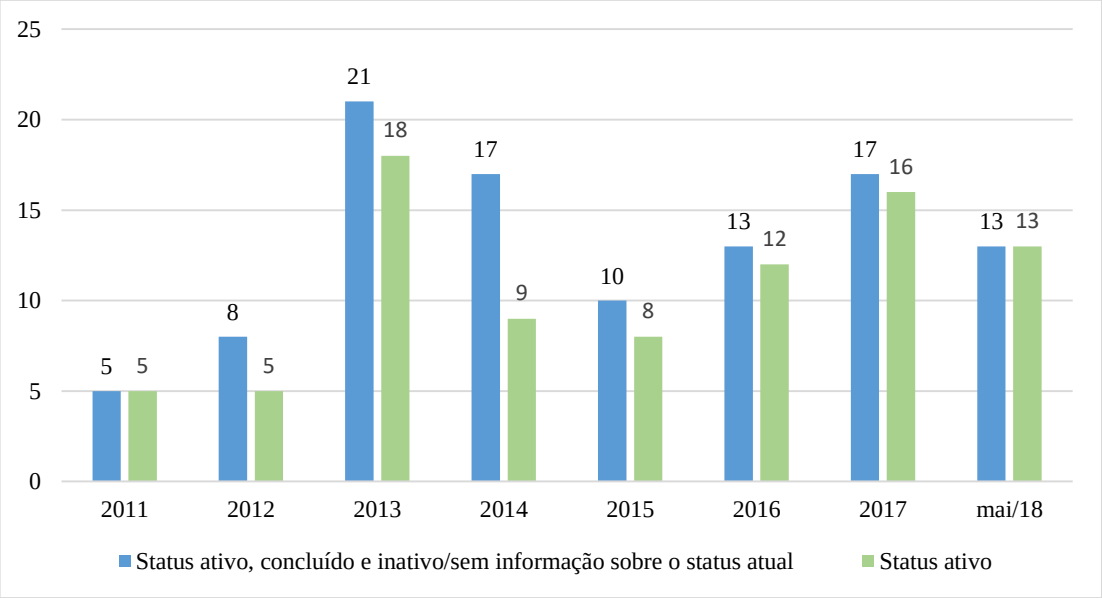
Os critérios preliminares utilizados para a definição do novo espaço amostral foram baseados em duas variáveis constituintes do quadro analítico, a lignina como alvo principal e *status* atual ativo. Aplicou-se esses filtros para a amostra geral de 69 projetos que compõem o banco de dados, resultando em um subconjunto de 27 projetos.

As notícias provenientes dos 3 sites especializados, que permitiram a identificação desses 27 projetos foram organizadas segundo a data de publicação, para verificação do perfil das publicações ao longo do período selecionado nesse estudo (janeiro de 2011 até maio de 2018), conforme apresenta a Figura 5.1. Para efeitos de comparação, também foi construído um gráfico das notícias finais selecionadas com foco no aproveitamento da lignina para os *status* atual ativo, concluído e inativo/sem informação sobre o *status* atual.

Ao observar a Figura 5.1 nota-se que, no geral, houve pouca diferença entre o total de notícias sobre projetos com foco na lignina e aquelas relacionadas ao subgrupo de projetos ativos. Durante o período compreendido entre 2012 e 2017 foram excluídas 18 notícias, o que representa uma exclusão de 7 projetos. Para esses projetos foi possível identificar duas iniciativas lideradas por universidades (Universidade de Bön e Universidade de Putra) com *status* atual concluído, uma iniciativa do instituto de pesquisa *Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes* (CBP) e um projeto da empresa *Arkema* (que atua no setor de químicos), também com *status* atual concluído e 3 iniciativas lideradas por empresas: *Compagnie Industrielle de la Matière Végétale* (de base tecnológica), *Gucci* (com negócios no setor de vestuário e acessórios) e *VertiChem* (do setor químico) que possuem *status* atual inativo/sem informação sobre o *status* atual. As notícias referentes ao ano de 2018 não

mostraram variação entre o número de publicações para os diferentes gráficos. Portanto, todas essas notícias estão relacionadas a projetos que se encontram com *status* atual ativo.

Figura 5.1 - Publicação de notícias com foco no aproveitamento da lignina 2011-2018

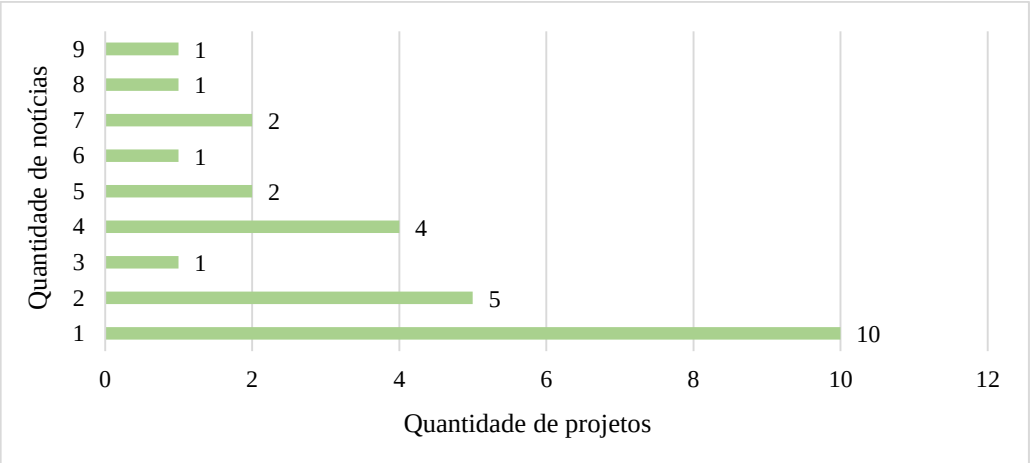


Fonte: Elaboração própria a partir das notícias obtidas nos sites especializados.

.

Como há projetos que foram identificados pelo somatório de duas ou mais notícias identificadas nos 3 sites especializados, a Figura 5.2 mostra a quantidade de notícias atribuídas a cada um dos 27 projetos que tem o aproveitamento da lignina como foco principal e *status* atual ativo.

Figura 5.2 - Projetos relacionados ao aproveitamento da lignina como foco principal e *status* ativo



Fonte: Elaboração própria a partir das notícias obtidas nos sites especializados.

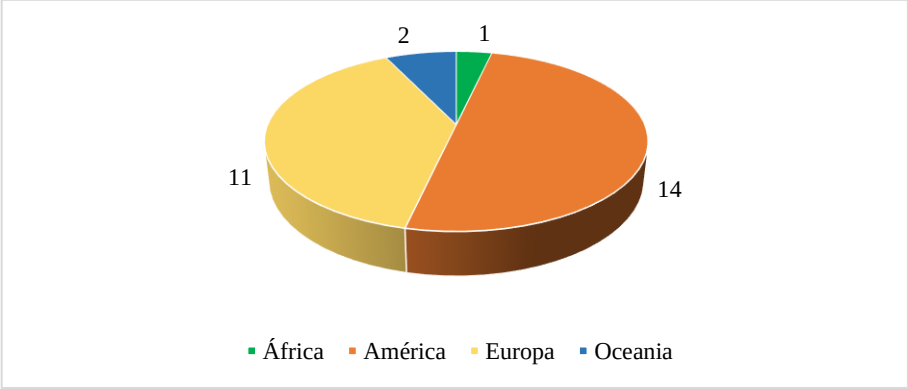
A partir da Figura 5.2 compreende-se que a maioria dos projetos (37%) foi objeto de apenas uma notícia de algum dos sites especializados por projeto. O mesmo fato ocorreu para a identificação da maior parte dos 69 projetos que constituem o espaço amostral do panorama geral

5.2 Modelos de negócio

5.2.1 Perfil da organização líder

A primeira variável a ser analisada com relação ao perfil da organização líder diz respeito a sua região de origem, conforme mostra a Figura 5.3. Para os 27 projetos estudados foram percebidas 28 organizações líderes, porque continua constando nesse banco de dados o projeto liderado pela *Preem* (do setor de combustível) e *RenFuel* (do setor de biocombustível), para a produção de bio-óleo a partir de resíduo florestal, para o qual não foi possível reconhecer apenas uma dessas empresas como a organização líder, sendo então consideradas as duas organizações.

Figura 5.3 - Região de origem da organização líder com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Ao se tratar de projetos que têm o aproveitamento da lignina como foco principal e *status* atual ativo, o continente americano é o que aparece em primeiro lugar, com 14 organizações líderes originadas em países desse continente. O continente europeu ocupa, então, a segunda posição com 11 organizações provenientes de países dessa região. Este panorama é diferente do encontrado para a amostra geral de 69 projetos, onde predominavam projetos no continente europeu, ficando o americano em segundo lugar.

O modo como estão distribuídos os países de origem dentro de cada uma dessas regiões conserva as características observadas para o panorama geral. Há uma distribuição mais homogênea na Europa, com organizações provenientes de 7 países distintos, enquanto no continente americano existe uma concentração majoritária dos EUA como país de origem de 12 organizações líderes. Assim, o número de organizações líderes provenientes dos EUA é superior ao somatório de organizações que tem origem no continente Europeu. No continente americano ainda há uma organização de origem brasileira (*Fibria*) e uma canadense (*Domtar*).

A terceira posição do gráfico permanece com a Oceania, devido à participação de projetos desenvolvidos pelas empresas australianas *Australian Paper* e *Greenpower Energy*. A última posição pertence a África, com o projeto da empresa *Sappi*. A Ásia não possui mais representatividade, pois o projeto desenvolvido pela organização líder da Malásia que tinha como foco principal a lignina encontra-se com *status* atual concluído.

Portanto, quando se trata de projetos com foco principal no aproveitamento da lignina e *status* atual ativo, as iniciativas estão concentradas em países desenvolvidos na região da Europa e nos EUA. O Brasil, que antes possuía duas organizações representando-o, passa a possuir apenas uma, já que os negócios da *GranBio* não possuem foco principal no aproveitamento da lignina.

As próximas variáveis a serem analisadas em relação as organizações líderes são o setor de atuação e a classificação das empresas em estabelecidas ou *start ups*. A Tabela 5.1 resume os dados coletados dos projetos analisados. Para tanto, foram adotadas as mesmas categorias consideradas para a classificação dos setores de atuação na seção 4.2.

Novamente, primeiro as organizações foram separadas nos seguintes grupos: empresas *versus* instituições de pesquisa e universidades, para que a avaliação quanto a *start ups* e estabelecidas fosse realizada com base, apenas, nas empresas. Dessa forma, 24 projetos são liderados por 25 empresas, 2 projetos são conduzidos por universidades (*Texas A&M University* e *Ohio University*) e 1 projeto é liderado pela instituição de pesquisa *VTT*. A análise dessas 25 empresas permite classificar 56% como *start ups* e 44% como estabelecidas, mostrando que há um equilíbrio das organizações quanto aos 2 perfis considerados. Esse cenário aponta para a participação entre organizações de setores tradicionais, os quais atuam no desenvolvimento de negócios a partir da lignina, podendo ter o intuito de diversificar seu *portfolio*, e novos entrantes no mercado, que ainda estariam desenvolvendo tecnologias e estruturando seus negócios.

Tabela 5.1 - Classificação das organizações com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo[13]

Setor de atuação	***Start ups***	**Estabelecidas**	**Total**
Biocombustível e bioprodutos	3	0	3
Biotecnologia industrial	0	1	1
Carvão	0	1	1
Combustível e Energia	0	1	1
Papel, Celulose, Embalagens e Fibras de madeira	0	7	7
Pesquisa	-	-	1
Químicos	2	0	2
Tecnologia	9	1	10
Universidade	-	-	2
Total	14	11	28

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Ao avaliar as organizações líderes segundo o setor de atuação, a categoria de tecnologia é a que possui maior representatividade. Dessas 10 organizações que atuam desenvolvendo soluções tecnológicas apenas uma empresa líder, a *Valmet*, que desenvolve um projeto em parceria com a *Biochemtex* (também do setor de tecnologia) para a produção de aromáticos, pode ser classificada como estabelecida. As demais organizações líderes são *start ups*, sendo 8 provenientes dos EUA e uma de origem holandesa, como mostra a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - *Start ups* do setor de tecnologia com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo

Empresa líder	**País da empresa líder**
Blue Marble Biomaterials	EUA
American Science and Technology Corporation (AST)	EUA
Lignin Enterprises	EUA
Sweetwater Energy	EUA
Spero Energy	EUA
Genarex LLC	EUA
Attis Innovation (Meridian Waste Solutions)	EUA
Mobius (Grow Plastics)	EUA
BioBTX: Companhia do Grupo KNN	Holanda

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Retomando as discussões acerca da Tabela 5.1, a segunda categoria mais expressiva no que se refere ao setor de atuação das organizações líderes é a de papel, celulose,

[13] A categoria de vestuário e acessórios não possui nenhuma organização líder para representá-la, quando o alvo de estudo são os projetos que priorizam o aproveitamento da lignina e possuem *status* atual ativo. Por isso essa categoria não consta nessa tabela.

embalagens e fibras de madeira. As empresas que atuam nesse setor foram todas classificadas como estabelecidas e estariam diversificando seus negócios ao desenvolverem novas aplicações a partir da lignina. Nesse setor, a lignina pode ser obtida, em suas próprias unidades industriais, misturada a outros resíduos provenientes de suas atividades tradicionais. Assim, são aplicados tratamentos que permitam a recuperação dessa lignina para o desenvolvimento de novas aplicações com fins comerciais.

Esse comportamento é distinto daquele apresentado no panorama geral, em que a segunda categoria com maior número de organizações dizia respeito ao setor de biocombustível e bioprodutos, a terceira categoria era a de biotecnologia industrial e o setor de papel, celulose, embalagens e fibras de madeira aparecia apenas na quarta posição. Isso sugere que ao analisar os projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* atual ativo há uma mudança no perfil das organizações líderes participantes, quando comparado ao perfil apresentado pelo panorama geral. Este resultado é bastante relevante pois sugere que as empresas de papel, celulose, embalagens e fibras de madeira são atores importante para o avanço do aproveitamento da lignina.

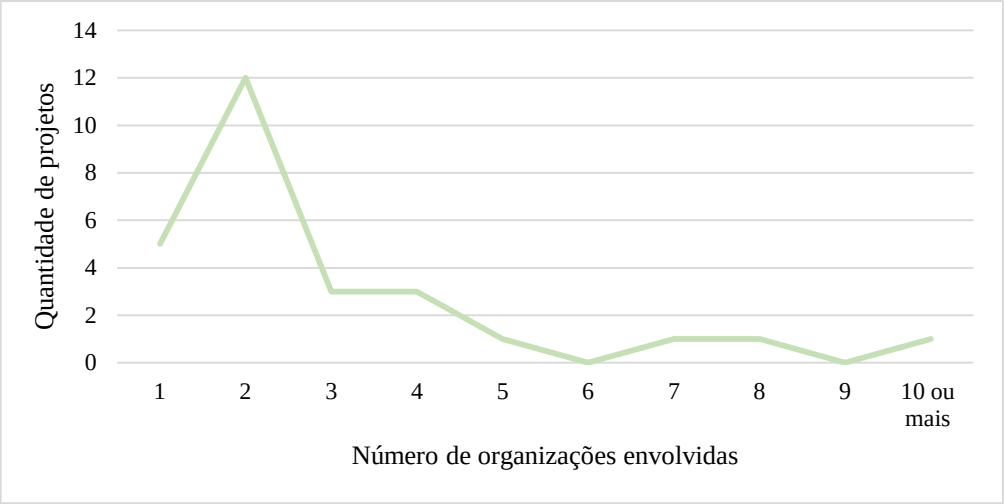
Para esse novo conjunto de projetos em análise, o setor de biocombustível e bioprodutos passa a ocupar a terceira posição dentre as diferentes categorias utilizadas para a classificação do setor de atuação e todas as 3 empresas identificadas, *Biome Bioplastics* (que atua desenvolvendo bioprodutos), *Tecnaro* (também desenvolvedora de bioprodutos) e *RenFuel* (do setor de biocombustível), são *start ups*. A quarta posição é ocupada por organizações do setor de químicos e universidades.

O setor de biotecnologia industrial oscila da terceira para a última posição junto com o setor de pesquisa, carvão, combustível e energia, porque das 9 organizações de biotecnologia identificadas na análise do panorama geral, 8 organizações não tinham foco principal no aproveitamento da lignina, sendo a lignina um mero resíduo destinado à atividades secundárias e, portanto, não foram consideradas na análise desse capítulo. As universidades e instituições de pesquisas totalizam aproximadamente 11% do setor de atuação.

5.2.2 Relações de parceria

Essa seção tem o propósito de analisar as relações de parceria para os projetos com foco principal no aproveitamento da lignina e *status* atual ativo. A Figura 5.4 apresenta o número de organizações participantes por projeto.

Figura 5.4 - Número de organizações envolvidas nos projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

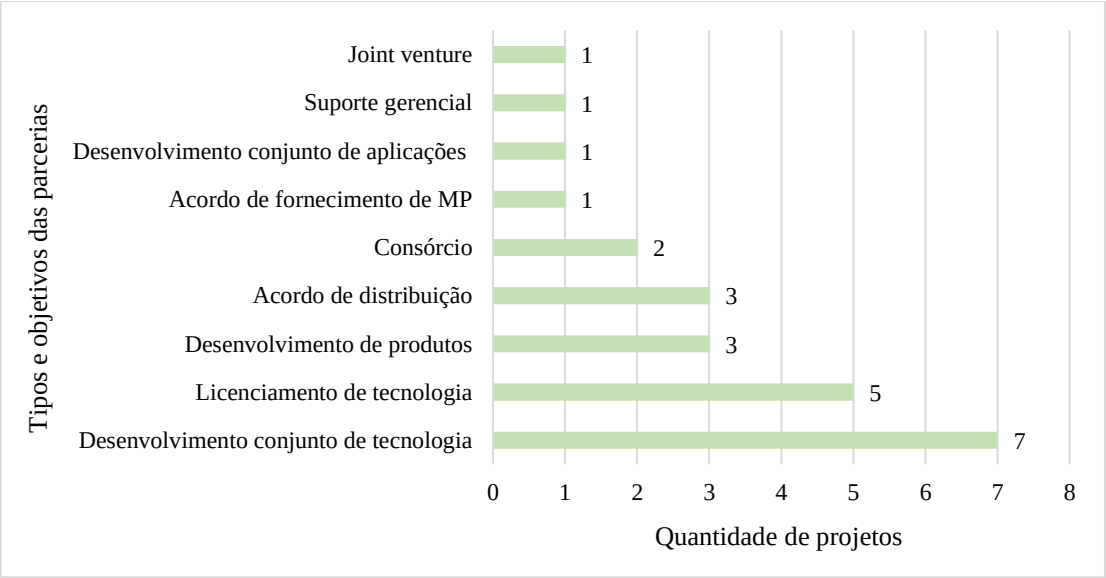
As informações da Figura 5.4 revelam que para o total de 27 projetos, 5 desses, ou seja, cerca de 19%, contam com apenas uma organização envolvida, ou seja, não envolve parceria. Aproximadamente 81% dos projetos têm duas ou mais organizações envolvidas e algum tipo de acordo estabelecido entre elas, evidenciando a existência de parcerias. Esse dado indica que assim como as relações de parceria se mostravam essenciais para o espaço amostral de 69 projetos, também são importantes para o subconjunto de 27 projetos. Portanto, pode-se inferir que as parcerias construídas contribuem para o acesso a competências que a organização líder não possui, tornando possível a execução do projeto em questão. Nota-se que predominam parcerias entre duas organizações, com reduzido número de projetos com mais de 3 parceiros.

No item 4.3 foram apresentados 2 projetos *Carboprec* e *LigniOx*, que tinham foco no aproveitamento da lignina como alvo principal e envolviam a participação de 10 ou mais organizações. Apenas o *LigniOx* representa os projetos com 10 ou mais organizações envolvidas, nessa análise, porque o projeto *Carboprec* encontra-se concluído atualmente.

A Figura 5.5 mostra os tipos e objetivos das parcerias identificados para os projetos em estudo. Foram verificados 24 casos de acordos de parceria presentes em 22 projetos, pois 2 desses projetos, liderados pela *Domtar* (do setor de papel e celulose), *Preem* (do setor de combustível) / *RenFuel* (do setor de biocombustível) apresentam dois tipos de acordos, licenciamento de tecnologia e acordo de distribuição, desenvolvimento conjunto de tecnologia e acordo de fornecimento de matéria-prima, respectivamente.

Os principais tipos/objetivos dos acordos verificados entre as organizações foram de desenvolvimento de tecnologia e licenciamento de tecnologia. Isso pode revelar a necessidade que os projetos com foco no aproveitamento da lignina têm em desenvolver inovações tecnológicas que possibilitem a geração de produtos a partir desse material.

Figura 5.5 - Acordos de parceria estabelecidos entre as organizações com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Para os 7 projetos que possuem acordo do tipo desenvolvimento conjunto de tecnologia, apenas um deles, o projeto liderado pela *Preem* juntamente com a *RenFuel*, não apresenta empresas de tecnologia, universidades ou instituições de pesquisa envolvidas. Todos os demais envolvem organizações com *know-how* no desenvolvimento tecnológico e pesquisas. Em 5 desses 7 projetos foi possível observar a presença de alguma patente relacionada ao desenvolvimento de tecnologias para ser empregada nos processos de pré-tratamento ou conversão da lignina. Para os outros 2 projetos não foi possível obter informações através das notícias provenientes dos sites especializados, dos sites das empresas envolvidas nos projetos assim como dos *reports* que permitissem identificar a existência de patente.

A terceira posição do gráfico diz respeito aos acordos para o desenvolvimento de produtos e acordo de distribuição. Os acordos do tipo desenvolvimento de produtos são estabelecidos entre a organização líder, com outras organizações que possuem *know-how* nas áreas em que se deseja aplicar a lignina, um desses acordos é estabelecido entre a organização

líder *Borregaard* (do setor de papel e celulose) e sua parceira *Elkem*. A *Elkem* é uma empresa que desenvolve materiais avançados à base silício e carbono, com isso poderia testar a viabilidade de utilizar a lignina como uma fonte de carbono renovável para o desenvolvimento dos materiais avançados.

Os acordos de distribuição tinham como finalidade a comercialização da lignina resultante de um projeto, para que outras organizações a comprem e desenvolvam aplicações comerciais. Esse tipo de acordo pode ser verificado em projetos liderados pela *Domtar*, *Lignin Enterprises* e *Sappi*. A *Domtar* (com atuação no setor de papel e celulose) e a *Sappi* (com atuação no campo das fibras de madeira), estabelecem esses acordos respectivamente com a *UPM* (cujos negócios tem origem no setor de papel e celulose) e *CellMark* (com origem na distribuição de matérias-primas relacionadas à indústria de papel e celulose) para comercializarem a lignina proveniente de suas plantas. Já a *Lignin Enterprises* (desenvolvedora de tecnologia) comercializa a lignina resultante de atividades da *West Fraser*, uma empresa do setor florestal.

Os consórcios que ocupavam a segunda posição na análise do panorama geral, caem para a quarta posição, sendo representados por apenas 2 projetos: *Lignin as bioplastic* e *LigniOx*, liderados respectivamente pela *Biome Bioplastics*, uma empresa de bioplásticos e *VTT*, uma instituição de pesquisa. Em ambos os projetos são construídas parcerias com outras 6 e 9 organizações respectivamente e há financiamento externo.

5.3 Aspectos relacionados à matéria-prima

5.3.1 Fonte de matéria-prima

A primeira variável relacionada à matéria-prima diz respeito à fonte de biomassa lignocelulósica. Para essa análise foram consideradas as mesmas categorias do item 4.4, isto é, a biomassa pode ser do seguinte tipo: agrícola, cultura energética ou florestal. Dentre os 27 projetos em análise, 8 deles apontam a possibilidade de usar mais de um tipo de biomassa como fonte de lignina, o que equivale a um valor de aproximadamente 30%. A classificação dos 27 projetos segundo essas categorias de biomassa mostra que 81% utilizam a lignina proveniente de biomassa florestal, 22% biomassa agrícola e 11% de cultura energética para obtenção de lignina. E para 15% não foi possível identificar o tipo de biomassa utilizada.

Ao comparar essas informações com as obtidas para a amostra geral do Capítulo 4, a biomassa florestal continua ocupando a primeira posição. Agora, porém, a quantidade de

projetos que sugere o emprego da lignina de origem florestal é ainda mais expressiva. A biomassa agrícola permanece na segunda posição, contudo, apresenta valores menos expressivos. Estima-se que essa queda seja causada pela eliminação de projetos voltados para a produção dos derivados de açúcares celulósicos, a partir de biomassa agrícola, os quais não tinham foco no aproveitamento da lignina como alvo principal de seus negócios.

Prosseguindo com as comparações, também há alteração entre a terceira e quarta posição, de modo que para o subconjunto de 27 projetos, a quantidade daqueles em que não foi possível identificar sua fonte de obtenção de lignina supera o número de projetos que utilizam a cultura energética. Pode-se inferir, que a cultura energética não é vista atualmente como uma fonte relevante de lignina.

A próxima variável a ser tratada é a forma como as organizações obtêm a matéria-prima, que pode ser de duas formas: residual ou não-residual. Cabe a ressalva que são considerados como resíduos os cavacos e lascas de madeira, a palha e espiga de biomassas agrícolas, por exemplo. Dessa forma, 59% dos projetos utilizam lignina de fontes residuais e 44% de biomassa não residual[14]. 15% dos projetos relatam utilizar tanto biomassa residual quanto não-residual.

5.3.2 Localização dos projetos

A maior parte dos projetos está localizada no continente americano (56%), concentrando-se majoritariamente nos EUA. A exceção fica por conta de um projeto liderado pela *Fibria* (cuja origem é o setor de celulose) no Canadá. A presença do Brasil é extinta dessa análise, pois o projeto da *GranBio* (que desenvolve biocombustível) cuja planta localiza-se no estado brasileiro de Alagoas não tem como foco principal a geração de produtos derivados da lignina.

Na sequência está o continente Europeu, o qual abriga 37% dos projetos, apresentando uma melhor distribuição dos locais, em torno de pelo menos 8 países diferentes. 7% dos projetos localizam-se na Oceania, mais precisamente, na Austrália. E 4% dos projetos, o que representa 1 projeto, localiza-se na África do Sul. Segundo os critérios de análise previamente adotados no início desse capítulo, não foi possível verificar a presença de projetos com sede na Ásia. Por fim, 4% dos projetos, ou seja, 1 projeto não indicou em qual região desenvolve suas atividades.

---

[14] Há projetos que relatam a possibilidade de utilizar mais de um tipo de biomassa, as quais podem ser tanto residuais quanto não residuais, por isso o valor das porcentagens dessas análises supera 100%.

5.4 Aspectos tecnológicos

5.4.1 Pré-tratamento para obtenção da lignina

O primeiro aspecto tecnológico a ser avaliado é o emprego de algum tipo de pré-tratamento para os projetos que têm como alvo principal o aproveitamento da lignina e *status* atual ativo. Para tanto, serão tomadas como base as mesmas categorias de classificação de pré-tratamento utilizadas no item 2.2.3, que são: químico, físico-químico, mecânico e biológico. Como os projetos aqui avaliados são um subconjunto do espaço amostral utilizado no Capítulo 4, sabe-se previamente que não há pré-tratamento mecânico e biológico, uma vez que o conjunto dos 69 projetos não relataram o emprego deles.

Portanto, a análise do subconjunto de projetos concentra-se em observar se há alteração na distribuição dos projetos que empregam pré-tratamento químico e físico-químico, bem como daqueles que não empregam pré-tratamento ou para os quais não foi possível identificar a existência desse processo.

O primeiro aspecto notável da Figura 5.6 é a inexistência de pré-tratamento físico-químico, que para o conjunto de 69 projetos se resumia basicamente ao emprego do processo de explosão a vapor. Conforme dados da literatura apresentados na Tabela 2.2, esse tipo de pré-tratamento apresenta como vantagem a recuperação das frações celulósicas, mas sua desvantagem sob o ponto de vista de obtenção da lignina está na ruptura incompleta da matriz lignina-carboidrato. Assim, o emprego do processo de explosão a vapor não parece ser viável para projetos que visam a separação da fração de lignina daquelas que geram açúcares, podendo ser uma explicação para a inexistência de projetos que declaram o uso desse pré-tratamento.

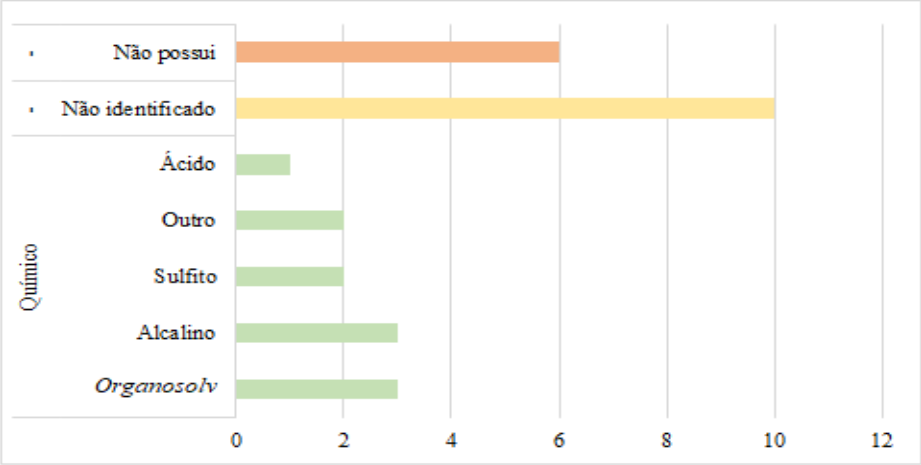
Portanto, o pré-tratamento químico é aquele que predomina, sendo aplicado em 41% dos projetos. Ao analisar as diferentes ramificações do pré-tratamento químico, percebe-se uma modificação no perfil desses processos em relação aqueles que eram mais empregados para o conjunto de 69 projetos. Agora, os processos *organosolv* e alcalino são os de maior destaque, responsáveis por 54% dos pré-tratamentos químicos. Como relatado no item 4.3, o processo *organosolv* gera uma lignina de melhor qualidade, mas ainda encontra-se em fase de desenvolvimento, porque o emprego em escala de demonstração e comercial oferecem maiores riscos de explosão e custo, devido ao uso de solventes químicos inflamáveis.

O processo alcalino, bastante utilizado por empresas de papel e celulose, pauta-se no emprego de substâncias com caráter básico para a produção da solução alcalina. As condições

de processo admitem temperatura e pressão ambiente. Contudo, esse processo costuma ser mais lento do que outros pré-tratamentos químicos, podendo durar até semanas. O processo alcalino encontra-se consolidado e a solubilidade da lignina varia de acordo com a solução alcalina utilizada (CHEN *et al*, 2016; RABEMANOLONTSOA; SAKA, 2016).

A quantidade de projetos que não emprega algum processo de pré-tratamento é equivalente a 22%. E para 37% dos projetos não foi possível discernir se havia o emprego de algum tipo de pré-tratamento. Esse valor (37%) é expressivo, uma vez que é próximo daquele relatado pelos projetos que empregam pré-tratamento químico (41%), o que pode apontar para uma imprecisão em relação ao tipo de pré-tratamento mais utilizado nos projetos que têm foco no aproveitamento da lignina.

Figura 5.6 - Pré-tratamento empregado nos projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo



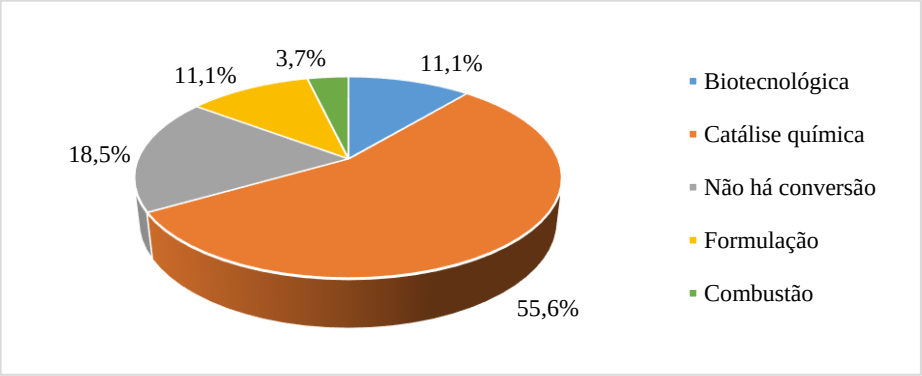
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados

5.4.2 Processos para conversão da lignina

Para a análise das rotas de conversão da lignina foram consideradas as mesmas categorias do item 4.5. No entanto, a partir dos critérios de seleção para as análises desse capítulo, a rota eletroquímica perde a sua representatividade, porque apesar de estar presente em um projeto que tem foco no desenvolvimento de aplicações a partir da lignina e seus derivados, não atende ao segundo critério do *status* ativo, já que o projeto encontra-se concluído atualmente. Outra rota que perde representatividade é a termoquímica, porque os projetos que empregam esse processo de conversão não têm foco principal no aproveitamento

da lignina, destruindo essa fração lignocelulósica para a produção de bio-óleo e gás de síntese. A Figura 5.7 resume a distribuição das 4 rotas de conversão para os 27 projetos em questão.

Figura 5.7 - Rotas tecnológicas aplicadas para conversão da lignina com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A catálise química permanece na primeira posição entre as rotas tecnológicas empregadas para a conversão da lignina, mas agora com o valor de 55,6%, que é mais alto do que o anterior de 40,6% relatado na análise para o panorama geral. A principal mudança ocorre na segunda posição, quando se compara o gráfico da Figura 5.7 com o da Figura 4.7, para os diferentes cenários. A combustão que era a segunda rota mais empregada no panorama geral se torna a rota menos utilizada para projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* atual ativo. Nesse novo subconjunto só há um projeto que emprega combustão incompleta, uma iniciativa desenvolvida pela *Sweetwater Energy* (uma empresa do setor de tecnologia) que visa a produção de carvão ativado a partir de resíduos contendo lignina. Todos os projetos que empregavam a combustão direta foram excluídos, pois não tinham foco principal na valorização da lignina. Nesses projetos, a estrutura química da lignina é destruída, uma vez que a mesma é queimada para a produção de calor, a partir do qual é possível gerar vapor e eletricidade.

Na Figura 5.7, a segunda maior região do gráfico representa os projetos que não aplicam rotas de conversão, pois geram pellets ou uma lignina mais pura, que pode ser comercializada, para um posterior desenvolvimento de aplicações. A terceira posição passa a ser ocupada pela rota biotecnológica empatada com a formulação. A rota biotecnológica envolve a participação de microorganismos e enzimas, e está em fase de desenvolvimento. São 3 os projetos que empregam a rota biotecnológica, suas organizações líderes são: *Blue Marble Biomaterials*, empresa do setor de tecnologia, *Biome bioplastics*, com atuação no

campo dos bioplásticos e a *Texas A&M University*. As respectivas escalas de produção das iniciativas lideradas por essas organizações são: piloto, bancada e piloto, ou seja, possuem baixo grau de maturidade. A formulação é um processo de mistura da lignina a outros componentes químicos do processo, podendo ter a intenção de melhorar a qualidade do produto, ou manter a qualidade reduzindo os custos com as matérias-primas utilizadas. Esse processo é utilizado pela *Tecnaro* (que atua desenvolvendo bioprodutos) e *Mobius* (que atua desenvolvendo tecnologias) para a produção de termoplásticos e pela *Borregaard* (que tem origem no setor de papel e celulose) para produzir uma espécie de aditivos para concretos.

Portanto, depreende-se da Figura 5.7 que a catálise química continua predominando como a rota tecnológica mais empregada durante a análise dos projetos ativos com foco principal na lignina.

5.4.3 Configuração em biorrefinaria

Para discutir se os projetos configurarem-se como biorrefinarias, foram utilizados os mesmos critérios da seção 4.5.1, em que os projetos devem apresentar integração da matéria-prima e gerar uma multiplicidade de produtos, ou seja, pelo menos dois produtos de categorias diferentes, sendo um deles proveniente do aproveitamento da lignina.

Conforme explicado no item 4.5.3, considera-se que existe integração para projetos que têm acesso direto à biomassa, seja na forma residual ou não residual, em que essa biomassa é fornecida pelas organizações envolvidas nos projetos. Não se caracteriza integração os casos em que as organizações envolvidas no projeto não fornecem a biomassa da qual se extrai a lignina, ou seja, essa biomassa provém de organizações externas ao projeto. Também não caracteriza integração os casos em que as organizações compram a lignina comercializada no mercado para o desenvolvimento de novas aplicações a partir dela. Assim, 67% dos processos realizam integração da matéria-prima e 33% não realizam a integração. Comparando esses valores ao do Capítulo 4, observa-se que os casos de integração são menores para os projetos que têm foco principal na lignina e *status* atual ativo do que para a amostra geral.

Assim como na análise do Capítulo 4, projetos liderados por universidades e instituições de pesquisa foram excluídos do detalhamento em biorrefinarias, restando 24 projetos liderados por empresas para serem analisados. Desses projetos, 54% são classificados como biorrefinarias e 46% não são classificados como biorrefinarias por não atenderem a pelo menos um dos critérios estabelecidos. Para esse subconjunto de projetos, observa-se um maior

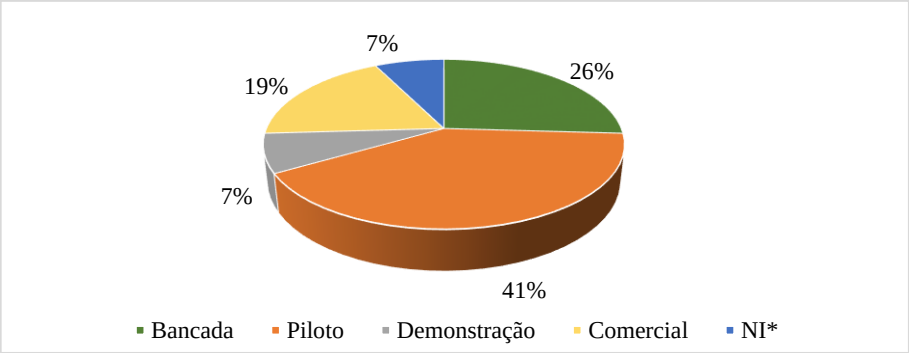
equilíbrio entre a quantidade de projetos classificados como biorrefinarias e aqueles que não são biorrefinarias, porque ao reduzir o espaço amostral, considerando apenas projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo, o percentual de projetos que realizam apenas processos de conversão visando a geração de algum produto, sem realizar integração da matéria-prima se torna maior. Esta é uma diferença interessante, pois ressalta a estruturação de iniciativas voltadas exclusivamente para a geração de produtos a partir da lignina, os quais poderiam criar modelos de negócio bem distintos daqueles que buscam uma configuração de biorrefinaria.

Todas as empresas líderes do setor de biotecnologia industrial; papel, celulose, embalagens e fibras de madeira; químicos estão buscando uma configuração de biorrefinaria nos projetos identificados. Já as empresas líderes de tecnologia são as que menos parecem buscar por uma configuração em biorrefinaria nas suas iniciativas com foco no aproveitamento da lignina, porque das 10 empresas desse setor, apenas 3 integram a matéria-prima, gerando múltiplos produtos.

5.4.4 Grau de maturidade dos projetos

Entende-se como grau de maturidade o nível de desenvolvimento em que determinado projeto se encontra, o qual pode ser traduzido segundo a escala operacional em bancada, piloto, demonstração e comercial. A Figura 5.8 mostra que 26% dos projetos encontram-se em escala de bancada, 41% piloto, 7% demonstração e 19% em escala comercial. Por fim, para 7% dos projetos não foi possível identificar a escala.

Figura 5.8 - Escala em que se encontram os projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.
NI* - não foi possível identificar.

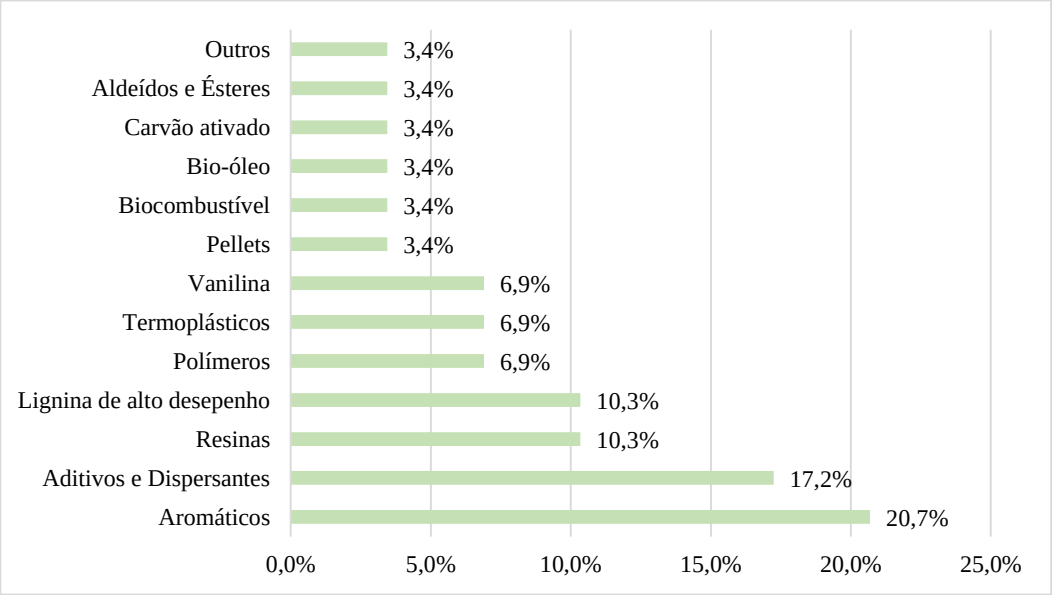
Somando o percentual de projetos em menor grau de maturidade, isto é, bancada e piloto, chega-se ao valor de 67%. E somando aqueles em escalas maiores (demonstração e comercial) obtém-se um valor de 26%. Esses dados podem apontar que os empreendimentos voltados para o desenvolvimento de uma proposição de valor a partir da lignina ainda encontram-se em um estágio inicial, ou seja, ainda requerem o aperfeiçoamento de pré-tratamento e rotas de conversão, além de aspectos relacionados à estruturação dos negócios.

5.5 Questões relacionadas aos produtos

5.5.1 Tipos de produtos

O propósito dessa seção é avaliar os resultados no que concerne os produtos que estão sendo produzidos a partir do aproveitamento da lignina ou com potencial para serem fabricados, com base na metodologia adotada no Capítulo 3 para a identificação dos projetos. Os produtos foram classificados segundo as mesmas categorias do Capítulo 4, conforme mostra a Figura 5.9.

Figura 5.9 - Produto principal derivado da lignina para projetos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Inicialmente, é possível observar uma redução no número de categorias presentes no gráfico da Figura 5.9, quando comparado ao gráfico da Figura 4.9. As 3 categorias extintas

nessa nova análise são: eletricidade, calor e vapor; gás de síntese e fibra de carbono. Os projetos voltados para a produção de eletricidade, calor, vapor e gás de síntese empregam a combustão e a rota termoquímica, não sendo a lignina o foco principal dessas iniciativas. Já a produção da fibra de carbono era uma iniciativa da empresa francesa *Arkema* (com atuação no setor químico), que apesar de ter a lignina com alvo principal, encontra-se concluída atualmente, e por isso foi descartada.

Segundo a Figura 5.9, os aromáticos são os produtos mais citados nos projetos, como os principais derivados da lignina. Dentre os aromáticos gerados, cerca de 83% são obtidos por rotas de conversão catalítica e 17%, isto é, 1 projeto liderado pela *Biome Bioplastics* obtém aromáticos por rota biotecnológica. A segunda categoria de produtos corresponde aos aditivos e dispersantes, em que apenas 20% (1 projeto) dessa categoria é gerada através da formulação, enquanto o restante da categoria é obtido por rota catalítica. Apenas a *joint venture* formada entre a *Borregaard*, do setor de papel e celulose, e a *Rayonier Advanced Materials* (RYAM), do setor químico, utiliza a formulação para a produção de aditivos para concreto e aplicações similares.

A terceira categoria de produtos é composta pelas resinas e lignina de alto desempenho. As resinas são obtidas via rota catalítica e não são empregadas rotas de conversão para a obtenção da lignina de alto desempenho, pois a estrutura química da lignina não é alterada, o que os projetos realizam, nesse caso, é um tratamento de purificação para a obtenção de uma lignina de melhor qualidade que, futuramente, pode ser comercializada e utilizada para a geração de outros produtos com aplicação em diversos mercados.

A quarta posição é composta por polímeros, termoplásticos e vanilina, em que cada uma dessas categorias está presente em 2 projetos. Um dos projetos que geram polímeros modificados emprega a rota biotecnológica, enquanto o outro não emprega rota de conversão, possivelmente considerando a própria lignina residual como produto. Os termoplásticos são gerados a partir de processos de formulação, e a vanilina produzida nesses projetos provém de rotas catalíticas.

A última posição do gráfico é composta por 6 categorias distintas, em que cada uma dessas faz parte de apenas um projeto. Os pellets caracterizam uma lignina em estado sólido destinada para uso como combustível, assim não se emprega rotas de conversão tecnológica para produzi-los. O bio-óleo e o biocombustível são originados a partir das frações de lignina, e não de toda a biomassa, por meio do emprego da catálise química. O carvão ativado é obtido a partir da combustão incompleta, e os únicos produtos dentro da categoria de aldeídos e

ésteres, para o subconjunto dos projetos em análise, são os ésteres, provenientes de rotas biotecnológicas.

Assim como observado para a Tabela 4.2, a diversidade de produtos identificados a partir do aproveitamento da lignina como foco principal e *status* atual ativo também corrobora para a existência de um vasto campo de aplicações, conforme mostra a Tabela 5.3. Os produtos podem ser utilizados desde a produção de combustíveis até a fabricação de aromatizantes e flavorizantes, passando pela produção de materiais avançados, como resinas, adesivos e fibras de carbono.

Tabela 5.3 - Uso do produto principal derivado da lignina nos projetos ativos com foco no aproveitamento da lignina

Produto relacionado à lignina	**Uso do produto principal**
Aditivos e Dispersantes	Construção civil e plásticos
Aldeídos e Ésteres	Agentes flavorizantes e aromatizantes
Aromáticos	Combustível, materiais avançados (adesivos, espumas, resinas e fibras de carbono) e plásticos
Biocombustível	Substituto para combustível fóssil
Bio-óleo	Substituto para combustível fóssil
Carvão ativado	Tratamento de água potável e uso em filtros de água
Lignina de alto desempenho	Adsorventes, aditivos, carvão ativado, catalisadores, materiais avançados (espuma a base de poliuretano, resinas e fibras de carbono para reforço de compósitos) e plásticos
Outros	Embalagens, Materiais avançados (resinas, dispersantes, compósitos, fibras de carbono e espuma), combustível líquido e pellets
Pellets	Geração de energia
Polímeros	Materiais avançados (adesivos, dispersantes, espumas, fibras e resinas) e plásticos
Termoplásticos	Agricultura, artigos de esporte e lazer, brinquedos, construção civil, embalagens, instrumentos musicais, utensílios domésticos e setor automotivo
Vanilina	Agentes flavorizantes e aromatizantes
Resinas	Adesivos, espumas, laminação e materiais de isolamento

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Dentre os 27 projetos em análise, cerca de 33% citam a possibilidade de gerar outros produtos a partir da lignina, além do prioritário. Esses dados podem refletir os esforços de alguns projetos em investir na estruturação de negócios a partir do aproveitamento da lignina como matéria-prima. A Tabela 5.4 mostra as organizações líderes dos projetos e os outros possíveis produtos que podem ser gerados. Desses produtos, apenas a *American Process* cita a geração de eletricidade, todas as demais organizações investem no desenvolvimento de produtos de maior valor agregado.

Tabela 5.4 - Outros produtos derivados da lignina

Empresa líder	**Outros produtos derivados da lignina**
Stora Enso	Fibras de carbono
Borregaard	Aditivos e dispersantes
Fibria	Adesivos
American Process	Eletricidade
Australian Paper	Aromáticos
Sweetwater Energy	Aditivos e resinas
Spero Energy	Vanilina
Texas A&M University	Asfalto, biocombustível e fibras de carbono
VTT	Termoplásticos

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

5.5.2 Natureza dos produtos

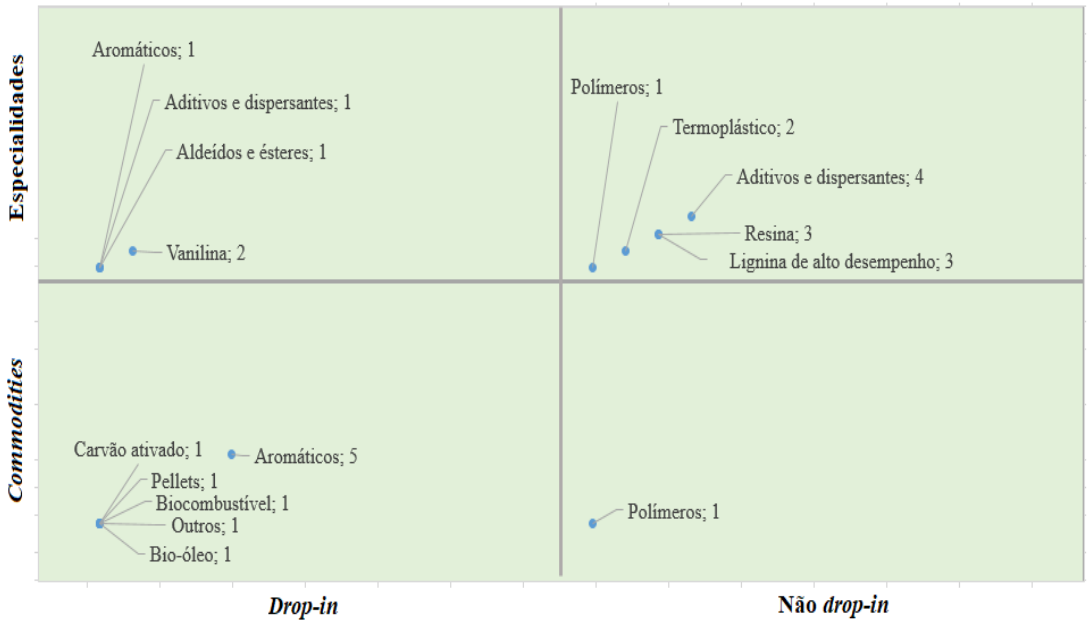
A Figura 5.10 classifica as categorias de produtos de acordo a sua natureza, em: *drop-in* e não *drop-in*, *commodity* e especialidade de forma integrada.

Dessa forma, 52% dos produtos originados em projetos ativos com foco no aproveitamento da lignina são *drop-in*, ou seja, produtos que possuem propriedades técnicas iguais àquelas dos produtos provenientes de derivados fósseis, sendo capazes de desempenhar as mesmas funções e substituí-los nos mercados em que costumam ser aplicados. 48% dos produtos da Figura 5.10 podem ser classificados como não *drop-in*. Esses produtos não *drop-in* têm algumas propriedades técnicas diferentes daquelas apresentadas por produtos provenientes do petróleo, podendo requerer a estruturação de um novo mercado para sua aplicação.

A comparação entre os valores percentuais obtidos nessa análise com aqueles obtidos para a análise dos produtos no Capítulo 4, revela que passa a haver um maior equilíbrio entre a quantidade de produtos *drop-in* e não *drop-in* derivados da lignina ao serem considerados

apenas projetos com foco principal na lignina e *status* atual ativo, ou seja produtos de natureza *não drop-in* ganham relevância nesse subconjunto.

Figura 5.10 - Classificação das categorias e quantidade de produtos segundo sua natureza para projetos ativos com foco na lignina



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A outra classificação adotada para os produtos é em *commodities* (grande escala, baixo preço e comercializados segundo a composição química) e especialidades (pequena escala, alto preço e comercializados segundo o desempenho). Essa análise permite classificar 38% dos produtos como *commodities* e 62% como especialidades.

Realizando uma nova comparação entre os dados levantados nessa análise com os dados obtidos no Capítulo 4, observa-se uma alteração no perfil dos produtos que compõem o espaço amostral desses 27 projetos em análise. Enquanto no Capítulo 4 a maior parte dos produtos poderia ser considerada como *commodity*, nesse Capítulo 5 verifica-se que a maior parte dos produtos gerados nos projetos ativos com foco principal no aproveitamento da lignina pode ser considerada como especialidade. Essa informação é relevante, porque a competição entre os produtos de base renovável derivados da lignina e os produtos derivados de fósseis deixa de ser pautada apenas no fator custo, transferindo-se para o fator de diferenciação.

Os produtos que possuem maior grau de diferenciação seriam os que possuem maior potencial de desenvolvimento a curto e médio prazo, já que o fator econômico pode ser

compensado pelos benefícios propostos ao mercado. A tendência em desenvolver aplicações para essa classificação de produtos pode ser apoiada pela literatura, quando Fabbri, Fisher e Mazzetti (2018) relatam que as resinas à base de lignina, consideradas como especialidades e não *drop-in* nas análises dessa seção são os produtos inovadores que apresentam maior maturidade tecnológica e potencial de operar em escalas comerciais, ou seja, existe a expectativa de que esses produtos sejam os primeiros derivados da lignina a ganharem espaço no mercado. Estima-se também que a substituição de 1 tonelada de fenol proveniente de derivados fósseis por fenol obtido de lignina evita a emissão de 1 tonelada de CO_2, além de permitir a redução da toxicidade das resinas.

5.5.3 Relação do grau de maturidade dos projetos com os produtos gerados

A Tabela 5.5 relaciona os produtos de diferentes naturezas gerados a partir do aproveitamento da lignina com o grau de maturidade dos projetos.

Tabela 5.5 - Relação do grau de maturidade com os produtos de diferentes naturezas para projetos ativos com foco no aproveitamento da lignina

	Produtos	Grau de maturidade					Total
		Bancada	Piloto	Demonstração	Comercial	NI*	
Especialidades	Aditivos e Dispersantes	1	2	-	1	1	5
	Resinas	1	1	-	1	-	3
	Lignina de alto desempenho	1	1	1	-	-	3
	Vanilina	-	1	-	1	-	2
	Aromáticos	1	-	-	-	-	1
	Aldeídos e Ésteres	-	1	-	-	-	1
	Polímeros	-	1	-	-	-	1
	Termoplásticos	1	-	-	1	-	2
	Total	5	7	1	4	1	18
Commodities	Aromáticos	2	3	-	-	-	5
	Bio-óleo	-	1	-	-	-	1
	Polímeros	-	-	-	1	-	1
	Pellets	-	-	-	1	-	1
	Carvão ativado	-	-	1	-	-	1
	Biocombustível	-	-	-	-	1	1
	Outros	-	1	-	-	-	1
	Total	2	5	1	2	1	11

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

A maior parte dos produtos classificados como *commodities* e como especialidades encontram-se em estágio inicial de desenvolvimento, uma vez que estão em nível bancada e piloto. Dentre os projetos que se encontram em escala de demonstração ou comercial, as especialidades predominam em relação às *commodities*.

Esses resultados fornecem uma informação divergente daquela apresentada para o panorama geral, em que eram as *commodities* que predominavam nas escalas de demonstração e comercial, superando a produção de especialidades nessas escalas. E até mesmo dentro do conjunto de *commodities*, àquelas que eram produzidas em escalas maiores (demonstração e comercial) superavam a produção de *commodities* em nível bancada e piloto. A redução do espaço amostral, considerando projetos com foco principal no aproveitamento da lignina e *status* atual ativo, mostra uma redução expressiva na quantidade de *commodities* geradas e sugere que as especialidades venham a conquistar escalas maiores de produção antes das *commodities*, corroborando com dados da literatura.

5.5.4 Relação das empresas líderes dos projetos com os tipos de produtos

As três primeiras posições da Figura 5.9 que abrangem categorias de produtos derivados da lignina serão tomadas como referência, com exceção da categoria lignina de alto desempenho, com o propósito de avaliar o setor de atuação das organizações líderes e verificar se existe algum perfil característico.

As Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8 exibem as organizações líderes e seus respectivos setores de atuação para cada categoria de produtos. Percebe-se uma grande abertura no que diz respeito ao setor de atuação das organizações líderes produtoras de aromáticos, aditivos e dispersantes, assim como resinas, porque não há o predomínio de organizações de um único setor de atuação para cada uma dessas categorias. Apenas para a categoria de aromáticos é possível identificar uma maior parcela de empresas do setor de tecnologia, as quais representam 50% do setor de atuação das organizações. Na análise da amostra geral, o setor de tecnologia também era o mais representativo dentre as empresas líderes com foco em aromáticos e se mantém um perfil diversificado para as empresas líderes produtoras de resinas, mostrando os esforços de atores distintos tanto para os projetos da amostra geral quanto para os projetos atualmente ativos com foco no aproveitamento da lignina.

Tabela 5.6 - Organizações produtoras de aromáticos com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo

Aromáticos	
Empresa líder	**Setor de atuação**
Biome bioplastics	Bioplásticos
Greenpower Energy	Carvão
BioBTX: Companhia do Grupo KNN	Tecnologia
Spero Energy	Tecnologia
Ohio University Department of Chemistry	Universidade
Valmet	Tecnologia

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Tabela 5.7 - Organizações produtoras de aditivos e dispersantes com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo

Aditivos e dispersantes	
Empresa líder	**Setor de atuação**
Borregaard	Papel e celulose
Glucan Biorrenewables	Químicos
Genarex LLC	Tecnologia
VTT	Pesquisa
Sappi	Fibra de madeira

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

Tabela 5.8 - Organizações produtoras de resinas com foco no aproveitamento da lignina e *status* ativo

Resinas	
Empresa líder	**Setor de atuação**
Stora Enso	Papel e celulose
Ava Biochem	Químicos
Attis Innovation (Meridian Waste Solutions)	Tecnologia

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.

5.6 Considerações finais

O conjunto de dados referentes aos projetos que tem foco principal no aproveitamento da lignina e *status* atual ativo reduz a amostra geral em aproximadamente 61%. Os projetos coordenados por empresas apresentam um equilíbrio entre a participação daquelas que são *start ups* e estabelecidas, mostrando a possibilidade de novos entrantes quando se trata do aproveitamento da lignina como matéria-prima, semelhante ao discutido para a bioeconomia em geral. A participação de empresas maduras pode ser justificada pelo seu interesse em

substituir a fonte fóssil pela renovável mantendo o seu *portfolio*, ou pelo objetivo de estruturar novos negócios diversificando seu *portfolio* a partir do aproveitamento da lignina.

Os setores de atuação mais relevantes referentes a essas empresas são os de tecnologia; papel, celulose, embalagens e fibras de madeira. As empresas de tecnologia estariam empenhadas em desenvolver soluções tecnológicas apropriadas para a geração de produtos de maior valor a partir da lignina, e as empresas de papel, celulose, embalagens e fibras de madeira estariam interessadas em agregar valor à lignina gerada a partir de suas atividades essenciais, expandindo a fronteira de seus negócios.

A principal biomassa utilizada como fonte de obtenção da lignina é a florestal, porque as organizações líderes já utilizam essa biomassa em suas atividades tradicionais, como é o caso do setor de papel, celulose, embalagens e fibras de madeira, ou porque estabelecem parcerias com outras instituições que utilizam biomassa florestal, mas não aproveitam a lignina, fornecendo-a para essas organizações que têm interesse nesse material. A estruturação de negócios a partir da integração de matéria-prima está presente na maior parte dos projetos, e a quantidade de projetos que integram a matéria-prima, gerando múltiplos produtos também representa mais da metade dos projetos em análise, configurando-se como biorrefinarias.

A rota de conversão mais empregada para a desconstrução da lignina transformando-a em outros produtos é a catálise química. O processo de combustão tem baixa expressividade na análise desses projetos e a rota termoquímica não possui representatividade alguma, pois são processos que destroem a lignina, sem conservar as propriedades desse material como uma potencial fonte de carbono renovável para ser utilizada em substituição às fontes fósseis.

As principais categorias de produtos identificadas são os aromáticos; aditivos e dispersantes com aplicações para a produção de combustível, materiais avançados e plásticos; construção civil e plásticos, respectivamente.

Com relação a natureza dos produtos, a maior parte foi identificada como não *drop-in* e especialidade, ou seja, são produtos que possuem composição química diferente daqueles produzidos a partir de derivados fósseis sendo comercializados pelo seu desempenho. A análise do grau de maturidade dos diversos produtos indica que tanto as *commodities* quanto as especialidades encontram-se majoritariamente em baixo grau de maturidade, isto é, nível bancada e piloto. Já ao analisar a natureza dos produtos de projetos com maior grau de maturidade, percebe-se que as especialidades são mais representativas, podendo indicar que sejam os produtos dessa natureza os primeiros a ganhar espaço no mercado em curto e médio prazo.

6. Conclusão

A perspectiva de construir indústrias de base renovável, em que se substitui a matéria-prima fóssil por matéria-prima renovável tem impulsionado algumas empresas e instituições de pesquisa a desenvolverem iniciativas que visam agregar valor à biomassa.

A lignina se mostra como uma potencial matéria-prima, pois está presente na maior parte dos materiais vegetais, sendo um resíduo de indústrias que utilizam materiais lignocelulósicos para o desenvolvimento de suas atividades essenciais, como é o caso da indústria de papel e celulose, biocombustíveis e, recentemente, das biorrefinarias. Ao longo dos anos, percebeu-se o desenvolvimento de iniciativas para o aproveitamento da lignina, contudo o principal produto presente no mercado atualmente originado a partir dessa matéria-prima é a eletricidade, que na verdade, não conserva as características da estrutura química da lignina, uma vez que essa é queimada.

A partir dos projetos estudados conclui-se que há perspectivas promissoras de crescimento futuro no uso da lignina como matéria-prima, uma vez que há empreendimentos para o desenvolvimento de tecnologias que permitam a aplicação da lignina para a geração de novos produtos corroborando com sua aplicação em diversos mercados, mas em uma perspectiva de longo prazo com grande diversidade de atores e produtos.

As principais empresas que estão atuando no aproveitamento da lignina como foco principal são majoritariamente *start ups* desenvolvedoras de tecnologia e empresas estabelecidas dos setores de papel, celulose, embalagens e fibras de madeira. As relações de parcerias mostram-se essenciais para a obtenção de ativos complementares, os quais podem ser acessados por meio de acordos com parceiros que as proveem. Os principais acordos e objetivos das parcerias são o de desenvolvimento conjunto de tecnologia e licenciamento de tecnologia. Assim, a tecnologia mostra-se um fator essencial a ser alcançado para a estruturação de negócios a partir da lignina.

No que tange à fonte de matéria-prima e rotas de conversão, as perspectivas parecem mais claras em torno da biomassa florestal e catálise química, respectivamente. No entanto, é preciso frisar que a maioria dos projetos busca uma configuração de biorrefinaria, onde a rota biotecnológica se faz presente na etapa de tratamento do material lignocelulósico, sendo a hidrólise enzimática muito empregada após etapas de pré-tratamento. Esse perfil sugere que o avanço no aproveitamento da lignina para geração de produtos de maior valor agregado

necessita do desenvolvimento tanto da base biotecnológica quanto química, tornando mais complexo o contexto para sua evolução.

Ao analisar os produtos gerados a partir dos projetos da amostra geral observa-se uma predominância de produtos provenientes da combustão, com destaque para o calor, a partir do qual pode ser gerado vapor e eletricidade, os quais são *commodities* e *drop-in* de menor valor agregado. A análise do subconjunto revela que a maior parte dos produtos gerados a partir dos projetos ativos com foco principal no aproveitamento da lignina são os aromáticos, seguidos por aditivos e dispersantes e, posteriormente, pelas resinas juntamente com a lignina de alto desempenho. Portanto, há uma alteração nos tipos de produtos obtidos para os diferentes conjuntos, sendo que os projetos com foco no aproveitamento da lignina visam uma real valorização da lignina como matéria-prima. Esta é uma análise relevante porque mostra que os projetos voltados para o aproveitamento da lignina são bastante diferentes daqueles voltados para a biomassa no geral e mais especificamente o açúcar de segunda geração. As diferenças na natureza do produto têm impacto significativo na estruturação dos negócios e nos desafios para sua difusão no mercado.

A exploração das oportunidades associadas ao aproveitamento da lignina para o caso brasileiro mostrou-se limitada, apesar da alta competitividade do país em fontes de biomassas florestais, visto que só foi possível identificar a iniciativa da *GranBio*, que não possui foco principal no aproveitamento da lignina, gerando eletricidade e a iniciativa da *Fibria*, uma organização líder brasileira, mas cuja planta está localizada em outro país. Assim, para compreender melhor a inserção do Brasil no aproveitamento da lignina seria necessária a adoção de uma metodologia complementar de estudos de casos das empresas líderes brasileiras que atuam no setor de biocombustível e papel e celulose para buscar compreender de que forma elas têm lidado com esta questão.

É possível que a metodologia adotada não tenha identificado alguns projetos de conversão direta da lignina por rota termoquímica, como a produção de óleo de pirólise. Isso ocorre porque todo material lignocelulósico pode ser submetido ao processo de conversão, de modo que não seria necessário especificar as frações poliméricas (celulose, hemicelulose e lignina). Assim, o critério adotado para a definição do campo de busca com a palavra-chave "*lignin*" não permitiria a identificação de tais projetos. Outra limitação do trabalho consiste na classificação feita a posteriori, de forma indutiva e com certo grau de subjetividade para mapear o setor de atuação das organizações líderes, os tipos e objetivos das parcerias e os tipos de produtos a partir do aproveitamento da lignina.

O desenvolvimento de modelos de negócio para o uso da lignina como matéria-prima é uma discussão que pode auxiliar no melhor entendimento de porquê essa biomassa apresenta dificuldades na estruturação dos negócios, além dos desafios tecnológicos para se tornar uma importante fonte de matéria-prima na bioeconomia, sendo este detalhamento dos modelos de negócio sugerido para estudos futuros.

Referências

ADITIYA, H. B.; MAHLIA, T. M. I.; CHONG, W. T.; NUR, HADI; SEBAYANG; A. H. Second generation bioethanol production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, [*s. l.*], v. 66, p. 631-653, dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE EENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2005. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b. Acesso em: 26 fev. 2019.

ANNALA, Kaisu; TERÄS, Jukka. **Nordic working group for green growth – innovation and entrepreneurship 2013-2016**. Stockholm: NORDREGIO, 2017. Disponível em: http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1092495/FULLTEXT01.pdf. Acesso em: 18 jul. 2018.

BACOVSKY, Dina; DALLOS, Michal; WÖRGETTER, Manfred. Status of 2nd Generation Biofuels Demonstration Facilities in June 2010. **IEA Bioenergy**, [*s. l.*], n.39, p.1-126, jul. 2010.

BARNEY, JAY B. Cooperative Strategies: Strategic Alliances. *In*: BARNEY, JAY B. Gaining and Sustaining Competitive Advantage. 4. ed. Boston: Pearson, 1996. p. 284-313.

BENNETT, Simon J.; PEARSON, Peter J. G. From petrochemical complexes to biorefineries? The past and prospective co-evolution of liquid Fuels and chemicals production in the UK. **Chemical Engineering Research and Design**, [*s. l.*], v. 87, n. 9, p. 1120-1139, set. 2009.

BHUTTO, Abdul Waheed; QURESHI, Khadija; HARIJAN, Khanji; ABRO, Rashid; ABBAS, Tauqeer; BAZMI, Aqeel Ahmed; KARIM, Sadia; YU, Guangren. Insight into progress in pre-treatment of lignocellulosic biomass. **Energy**, [*s. l.*], v. 122, p. 724-745, mar. 2017.

BIOECONOMY STRATEGY: Expert group for the review of the bioeconomy strategy and its action plan. **Final Report – European Commission**. 2017. Disponível em: http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=36183&no=1. Acesso em: 30 jul. 2018.

BIOTECHNOLOGY INNOVATION ORGANIZATION (BIO). **Advancing the Biobased Economy: Renewable Chemical Biorefinery Commercialization, Progress, and Market Opportunities, 2016 and Beyond**. Washington, 2016. Disponível em: https://www.bio.org/sites/default/files/BIO_Advancing_the_Biobased_Economy_2016.pdf. Acesso em: 18 jul. 2018.

BIOTECHNOLOGY INNOVATION ORGANIZATION (BIO). **Renewable Chemical Platforms Building the Biobased Economy**. Washington, 2018. Disponível em: https://www.bio.org/events/2018-renewable-chemicals-directory. Acesso em: 19 jul. 2018.

BIRNER, Regina. Bioeconomy Concepts. *In*: LEWANDOWSKI, Iris (ed.). **Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy**. 1. ed. Stuttgart: Springer, 2018. p. 17-38.

BOMTEMPO, José Vitor. O futuro dos biocombustíveis XIII – Matéria prima como fator estruturante da indústria. **Boletim Infopetro Petróleo & gás**, n.3, jul./ago. 2012. Disponível em: https://infopetro.files.wordpress.com/2014/07/infopetro07082012.pdf. Acesso em: 24 jul. 2018.

BOMTEMPO, José Vitor; ALVES, Flavia Chaves. Innovation dynamics in the biobased industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Berlim, v. 1, n. 19, p. 1-6, out. 2014.

BOMTEMPO; José Vitor; ALVES, Flavia Chaves (coord. Técnica setorial). Química de Renováveis: panorama tecnológico. **Agenda Tecnológica Setorial – ATS: Química**, 2016. Disponível em: http://ats.abdi.com.br/SiteAssets/Qu%C3%ADmica%20de%20renov%C3%A1veis%20_PT.pdf. Acesso em: 26 jul. 2018.

BOMTEMPO, José Vitor; ALVES, Flavia C.; OROSKI, Fábio. Developing new platform chemicals: what is required to a new bio-based molecule to become a platform in the bioeconomy? **Faraday Discussions**, Londres, v. 202, p.202-213, mar. 2017.

BOZELL, J. J.; HOLLADAY, J. E.; JOHNSON, D.; WHITE, J. F. Potemtial Sources of Biorefinery Lignin. In: BOZELL, J. J.; HOLLADAY, J. E.; JOHNSON, D.; WHITE, J. F. Potemtial Sources of Biorefinery Lignin. **Top Value-Added Chemicals from Biomass. Volume II: Results os Screening for Potencial Candidates from Biorrefinery Lignin**. [s. l.]: 2007. p. 53-63.

BUGGE, Markus M.; HANSEN, Teis; KLITKOU, Antje. What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. **Sustainability**, Lund, v. 8, n. 7, p. 1-22, jul. 2016.

CARROTT, Suhas P. J. M.; RIBEIRO CARROTT, M. M. L. Lignin – from natural adsorbent to activated carbono: A review. **Bioresource Technology**, [*s. l.*], v. 98, n. 12, p. 2301-2312, set. 2007.

CARUS, Michael; DAMMER, Lara. The “Circular Bioeconomy” – Concepts, Opportunities and Limitations. **Nova-Institute**, Hürth, v. 9, p. 1-9, jan. 2018.

CARUS, Michael; DAMMER, Lara; ESSEL, Roland. Options for Designing a New Political Framework of the European Biobased Economy. **Industrial Biotechnology**, Hürth: v. 10, n. 6, p. 388-394, out. 2014.

CARUS, Michael; DAMMER, Lara; PUENT, Ángel; RASCHKA, Achim; ARENDT, Oliver. Bio-based drop-in, smart drop-in and dedicated chemicals. **Nova Institute**, Hürth, p. 1-3, dez. 2017.

CARUS, Michael; RASCHKA, Achim; IFFLAND, Kerstin; DAMMER, Lara; ESSEL, Roland; PIOTROWSKI, Stephan. How to Shape The Next Level of The European Bio-Based Economy? **Nova-Institute**, Hürth, p. 30-39, fev. 2016.

CHEMICAL AND BIOLOGICAL TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE**. Innovation dynamics in the biobased industry**, v. 1, n. 19, 2014. Disponível em: https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-014-0019-8. Acesso em: 11 set. 2018.

CHEN, Hongyan; LIU, Jinbao; CHANG, Xing; CHEN, Daming; XUE, Yuan; LIU, Ping; LIN, Hualin; HAN, Sheng. **A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals**. Fuels Processing Technology, [*s. l.*], v. 160, p. 196-206, jun. 2017.

CHENG, Chongbo; WANG, Jinzhi; SHEN, Dekui; XUE, Jiangtao; GUAN, Sipian; GU, Sai; LUO, Kai Hong. Catalytic Oxidation of Lignin in Solvent Systems for Production of Renewable Chemicals: A Review. **Polymers**, [*s. l.*], v. 9, n. 6, p. 1-25, jun. 2017.

CHESBROUGH, Henry. Business Model Innovation: Opportunities and Barriers. **Long Range Planning**, [*s. l.*], v. 43, n. 2/3, p. 354-363, abr./jun. 2010.

COUTINHO, Paulo; BOMTEMPO, José Vitor. Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil. **Química Nova**, [*s. l.*], v. 34, n. 5, p. 910-916, 2011.

DANSEREAU, Louis Patrick; EL-HALWAGI, Mahmoud; CHAMBOST, Virginie; STUART, Paul. Methodology for biorefinery portfolio assessment using supply-chain fundamentals of bioproducts. **Biofuel Bioproducts & Biorefining**, [*s. l.*], v. 8, n. 5, p. 716-727, set./out. 2014.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Moving Beyond Drp-In Replacements: Peformance-Advantaged Biobased Chemicals**. Denver, 2018. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/06/f53/Performance-Advantaged%20Biobased%20Chemicals%20Workshop%20Report.pdf. Acesso em: 10 mar. 2019.

DOHERTY, William O. S.; MOUSAVIOUN, Payam; FELLOWS, Christopher M. Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. **Industrial crops and products**, [*s. l.*], v. 33, n. 2, p. 259-276, mar. 2011.

DSM. **White Biotechnology**. Heerlen, 2019. Disponível em: https://www.dsm.com/content/dam/dsm/cworld/en_US/documents/white-biotech.pdf. Acesso em: 10 mar. 2019.

DUPONT-INGLIS, Joanna; BORG, Agnes. Destination bioeconomy - The path towards a smarter, more sustainable future. **New Biotechnology**, Bruxelas, v. 40, p. 140-143, jan. 2018.

FABBRI, Paola; FISHER, Piret Kukk; MAZZETTI, Chiara (coord.). **Top emerging bio-based Products, their properties and industrial applications**. Evere: Media Process. 2018. Disponível em: https://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-top-emerging-bio-based-products.pdf. Acesso em 14 out. 2018.

FOELKEL, Celso**. As biorrefinarias integradas no setor brasileiro de fabricação de celulose e papel de eucalipto**. [*s. l.*]: Eucalyptus Online Book & Newsletter, 2016.

Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf. Acesso em: 24 jul. 2018.

FRÖHLING, Magnus; SCHWEINLE, Jörg; MEYER, Jörn-Christian; SCHULTMANN, Frank. Logistics of Renewable Raw Materials. *In*: ULBER, Roland; SELL, Dieter; HIRTH, Thomas (ed.). **Renewable Raw Materials**: new feedstocks for the chemical industry. 1. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. p. 49-94.

GALL, Daniel L.; RALPH, John; DONOHUE, Timothy J.; NOGUERA, Daniel R. Biochemical transformation of lignin for deriving valued commodities from lignocellulose. **Current Opinion in Biotechnology**, [*s. l.*], v. 45, p. 120-126, mar. 2017.

GHISELLINE, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production, [*s. l.*], v. 114, n. 7, p. 11-32, fev. 2016.

HAMILTON, William F. Corporate strategies for managing emerging technologies. **Technology in Society**, [*s.l.*], v. 7, n. 2-3, p. 197-212, 1985.

HORIZON 2020. **What is Horizon 2020?** Disponível em: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020. Acesso em 09 mar. 2019.

JESPERSEN, Malene Sand; DALSGAARD, Mette; MARATOU, Alexandra; MAZZETTI, Chiara (coord.). **Bio-based Products – from idea to market**. Evere: Media Process. 2018. Disponível em: https://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-bio-based-products-15-success-stories.pdf. Acesso em: 14 out. 2018.

JÚNIOR PEREIRA, Nei. Biorrefinarias – Rota bioquímica. IN: SILVA FILHO, Demétrio Antonio da (coord.). **Química verde no Brasil: 2010-2030**. [Brasília, DF]: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. p. 19-75.

KERN, F.; KIVIM, P.; MARTISKAINEN, M. Policy packaging or policy patching? The development of complex energy efficiency policy mixes. **Energy Research & Social Science**, [*s. l.*], v. 23, p. 11-25, jan. 2017.

KHALID, Khalidatul Athirah; AHMAD, Asimi Ana; YONG, Tau Len-Kelly. Lignin Extraction from Lignocellulosic Biomass Using Sub- and Spercritical Fluid Technology as Precursor for Carbon Fiber Production. **Journal of the Japan Institute of Energy**, [*s. l.*], v. 96, n. 8, p. 255-260, 2017.

LACY, Peter; RUTQVIST, Jakob. The Roots of the Circular Economy. In: LACY, Peter; RUTQVIST, Jakob (ed.). **Waste to Wealth**. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2015, p. 19-23.

LANE, Jim. Sustainable, available, reliable affordable bioeconomy feedstocks: The hottest slides from ABFC 2015. **Biofuels Digest**, [*s. l.*], 11 jun. 2015. Disponível em: https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/06/11/sustainable-available-reliable-affordable-bioeconomy-feedstocks-the-money-slides-from-abfc-2015/.

LANGHOLTZ, Matthew; DOWNING, Mark; GRAHAM, Robin; BAKER, Fred; COMPERE, Alicia; GRIFFITH, William; BOEMAN, Raymond; KELLER, Martin. Lignin-Derived Carbon Fiber as a Co-Product of Refining Cellulosic Biomass. **SAE International**, [*s. l.*], p. 115-121, 2013.

LEITÃO, Renato Carrhá; CASSALES, Ana Ribeiro; ALEXANDRE, Lílian Chayn; PINHEIRO, Francisca Gleyciara Cavalcante; SOARES, Amanda Kelly Lima; DE BRITO, Maria Zilmara Rodrigues; VALE, Maria do Socorro; DE SOUZA FILHO, Mem de Sá; SANTAELLA, Sandra Tédde; ROSA, Morsyleide de Freitas. Produção de Lignossulfonatos a partir da Lignina Extraída do Bagaço da Cana-de-açúcar. **Embrapa**, Comunicado Técnico 228, fev. 2017. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159234/1/COT17002.pdf. Acesso em 6 ago. 2018.

MAGRETTA, Joan. Why Business Models Matter. **Harvard Business Review**, [*s. l.*], p.1-8, maio, 2002.

MELÉNDEZ, José; LEBEL, Luc; STUART, Paul R.. A literature review of biomass feeedstocks for a biorefinery. In: STUART, Paul R.; EL-HALWAGI, Mahmoud (ed.). **Integrated biorefineries: design, analysis and optimization**. Boca Raton: CRC Press, 2013, p. 433-450 .

NALI, Eduardo Christensen; RIBEIRO, Leonardo Brandão Nader Magliano; HORA, André Barros da. Biorrefinaria integrada à indústria de celulose no Brasil: oportunidade ou necessidade? **Revista BNDES**, n.43, mar. 2016. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9578/2/BS%2043%20Biorrefinaria%20integrada%20à%20indústria%20de%20celulose%20no%20Brasil.%20_P_BD.pdf. Acesso em: 15 ago. 2018.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda**. Paris, 2009. Disponível em: http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf. Acesso em: 18 jul. 2018.

OROSKI, Fabio de Almeida; ALVES, Flavia Chaves; BOMTEMPO, Jose Vitor. Acesso às competências complementares na estruturação de modelos de negócios inovadores: uma exploração em bioplásticos. Working paper. 2015.

OROSKI, Fabio de Almeida; ALVES, Flavia Chaves; BOMTEMPO, Jose Vitor. Practitioner's Section: Bioplastics Tipping Point: drop-in or non-drop-in? **Journal of Business Chemistry**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 131-136, fev. 2014.

PATERMANN, Christian; AGUILAR, Alfredo. The origins of the bioeconomy in the European Union. **New Biotechnology**, [*s. l.*], v. 40, p. 20-24, jan. 2018.

PRIEFER, Carmen; JÖRISSEN, Juliane; FRÖR, Oliver. Pathways to Shape the Bioeconomy. **Resources**, [*s. l.*], v. 6, n. 1, p. 1-23, fev. 2017.

PURE LIGNIN ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY. **Lignin**. 2009. Disponível em: http://purelignin.com/lignin/. Acesso em: 20 ago. 2018.

RABEMANOLONTSOA, Harifara; SAKA, Shiro. Various pretreatments of lignocellulosics. **Bioresource Technology**, [*s. l.*], v. 199, p. 83-91, jan. 2016.

RAGAUSKAS, Arthur J.; BECKHAM, Gregg T.; BIDDY, Mary J.; CHANDRA, Richard; CHEN, Fang; DAVIS, Mark F.; DAVISON, Brian H.; DIXON, Richard A.; GILNA, Paul; KELLER, Martin; LANGAN, Paul; NASKAR, Amit K.; SADDLER, Jack N.; TSCHAPLINSKI, Timothy J.; TUSKAN, Gerald A.; WYMAN, Charles E.. Lignin Valorization: Improving Lignin Pocessing in the Biorefinery. **Science,** [*s. l.*], v. 344, n. 6185, p. 709-720, maio, 2014.

RAGAUSKAS, Arthur J.; WILLIAMS, Charlotte K.; DAVISON, Brian H.; BRITOVSEK George; CAIRNEY, John; ECKERT, Charles A.; FREDERICK JR, William J.; HALLETT, Jason P.; LEAK, David J.; LIOTTA, Charles L.; MIELENZ, Jonathan R.; MURPHY, Richard; TEMPLER, Richard; TSCHAPLINSKI, Timothy. The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. **Science**, [*s. l.*], v. 311, n. 5760, p. 484-489, jan. 2006.

ROGERS, Jonathan N.; STOKES, Bryce; DUNN, Jennifer; CAI, Hao; WU, May; HAQ, Zia; BAUMES, Harry. An assessment of the potencial products and economic and environmental impacts resulting from a billion ton bioeconomy. **Biofuel Bioproducts & Biorefining**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 110-128, jan./fev. 2017.

RUTTEN, Cathelijne; RAMÍREZ, Andrea; DUQUE, John Posada. Hydrotreating and hydrothermal treatment of alcaline lignina as technological valorization options for future biorefinery concepts: a review. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, [*s. l.*], v. 92, n. 2, p. 257-270, fev. 2017.

SCHIEB, Pierre-Alain; LESCIEUX-KAIR, Honorine; THÉNOT, Maryline; CLÉMENT-LAROSIÈRE, Barbara. An Original Business Model: The Integrated Biorefinery. *In*: SCHIEB, Pierre-Alain; LESCIEUX-KAIR, Honorine; THÉNOT, Maryline; CLÉMENT-LAROSIÈRE, Barbara. **Biorefinery 2030: Future Prospects for the Bioeconomy**. Berlim: Springer, 2015. p. 25-66. E-book.

SEBRAE. **Consórcio de empresa**. 2018. Disponível em: http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-um-consorcio-de-empresas,ff40438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD. Acesso em 12 fev. 2019.

SHAFER, Scott M.; SMITH, H. Jeff; LINDER, Jane C. The power of business models. **Business Horizons**, [*s. l.*], v. 48, n. 3, p. 199-207, maio/jun. 2005.

SIVAGURUNATHAN, Periyasamy; KUMAR, Gopalakrishnan; MUDHOO, Ackmez; RENE, Eldon R.; SARATALE, Ganesh Dattatraya; KOBAYASHI, Takuro; XU, Kaiqin; KIM, Sang-Hyoun; KIM, Dong-Hoon**.** Fermentative hydrogen production using lignocellulosic biomass: An overview of pre-treatment methods, inhibitor effects and detoxification experiences. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** [*s. l.*], v.77, p. 28-42, set. 2017.

STORA ENSO. **Lineo by Stora Enso**. 2019.Disponível em: https://www.storaenso.com/en/products/lignin/lineo. Acesso em: 20 jan. 2019.

SUN, Shaoni; SUN, Shaolong; CAO, Xuefei; SUN, Runcang. The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. **Bioresource Technology**, [*s. l.*], v. 199, p. 49-58, jan. 2016.

SYLDATK, Christoph; SCHAUB, Georg; SCHULZE, Ines; ERNST, Dorothea; NEUMANN, Anke. Existing Value Chains. *In*: ULBER, Roland; SELL, Dieter; HIRTH, Thomas (ed.). **Renewable Raw Materials:** new feedstocks for the chemical industry. 1. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. p. 95-120.

TEECE, David J. Business Models, Business Strategy and Innovation. **Long Range Planning**, [*s. l.*], v. 43, n. 2-3, p. 172-194, abr./jun. 2010.

TEECE, David J. Explicating Dynamic Capabilities: The Nature of Microfundations of (Sustainable) Enterprise Performance. **Strategic Management Journal**, [*s. l.*], v. 28, n. 13, p. 1319-1350, dez. 2007.

THAKUR, Vijay Kumar; THAKUR, Manju Kumari; RAGHVAN, Prasanth; KESSLER, Michael R. Progress in Green Polymer Composites from Lignin for Multifunctional Applications: A Review. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, [*s. l.*], v. 2, n. 5, p. 1072-1092, maio, 2014.

TNO. **Bio-Hart – Biorizon innovation and upscaling of renewable aromatics technology**. 2019. Disponível em: https://www.tno.nl/en/focus-areas/industry/roadmaps/sustainable-chemical-industry/feedstock-flexibility/bio-hart-biorizon-innovation-and-upscaling-of-renewable-aromatics-technology/. Acesso em: 10 fev. 2019.

VARANASI, Patanjali; SINGH, Priyanka; AUER, Manfred; ADAMS, Paul D.; SIMMONS, Blake A.; SINGH, Seema. Survey of renewable chemicals produced from lignocellulosic biomass during ionic liquid pretreatment. **Biotechnology for Biofuels** [*s. l.*], v. 6, n. 14, p. 1-9, jan. 2013.

WANG, Hongliang; PU, Yunqiao; RAGAUSKAS, Arthur; YANG, Bin. From lignin to valuable products-strategies, challenges, and prospects. **Bioresource Technology**, [*s. l.*], v. 271, p. 449-461, jan. 2019.

XIE, Shangxian; RAGAUSKAS, Arthur J.; YUAN, Joshua S. Lignin Conversion: Opportunities and Challenges for the Integrated Bioefinery. **Industrial Biotechnology**, [*s. l.*], v. 12, n. 3, p. 161-167, jun. 2016.

YANG, Bin; WYMAN, Charles E. Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic etanol. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, [*s. l.*], v. 2 n.1, p. 26-40, jan./fev. 2008.

APÊNDICE A - Resumo de projetos identificados para a base de dados final

Empresa líder/projeto	Matéria-prima	Produto	Escala
Stora Enso	Florestal	Resinas	Comercial
Rentech	Resíduo florestal Resíduo agrícola Cultura energética	Gás de síntese	Demonstração
GranBio	Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Comercial
HCL CleanTech (Virdia)	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Lignina seca ou solúvel	Piloto
Biorefinery Midscandinavia (Swedish-Norwegian cooperation)	Florestal	Bio-óleo	Piloto
Biorefinery Midscandinavia (Swedish-Norwegian cooperation)	Resíduo florestal	Bio-óleo	NI*
UPM	Florestal	Lignina de alto desempenho	Demonstração
Borregaard	Resíduo florestal	Aditivos	NI*
Borregaard	Florestal Resíduo florestal Resíduo agrícola	Vanilina	Comercial
Leaf Resources	Resíduo florestal Resíduo agrícola Cultura energética	Resina	Piloto
American Process API Europe	Florestal	Resinas	Piloto
OÜ Graanul Biotech	Florestal Resíduo florestal	Lignina de alto desempenho	Piloto
Domtar	Florestal	Pellets de lignina Polímeros modificados	Comercial
Fibria	Florestal	Lignina de alto desempenho	Piloto
ZeaChem	Florestal Agrícola Cultura energética	Calor e vapor	Demonstração
Preem RenFuel	Resíduo florestal	Bio-óleo	Piloto
Ethanol Technologies (Ethtec)	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Piloto
American Process	Florestal Resíduo agrícola	Lignina de alto desempenho	Demonstração
Australian Paper	Florestal	Biocombustível	NI*
Wageningen University & Research	NI*	Eletricidade e calor	Bancada
Wageningen University & Research	Resíduo florestal Resíduo agrícola Cultura energética	Resinas	NI*

Empresa líder/projeto	Matéria-prima	Produto	Escala
Universidade de Bön	NI*	Vanilina	Bancada
Blue Marble Biomaterials	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Ésteres naturais	Piloto
Gucci	Florestal	Óculos de madeira líquida	NI*
Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes (CBP)	Resíduo florestal	Aromáticos	Piloto
Biome Bioplastics	Resíduo florestal	Aromáticos	Bancada
Glucan Biorrenewables	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Aditivos	Piloto
Ava Biochem	Cultura energética	Resinas	Bancada
M&G Chemicals	Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Comercial
American Science and Technology Corporation (AST)	Florestal Resíduo agrícola	Lignina de alto desempenho	Bancada
Lignin Enterprises	Florestal	Lignina	Piloto
Abengoa	Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Comercial
Avantium	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Gás de síntese	Piloto
Renmatix	Resíduo florestal Resíduo agrícola Cultura energética	Polímeros	Demonstração
Greenpower Energy	Resíduo florestal	Vanilina Aromáticos	Piloto
Inbicon	Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Demonstração
POET	Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Comercial
Compagnie Industrielle de la Matière Végétale (“CIMV”)	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Aromáticos	Demonstração
BioBTX: Companhia do Grupo KNN	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Aromáticos	Piloto
Clariant	Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Demonstração
Patriot Renewable Fuels	Resíduo agrícola	Eletricidade	Comercial
Sweetwater Energy	Florestal	Carvão ativado	Demonstração
Avello Bioenergy	Resíduo florestal Resíduo agrícola Cultura energética	Bio-óleo	Demonstração
Spero Energy	Cultura energética Florestal	Dihydroeugenol (DHE)	Bancada
ST1	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Eletricidade e vapor	Piloto
Blue Sugars	Resíduo agrícola	Lignina	Demonstração
Genera Energy	Cultura energética	Polímeros	Demonstração
Licella	NI*	Bio-óleo	Piloto
BlueFire Renewable	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Pellets	Comercial

Empresa líder/projeto	Matéria-prima	Produto	Escala
Beta Renewables	Resíduo agrícola Cultura energética	Eletricidade e vapor	Comercial
VertiChem	Florestal Resíduo agrícola Cultura energética	Vanilina Aldeídos	NI*
ENEL	Resíduo florestal	Eletricidade	Piloto
Beta Renewables	Resíduo agrícola cultura energética	Eletricidade e vapor	Comercial
Genarex LLC	NI*	Aditivos	Piloto
Universidade de Putra	Resíduo florestal	Vanilina	Bancada
Texas A&M University	NI*	PHA	Piloto
Ohio University Department of Chemistry	NI*	Aromáticos	Bancada
Dong Eenergy Wind Power Holding AS	Resíduo agrícola	Pellets	Demonstração
Arkema	Resíduo florestal	Fibra de carbono	NI*
DuPont Industrial Biosciences	Resíduo agrícola	Eletricidade	Comercial
Global Bioenergies	Resíduo florestal	Lignina	Demonstração
Attis Innovation (Meridian Waste Solutions)	Resíduo	Resinas	Piloto
Mobius (Grow Plastics)	Resíduo florestal	Termoplásticos	Bancada
ECN	Florestal Agrícola	Lignina	Piloto
Tecnaro	Resíduo florestal Cultura energética	Termoplásticos	Comercial
VTT	Resíduo florestal	Dispersantes	Bancada
Sappi	Resíduo florestal	Aditivos e dispersantes	Comercial
Valmet	Resíduo florestal	Aromáticos	Piloto
TNO	Florestal Resíduo florestal Resíduo agrícola	Aromáticos	Piloto

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.
NI* - não foi possível obter informação.

APÊNDICE B - Resumo de projetos identificados para o subconjunto

Empresa líder/projeto	Matéria-prima	Produto	Escala
Stora Enso	Florestal	Resinas	Comercial
Borregaard	Resíduo florestal	Aditivos	NI*
Borregaard	Florestal Resíduo florestal Resíduo agrícola	Vanilina	Comercial
Domtar	Florestal	Pellets Polímeros	Comercial
Fibria	Florestal	Lignina de alto desempenho	Piloto
Preem RenFuel	Resíduo florestal	Bio-óleo	Piloto
American Process	Florestal Resíduo agrícola	Lignina de alto desempenho	Demonstração
Australian Paper	Florestal	Biocombustível	NI*
Blue Marble Biomaterials	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Ésteres naturais	Piloto
Biome Bioplastics	Resíduo florestal	Aromáticos	Bancada
Glucan Biorrenewables	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Aditivos	Piloto
Ava Biochem	Cultura energética	Resinas	Bancada
American Science and Technology Corporation	Florestal Resíduo agrícola	Lignina de alto desempenho	Bancada
Lignin Enterprises	Florestal	Lignina	Piloto
Greenpower Energy	Resíduo florestal	Vanilina Aromáticos	Piloto
BioBTX: Companhia do Grupo KNN	Resíduo florestal Resíduo agrícola	Aromáticos	Piloto
Sweetwater Energy	Florestal	Carvão ativado	Demonstração
Spero Energy	Cultura energética Florestal	Aromático (DHE)	Bancada
Genarex LLC	NI*	Aditivos	Piloto
Texas A&M University	NI*	Polímero (PHA)	Piloto
Ohio University Department of Chemistry	NI*	Aromáticos	Bancada
Attis Innovation	Resíduo	Resinas	Piloto
Mobius (GrowPlastics)	Resíduo florestal	Termoplásticos	Bancada
Tecnaro	Resíduo florestal Cultura energética	Termoplásticos	Comercial
VTT	Resíduo florestal	Dispersantes	Bancada
Sappi	Resíduo florestal	Aditivos	Comercial
Valmet	Resíduo florestal	Aromáticos	Piloto

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados obtidos de sites especializados, sites das empresas e relatórios consultados.
NI* - não foi possível obter informação.

APÊNDICE C - Analysis of business initiatives related to the use of lignin as renewable raw material

Title: Analysis of business initiatives related to the use of lignin as raw material

Authors: Targueta, Juliana Pereira [a], Alves, Flavia Chaves [a]

Affiliations: [a] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão, Block E, Brazil.

E-mail: juliana_targueta@hotmail.com

Abstract:

The current scenario offers perspectives for the use of biomass to substitute fossil raw materials. Lignin can be seen as a promising candidate in this context. However, it is necessary to organize its value chain in order to achieve production of different high-value products, instead of its traditional burning as a fuel for energy. In this context, this study aimed to investigate the perspectives concerning the use of lignin as raw material. The research was based on the analysis of secondary data from specialized media to investigate business, technological and product characteristics in the use of lignin as raw material. The results show that active projects focusing on lignin have 40% of their lead firms from technology sector and 28% in the paper, pulp, packaging and wood fiber sector. Chemical catalysis is the main technological route employed to convert lignin and the major products are aromatics additives, dispersants and resins.

Keywords: bioeconomy, biomass, lignin, renewable raw material

1. Introduction

The society has been aware of the environmental impacts caused by the use of fossil raw material, such as the emission of greenhouse gases. The implementation of stricter environmental policies and oil price volatility have also encouraged the use of renewable raw materials, which is an alternative to fossil derivatives. The use of biomass as renewable raw material can allow the achievement of greater environmental, economic and social benefits (Bennet and Pearson, 2009).

According to Bomtempo (2012), the availability of feedstock must be built in order to advance the Bioeconomy. It involves challenges such as structuring supply chains and logistics. The development of partnerships can help to overcome these challenges, because it enables the access to complementary assets, such as the acquisition of feedstock, the increase of production capacity and the access to market. Coutinho and Bomtempo (2011) highlight that white biotechnology, environmental restrictions on the use of fossil feedstock, strategic orientation of companies and technological innovations are elements that encourage the use of renewable raw material.

Other aspects are essential, such as economic, technological and political factors that influence the structuring of renewable value chains (Rogers et al., 2017). The development of new technologies allied or not to traditional methods must guarantee the economic viability of process, enabling the scale up of production (Fabbri et al., 2018). The government can boost the bioeconomy through public policies by instituting standards and certifications that industries must accomplish during the stages of developing their activities. Furthermore, the development of public financing programs can also contribute to increase the research and business initiatives related to new initiatives focusing on renewable raw materials.

Therefore, the bioeconomy enables the conversion of residues coming from agricultural, forestry and energy crops into products, creating space for innovation opportunities and the emergence of new markets (BIO, 2018).

Regarding feedstock, lignocellulosic biomass has attracted the interest of companies due to its expected abundance, sustainability, low cost and green products generation perspective. Lignocellulose is composed of three natural polymers: cellulose, hemicellulose and lignin (Khalid et al., 2017). Among these polymers, carbohydrates (cellulose and hemicelulose) are the aim of industries that utilize lignocellulosic materials, such as the paper and ethanol ones. Therefore, lignin is the main byproduct of these activities (Thakur et al., 2014).

Lignin emerges as the second most abundant organic material behind only cellulose (Khalid et al., 2017). The abundance of lignin as natural biomass and the large volume available at global market make attractive its use as raw material for the generation of products and energy minimizing environmental impacts (Fabbri et al., 2018).

According to Coutinho and Bomtempo (2011), lignin was expected to become a relevant raw material in the period from 2019 to 2030, due to the use of cellulose in industrial processes, where the lignin would be a byproduct. It is possible to apply lignin for generating products with identical chemical composition to those products made by fossil derivatives, known as drop-in, and for the generation of differentiated products, with different chemical composition and similar functionality, known as non-drop-in (Dansereau et al., 2014; Oroski et al., 2014).

According to Kline (1976), chemicals can be classified into true commodities, pseudo-commodities, fine chemicals and specialty chemicals. In this study, there are only two categories to classify products derivatives from lignin: commodities and specialties. Commodities are products produced in large scale, with lower market value and marketed by chemical composition. Specialties are produced in smaller scale, have higher prices and marketed by performance.

Traditionally, over the years, lignin has been used for the generation of electricity and steam cogeneration, which are low value products (Nali et al., 2016). However, lignin is the biomass that presents the major potential for producing a multiplicity of bioproducts by its molecular deconstruction (Fabbri et al., 2018). Among these products, there are chemical commodities, like benzene, toluene and xylene, and materials with special applications for the production of rubber additives, resins and carbon fibers (Dansereau et al., 2014; Fabbri et al., 2018).

In this context, it is important to investigate the current stage of lignin use in the bioeconomy. Which firms are involved in projects related to lignin exploitation? Which are the technologies under development? What are the target products? In order to answer these questions, this paper is structured in four sections, besides this introduction. Section 2 refers to the methodology developed for mapping projects regarding the use of lignin and the analytical framework constructed to discuss current and future dynamics about the use of lignin in the context of bioeconomy. Section 3 discusses theoretical concepts related to the bioeconomy and the lignin. Section 4 presents a comparative discussion about the results from the whole sample of lignin-related projects and the subsample of projects focusing on lignin, structured in three analytic dimensions: business, products and technologies evolved in the projects. Finally, section 5 presents the conclusions about this study.

2. Methods

The paper, pulp and biofuels industries generate a large volume of lignin as byproduct of their core activities. However, lignin is a compound rich in renewable carbon whose technological exploitation can result in higher value-added products. Therefore, the methodology adopted in this research aims to investigate all initiatives that included lignin in

its scope and the ones focusing on lignin, comparing their general approach in what concerns firms involved, partnerships, technologies and products. Hereafter, the subsections present search criteria analytical framework with its dimensions and the methodology for results analysis.

2.1.Search criteria

This study used the following specialized media in order to identify all lignin-related projects in different stages of maturity: Bio-based News, Biofuels Digest and Green Chemicals Blog

The keyword chosen for the search field was “lignin”, because it allowed the identification of any news related to the objective of research. The period of search comprised the period from January 2011 to May 2018, considering the paper from Bomtempo and Coutinho (2011) which presented the perspective of lignin use as feedstock from 2019 on.

2.2. Analytical framework development

To analyze projects’ profile it was built a database in Excel with the perspective according three dimensions of analysis: business, technology and product for each project identified. The variables that integrate its dimensions of analysis are described in Table 1. These variables are relevant to understand the innovation dynamics that involve the use of lignin on the projects, helping to raise the discussion of the real use of this feedstock.

2.3. Results analysis methodology

Based on previously defined criteria the Bio-based News presented 538 results, Biofuels Digest 451 results and Green Chemicals Blog 39 results[15]. The next step consisted in reading the results in order to verify if the news obtained were in conformity with the objective of this study.

Results indicating projects of structuring the use of lignin as raw material for the generation of products integrated the database. However, there are news from the same specialized website or from different specialized websites that refer to common projects. Therefore, the number of final news diverges from the total of projects identified. Table 2 presents the news and the number of projects identified from each specialized media research. These results integrate the final database constructed from the compilation of the three sources, resulting in 69 projects to study the use of lignin as feedstock.

The news identified on the referred media were not enough to obtaining needed information about the variables from the analytical framework related to all projects. Thus, the research for the complementary data had as starting point the identification of the organizations responsible for each project with a deep search about the projects in their websites and releases. In addition, the following reports were used to complement information: *Advancing the biobased economy: renewable chemical biorefinery commercialization, progress and market opportunities, 2016 and beyond* (2016), *Renewable chemical platforms building the biobased economy* (2018), *Bio-based products – from idea to market* (2018) and *Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications* (2018).

Information coming from this stage of research was essential to build a robust database that helped in the development of analysis and discussions. This stage was also fundamental for verifying the existence of possible repeated projects in database,

[15] The date of access of news in the following specialized medias Bio-based News, Biofuels Digest and Green Chemicals Blog correspond to the respectively months in 2018: September through November, May, June and September, and May.

investigating the shutdown of companies that imply ended projects, and excluding projects that did not reach bench scale or projects that do not indicate a responsible organization for its execution.

The 69 projects from the database were classified according to their status in active, finalized and inactive. Active projects are those, which are under development or have future prospects for implementation. Finalized projects are those that followed their development purpose from the initial stage to the final and were completed by December 2017. Projects considered inactive are those whose leading companies decreed bankruptcy, culminating in the interruption of the project, or whose companies remain operating, but do not present information about the development of the project currently. Thus, the number of projects that has current active, finalized and inactive status is respectively 47, 7 and 15.

The following filtering criteria were applied to these projects constituting the database: lignin should be considered as the main target and the status should be active, resulting in 27 projects. A new analysis aims elucidate if the results from this new subset, containing 27 projects, confirm the results obtained through the analysis of the whole sample projects related-lignin, or if they present different characteristics. Thus, there are two scenarios under analysis in this study.

3. Theory

3.1. Bioeconomy

According to the European Commission (2012), the Bioeconomy “encompasses the production of renewable biological resources and the conversion of these resources and waste streams into value added products, such as food, feed, biobased products and bioenergy”.

Although there is no consensus regarding its definition, this concept has spread worldwide since the beginning of the 2000s (Birner, 2018). In the last decade, the term bioeconomy has become relevant in policy and research debates, because of the expectation that the development of the bioeconomy can solve challenges presented by fossil-based industries (Bugge et al., 2016).

Five factors are influencing the construction of a bioeconomy. The ability to administrate diverse raw materials, routes of conversion, products and business models is part of bioeconomy's innovation dynamics, enabling changes in established value chains and the emergence of new industrial structures (Bomtempo and Alves, 2014). In addition, the public policy can boost the development of bioeconomy through institution of norms and encouraging public programs related to the use of biomass.

The Bioeconomy can also promote the rise of a wide number of players ranging from start-up exploiting technological innovations to established companies that aim to use renewable raw materials to diversify their product portfolio and have a good perception towards consumers at the present century (Birner, 2018).

Lignin is a renewable raw material with high potential to be exploited in the context of bioeconomy. Thus, new value chains can be structured through the employment of technological processes, which generate bioproducts of different natures from lignin.

3.2.Lignin

Predominantly, three polymers constitute lignocellulosic biomass: cellulose, hemicellulose and lignin, with lignin varying between 15% and 30% of vegetal cell wall dry weight (Gall et al., 2017; Thakur et al., 2014). The role of lignin is to provide structural

strength and rigidity, enabling water and nutrients transportation as well as protection against pathogens actions, preventing the degradation of the plant (Cheng et al., 2017).

A study based on the USA biomass market predicts a growth potential for the use of agriculture wastes, energy crops and forest/timber resources (Rogers et al, 2017). This increase depends on the development of technologies to process the large amount of agricultural waste available, such as wheat straw, sugar cane straw, rice husk, rice coffee and sugar cane bagasse, which could generate value-added products. There are also opportunities to obtain lignocellulosic materials from energy crops, such as switchgrass, miscanthus and willow and from forest residues like sawdust, bark and stump of trees (Rogers et al., 2017 and Syldatk et al., 2011).

Although lignin is available in several sources of biomass (Thakur et al., 2014) its complexity and recalcitrance chemical structure difficult its depolymerization into compounds of lower molecular weight for industrial application (Rutten et al., 2017). Heterogeneous and stable chemical bonds formed from the union of monomeric units of phenylpropylene compose lignin. These chemical bonds form a three-dimensional, amorphous and thermally stable structure hindering the achievement of efficient depolymerization processes (Cheng et al., 2017; Gall et al., 2017; Rutten et al., 2014). That is a possible reason for the limitation of using the carbon source from lignin instead of fossil derivatives.

4. Results and discussion

This section will present results obtained in this study, discussing, comparatively, the whole sample of lignin-related projects and the general profile of projects focusing on lignin. This section will be structured in three dimensions of analysis referring to business, products and technologies evolved in the projects.

4.1. Business perspective

Business perspective details the profile of lead organizations and the partnership structured among lead organizations and other companies.

Among the 69 projects under study, there are 70 leading organizations, and among the 27 projects, there are 28 leading organizations. For one of these projects, which is present in the whole sample of lignin-related projects and in the general profile of projects focusing on lignin it was not possible to discern only one leading organization, but two, *Preem* and *RenFuel*, that act together in a project to produce bio-oil from forest residue.

Analyzing the origin of the lead organization can indicate the regions that are committed in using lignin as renewable raw material to construct new business, and contributing with the advancement of the bioeconomy. This evaluation shows that lead organizations are European and American predominantly.

One notable aspect is how the countries of the lead organizations are distributed within these regions. The analysis for the general sample shows that, there is a better distribution in Europe, with organizations from 13 different countries, while in American continent there is a majority concentration in the USA as the country of origin 23 leading organizations. The other leading institutions in America have their origin in Canada (*Domtar*, operating in pulp and paper sector and *VertiChem* that is current inactive) and Brazil (*GranBio*, producing second-generation biofuels and *Fibria*, which has its origin in the pulp sector).

Carrying out the same analysis for the subset of 27 projects, there is an inversion in the position of these regions for lead organizations. The American continent emerges to the top, with 14 leading organizations originated in countries of this region, while the European continent falls to the second position with 11 organizations. The way countries of origin are

distributed within each of these regions retains the characteristics observed for the whole sample projects. Thus, there is a homogeneous distribution in Europe, with organizations coming from 7 different countries, while in American continent there is a majority concentration in the USA as the country of origin of 12 leading organizations. Therefore, the number of leading organizations coming from the USA is higher than the sum of the organizations originated in Europe. In America, there is still an organization from Brazil (*Fibria*) and from Canada (*Domtar*).

The following analysis related to the profile of lead organization discuss the business's sector origin. Initially, lead organizations were segregated into two groups: firms versus research institutions and universities to analyze for the subset of companies the existence of start-up and established firms.

According to Hamilton (1985), an emerging firm or start-up is that one created to explore a new technology. These firms focus their efforts on specific technological innovations focused to niche markets. The established firms are those already positioned in existing markets. Table 3 presents a classification for organizations of the whole sample, and Table 4 a classification for the subset of projects focusing on lignin. The firms' evaluation showed a balanced distribution between those that are start-up and established, with advantage slightly predominance of start-up.

According to Table 3 and Table 4 it can be seen that the most part of lead firms work on technology's sector, demonstrating the efforts of these companies to develop technological solutions that make the use of lignin as a renewable raw material possible.

For the next most representative sectors, there are differences between the whole sample and the general profile of projects focusing on lignin.

According to Table 3, firms working on biofuels and bioproducts, industrial biotechnology followed by paper, pulp, packaging and wood fibers companies have the

second, third and fourth largest representativeness, respectively. However, analyzing Table 4, paper, pulp, packaging and wood fibers firms have the second largest representation. It suggest that there is a change in the profile of leading organizations for the subset of projects focusing on lignin compared with the profile of the whole sample.

Firms working on paper, pulp, packaging and wood fibers sector are established and can utilize the residual lignin of its own industrial units, which were obtained from the development of their core activities using lignocellulosic materials. These firms apply treatments allowing the recovery of lignin. Thus, they diversify their business through structuring value chain to develop new commercial applications that use lignin as renewable raw material.

Stora Enso, a Finnish organization, which essential activities is in pulp and paper sector is diversifying its business through the development of bioproducts. Since 2015, Stora Enso commercializes resins under the brand Lineo™, as its main product derived from lignin. Nowadays, the company is also developing research to produce carbon fiber from lignin (Stora Enso, 2018).

Lead organizations of the biofuels and bioproducts sector lose representativeness when comparing Tables 3 and 4, because most of these firms do not have focus on the use of lignin. Therefore, in Table 4 there are only three start-up firms representing this sector, which are *Biome Bioplastics* and *Tecnaro*, developing bioproducts, and *RenFuel*, developing biofuels. The *RenFuel* and *Preem* project focuses on the use of lignin residues from paper industries (*Rottneros and Nordic Paper*) to produce bio-oil. The other organizations of biofuels sector do not focus on the use of lignin, producing heat, electricity, steam and synthesis gas from this lignocellulosic fraction.

The representativeness of industrial biotechnology ranges from the third position in the whole sample of lignin-related projects to the last position in the subset of projects

focusing on lignin. 8 organizations in Table 3 are focused on obtaining sugars, thus lignin is a residue that can be used for the development of other products, but this is not the focus.

The last variable related to the profile of organizations is the existence of partnerships and its nature. The partnership is present in projects involving two or more organizations with some type of agreement established between them. For the whole sample 85% of lignin-related projects report the existence of partnerships and for the subset 81% of projects focusing on lignin show the establishment of agreements between organizations. Therefore, these data show the importance of collaborative relationships to develop projects using lignin as renewable raw material for both scenarios.

Observing the main types of partnership in the whole sample, there is a predominance of the following agreements: joint technology development, consortium and technology licensing. Nevertheless, for the projects focusing on lignin the main partnerships are the joint technology development and technology licensing. These results point to the necessity to build partnerships, which overcome the technological challenges evolved in the use of lignin as a renewable raw material as well as business challenges. Therefore, making possible the development of new technologies and the use of proprietary technology of others is a relevant factor to expand the use of lignin in the bioeconomy.

4.2. Technological perspectives

The variables used to discuss technological perspectives are the type of pre-treatment, the conversion route and the maturity degree.

Pre-treatment is employed in lignocellulosic materials to break lignin layer, allowing the obtaining of cellulosic and hemicellulosic fractions, which are sources of sugars that can be converted into other products. Thus, lignin is a byproduct of this process and it is available

to be used as raw material for new value chains (Bacovsky et al., 2010; Yang and Wyman, 2008).

According to Chen et al. (2017), Júnior (2010), Sivagurunathan et al. (2017) and Sun et al. (2016), pre-treatment processes are classified into the following categories: chemical, physical-chemical, physical and biological.

In chemical pre-treatment, the chemical solvent is added to biomass causing at least partial solubilization of the lignocellulosic material (Bomtempo and Alves, 2016). Still, physical-chemical pre-treatment can be characterized by the presence of solvents combined with high temperature and high pressure, reducing the reaction time to break lignin layer, turning cellulose fraction more accessible for the hydrolysis (Rabemanolontsoa and Saka, 2016; Sun et al., 2016).

Analyzing the whole sample of lignin-related projects 46% of the projects use chemical pre-treatment and 20% use physical-chemical pre-treatment. For 30% of these projects, it was not possible to identify if they apply some pre-treatment and 10% of the projects do not use pre-treatment. For the subset of projects focusing on lignin only chemical pre-treatments were identified, which are employed in 41% of these projects. Also, 22% of the projects focusing on lignin do not use pre-treatment, and 37% of them do not specify if they apply some pre-treatment.

After the stage of pre-treatment, organizations apply the conversion route to deconstruct the structure of lignin transforming it into other minor structure molecules to originate products. It is also possible to apply lignin conversion route directly, dispensing pre-treatment steps. Figure 2 presents lignin conversion routes identified for the whole sample.

Chemical catalysis includes processes such as hydrolysis, hydrogenolysis and oxidation, which use solvents, homogeneous and heterogeneous catalysts under appropriate conditions of temperature and pressure to promote lignin depolymerization in other aromatic

chemicals (Cheng et al., 2017). This route is applied in 40.6% of the whole sample of lignin-related projects.

Combustion is the second most representative technological route in the whole sample. Direct combustion predominates in 94% of these combustion processes producing heat, from which steam and electricity can be produced. In the other 6%, it is used indirect combustion for the production of activated coal. Thermochemical routes comprise gasification and pyrolysis processes, being used in 5.8% of the whole sample of projects under study to produce synthesis gas and bio-oil.

Biotechnological route has a low representativeness in the whole sample, being utilized in 4.3% of the projects. In biotechnological processes, microorganisms depolymerize the lignin, to make it a renewable source of carbon that can be converted into bioproducts, such as polydroxyalkanoate (PHA) and lipids (Xie et al., 2016). The complexity of this process coupled with recent investments to structure this type of technology justifies its low representativeness and its application in projects that are in bench-scale and pilot-scale.

The 4.3% of the projects that apply formulation processes blend lignin with other materials without requiring processes that change lignin molecular structure. Electrochemistry represents 1.4% of projects, that is, one project at bench-scale. In 20.3% of the projects, no conversion routes is used, since these initiatives are focused on the production of some type of better performance lignin, which can be commercialized for the later development of commercial applications and pellets. Thus, there is no change in the chemical structure of lignin; neither is it blended with other materials.

Figure 3 presents the technological routes for the general sample of projects focusing on lignin. Comparing technological routes at Figures 2 and 3 it is possible to observe an exclusion of two categories in the last one because the active projects focusing on lignin do not employ electrochemistry and thermochemical routes. The only project in the whole

sample that employed electrochemistry route focus on lignin, but it is finalized. Thus, this project is not present in the sample of 27 projects. Thermochemical route do not have representativeness in Figure 3 because despite this route is consolidated, it destroys lignin.

Chemical catalysis remains in the first position among the technological conversion routes used for projects focusing on lignin, however with a value of 55.6%, being higher than the value reported for the whole sample.

Comparing Figures 2 and 3, the main change occurs in the second position. Combustion that was the second most used route for the whole sample related to lignin becomes the least used route for projects focusing on lignin. There is only one project employing combustion that is an initiative developed by *Sweetwater Energy* aiming the production of activated carbon. In Figure 3, the second position represents projects that do not apply conversion routes, that is, these projects produce pellets or a purer lignin, which can be commercialized for a later application development.

The third most important routes showed in Figure 3 are the biotechnological routes and formulation. Three projects use biotechnological route. Its leading organizations are *Blue Mable Biomaterial*, a technology-based company, *Biome Bioplastics*, with operations in the field of bioplastics and *Texas A&M University*. The formulation is a process that blend lignin with other chemical components to improve the quality of product or to maintain its quality reducing the costs. This process is used by *Tecnaro* and *Mobius* for the production of thermoplastics. *Borregaard* use formulation to produce a kind of concrete additives.

The last variable related to technological issues is the projects' maturity degree, which aims to analyze the scale of the project that can be framed in the following categories, from the lowest to the highest degree of maturity: bench-scale, pilot, demonstration and commercial.

Analyzing the whole sample of lignin-related projects, it can be seen that pilot-scale initiatives predominate, since 34.8% of the projects analyzed fall within this category. Projects in bench-scale represent 14.5% of the sample and projects that have plants built or under construction in demonstration or commercial scale correspond to 40.6% of the projects. Finally, in 10.1% of the projects it was not possible to identify the degree of maturity.

Studying the subset of projects focusing on lignin, 26% are in bench-scale, 41% are pilots, 7% are in demonstration, 19% are on commercial scale and 7% do not specify in which scale they act.

Considering the percentage of projects in a lower degree of maturity, that is, bench and pilot scales together, it is verified that most of projects are at this level of development, especially for the subset of projects focusing on lignin. Analyzing the whole sample, there are more projects with a higher degree of maturity because they produce electricity, heat and steam in demonstration and commercial scales. Thus, the business models employed for the development of a value chain are still at an early stage, that is, pre-treatment and technological routes refinement to achieve production in larger scales are still required.

4.3. Product perspective

This section approaches the products originated from the use of lignin as renewable raw material and its characteristics. Analyzing the products from the whole sample of lignin-related projects, they are classified according sixteen categories, as showed in Figure 4. Among these categories, the main use of lignin is for electricity, heat and steam generation. These products together with pellets account for 25% of the product generated, which have lower value-added than the other categories.

Considering the same categories, Figure 5 illustrates the classification of products for the subset of projects focusing on lignin. Initially, it can be seen a reduction in the total number of categories present in Figure 5. The extinct categories are electricity, heat and steam, synthesis gas and carbon fiber. The projects related to produce electricity, heat and steam employ the combustion and projects generating synthesis gas from lignin employ thermochemical route. Both combustion and thermochemical route destroy lignin and do not characterize projects focusing on the use of lignin, being excluded from the sample of projects focusing on the use of this as a renewable raw material. Though the production of carbon fiber is an initiative of the *Arkema*, a French company, which has focus on developing products from lignin this project is current finalized. Therefore, this category of product is not present among the 27 projects focusing on lignin.

Thereby, in Figure 5 aromatics are the main products derivative from lignin followed by additives and dispersants, which together constitute one of the categories. The categories of resins and of high performance lignin occupy the third position among the products resulted from the projects focusing on lignin.

The products identified for both samples can be classified according to its nature in drop-in or non drop-in, and commodity or specialty in an integrated way as shown Figures 5 and 6. Analyzing Figure 5 for the whole sample of lignin-related projects, 72% of the products are drop-in and 28% are non drop-in. When performing this analysis to the projects focusing on lignin, Figure 6 shows that 52% of the products are drop-in and 48% are non drop-in. Therefore, there is a different profile for the nature of products integrating these two scenarios. While for the whole sample the most part of products are drop-in, for projects focusing on lignin there is a balance between the total of products that are drop-in and non drop-in. That can be an advantage for projects focusing on lignin, because non drop-in

products are differentiated and commercialized by their performance, which means that cost competition is not the focus for them.

Observing Figure 5, for the whole sample of lignin-related projects, 61% of the products are commodities and 39% are specialties. Observing Figure 6, that is, only the projects focusing on lignin, 38% of the products are commodities and 62% are specialties. This nature of products also presents distinct results for the two scenarios analyzed. While the most part of products for the whole sample are commodities, for projects focusing on lignin the most part of products are specialties. The exclusion of projects that produce electricity, heat and steam contributed to reduce the number of commodities in the sample focusing on lignin, making the specialties more representatives.

As commodities predominates among the products for the whole sample, and are commercialized by their chemical composition, the main competition between these products with petrochemical counterparts is based on cost which can be seen as a great challenge, because products derivative from lignin are usually more expensive. However, as specialties predominate among the projects focusing on lignin, only cost issues do not characterize the competition between these renewable-based products with petrochemical ones, but essentially, by its performance, which can be attractive.

Products with a greater degree of differentiation have better development potential in short and medium term, since the economic factor can be offset by its performance benefits to market. The tendency to develop commercial applications for this class of products is supported by the literature, when Fabbri et al. (2018) report that the lignin-based resins, considered in this study as specialties and non drop-in, are the innovative products, which have the highest technological maturity and the potential to operate on commercial scale in the short term. Thus, there is an expectation that these products will be the first derivatives of lignin to reach the market.

According to Fabbri et al. (2018), the production of chemical commodities from lignin is in research and development stage and should reach commercial scale only after 2025. The reason for this long-term perspective is the price of commodities, like benzene, toluene and xylene, derived from fossil sources, which ranges from € 0.52/l and € 0.86/l, while the projected value for these commodities from lignin is € 1.4/l if they were available for commercialization (Fabbri et al., 2018).

5. Conclusions

The comparison between the whole sample of lignin-related projects and of the subset of projects focusing on lignin rise important discussion. In what concerns the similarities, it was possible to observe that, in general, initiatives are at an early stage of development and partnership are crucial to technological development. Lead organizations are predominantly technology-based although, paper, pulp, packaging and wood fiber firms have significant representativeness among the projects focusing on lignin. Chemical catalysis is the main conversion route in both samples and the main products for projects focusing on lignin are aromatics, additives, dispersants and resins.

Acknowledgements:

This work was supported by Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

References

Bacovsky, D., Dallos, M., Wörgetter, M. 2010. Status of 2nd Generation Biofuels Demonstration Facilities in June 2010. IEA Bioenergy. 39, 1-126.

Bennett, S.J., Pearson, P.J.G. 2009. From petrochemical complexes to biorefineries? The past and prospective co-evolution of liquid Fuels and chemicals production in the UK. Chemical Engineering Research and Design. 87, 1120-1139.

Birner, R. 2018. Bioeconomy Concepts, in: LEWANDOWSKI, Iris (Ed.), Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy. Springer, Stuttgart, pp. 17-38.

Bomtempo, J.V., 2012. O futuro dos biocombustíveis XIII – Matéria prima como fator estruturante da indústria. Boletim Infopetro Petróleo & gás. https://infopetro.files.wordpress.com/2014/07/infopetro07082012.pdf.

Bomtempo, J.V., Alves, F.C., 2014. Innovation dynamics in the biobased industry. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 1, 1-6.

Bomtempo, J.V., Alves, F.C., (Coord.), 2016. Química de Renováveis: panorama tecnológico. Agenda Tecnológica Setorial – ATS: Química. Distrito Federal, 2016. Disponível em: http://ats.abdi.com.br/SiteAssets/Qu%C3%ADmica%20de%20renov%C3%A1veis%20_PT.pdf. Acesso em: 26 jul. 2018.

Bugge, M.M., Hansen, T., Klitkou, A. 2016. What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. Sustainability. 8, 1-22.

Chen, H., Liu, J., Chang, X., Chen, D., Xue, Y., Liu, P., Lin, H., Han, S. 2017. A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals. Fuels Processing Technology. 160, 196-206.

Cheng, C., Wang, J., Shen, D., Xue, J., Guan, S., Gu, S., Luo, K.H. 2017. Catalytic Oxidation of Lignin in Solvent Systems for Production of Renewable Chemicals: A Review. Polymers. 9, 1-25.

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

Dansereau, L.P., El-Halwagi, M., Chambost, V., Stuart, P., 2014. Methodology for biorefinery portfolio assessment using supply-chain fundamentals of bioproducts. Biofuel Bioproducts & Biorefining. 8, 716-727.

Fabbri, P., Fisher, P.K., Mazzetti, C. (Coords.), 2018. Top emerging bio-based Products, their properties and industrial applications. European Commission. https://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-top-emerging-bio-based-products.pdf.

Fröhling, M., Schweinle, J., Meyer, J.C., Schultmann, F. 2011. Logistics of Renewable Raw Materials, IN: ULBER, R., SELL, D., HIRTH, T. (Eds.). Renewable Raw Materials: new feedstocks for the chemical industry. Wiley-VCH, Weinheim, pp. 49-94.

Gall, D.L., Ralph, J., Donohue, T.J., Noguera, D.R. 2017. Biochemical transformation of lignin for deriving valued commodities from lignocellulose. Current Opinion in Biotechnology. 45, 120-126.

Hamilton, W.F. 1985. Corporate strategies for managing emerging technologies. Technology in Society. 7, 197-212.

Júnior, N.P. 2010. Biorrefinarias – Rota bioquímica, in: Filho, D.A.S. (Coord.), Química verde no Brasil: 2010-2030. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Distrito Federal, pp. 19-75.

Khalid, K.A., Ahmad, A.A., Yong, T.L.K., 2017. Lignin Extraction from Lignocellulosic Biomass Using Sub- and Spercritical Fluid Technology as Precursor for Carbon Fiber Production. Journal of the Japan Institute of Energy. 96, 255-260.

Kline, C.H. 1976. Maximizing profits in chemicals. Chemtech, 6, 110-117.

Oroski, F.A.; Alves, F.C.; Bomtempo, J.V. 2014. Practitioner's Section: Bioplastics Tipping Point: drop-in or non-drop-in? Journal of Business Chemistry, 11, 131-136.

Rabemanolontsoa, H., Saka, S. 2016. Various pretreatments of lignocellulosics. Bioresource Technology. 199, 83-91.

Rogers, J.N., Stokes, B., Dunn, J., Cai, H., Wu, M., Haq, Z., Baumes, H., 2017. An assessment of the potencial products and economic and environmental impacts resulting from a billion ton bioeconomy. Biofuel Bioproducts & Biorefining, 11, 110-128.

Rutten, C., Ramírez, A., Duque, J.P. 2017. Hydrotreating and hydrothermal treatment of alcaline lignina as technological valorization options for future biorefinery concepts: a review. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 92, 257-270.

Sivagurunathan, P., Kumar, G., Mudhoo, A., Rene, E.R., Saratale, G.D., Kobayashi, T., Xu, K., Kim, S.H., Kim, D.H. 2017. Fermentative hydrogen production using lignocellulosic biomass: An overview of pre-treatment methods, inhibitor effects and detoxification experiences. Renewable and Sustainable Energy Reviews.77, 28-42.

Sun, S., Sun, S., Cao, X.; Sun, R. 2016. The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. Bioresource Technology. 199, 49-58.

Syldatk, C., Schaub, G., Schulze, I., Ernst, D., Neumann, A. 2011. Existing Value Chains, in: ULBER, Roland; SELL, Dieter; HIRTH, Thomas (Ed.), Renewable Raw Materials: New Feedstocks for the Chemical Industry. Wiley-VCH, Weinheim: pp. 95-120.

Thakur, V.K., Thakur, M.K., Raghvan, P., Kessler, M.R., 2014. Progress in Green Polymer Composites from Lignin for Multifunctional Applications: A Review. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2, 1072-1092.

Xie, S., Ragauskas, A.J., Yuan, J.S. 2016. Lignin Conversion: Opportunities and Challenges for the Integrated Bioefinery. Industrial Biotechnology. 12, 161-167.

Yang, B., Wyman, C.E. 2008 Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic etanol. Biofuels, Bioproducts & Biorefining. 2, 26-40.

BIOTECHNOLOGY INNOVATION ORGANIZATION (BIO). Advancing the Biobased Economy: Renewable Chemical Biorefinery Commercialization, Progress, and Market Opportunities, 2016 and Beyond. Washington, 2016. Available in: <https://www.bio.org/sites/default/files/BIO_Advancing_the_Biobased_Economy_2016.pdf>. Access in 18 jul. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. Brussels, 2012. Available in: < https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf>. Access in 15 fev. 2019.

STORA ENSO. Lineo by Stora Enso. Available in: < https://www.storaenso.com/en/products/lignin/lineo>. Access in 20 jan. 2019.

Figure Captions:

Figure 1: Technology route for the whole sample of lignin-related projects.

Figure 2: Technology route for the general profile of projects focusing on lignin.

Figure 3: Products derivative from lignin for the whole sample of lignin-related projects.

Figure 4: Products derivative from lignin for the general profile of projects focusing on lignin.

Figure 5: Classification of categories and quantities of products according to its nature for the whole sample of lignin-related projects.

Figure 6: Classification of categories and quantities of products according to its nature for the general profile of projects focusing on lignin.

Tables:

Table 1 – Analytical framework development to construct the database.

Dimensions of analysis	Variables evolved
Business	Lead company Country of origin Business Sector Start-up or established Partnership relationship
Technology	Pre-treatment Conversion route Stage of maturity
Product	Types of products Drop-in or non drop-in Commodity or specialty

Table 2– Database results.

Search period: January/2011 to May/2018				
Specialized Media (Keyword: "lignin")	Initial news	Final news	Total of projects	Subset of projects
Green Chemicals Blog	39	18	14	5
Biofuels Digest	451	94	40	15
Bio-based News	538	79	15	7
Total	1028	191	69	27

Table 3 - Classification of the lead organization for the whole sample of lignin-related projects.

Sector	Start-up	Established	Total
Biofuels and bioproducts	6	4	10
Industrial biotechnology	8	1	9
Coal	0	1	1
Fuel and energy	0	4	4
Paper, cellulose, packaging and wood fibers	0	8	8
Chemical	3	6	9
Technology	15	4	19
Clothing & accessories	0	1	1
Research	-	-	3
University	-	-	6
Total	32	29	70

Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.

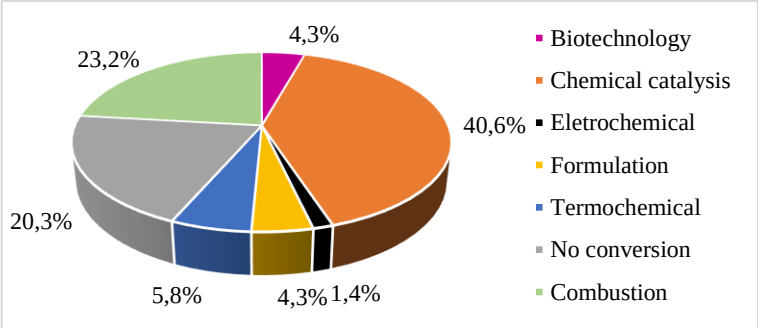
Table 4 - Classification of the lead organization for the general profile of projects focusing on lignin.

Sector	Start-up	Established	Total
Biofuels and bioproducts	3	0	3
Industrial Biotechnology	0	1	1
Coal	0	1	1
Fuel and energy	0	1	1
Paper, cellulose, packaging and wood fibers	0	7	7
Chemical	2	0	2
Technology	9	1	10
Research	-	-	1
University	-	-	2
Total	14	11	28

Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.

Figures (color should be used for all figures):

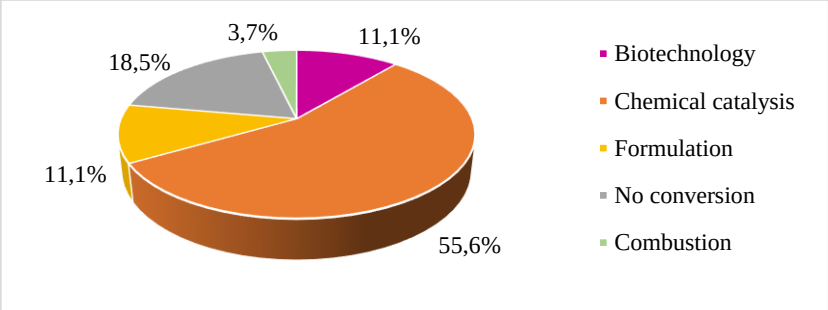
Figure 1



Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.

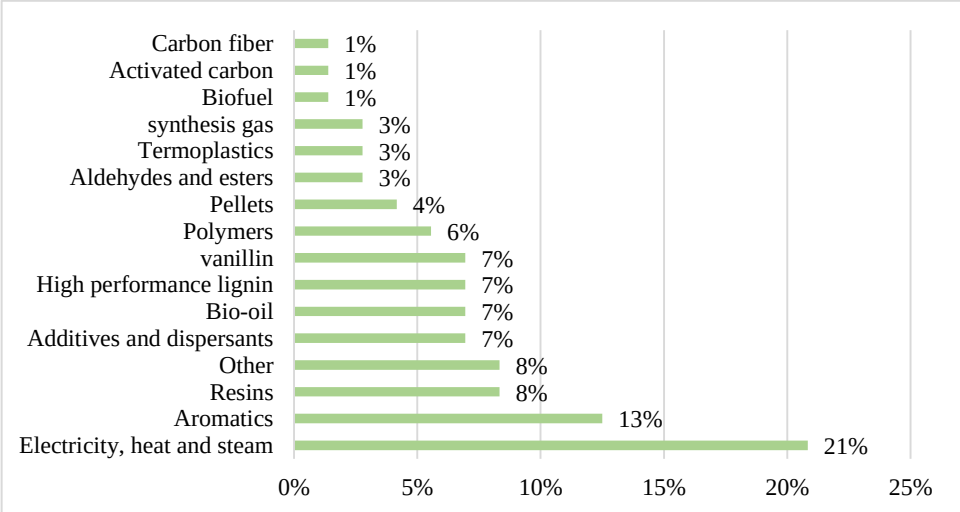
.

Figure 2



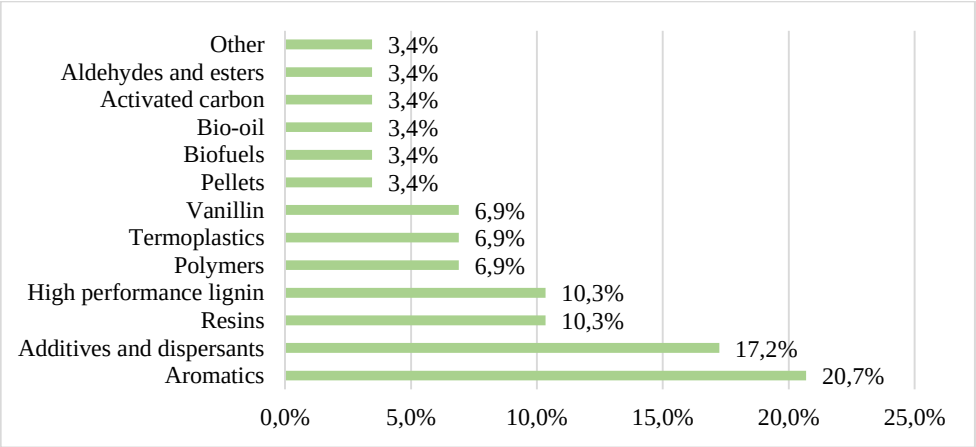
Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.

Figure 3



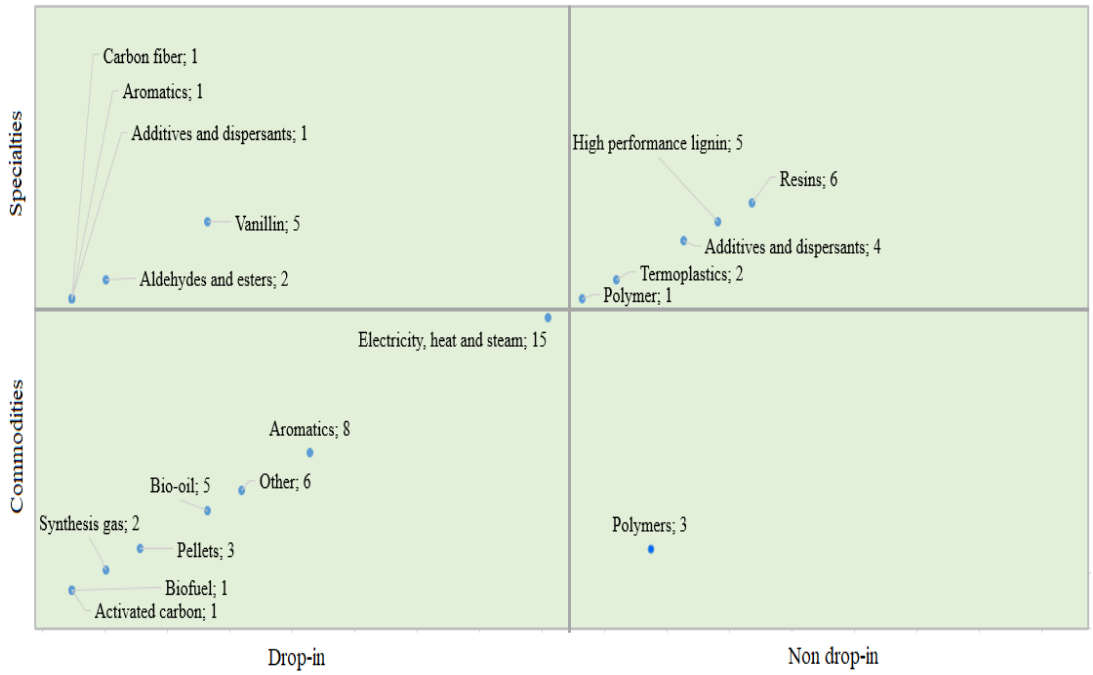
Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.

Figure 4



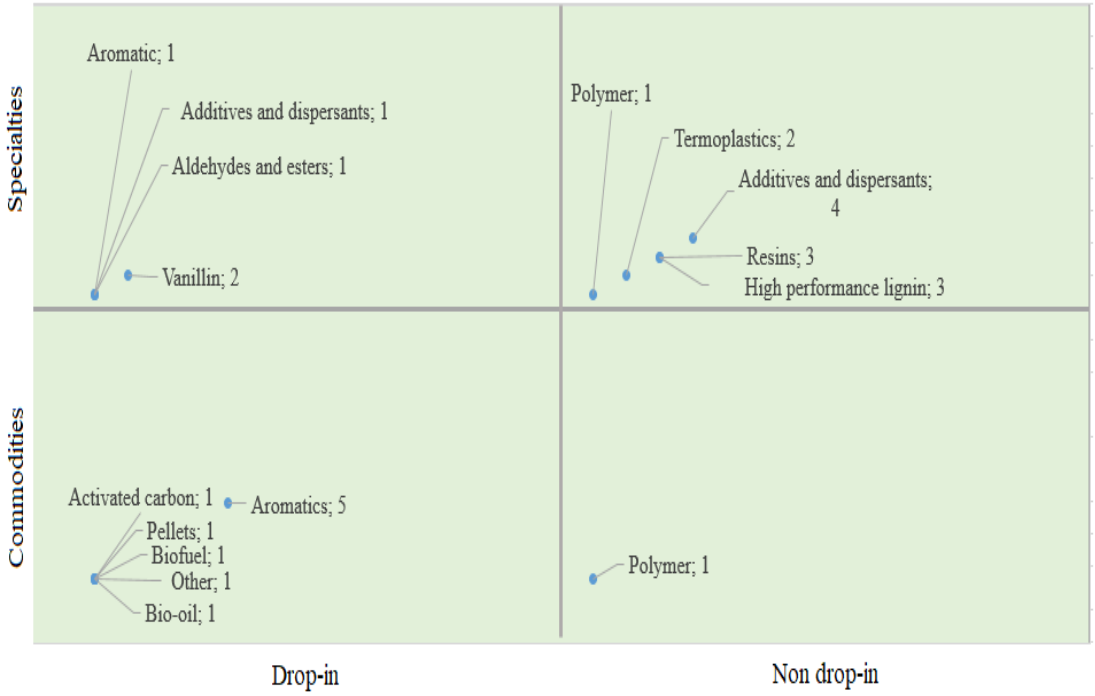
Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.

Figure 5



Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.

Figure 6



Source: Own elaboration based on data from specialized websites, Company websites and reports consulted.