



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

LUCAS ALVES DO AMARAL SANTOS

**PLATAFORMAS DE BIORREFINARIA APLICADAS À INDÚSTRIA DE POLPA
CELULÓSICA**

Prof. Dr. Fernando José Borges Gomes
Orientador

**SEROPÉDICA, RJ
AGOSTO – 2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL
LUCAS ALVES DO AMARAL SANTOS
PLATAFORMAS DE BIORREFINARIA APLICADAS À INDÚSTRIA DE POLPA
CELULÓSICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof. Dr. Fernando José Borges Gomes
Orientador**

**SEROPÉDICA, RJ
AGOSTO – 2021**

**PLATAFORMAS DE BIORREFINARIA APLICADAS À INDÚSTRIA DE POLPA
CELULÓSICA**

LUCAS ALVES DO AMARAL SANTOS

APROVADA EM: 25/08/2021

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Fernando José Borges Gomes – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Edvã Oliveira Brito – UFRRJ
Membro

Prof^a. Dr^a. Larisse Aparecida Ribas Batalha – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

*À Deus, por ter me guiado até esse momento
Aos meus amados avós, Enildo e Marilda
À minha mãe, Adriana, por toda dedicação, amor e companheirismo*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e foco para ter chegado até esse momento.

Aos meus avós e à minha mãe, pela ajuda e incentivo durante toda a trajetória.

Agradeço especialmente ao meu avô, Enildo, que infelizmente não pôde estar aqui prestigiando esse momento, porém todo meu agradecimento e amor a ele que sempre acreditou em mim e fez de tudo para que esse momento se tornasse possível.

Agradeço imensamente à minha namorada, Mariana, por toda ajuda, amor, carinho e doses diárias de incentivos. Obrigado por tanto!

Ao meu amigo, Vinicius França, por toda ajuda e paciência com os estudos durante o início da graduação. Obrigado pelo grande suporte!

Aos meus amigos do grupo Sextou, Bruna, Danilo, Filipe, Isabella Dias, Isabela Lisboa, Karen Dalice e Lucas Basílio. Obrigado por todo desespero, risadas e conhecimentos compartilhados. Sem ajuda de vocês esse momento não seria real.

Aos meus amigos do grupo Clã, Carol Praxedes, Iasmin França, Karen Dalice e Nilton Louvem, pela grande amizade construída durante a graduação e todos os momentos compartilhados dentro e fora da Universidade.

Aos meus amigos de república, Fabricio Varella e Mateus Araújo, por terem compartilhado o mesmo teto durante anos, pelos momentos divertidos e alegrias compartilhadas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando José Borges Gomes, pelo incentivo, dedicação e auxílio durante todo o processo de elaboração deste trabalho.

E agradecer à UFRRJ, por todos os grandes momentos vividos, oportunidades de desenvolvimento profissional e pessoal, me tornando uma pessoa muito melhor desde quando iniciei.

RESUMO

A demanda por meios mais sustentáveis de produção e consumo culminou em uma crescente procura por matéria prima de qualidade que se enquadra na nova visão proposta pelo mercado. Dado este cenário, grandes players da indústria apostam em inovar no mercado de bioprodutos investindo em pesquisas para se diferenciarem como disruptores na produção de substitutos que causem menor impacto ambiental que os comercializados atualmente. Uma das apostas é o processamento de biomassa para gerar energia através de biorrefinarias. As biorrefinarias têm sido utilizadas também como meios de produção de combustíveis e produtos químicos, substituindo assim processos danosos e reduzindo em grande escala o impacto dos resíduos gerados pelo atual processo. Atualmente a matéria prima processada em biorrefinarias é a madeira, onde seus compostos são aproveitados para fins como indústria papelreira, construção civil, combustíveis, indústria moveleira, entre outros. O objetivo deste trabalho foi, através da revisão da literatura, analisar os bioprodutos que estão em alta, os que estão em desenvolvimento e os que possuem grande potencialidade de aplicação. Por exemplo, os bioprodutos derivados da hemiceluloses, podem ser utilizados para a obtenção de produtos de alto valor agregado, como hidrogéis, bioplásticos, resinas furânicas e reagentes químicos verdes na indústria farmacêutica. Por sua vez, os produtos de lignina são usados como dispersantes em outras aplicações para fornecer fluidez e estabilidade ao concreto, tintas têxteis, pesticidas, baterias e produtos cerâmicos, ou como aditivos para ração animal e briquetes. A lignina também pode produzir produtos de alto valor agregado, como a fibra de carbono. Porém, para a obtenção desses produtos, a biomassa deve passar por uma série de processos que visam à desconstrução e posterior conversão de seus componentes nos mais diversos produtos biológicos. Além de outros produtos, como nanocristais de celulose microfibrilados, que podem ser usados para produzir materiais que exigem alta resistência, o etanol celulósico também pode ser extraído da celulose. A conclusão deste estudo levantou que a tendência da biorrefinaria está ligada a, dentre os bioprodutos estudados, a celulose já está bastante difundida em grandes setores por todo o mundo. Já os bioprodutos derivados de lignina estão em constante desenvolvimento e possuem grandes investimentos para o desenvolvimento de seus produtos. Os extrativos possuem um grande potencial de crescimento e aplicação, porém possuem poucos conhecimentos e estudos sobre sua composição e aplicação.

Palavras-chave: Biorrefinaria, polpa, celulose, lignina, extrativos, bioprodutos.

ABSTRACT

The demand for more sustainable means of production and consumption has culminated in a growing search for quality raw materials that fit the new vision proposed by the market. Given this scenario, major industry players are betting on innovating in the bioproducts market by investing in research to differentiate themselves as disruptors in the production of substitutes that cause less environmental impact than those currently marketed. One of the bets is the processing of biomass to generate energy through biorefineries. Biorefineries have also been used as a means of producing fuels and chemicals, thus replacing damaging processes and greatly reducing the impact of the waste generated by the current process. Currently the raw material processed in biorefineries is wood, where its compounds are used for purposes such as the paper industry, construction, fuel, furniture industry, among others. The objective of this work was, through literature review, to analyze the bioproducts that are on the rise, those that are under development, and those that have great potential for application. For example, the bioproducts derived from hemicelluloses, can be used to obtain high added value products, such as hydrogels, bioplastics, furanic resins and green chemical reagents in the pharmaceutical industry. In turn, lignin products are used as dispersants in other applications to provide fluidity and stability to concrete, textile paints, pesticides, batteries, and ceramic products, or as additives for animal feed and briquettes. Lignin can also produce high value added products, such as carbon fiber. However, to obtain these products, biomass must go through a series of processes that aim to deconstruct and subsequently convert its components into the most diverse biological products. In addition to other products, such as microfibrillated cellulose nanocrystals, which can be used to produce materials that require high strength, cellulosic ethanol can also be extracted from cellulose. The conclusion of this study raised that the trend of biorefinery is linked to, among the bioproducts studied, cellulose is already widespread in large industries around the world. The bioproducts derived from lignin are under constant development and have large investments for the development of their products. The extractives have a great potential for growth and application, but have little knowledge and studies on its composition and application.

Keywords: Biorefinery, pulp, cellulose, lignin, extractives, bioproducts

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 BIORREFINARIA	3
2.2 BIOMASSA	4
2.3 MADEIRA	5
2.4 CELULOSE	5
2.5 HEMICELULOSES	7
2.6 LIGNINA	8
2.7 INDÚSTRIAS DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL	10
2.8 BIOPRODUTOS OBTIDOS PELAS PLATAFORMAS DE BIORREFINARIA FLORESTAL	11
2.8.1 Lignina	11
2.8.1.1 Lignossulfonatos	11
2.8.1.2 Fibras de carbono	12
2.8.1.3 Biocombustíveis	12
2.8.1.4 Termoplásticos	13
2.8.2 Carboidratos	13
2.8.2.1 Polpa celulósica	13
2.8.2.2 Polpa solúvel	14
2.8.2.3 CNC/CNF	15
2.8.2.4 Biocombustíveis	15

2.8.3 Extrativos	16
2.8.3.1 Resinas	17
2.8.3.2 Solventes	17
2.8.3.3 Adesivos	17
3. CONCLUSÃO	18
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. Introdução

No atual cenário mundial são perceptíveis os impactos causados por ações humanas no meio ambiente. Devido às consequências dessas ações, a sociedade busca meios mais sustentáveis de consumo e as empresas pesquisam constantemente soluções para atender a essa nova demanda. Por esta procura por desenvolvimento sustentável, o uso da biomassa vegetal na geração de bioprodutos e bioenergia, como os biocombustíveis, tem sido mais frequente.

O termo biorrefinaria é amplamente discutido e possui múltiplas definições. De acordo com o Laboratório Nacional de Energia Renovável, biorrefinarias são todas as indústrias que transformam biomassa e a usam para produzir: combustível, energia ou produtos químicos (NREL, 2008). A biorrefinaria também é definida como o processamento sustentável de biomassa em uma série de produtos comercializáveis (alimentos, rações, materiais, produtos químicos) e / ou energia (combustível, eletricidade, calor) (IEA BIOENERGY, 2010).

O conceito de biorrefinaria é semelhante ao da refinaria de petróleo atual, que produz vários combustíveis e produtos químicos a partir do petróleo como matéria-prima (SILVA, 2010). De todas as biorrefinarias, a de madeira é a que possui mais destaque. As vantagens das biorrefinarias também foram amplamente discutidas. Ao produzir diferentes produtos, as biorrefinarias podem maximizar o potencial da biomassa e agregar o máximo de valor a ela, aumentando assim a lucratividade, reduzindo os requisitos de energia e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (NREL, 2008). A vasta gama de produtos também reduz a dependência da produção de um único produto, melhorando a sustentabilidade da utilização racional da biomassa e reduzindo a competição existente entre a utilização da biomassa para alimentação ou combustível (GHATAK, 2011; IEA, 2011).

A biorrefinaria industrial foi identificada como a forma mais promissora de criar um novo setor industrial baseado em matérias-primas renováveis. Devido à diversidade de recursos naturais

que aqui existem e à missão do país com estes desenvolvimentos, a realidade nacional está totalmente alinhada com este conceito (SANTOS, 2012). A transformação de uma moderna fábrica de celulose em uma biorrefinaria oferece uma excelente oportunidade para a produção de outros subprodutos que não as fibras de celulose, que podem aumentar os lucros ao reduzir o potencial de emissão de gases de efeito estufa. Devido à infraestrutura atual, o custo incremental de construção de uma planta comercial de biorrefinaria pode ser minimizado (HUANG e RAMASWAMY, 2010).

Não é possível definir com precisão a composição química da madeira porque ela irá variar dependendo da espécie de árvore, da localização da árvore (raízes, troncos, galhos e casca) e das condições ambientais (localização geográfica, clima, tipo de madeira, solo, etc.). De um modo geral, pode ser dividido em duas categorias principais de componentes químicos: estruturais e não estruturais. O primeiro grupo inclui as substâncias macromoleculares que constituem todas as paredes celulares da madeira: celulose, hemiceluloses e lignina. O segundo grupo inclui substâncias com pequenas massas moleculares, como extratos e minerais, comumente conhecidas como cinzas.

Dentre os compostos da madeira, as hemiceluloses podem ser utilizadas para a obtenção de produtos de alto valor agregado, como hidrogéis, bioplásticos, resinas furânicas e reagentes químicos verdes na indústria farmacêutica (MARTIN, 2011). Por sua vez, os produtos de lignina são usados como dispersantes em outras aplicações para fornecer fluidez e estabilidade ao concreto, tintas têxteis, pesticidas, baterias e produtos cerâmicos, ou como aditivos para ração animal e briquetes. A lignina também pode produzir produtos de alto valor agregado, como a fibra de carbono. Além de outros produtos, como nanocristais de celulose microfibrilados, que podem ser usados para produzir materiais que exigem alta resistência, o etanol celulósico também pode ser extraído da celulose.

2. Revisão de literatura

2.1. Biorrefinaria

Existem muitas definições diferentes de biorrefinaria, mas, em geral, o termo se aplica ao uso de matérias-primas renováveis (como biomassa) para produzir energia e várias outras commodities diárias de maneira econômica e sustentável.

As biorrefinarias podem ser classificadas de acordo com o tipo de plataforma utilizada, os tipos de produtos a serem produzidos, a matéria-prima e os processos de conversão. Dentre os principais fatores de separação pode-se citar: agrupamento dos produtos em dois grupos principais, os produtos energéticos (bioetanol, biodiesel e combustíveis sintéticos) e os materiais (químicos, comida, ração, etc); o tipo de biomassa pode a obtida das culturas energéticas, das culturas alimentares ou ainda dos resíduos (agroindústrias, florestais ou industriais); os processo de conversão, podem ser bioquímicos (fermentação e conversão enzimática), termoquímicos (pirólise e gaseificação), químicos (hidrólise ácida, transesterificação, etc.) e mecânicos (fracionamento, pressão, etc.), assim pode-se notar que a classificação das biorrefinarias são complicadas e com muitas vertentes, deste modo a sobreposição dos fatores citados pode e deve ocorrer visando a maior diversidade possível (DEMIRBAS, 2009b; IEA BIOENERGY, 2010).

A otimização da utilização da biomassa busca o uso de sistemas integrados (matérias-primas, processos, Tecnologias, produtos e resíduos sustentáveis, de acordo com parâmetros técnicos, que consideram qualidade e balanço energético, ciclo de vida, desenvolvimento socioeconômico regional, produção e consumo de produtos e serviços, métodos de distribuição e mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

Especialistas acreditam que as biorrefinarias possam vir a construir uma indústria chave no século XXI, responsável até mesmo por uma nova revolução industrial, em virtude da

importância das tecnologias que empregam e dos efeitos sobre o paradigma industrial para produções integradas. Essas tecnologias são baseadas na utilização de toda a planta (todo o complexo de biomassa) e na integração de processos tradicionais e modernos (KAMM, GRUBER et al., 2006). A biorrefinaria pode ser concebida como uma estrutura análoga às refinarias de petróleo que produzem múltiplos combustíveis e produtos oriundos do petróleo; nas biorrefinarias industriais identificam rotas promissoras com vistas à criação de uma economia baseada em produtos renováveis (REALFF & ABBAS, 2004 apud JONG ET AL, 2005).

2.2. Biomassa

A busca por fontes alternativas de energia limpa e renovável tem levado a um aumento da demanda por biomassa florestal, que é uma opção para queima de combustíveis fósseis (energia não renovável). A energia da biomassa também é considerada uma alternativa econômica eficaz e viável, que pode atender às necessidades de diversos setores da sociedade, e sua importância na matriz energética nacional é cada vez maior.

Biomassa é qualquer material orgânico e não fóssil que contém energia química em seu interior, incluindo toda a vegetação aquática ou terrestre, árvores, biomassa bruta, resíduos orgânicos, resíduos agrícolas, esterco animal e outros tipos de resíduos industriais. Existe, também, a biomassa da madeira que inclui todos os materiais das árvores como troncos, galhos, folhas, cascas e raízes.

A energia baseada na biomassa pode ser dividida em energia primária, que existe no estado natural da biomassa, como madeira e resíduos agrícolas, ou energia secundária, que existe no estado não natural da biomassa, como carvão e eletricidade. Devido ao baixo nível de energia da biomassa em seu estado original, apenas uma pequena parte da energia primária é utilizada para consumo final. A maior parte é consumida em centros de conversão, como refinarias e

fábricas de petróleo, onde são convertidas em recursos secundários, geralmente disponíveis para consumo. Vale lembrar que em todas as etapas da transformação, parte do conteúdo energético existente será perdido. A perda total de energia é caracterizada pela soma das perdas existentes entre a forma primária e o consumo final, incluindo ambos.

2.3. Madeira

A madeira é um material heterogêneo com diferentes tipos de células, adaptadas para desempenhar funções específicas. As características químicas, físicas e anatômicas da madeira variam entre as espécies.

Análises químicas elementares indicam que a madeira é constituída, em base seca, de aproximadamente 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio, sem considerar os traços de nitrogênio e de outros elementos. Independente da espécie, diferenças genéticas ou a idade, esta composição se mantém aproximadamente constante (PENEDO, 1980).

A madeira é constituída por diferentes substâncias. Seus principais componentes químicos são a holocelulose (fração composta por celulose e hemiceluloses), lignina, extrativos e compostos inorgânicos, sendo que os dois últimos se apresentam em menores quantidades (MIMMS, 1993; FENGEL e WEGENER, 1989).

Assim, a madeira é um material bastante heterogêneo, cuja proporção aproximada de celulose, hemiceluloses e lignina é, respectivamente, 50:20:30. São chamados de extrativos, sendo encontrados principalmente na casca, geralmente formados por terpenos, óleos essenciais, resinas, fenóis, taninos, graxas e corantes (PHILIPP, 1988).

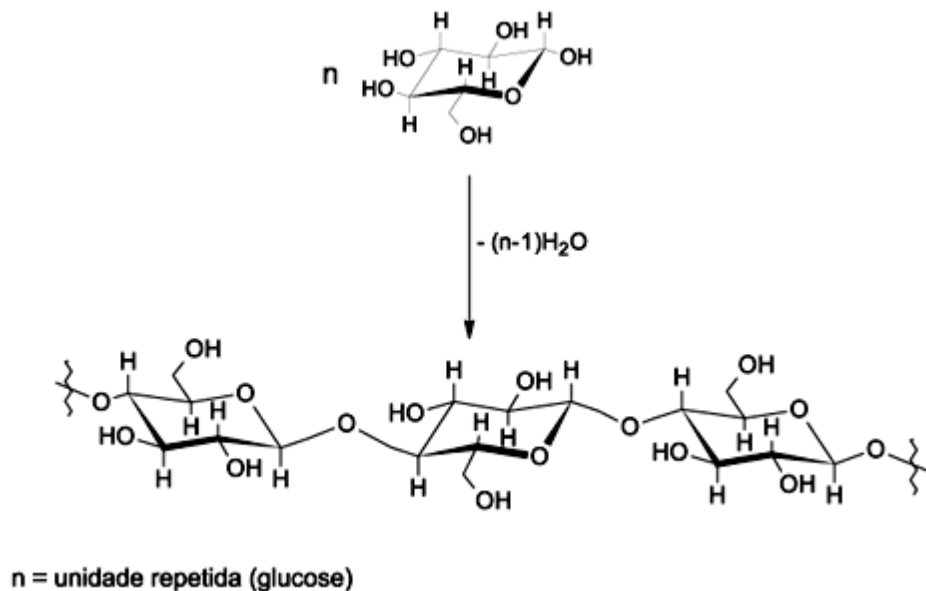
2.4. Celulose

A celulose corresponde a aproximadamente 40% de toda a reserva de carbono disponível no vegetal. Seu conteúdo varia de 20 a 99% e está presente em todos os vegetais, desde os mais

simples até as árvores mais complexas (RABELO, 2007). A celulose é o polissacarídeo mais abundante da natureza, e a molécula orgânica mais abundante da face da terra (ROWELL et al, 2005).

As cadeias de celulose nas paredes celulares das plantas são arranjadas compactamente, de modo que suas fibras apresentam regiões nitidamente cristalinas, devido ao elevado número de ligações de hidrogênio que resulta na forte interação entre suas moléculas, embora medidas de raios-X indiquem que, a cada 600 Å de celulose cristalina, a estrutura apresenta regiões amorfas (PENEDO, 1980). A figura abaixo indica a formação da cadeia de celulose através da união de unidades de β -D-glicose:

Figura 1 - Formação de cadeia de celulose



Fonte: MORAIS et al (2005)

As ligações intermoleculares, que ocorrem entre unidades de glicose de moléculas adjacentes são responsáveis pela rigidez da parede, já as intramoleculares, que ocorrem entre unidades de glicose são responsáveis pela formação das fibrilas, que são estruturas altamente ordenadas que se associam formando as fibras de celulose (SILVA, 2010).

2.5. Hemiceluloses

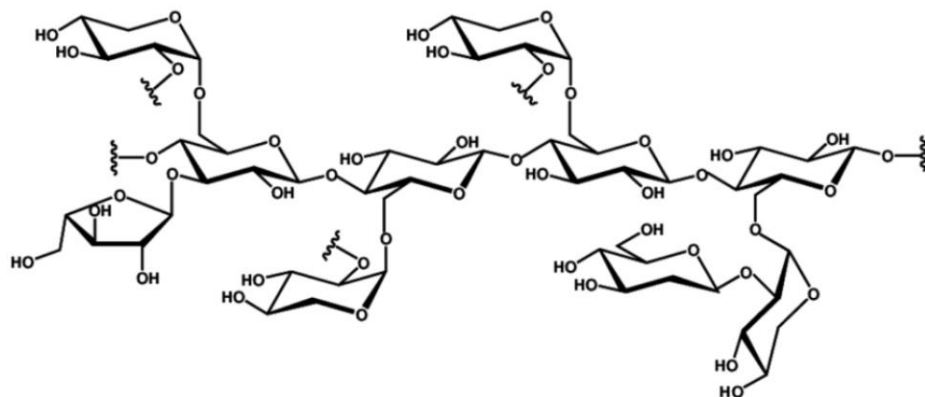
As hemiceluloses se diferem da celulose por serem compostas de várias unidades de açúcar, por possuírem cadeias moleculares muito mais curtas e pelas ramificações de suas cadeias de moléculas (FENGEL E WEGENER, 1989). Elas são heteropolissacarídeos constituídos por pentose (D-arabinose e D-xilose e hexoses (D-galactose, D-manose e D-glicose), estes sendo monossacarídeos, como também açúcares acetilados e ácidos urônicos, além de possuírem variados grupos funcionais, que definem a quantidade e tipos de ramificação das células.

Suas variações podem ser encontradas em plantas de diferentes espécies e, às vezes são usados para classificar a ordem da planta, visto que sua constituição pode ser associada à espécie de planta e tipos de tecido vegetal ao qual pertence (NAIDU, 2017 apud ALVES, 2018), podendo ser encontradas diferenças consideráveis em seu teor e composição em troncos, galhos, raízes e cascas (SJÖSTRÖM, 1993).

O eixo das hemiceluloses é apresentado como uma cadeia plana de açúcares por ligações-1,4. Certas características estruturais das hemiceluloses às impedem de formar agregados fibrilares, diferentemente do que acontece nas cadeias de celulose (CASTRO, 2005 apud ALVES, 2018).

As hemiceluloses podem ser úteis na obtenção de produtos altamente valorizados, tais como hidrogéis para a indústria farmacêutica, bioplásticos, resinas furânicas e reagentes químicos verdes (MARTIN, 2011).

Figura 2 - Estrutura dos monossacarídeos das hemiceluloses



Fonte: DONATE, 2014

2.6. Lignina

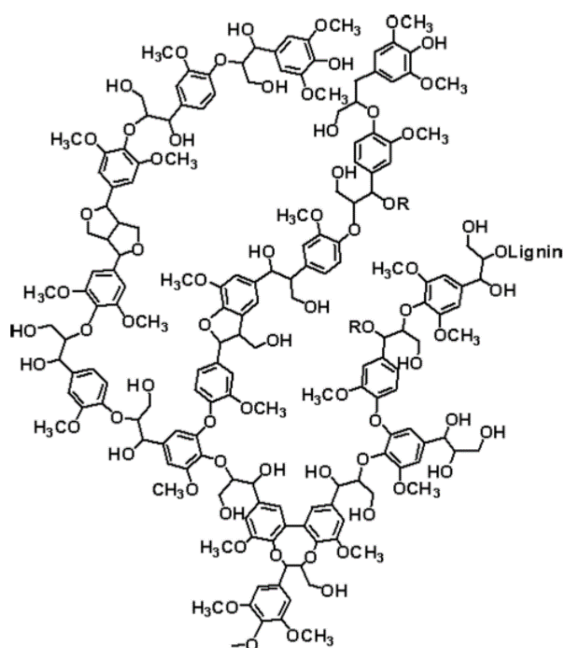
Depois da celulose, a lignina é a macromolécula mais abundante existente na biosfera, presente principalmente em plantas terrestres. É definida como uma substância hidrofóbica, com estrutura tridimensional e amorfa, altamente ramificada (SILVA, 2011). Seu polímero é formado principalmente por unidades aromáticas de fenilpropano, que é considerada uma substância incrustante (ROWELL et al, 2005).

A lignina é um produto final do metabolismo da planta e de grande interesse econômico, principalmente na substituição de determinados produtos derivados do petróleo. A mesma pode ser utilizada na geração de energia, bem como na fabricação de produtos químicos. A lignina é também considerada fonte de energia renovável de alto valor agregado e tem sido utilizada como principal base de inovação para indústrias de papel e celulose.

Durante o desenvolvimento das plantas, a lignina é incorporada como o último componente da parede celular, interpenetrando as fibrilas, acarretando no fortalecimento da parede (MARABEZI, 2009). Tem como principais funções o transporte de água, nutrientes e metabólitos, a resistência mecânica dos vegetais e proteção dos tecidos contra o ataque de patógenos e/ou pragas (CAMPBELL; SEDEROFF, 1996).

Alguns esquemas estruturais foram propostos para ligninas de diferentes tipos de madeira: gimnospermas e angiospermas. Verificou-se que a partir desses estudos que, diferentemente da celulose e de outros polímeros naturais, as ligninas apresentam uma estrutura macromolecular cujas unidades monoméricas não se repetem de modo regular. Além do mais, estas últimas encontram-se entrelaçadas por diferentes tipos de ligações químicas (ROWELL et al, 2005).

Figura 3 – Estrutura da cadeia de lignina



Fonte: ROWELL et al, 2005

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-comarfílico, 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-CH₃), (DOHERTY et. al., 2011; RUTTEN et. al., 2014; GALL et al., 2017).

Sua estrutura tridimensional explica a rigidez e a resistência às forças de compressão, gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e quebra ao conferir rigidez à parede da célula e, ao agir como um agente permanente de ligação entre as células. Pelo decréscimo que causa na permeação de água através das paredes das células dos tecidos condutores do xilema, a lignina tem uma atuação importante no intrincado transporte interno de água, nutrientes e metabólitos. Tecidos lignificados resistem ao ataque por microorganismos, impedindo a penetração de enzimas destruidoras da parede celular (PHILIPP, 1988).

2.7. Indústrias de celulose e papel no Brasil

As indústrias de celulose e papel apresentam dinâmicas diferenciadas no mercado. Enquanto a indústria de celulose, devido à demanda por matéria prima, está voltada para o setor de exportação, tendo como maiores exportadores países como China, Estados Unidos, Japão e alguns países na Europa, o foco da indústria papelreira é o mercado nacional.

Atualmente, o Brasil representa a quarta maior potência do mundo em volume de produção das indústrias de celulose. Isso se deve, principalmente, à qualidade e origem do material comercializado, já que sua produção é ambientalmente correta. Em 2019, o país foi o segundo produtor de celulose do mundo, abaixo somente dos Estados Unidos, e seu potencial comercial é especialmente reconhecido internacionalmente onde, de toda produção, mais de quatorze milhões de toneladas, 75% do produzido, foram destinadas à exportação (IBÁ, 2020).

No mesmo ano de 2019, a produção de papel teve como objetivo aumentar a qualidade de seus produtos e seguiu a estratégia de diversificar seu mercado no exterior, visto que a maior parte de seu foco de vendas se concentrava em território nacional (IBÁ, 2020). A análise do ano anterior, feita em 2020 pela IBÁ, mostrou que quase todos os tipos de papel apresentaram aumento de comercialização no setor de exportação.

O futuro das indústrias mostra alguns desafios. Exemplos destes desafios são o crescente custo da terra e da mão de obra rural, a infraestrutura deficiente, a volatilidade do ambiente econômico, o arrefecimento da economia global e a polarização da demanda e do suprimento incrementais, com a China como grande comprador e o Brasil como grande fornecedor (SOARES et al., 2009).

Como forma de antecipar-se aos desafios, práticas como melhoria na logística dos processos, determinar práticas de pesquisa e desenvolvimento, além de aprimorar práticas de governança e foco na promoção de novos produtos são algumas das estratégias aplicadas para superar os mesmos (IBÁ, 2020).

2.8. Bioprodutos obtidos pelas plataformas de biorrefinaria florestal

Sustentabilidade tem sido o diferencial para novos produtos no mercado e, com isso, o investimento em desenvolvimento e pesquisa para buscar inovação tem sido o grande foco, especialmente ao se tratar do aproveitamento da exploração da árvore e todos seus subprodutos, desde a matéria-prima ao produto final.

2.8.1. Lignina

A lignina tem sido usada na fabricação de novos produtos por grandes empresas, como a Suzano. No site da Ecolig, departamento da Suzano responsável pela pesquisa e desenvolvimento de especialidades químicas com base em lignina, novamente o foco em sustentabilidade é reforçado, onde os mesmos declaram utilização de 100% de eucalipto certificado, plantado e colhido no Brasil em sua produção.

Entre as soluções de tecnologia renovável, podemos citar a lignina sendo utilizada como matéria-prima na síntese de resinas fenólicas, termoplásticos, antioxidante na formulação de compostos de artefatos de borracha (elastômeros) e dispersantes. Embora alguns dos citados ainda estejam em desenvolvimento, a Suzano se destaca no mercado brasileiro nesse nicho.

2.8.1.1. Lignossulfonatos

Usados desde os anos 30 como plastificantes e redutores de água, os lignossulfonatos são macromoléculas altamente ramificadas e são formados a partir de unidades de fenilpropano conectadas de maneira não regular por ligações éter ou C – C (FLATT; SCHOBBER, 2012). Por sua estrutura, os lignossulfonatos desaceleram o processo de liga do cimento e são utilizados como componente em aditivos para concreto usinado para estabilizar a proporção na relação água-cimento.

Os lignosulfonatos também são utilizados como matéria-prima na produção de lignossulfonato quimicamente modificado, que é utilizado em fluidos de perfuração de poços de petróleo e dispersão de pigmentos (FLATT; SCHOBBER, 2012).

2.8.1.2. Fibras de Carbono

Assim como as fibras de vidro, as fibras de carbono foram os primeiros reforços utilizados para aumentar a consistência e resistência de produtos compósitos avançados leves, utilizados na produção industrial, aeronaves e equipamentos de recreação. Quando colocado em certos contextos, fibra de carbono pode se referir a diversos produtos formados em filamentos compostos por carbono divididos em filamentos de 5 a 15 μm de diâmetro, produzidos pela pirólise da poliacrilonitrila (PAN), piche ou rayon (LUBIN, 1969).

As fibras de carbono são comumente utilizadas em aplicações com o objetivo de reduzir massa, já que elas possuem altos valores de resistência à tração, elasticidade elevada e baixa massa específica. As fibras de carbono disponíveis no mercado podem expandir em até duas vezes seus valores de módulo de elasticidade se comparado a outras fibras de reforço e mais resistentes à tração que metais.

Os materiais compostos por fibras de carbono têm sua elasticidade e resistência como diferenciais para otimização do processo de produção, minimizando a massa final. As fibras também são resistentes à fadiga, eletricidade e temperatura, amortece vibrações e mantém estabilidade dimensional, sendo quimicamente inertes, exceto no tocante à oxidação (CALLISTER, 1997).

2.8.1.3. Biocombustíveis

A lignina pode ser adicionada no início ou meio do processo de aquecimento ou no final da reação de condensação da resina fenólica (DUNKY; PIZZI; LEEMPUT, 2002) e essa combinação pode ser utilizada como extensor para aumento da taxa de cura, redução de custos ou modificação química da resina, sendo essa incorporação feita quimicamente. (GOUVÊA et al., 2017).

A lignina também pode ser utilizada como aglutinante na indústria alimentícia, na alimentação de animais, para melhorar a qualidade de péletes (KALIYAN; MOREY, 2009).

2.8.1.4. Termoplásticos

A história dos plásticos reforçados com fibras começou no início do século 20, quando a celulose era usada nas resinas fenólicas, mas com o uso das fibras inorgânicas e das fibras de vidro na matriz polimérica de uréia e melamina, ganhou status de commodity. Hoje, a indústria de polímeros reforçados com fibra é uma indústria multibilionária em todo o mundo. Nas últimas décadas, como substituto das fibras inorgânicas, o uso de fibras naturais como materiais de reforço tem atraído a atenção do meio científico e industrial e apresenta inúmeras vantagens. (SILVA et al., 2009)

Termoplásticos são polímeros que, sob a ação da temperatura e pressão, amolecem e fluem, podendo ser moldados sucessivas vezes, sob tais condições. Misturas de lignina com polímeros termoplásticos, como o polipropileno demonstraram boas propriedades mecânicas e térmicas (CAZACU et al., 2004; GOSSELINK et al., 2004; KADLA et al., 2002)

2.8.2. Carboidratos

2.8.2.1. Polpa celulósica

A celulose é um dos biopolímeros mais abundantes do planeta e é o principal componente de todas as árvores. Os derivados da celulose podem ser utilizados em diversas indústrias, como têxtil, alimentícia, farmacêutica, petrolífera e energética. E outros produtos derivados de extraíveis de madeira em toda a produção de polpa de celulose. (SILVA JÚNIOR et al., 2019)

As principais fontes de celulose são o algodão e a madeira, como o eucalipto e o pinheiro. A lignocelulose forma substâncias relacionadas à lignina e outros polissacarídeos. (SILVA JÚNIOR et al., 2019)

O estudo da caracterização da qualidade da madeira para a produção de polpa de celulose envolve a composição química da madeira, suas características estruturais anatômicas e as características tecnológicas, como por exemplo alvura e viscosidade, muito importantes da conversão da madeira em polpa de celulose. (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010)

O processo de branqueamento visa conferir à polpa celulósica as características necessárias para a indústria papelreira e seus derivados, devido aos seus rígidos padrões de qualidade. O produto deve ter bom desempenho de impressão, que se deve à alvura, brilho e limpeza proporcionados pelo processo de branqueamento, para que a polpa fique mais pura e a quantidade de partículas e sujeira seja mínima (EK; GELLERSTEDT; HENROKSSON, 2009; ROBERTO; MANARA et al., 2015). Na produção da polpa de celulose, o alto teor de lignina significa que mais reagentes são utilizados, o que a torna inadequada para essa finalidade. (GOMIDE, 2006).

2.8.2.2. Polpa solúvel

Polpa de celulose solúvel ou polpa para dissolução são componentes na produção de diversos produtos derivados da celulose, como viscose, rayon, acetato, carboximetilcelulose, metilcelulose, hidroxietilcelulose dentre outros. Depois de um período de estagnação durante a década de 80 e 90, a produção de polpa solúvel voltou a crescer a partir do ano de 2000, ultrapassando os patamares da década de 70, quando os níveis de produção atingiram seus valores máximos (RISI, 2016). Esse crescimento tem relação com a substituição da indústria têxtil pelo uso de algodão pelas fibras de viscose, já que os custos de utilização do algodão cresceram neste período.

A polpa solúvel requer um elevado teor de pureza e, para isso, sua composição química varia. Sua característica mais comum é o elevado teor de α -celulose e baixo teor de hemiceluloses e cinzas, onde o primeiro deve se apresentar em números maiores que 93%, e os seguintes em proporções menores que 2 e 0,2%, respectivamente (ÁVILLA, 2016). Além das citadas, as polpas grau acetato são também classificadas por propriedades especiais como mais de 85% ISO de alvura em sua composição e distribuição do peso molecular entre 500 e 700 mL/g das cadeias de forma homogênea. (MANHÃES & LIMA, 2001 apud ÁVILLA, 2016)

2.8.2.3. CNC/CNF

O termo “nanocelulose” se refere a materiais celulósicos que possuem pelo menos uma de suas dimensões na escala nanométrica (KHALIL et al., 2014). A nanocelulose tem despertado o interesse por sua estabilidade térmica, razão entre comprimento e diâmetro, propriedades óticas e sua versatilidade como reforço mecânico (DAMASIO, 2015). Por ser um material sustentável, leve e de alta resistência, seu estudo tem sido pauta frequente na última década.

Por suas características, a nanocelulose é utilizada como componente em nanocompósitos para fabricação de embalagens, papel, aditivos e nanoporosidade na forma de barreiras de gás em materiais como filmes (BELBEKHOUCHE et al., 2011).

Dentre as variações de nanocelulose, pode-se citar a celulose nanofibrilada (CNF) e a celulose nanocristalina (CNC). A celulose nanofibrilada (CNF), ou nanofibrilas de celulose, é originada a partir da desintegração mecânica das fibras celulósicas, principalmente de suas superfícies, causando o rompimento da parede celular e a exposição das fibrilas e microfibrilas, anteriormente localizadas no interior das fibras. O processo descrito possibilita maior área de contato, além de refinar a ligação entre as microfibrilas de celulose nos grupos hidroxílicos terminais reativos (DAMASIO, 2015).

Já a celulose nanocristalina (CNC), também conhecida como nanocristais de celulose, se assemelha a bastonetes cristalinos, que podem ser isolados por meio de hidrólise ácida das fibras. O mecanismo de obtenção da CNC é feito por meio de hidrólise ácida e envolve a remoção das regiões amorfas das fibrilas elementares de celulose por hidrólise, restando apenas as regiões cristalinas (PÄÄKKÖ et al., 2007).

2.8.2.4. Biocombustíveis

Os biocombustíveis de segunda geração são gerados de resíduos industriais, rejeitos de atividades agrícolas e, inclusive, lixo urbano, quando gerados em grande quantidade (RODRIGUES, 2011, p. 1244). Sua produção é dada pela hidrólise enzimática dos polissacarídeos do material lignocelulósico, seguido da fermentação dos açúcares

fermentescíveis (EHTESHAMI et al., 2015, p. 389). Eles recebem destaque porque são produzidos a partir da biomassa (resíduos ou rejeitos) de diversos tipos, com o objetivo de produção de material de alta eficiência energética para gerar energia estável (RAELE et al., 2013, p. 207).

Diferentes tecnologias são aplicadas para conversão de biomassa lignocelulósica em combustível. O processo de conversão de biomassa consiste na quebra de polissacarídeos metabolizados durante o processo de fermentação por microrganismos e, então, o resultado desta técnica é destilado (ZANONI et al., 2015, p. 11). De acordo com Rosa e Garcia (2009), os resíduos de biomassa podem ser queimados em caldeiras de alta pressão, gerando energia sustentável. Um exemplo de biocombustível sustentável é o bioetanol de segunda geração, resultado da conversão da biomassa em produtos químicos, combinado com biocombustível orgânico.

2.8.3. Extrativos

Extrativos são componentes da madeira e se apresentam entre 2 e 3% nas folhosas e até 10% em algumas coníferas. Apesar de sua pequena quantidade, suas principais funções fisiológicas incluem o acúmulo de nutrientes, e a preservação da madeira contra-ataques de bactérias, fungos e cupins, e contra a formação de cor e de aromas (PINO et al., 2007; SUN; SUN, 2001; ZHANG et al., 2007).

Os extrativos podem ser classificados em vários grupos, de acordo com as suas características estruturais, embora frequentemente ocorra sobreposição na classificação, pela natureza multifuncional associada com alguns compostos. Eles podem ser de baixa ou média massa molecular, com uma diversidade extensa de moléculas, por exemplo sais, açúcares e polissacarídeos, ácidos ou ésteres graxos, álcoois de cadeia longa; ceras, resinas, esteroides e compostos fenólicos e glicosídeos (PINO et al., 2007; SILVÉRIO et al., 2006; TAPPI, 1997).

2.8.3.1. Resinas

As resinas, parte dos componentes dos extrativos da madeira, têm sido utilizadas há anos como aglutinantes e impermeabilizadores. O termo resina é usado para designar os materiais não-pertencentes à parede celular da madeira e que são solúveis em solventes orgânicos neutros. Podemos citar como seus compostos terpenos, lignanas, estilbenos, flavonoides e outros aromáticos (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

A resina de coníferas apresenta elevada percentagem de compostos orgânicos naturais com propriedades tensoativas, as quais dispersam o pitch. Por outro lado, a resina de folhosas apresenta poucos surfactantes naturais e elevado teor de insaponificáveis (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

2.8.3.2. Solventes

Solventes são utilizados para se estimar os extrativos presentes na madeira. Entre sua variedade, existem solventes orgânicos e químicos. Como exemplos de solventes orgânicos, podemos citar o éter etílico, o diclorometano e o benzeno. Estes, quando dispersos em água, tendem a coagular, preferencialmente em superfícies sólidas hidrofóbicas (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

2.8.3.3. Adesivos

A utilização de adesivos possibilita a produção de produtos como vigas laminadas e chapas compensadas na indústria madeireira, especialmente por possuírem características específicas e serem de fácil utilização. Seguindo a pauta de sustentabilidade, a busca por substâncias de origem vegetal, como os taninos, tem aumentado no mercado para substituir os adesivos derivados do petróleo (DE CARVALHO et al., 2006 apud PIZZI, 1994).

Os taninos possuem propriedades similares às resinas fenólicas (DE CARVALHO, et al., 2006 apud Santos et al., 2003; Barbosa, 1996; Pizzi, 1994). Eles podem ser utilizados como substitutos parciais do fenol na produção de resinas e adesivos à base de fenol formaldeído,

enquanto os taninos condensados apresentam grande importância na fabricação de adesivos. Eles constituem mais de 95% da produção mundial de taninos comerciais ultrapassando a marca de 350.000 t/ano (GONÇALVES et al., 2008 apud GUANGCHENG et al., 1991).

3. Conclusão

Ao analisar os dados apresentados neste artigo, é possível observar o aumento da necessidade do desenvolvimento de tecnologia limpa em todo o mundo, onde há preocupação e busca de desenvolvimento de produtos que gerem menos impactos no meio ambiente, sejam mais aprimorados e bem aplicados, a fim de evitar descartes excessivos e prejudiciais. Essa evolução de novos produtos tem seu crescimento contínuo e a participação das biorrefinarias nesse processo é cada vez mais notável, visto que possuem um grande potencial, ao gerar produtos e energia cada vez mais limpos. É possível observar com destaque, por exemplo, as biomassas que estão em pleno potencial de aproveitamento como matéria prima para as biorrefinarias.

A partir deste estudo, é possível explorar um pouco mais sobre os produtos que já possuem um grande peso atualmente no mercado e, mesmo assim, se encontram em expansão, como os carboidratos, onde a celulose já está bastante difundida em grandes setores por todo o mundo. Um produto que está em constante desenvolvimento, tendo um grande investimento em pesquisa, e está apresentando resultados muito satisfatórios e, assim, cada dia mais aumentando a sua aplicabilidade é a lignina, que está sendo implementada em grandes produtos para gerar resistência, como por exemplo, sendo usada no cimento em construção civil. Com a perspectiva de crescimento do mercado de construção civil no Brasil, é possível concluir que ainda existe grandes possibilidades de expansão no que tange o uso da lignina na indústria.

Outro produto pesquisado e que está no início do seu desenvolvimento são os extrativos. Seu potencial ainda foi pouco explorado, porém é possível estimar por seu uso no mercado atual para fabricação de adesivos, tendo aplicabilidade na indústria madeira, que sua expansão para outros meios é iminente.

4. Referências Bibliográficas

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br>>. Acesso em: 03 de julho de 2021.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.. **Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem**. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 4, p. 803-811, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cflo/a/VPrYtSgjQrWgM93zkd6Hmpy/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.

ALVES, R. C. **Influência da granulometria do bagaço de cana-de-açúcar na solubilização de hemicelulose e produção de açúcares fermentáveis**. Rio Claro, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/157123/alves_rc_me_rela.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 07 de agosto de 2021.

ALVIM, J. C.; ALVIM, F. A. L. S.; SALES, V. H. G.; SALES, P. V. G.; OLIVEIRA, E. M.; COSTA, A. C. R. **Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos**. *Journal of Bioenergy and Food Science*. Macapá, v.1, n. 3, p. 61-77, out./dez. 2014. DOI: 10.18067/jbfs.v1i3.22. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Victor-Hugo-Sales/publication/270571972_Biorrefinarias_Conceitos_classificacao_materias_primas_e_produtos/links/575d7c0408aec91374aed9e0/Biorrefinarias-Conceitos-classificacao-materias-primas-e-produtos.pdf>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

ÁVILA, P. S. **Estudo dos processos de extração alcalina e hidrólise enzimática para produção de polpa solúvel grau acetato**. 2016. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9520/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 25 de julho de 2021.

BARBOSA, A.P. **Evaluation of Adhesives Composed by Wood Bark Tannin**, Training Program Report, ITTO/Japan, 34pp. 1996.

BASTOS, V. D. **Biorrefinarias, biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento**. Austrália, 2012. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1963/2/Biorrefinarias%2c%20biocombust%2c%20adves_P_.pdf>. Acesso em: 22 de maio de 2021.

BELBEKHOUCHE, S.; BRAS, J.; SIQUEIRA, G.; CHAPPEY, C.; LEBRUN, L.; KHELIFI, B.; MARAIS, S.; DUFRESNE, A. **Water sorption behavior and gas barrier properties of cellulose whiskers and microfibrils films**. *Carbohydrate Polymer*, v. 83, p. 1740–1748, 2011.

BONDANCIA, T. J. **Biorrefinaria florestal: uma proposta para integração dos processos de obtenção de nanocelulose e etanol 2G a partir da polpa de celulose de eucalipto**.

UFSCar. São Carlos, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8766/DissTJB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 de julho de 2021.

BORGES, F. C. **Proposta de um modelo conceitual de biorrefinaria com estrutura descentralizada**. 2010.

BRAZ, D. S. **Produção de combustível de aviação em biorrefinarias anexas a fábricas kraft de celulose de eucalipto: avaliação técnico-econômica, de ciclo de vida e tomada de decisão por múltiplos critérios**. Campinas, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/331225/1/Braz_DaniloSilva_M.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2021.

BRIENZO, M. **Extração da hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar para produção de xilo-oligossacarídeos**. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97132/tde-04102012-121938/publico/BIT10001.pdf>>. Acesso em: 23 de julho de 2021.

BUENO, J. M.; NEVES, M. R.; FARINHA E SILVA, C. A. **A Indústria de celulose e papel no brasil na primeira década do século XXI: a indústria de celulose e papel no Brasil**. Guia ABTCP-Fornecedores & Fabricantes-Celulose e Papel, 2015. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_ABTCP_Panorama_Setorial.pdf>. Acesso em: 04 de julho de 2021.

BUENO, J. M.; NEVES, M. R.; FARINHA E SILVA, C. A. **A inovação é o que faz a diferença entre um líder e um seguidor**. Guia ABTCP - Fornecedores e Fabricantes. Celulose e Papel, 2015. Disponível em: <https://www.poyry.com.br/sites/www.poyry.com.br/files/media/related_material/16out27a-abtcp.pdf>. Acesso em: 04 de julho de 2021.

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering**. Nova York: Ed. John Wiley

CARVALHO, G. G. L. **Avaliação de Propriedades Adesivas de Extrativos de Espécies Florestais da Amazônia**. XVI Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/FAPEAM/INPA, 2006. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/4269/1/pibic_inpa.pdf>. Acesso em: 09 de julho de 2021.

CAZACU, G.; PASCU, C.; PROFIRE, L.; KOWARSKIK, A.L.; MIHAIES, M.; VASILE, C. **Lignin role in a complex polyolefin blend**. Industrial Crops and Products, v. 20, p. 261–27, 2004.

CELULOSE brasileira: exportação em massa para o mundo. Canal Agro - Estadão. 2019. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/comercio-exterior/celulose-brasileira-exportacao-para-o-mundo/>>. Acesso em: 16 de julho de 2021.

DAMÁSIO, R. A. P. **Caracterização e aplicações de celuloses nanofibrilada (CNF) e nanocristalina (CNC).** 2015.

DIAS, M. C. et al. **Teor de holocelulose e lignina em madeira de pau-brasil (Caesalpinia echinata Lam).** CEP, v. 52171, p. 900.

DONATE, P. **Síntese Ambientalmente Correta a partir de Biomassa.** Orbital: The Electronic Journal of Chemistry. 6. 10.17807/orbital.v6i2.570. São Paulo, 2014.

DOS SANTOS, M. F. R. F.; BORSCHIVER, S.; COUTO, M. A. P. G. **Monitoramento tecnológico sobre biorrefinarias a partir de fontes de matéria-prima renovável.** Revista Pensamento Contemporâneo em Administração, v. 3, n. 3, p. 21-29, 2009.

DUNKY, M.; PIZZI, T.; LEEMPUT, M. V. **Wood Adhesion and Glued Products.** Report on the State of the Art. 1st ed. [s. l.: s.n.], 2002.

EHTESHAMI, S. M. M.; VIGNESH, S.; RASHEED, R. K. A.; CHAN, S. H. **Numerical investigations on ethanol electrolysis for production of purê hydrogen from renewable source.** Applied Energy, v. 170, p. 388-393, 2016.

EK, M.; GELLERSTEDT, G.; HENROKSSON, G. **Pulp and Paper Chemistry and Technology.** Vol. 2. 2009.

EMBRAPA. **Biorrefinarias.** Brasília, [s.d.]. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/908142/1/biorrefinariamodificadoweb.pdf>>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

FAVARO, S. P.; MIRANDA, C. H. B. **Aproveitamento de espécies nativas e seus coprodutos no contexto de biorrefinaria.** Embrapa Agroenergia, Brasília, 2013. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/974421/1/doc14FINAL.pdf>>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions.** Berlin: Walter de Gruyter, 613 p., 1989.

FLATT, R. SCHOBBER, I. **Understanding the Rheology of Concrete,** 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780857090287/understanding-the-rheology-of-concrete>>. Acesso em: 29 de julho de 2021.

FONSECA, M. G. **A indústria de papel e celulose no Brasil: um estudo sobre competitividade e meio ambiente.** Informações Econômicas - Governo do Estado de São Paulo, Instituto De Economia Agrícola, v. 25, p. 11-32, 1995. Disponível em <<http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/ie/1995/tec1-1095.pdf>>. Acesso em: 12 de julho de 2021.

GOMIDE, J.L. **Tecnologia e Química da Produção de Celulose.** Viçosa-MG. Laboratório de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa. 2006.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J.. **Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft.** Revista Árvore, v. 34, p. 339-344, 2010.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, J. T. S. **Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas.** Revista Árvore, v. 32, p. 715-722, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/35D6pyjPXvtcKpgjxTp68Gf/?format=pdf &lang=pt>>. Acesso em: 26 de julho de 2021.

GOSELINK, R.J.A.; SNIJDER, M.H.B.; KRANENBARG, A.; KEIJSERS, E.R.P.; DE JONG, E.; STIGSSON, L.L. **Characterisation and application of NovaFiber lignin.** Industrial Crops and Products, v.20, p. 191–203. 2004

GOUVÊA, A. F. G. et al. **Estudo da adição da lignina kraft nas propriedades mecânicas dos briquetes de resíduos da indústria moveleira.** Ciência Florestal, v. 27, p. 1029-1036, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cflo/a/HVZyXWdtPSbfYJpsT98pz6q/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 07 de agosto de 2021.

GUANGCHENG, Z., YUNLU, L.; YAZAKI, Y. **Extractive yields, stiasny values and polyflavonoid contents in barks from six acacia species in Australia.** Australian Forestry, v.54, p.154-156. 1991.

GUIMARÃES, D. H. **Efeito da adição de lignina nas propriedades físico-químicas e mecânicas de poliésteres a base de glicerol e ácidos ftálico e adípico.** Salvador, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/18855/1/Disserta%20mestrado_Danilo%20Hansen%20Guimar%20v1.2.pdf>. Acesso em: 31 de julho de 2021.

HORA, A.; NADER, L.; MENDES, R. **Papel e Celulose.** BNDES Setorial 43, p. 119-142. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16222/1/PRCapLiv214161_papel%20celulose%20compl_P.pdf>. Acesso em: 06 de julho de 2021.

INDÚSTRIA Brasileira de Árvores (IBÁ). **Relatório Anual 2020**. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 03 de junho de 2021.

KADLA, J.F.; KUBO, S.; VENDITTI, A., GILBERT, R.D. **Novel hollow core fibers prepared from lignin PP blends**. Journal of Polymer Science. v. 85, p. 1353–1355, 2002.

KALIYAN, K.; MOREY, R. V. **Factors affecting strength and durability of densified biomass products**. Biomass & Bioenergy, Minnesota, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009.

KHALIL, H. P. S. A.; DAVOUDPOUR, Y.; ISLAM, N.; MUSTAPHA, A.; SUDESH, K.; DUNGANI, R.; JAWAID, M. **Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: A review**. Carbohydrate Polymers, v. 99, p. 649– 665, 2014.

KLOCK, U. **Química da madeira**. [s. d.] disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/lignina20132.pdf>>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

LEBRAO, G. W. **Fibra de carbono**. Revista Plástico Sul, v. 3, 2008. Disponível em: <<https://maua.br/files/artigos/artigo-fibra-de-carbono-prof.-guilherme.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

LIGNINA: O petróleo do futuro? Techmelt. 2019. Disponível em: <<https://techmelt.com/pt-br/blog/2018/09/06/lignina-o-petroleo-do-futuro/>>. Acesso em: 01 de agosto de 2021.

LONGUE JÚNIOR, D. **Biorrefinaria da madeira de eucalipto associada à indústria de celulose e papel**. Viçosa, 2013. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/591/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

LUBIN, G. **Handbook of Composites**. Nova York: Ed. Van Nostrand Reinhold, 1982.

MACÊDO, L. A. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13150/1/2012_LuceliaAlvesdeMacedo.pdf>. Acesso em 25 de junho de 2021.

MAFEI, T. D. T. **Avaliação da extração de hemicelulose e da produção de xilooligossacarídeos a partir de um subproduto de Eucalyptus oriundo de uma empresa de celulose**. 2017.

MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar.** Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-07102009-100309/publico/KarenMarabezi.pdf>>. Acesso em: 27 de junho de 2021.

MARTIN, C. **Biorrefinaria se aproxima do setor.** Revista O Papel. Brasil, fevereiro/2013. Disponível em: <http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/ABTCP_biorrefinaria%20se%20aproxima%20do%20setor.pdf>. Acesso em: 24 de junho de 2021.

MDIC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Papel e celulose.** Disponível em: <<http://www.desenvolvimeto.gov.br>>. Acesso em: 03 de julho de 2021.

MERCADO de celulose no Brasil: um gigante em expansão. Migalhas. 2021. Disponível em: <<https://www.migalhas.com.br/quentes/343794/mercado-de-celulose-no-brasil-um-gigante-em-expansao>>. Acesso em: 11 de julho de 2021.

MIMMS. **Kraft pulping, a compilation of notes.** Atlanta. TAPPI PRESS. ed.2, 181p. 1993.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimento para análise lignocelulósica.** Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos INFOTECA-E. Campina Grande, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883400/1/DOC236.pdf>>. Acesso em: 01 de julho de 2021.

MORAIS, P. P.; PASCOAL, P. V.; ROCHA, E. S.; MARTINS, E. C. A. **Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas.** Bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 1, p. 45-57. 2017. Disponível em: <<http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/229/141>>. Acesso em 17 de julho de 2021.

MOXLEY, G.; ZHANG, Y. H. P. **More accurate determination of acidlabile carbohydrates in lignocellulose by modified quantitative saccharification.** Energy & Fuels, v. 21, n. 6, p. 3684-3688, 2007

NALI, E. C.; RIBEIRO, L. B. N. M.; HORA, A. B. **Biorrefinaria integrada à indústria de celulose no Brasil: oportunidade ou necessidade?** BNDES Setorial 43, Rio de Janeiro, p. 257-294, março, 2016. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9578/2/BS%2043%20Biorrefinaria%20integrada%20c3%a0%20ind%20c3%b8stria%20de%20celulose%20no%20Brasil.%20P_BD.pdf>. Acesso em: 05 de junho de 2021.

NIAOUNAKIS, M. **Biopolymers: Applications and Trends**, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780323353991/biopolymers-applications-and-trends>>. Acesso em: 30 de julho de 2021.

OGATA, B. H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias**. Piracicaba, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-13112013-143039/publico/Bruna_Harumi_Ogata.pdf>. Acesso em: 11 de junho de 2021.

PÄÄKKÖ et al., **Enzymatic Hydrolysis Combined with Mechanical Shearing and High Pressure Homogenization for Nanoscale Cellulose Fibrils and Strong Gels**. *Biomacromolecules*, v. 8, n. 6, p. 1934-1941, 2007.

PENEDO, W. R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte. Fundação CETEC, 1980.

PER TOMANI, N. B.; SVÄRD, S. H.; ÅMAND, L. **Pilot-Scale Combustion with lignin as a solid biofuel**. Tappi Engineering, Pulping and Environmental Conference, Portland, 2008. p. 25-27.

PINO, V.; AYALA, J. H.; GONZÁLEZ, V.; AFONSO, A. M. **Determination of the alkyl- and methoxy-phenolic content in wood extractives by micellar solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry**. *Talanta*, v. 73, n. 3, p. 505-513, 2007.

PIZZI, A. 1994. **Tannin-Based Wood Adhesives**. In: *Advanced Wood Adhesives Technology*, Marcel Dekker, New York, p.149.

RAELE, R.; BOAVENTURA, J. M. G.; FISCHMANN, A. A.; SARTURI, G. **Scenarios for the second-generation ethanol in Brazil**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 87, p. 205-223, 2014.

RISI. **Global dissolving pulp demand continues to expand rapidly: Led by substitution of viscose staple fiber for cotton and synthetics in the textile fiber market**. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2VD0Zg5>>. Acesso em: 01 fev 2016.

ROCHA, C. F. **Hidrólise enzimática da polpa celulósica de Eucalyptus dunnii para oportunidades de biorrefinaria**. Curitiba, 2015. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1267/1/CT_PPGCTA_M_Rocha%2c%20Clarissa%20Fleury_2015.pdf>. Acesso em: 27 de junho de 2021.

RODRIGUES, J. A. **Do engenho à biorrefinaria, a usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis.** Química Nova, vol. 34, n. 7, p. 1242-1254, 2011.

ROSA, S. E. S.; GARCIA, J. L. F. **O etanol de segunda geração: limites e oportunidades.** BNDES, v. 32, p.118- 156, 2009.

ROWELL, R.M.; PETTERSEN, R.; HAN, J.S.; ROWWEL, J.S.; TSHABALALA, M.A. **Handbook of wood chemistry and wood composites.** CRC Press, pp 35–74. Boca Raton, 2005.

SANTOS, A.S.; BARBOSA, A.P.; VIANEZ, B.F. **Anais da XII Jornada de Iniciação Científica do INPA.** Manaus, 2003.

SANTOS, I.D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3594/1/2008_IrisDiasSantos.pdf>. Acesso em: 01 de agosto de 2021.

SARTO, C; SANSIGOLO, C. A. **Cinética da remoção dos extrativos da madeira de Eucalyptus grandis durante polpação Kraft.** Acta Scientiarum. Technology, v. 32, n. 3, p. 227-235. Maringá, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/4237/4237>>. Acesso em: 17 de julho de 2021.

SILVA, R. et al. **Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos.** Química Nova, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/scTjjqWPjcLKmgMdRR73SQB/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 18 de julho de 2021.

SILVA JÚNIOR, N.; GOMES, F.; SOUZA, R.; CRUZ, L.; TRIGUEIRO, J. **Polpa celulósica solúvel e o destaque Brasileiro no Mercado Internacional.** Meio ambiente, sustentabilidade e tecnologia, Vol 2, Rio de Janeiro, 2019.

SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, L. C. A.; GOMIDE, J. L.; REIS, F. P.; PILÓ-VELOSO, D. **Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto.** Revista Árvore, v. 30, n. 6, p. 1009-1016, 2006.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and application.** Academic Press, 293. Londres, 1993.

SOARES, N. S. et al. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 1-22. Curitiba, 2010. Disponível em <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/17094/11255>>. Acesso em: 06 de agosto de 2021.

SUN, R. C.; SUN, X. F. **Identification and quantitation of lipophilic extractives from wheat straw**. *Industrial Crops and Products*, v. 14, n. 1, p. 51-64, 2001.

SUZANO. **Marca e produtos: Lignina**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.suzano.com.br/marcas-e-produtos/lignina/>>. Acesso em: 08 de junho de 2021.

SUZANO. **Ecolig**. [s.d.]. Disponível em: < <https://www.suzanoecolig.com.br/ecolig.php>>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

SUZANO **Ecolig. Mercados**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.suzanoecolig.com.br/mercados.php>>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

SYVERUD, K.; CARRASCO, G.C.; TOLEDO, J.; TOLEDO, P.G. **A comparative study of Eucalyptus and Pinus radiata pulp fibres as raw materials for production of cellulose nanofibrils**. *Carbohydrate Polymers*, v. 84 p. 1033–1038, 2011.

TAPPI. **Solvent extractives of wood and pulp**. 4 p, 1997.

ZANONI, P. R. S.; SCHROEDER, B. G.; HEINZ, K. G. H.; HANSEL, F. A.; TAVARES, L. B.; MAGALHÃES, W. L. E. **Produção de etanol: uma opção para aproveitamento de resíduos gerados nas indústrias de reciclagem de papel**. EMBRAPA Florestas, 25 p., 2015.