



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

RODNEY APARECIDO ALVES DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS COM PÓ DE BAMBU E LIGNINA

Itapeva - SP

2023

RODNEY APARECIDO ALVES DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS COM PÓ DE BAMBU E LIGNINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Ciências e Engenharia - Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Dra. Juliana Cortez Barbosa

Itapeva - SP

2023

S586d Silva, Rodney Aparecido Alves da
Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com pó de bambu e lignina / Rodney Aparecido Alves da Silva. -- Itapeva, 2023
49 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva
Orientadora: Juliana Cortez Barbosa

1. Embalagem. 2. Bambu. 3. Lignina. 4. Sustentabilidade. I. Título.

RODNEY APARECIDO ALVES DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS COM PÓ DE BAMBU E LIGNINA**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial - Madeira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Profa. Dra. Juliana Cortez Barbosa
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



2º Examinador: Profa. Dra. Maristela Gava
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



3º Examinador: Prof.ª Profa. Dra. Elen Aparecida Martines Morales
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

Itapeva, 24/11/2023.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus.

Aos meus pais Aparecido e Beir, sempre me apoiando e incentivando a ser uma pessoa melhor a cada dia, agradeço por serem exemplos a serem seguidos.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Juliana Cortez Barbosa, me acompanhou todos os meus anos na vida acadêmica.

Ao técnico de laboratório Alex Siqueira Costa, pelo auxílio na execução desse trabalho.

Não posso deixar de mencionar meus amigos e colegas de classe, em especial Cesar, Emmanuel, Giovana, Ierike, Jeferson, Patrik e Paola, cujo apoio moral e colaboração foram fundamentais para superar os desafios ao longo desta jornada acadêmica.

Por fim, estendo meu agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, direta ou indiretamente.

Este TCC é dedicado a todos vocês, cujo apoio e encorajamento foram a força motriz por trás deste empreendimento acadêmico.

Resumo

A crescente tendência na indústria de embalagens é o desenvolvimento de embalagens recicláveis utilizando pó de bambu. O objetivo é desenvolver um traço adequado combinando pó de bambu, pó de lignina (polímero natural presente em várias plantas) e amido de mandioca como aglutinante e estudar a viabilidade técnica para uso como material para embalagens biodegradáveis, contribuindo para reduzir o impacto ambiental e para a promoção da sustentabilidade, oferecendo uma alternativa aos materiais plásticos convencionais. Na composição do material foram utilizados, a lignina oriunda de resíduo industrial da indústria de papel e celulose, combinada com o pó de bambu proveniente de resíduos da usinagem de lâminas. As placas foram confeccionadas com pó de bambu e amido com a adição de pó de lignina, variando de 5% a 25% em peso seco. Como testes foram realizadas a determinação de resistência à umidade e resistência ao arrebentamento. Os testes produziram resultados positivos para dois traços, o que torna o estudo viável para o desenvolvimento de novas pesquisas nesta área.

Palavras-chave: Embalagem. Bambu. Pó de lignina. Resíduos lignocelulósicos. Sustentabilidade.

Abstract

The growing trend in the packaging industry is the development of recyclable packaging using bamboo powder. The objective is to develop a suitable mixture combining bamboo powder, lignin powder (a natural polymer present in several plants) and cassava starch as a binder and to study the technical forecasts for use as a material for biodegradable packaging, contributing to reducing the environmental impact and to promoting sustainability, offering an alternative to conventional plastic materials. In the composition of the material, lignin from industrial discharge from the paper and cellulose industry was used, combined with bamboo powder from blade machining residues. The plates were made with bamboo powder and starch with the addition of lignin powder, ranging from 5% to 25% in dry weight. As tests, moisture resistance and burst resistance were determined. The tests produced positive results for two traits, which makes the study viable for developing new research in this area.

Keywords: Packaging. Bamboo. Lignin powder. Lignocellulosic waste. Sustainability.

Lista de ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Partes do Bambu | 13 |
| Figura 2 – Síntese da lignina e lignina fenol-formaldeído | 16 |
| Figura 3 – Moinho | 18 |
| Figura 4 – Peneira | 19 |
| Figura 5 – Processo de secagem do material | 19 |
| Figura 6 – Gelatinização do amido, pó de bambu e lignina | 21 |
| Figura 7 – Mistura | 21 |
| Figura 8 – Prensa hidráulica | 22 |
| Figura 9 – Formação do colchão | 23 |
| Figura 10 – Colchão com o papel alumínio e chapa metálica | 24 |
| Figura 11 – Prensa de prensagem a quente | 24 |
| Figura 12 – Embalagens na estufa | 25 |
| Figura 13 – Corpos de prova 70mm x 50mm | 26 |
| Figura 14 – Recipiente com água | 26 |
| Figura 15 – Corpos de prova 100mm x 80mm e 70mm x 50mm | 27 |
| Figura 16 – Estudo de diferentes traços | 28 |
| Figura 17 – Após a secagem ambiente | 28 |
| Figura 18 – Misturas colocadas para secar | 29 |
| Figura 19 – Misturas após uma semana de secagem | 29 |
| Figura 20 – Material explodido dentro da prensa | 30 |
| Figura 21 – Embalagem teste 3 | 31 |
| Figura 22 – Embalagem teste 4 | 32 |
| Figura 23 – Embalagem teste 5 | 32 |
| Figura 24 – Manta de teflon | 33 |
| Figura 25 – Embalagem teste 6 | 33 |
| Figura 26 – Embalagem teste 7 | 34 |
| Figura 27 – Embalagem teste 8 | 35 |
| Figura 28 – Embalagem teste 9 | 36 |
| Figura 29 – Embalagem teste 10 | 37 |
| Figura 30 – Recipiente processo 1 - até 1 hora | 38 |
| Figura 31 – Recipiente processo 1 - 1h15min - 2 horas | 39 |
| Figura 32 – Recipiente processo 2 - até 1 hora | 40 |
| Figura 33 – Recipiente processo 2 - 1h15min - 2 horas | 41 |
| Figura 34 – Teste de rasgo/resistência do filme da embalagem - processo 1 | 42 |
| Figura 35 – Teste de rasgo/resistência do filme da embalagem - processo 2 | 43 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Dados processo 1 | 20 |
| Tabela 2 – Dados processo 2 | 22 |
| Tabela 3 – Dados para o teste de resistência a umidade | 25 |

Sumário

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 | OBJETIVOS | 10 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 11 |
| 3.1 | Bambu | 11 |
| 3.2 | Caracterização dos adesivos com nanoligninas Kraft | 13 |
| 3.3 | Embalagens biodegradáveis | 16 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODO | 18 |
| 4.1 | Local de realização do trabalho | 18 |
| 4.2 | Preparo das partículas de bambu | 18 |
| 4.3 | Processo 1 | 20 |
| 4.4 | Processo 2 | 21 |
| 4.5 | Métodos de ensaios | 25 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 5.1 | Primeiro teste | 28 |
| 5.2 | Segundo teste | 29 |
| 5.3 | Terceiro teste | 30 |
| 5.4 | Quarto teste | 31 |
| 5.5 | Quinto teste | 32 |
| 5.6 | Sexto teste | 33 |
| 5.7 | Sétimo teste | 34 |
| 5.8 | Oitavo teste | 34 |
| 5.9 | Nono teste | 35 |
| 5.10 | Décimo teste | 36 |
| 5.11 | Resistência a umidade 2 horas | 37 |
| 5.12 | Resistência ao rasgo | 42 |
| 6 | CONCLUSÃO | 44 |
| | REFERÊNCIAS | 45 |

1 Introdução

O elevado consumo de plásticos em praticamente todos os setores produtivos industriais e a poluição gerada por seu descarte inadequado é, atualmente, um dos maiores problemas ambientais no mundo.

Estima-se que 8,9 bilhões de toneladas de plásticos já foram fabricados desde meados do século passado, quando começaram a ser produzidos em escala industrial. Cerca de 6,3 bilhões de toneladas, viraram lixo, enquanto 2,6 bilhões de toneladas ainda estão em uso. E a cada ano, mais de 8 milhões de toneladas de lixo produzidos desse material chegam aos oceanos (VASCONCELOS, 2019).

De acordo com Cangemi, Santos e Neto (2005), plásticos biodegradáveis utilizados como embalagens têm propriedades físicas e químicas semelhantes ao plástico comum, mas levam entre 18 à 20 meses para serem degradados. O grande diferencial se concentra na origem da matéria prima, em sua grande parte vinda de vegetais, dispensando o uso do petróleo.

De acordo com Borges (2018), a Organização das Nações Unidas - ONU, diz que a estimativa do custo financeiro dos prejuízos ambientais relacionados ao plástico ultrapassa os US\$ 75 bilhões anuais e o ecossistema marinho é o que mais sofre com os plásticos. A poluição das águas, a morte de animais e o prejuízo para o turismo alcançam pelo menos os US\$ 13 bilhões ao ano.

Existem alternativas utilizadas para embalar alimentos e refeições. Embalagens de alumínio, por exemplo, são leves, garantem a conservação do produto e podem ser recicladas infinitamente sem perder suas características.

O polipropileno é utilizado na produção de embalagens para alimentos, é plástico, porém mais reciclado que o poliestireno expandido - EPS (SCUADRA, 2019). As embalagens de papel cartonado são práticas, leves, possuem sistema antivazamento, conservam a temperatura da comida até a entrega e demoram menos tempo para se decompor (SCUADRA, 2021).

No entanto, já existem opções biodegradáveis e compostáveis provenientes dos amidos de milho e mandioca.

De acordo com a Associação Brasileira de Embalagem - ABRE (2020), no ano de 2020, a produção da indústria de embalagem apresentou um crescimento de 0,5%, sendo que este é o quarto ano consecutivo que apresenta um resultado positivo na produção. A indústria de plástico é a que mais emprega, totalizando, em dezembro de 2020, 1.125.332 empregos formais, correspondendo a 54,3% do total de postos de

trabalho do setor. Em seguida vem papelão ondulado com 34.208 funcionários (14,8%), papel com 22.404 (9,7%), metálicas com 18.326 (7,9%), madeira com 13.643 (5,9%), cartolina e papel cartão com 9.653 (4,2%) e vidro com 7.366 (3,2%).

Paralelamente a isso, no processo produtivo das indústrias de base florestal, como de papel e celulose e de movelaria, são gerados muitos resíduos. E muitas vezes, esses resíduos não são reutilizados em logística reversa, e descartados em locais inadequados (BRAND *et al.*, 2004), ou incinerados causando poluição atmosférica sem, ao menos, aproveitamento energético.

Segundo Lopes *et al.* (2017), o uso de outros materiais biodegradáveis, como a lignina, com potencial para ser reaproveitada na cadeia produtiva, tornou-se uma realidade para muitas indústrias de transformação, como a adição de moléculas de filtros solares químicos a filtros solares físicos. Aliado a isso, a principal razão para a maioria das aplicações da nanotecnologia é a infinidade de aplicações e possíveis alterações nas propriedades dos materiais em escala nanométrica com a promessa de que os materiais terão melhor funcionalidade, o que justifica o crescente interesse em pesquisar materiais nanométricos.

É de extrema importância o desenvolvimento de novos materiais para uso na fabricação de embalagem, em diversos setores produtivos, inclusive no setor alimentício, que sejam eficientes e com durabilidade adequada, além de possibilitar sua reciclagem e ou sua incorporação como subprodutos em futuras transformações industriais.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo estudar a interação de material particulado de bambu, lignina e amido de mandioca para ser utilizado como base para a elaboração de embalagens biodegradáveis. Pretende-se avaliar o desenvolvimento de um filme para embalagens biodegradáveis com diferentes traços de material lignocelulósico (bambu) e pó de lignina. Ambos são oriundos de processos industriais: o bambu, resíduo da laminação de ripas e o pó de lignina, resíduo da indústria de papel e celulose, por meio de um processo de termo prensagem da combinação dos substratos.

2 Objetivos

Objetivo geral:

- Avaliar a viabilidade técnica do desenvolvimento de um filme destinado a embalagens biodegradáveis à partir do pó de bambu, proveniente de resíduos de laminação, pó de lignina advinda da produção de celulose e amido de mandioca.

Objetivos específicos:

- Avaliar diferentes traços de materiais lignocelulósicos para a produção do filme;
- Avaliar o filme produzido quanto a resistência à umidade e ao rasgo;
- Determinar se o uso desses materiais é uma opção viável e sustentável para a produção de embalagens.

3 Revisão de Literatura

3.1 Bambu

Em diversos países, espécies lenhosas de grande porte como *Dendrocalamus asper*, *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus latiflorus* têm sido utilizadas para a produção de laminados colados de bambu, que são utilizados tanto para a fabricação de móveis quanto de utensílios domésticos. No entanto, como ocorre em outros processos industriais, a conversão do bambu roliço em lâminas resulta em grande quantidade de resíduos. Devido às características morfológicas do bambu, seu aproveitamento nesse tipo de produção ainda é limitado, resultando em volumes elevados de resíduos.

Segundo Ribas (2015), o uso sem critério dos recursos naturais do planeta tem causado mais danos do que benefícios. Embora as técnicas de produção estejam avançando, muitos produtos no Brasil, especialmente os de origem vegetal, têm uma baixa taxa de aproveitamento de sua massa. Como consequência, há uma grande quantidade de resíduos gerados e não reaproveitados, que causam diversos impactos ambientais e sociais negativos.

Desde o início do desenvolvimento tecnológico, o bambu tem sido um fiel companheiro do homem, fornecendo abrigo, alimento, utensílios domésticos e outros artefatos. No Oriente, é considerado a "planta dos mil usos", graças às suas excelentes características físicas, químicas e mecânicas (DELGADO, 2011).

Segundo Dagostin (2015), no mundo, estima-se que existam cerca de 1250 espécies de bambu, distribuídas em 90 gêneros. No entanto, essa variação tende a aumentar a cada ano, com a inclusão de novas espécies e variedades. Nas Américas, existem cerca de 440 espécies de bambu distribuídas em 41 gêneros, sendo o Brasil o país com a maior diversidade de bambus na América Latina, com aproximadamente 240 espécies nativas.

O bambu é um material de construção que se destaca pela rapidez em seu cultivo, sendo 30% mais veloz que o crescimento de outras espécies arbóreas utilizadas para a produção de madeira (KOREN, 2010). O bambu apresenta um crescimento rápido e um rendimento anual significativamente maior do que outras árvores plantadas para produção de madeira. Além disso, continua a brotar sem a necessidade de um novo plantio (LONDOÑO, 2021).

Segundo Librelotto e Ostapiv (2019), enquanto o meio empresarial e governamental tem um papel crucial nas cadeias produtivas brasileiras: como para o café, a laranja e a soja, a academia tem sido uma figura central no desenvolvimento da

indústria do bambu no Brasil. Por meio de pesquisas, a iniciativa tomada pela academia tem sido também no sentido de se estabelecer um ciclo econômico para o bambu no país. No entanto, a falta de materiais informativos, tais como livros, manuais e boletins técnicos, que possam fornecer informações precisas sobre as vantagens do bambu em diversas aplicações e atender às necessidades dos usuários, é um dos principais obstáculos para a exploração economicamente rentável deste material.

Segundo Mendes *et al.* (2010), os plantios de bambu são caracterizados por uma elevada densidade de plantas e ciclos curtos de corte, que ocorrem indefinidamente sem a necessidade de replantio. Além disso, a nutrição do bambu é notável pela presença de um complexo de colmos sucessivamente conectados ao rizoma, que permitem uma eficiente absorção de nutrientes.

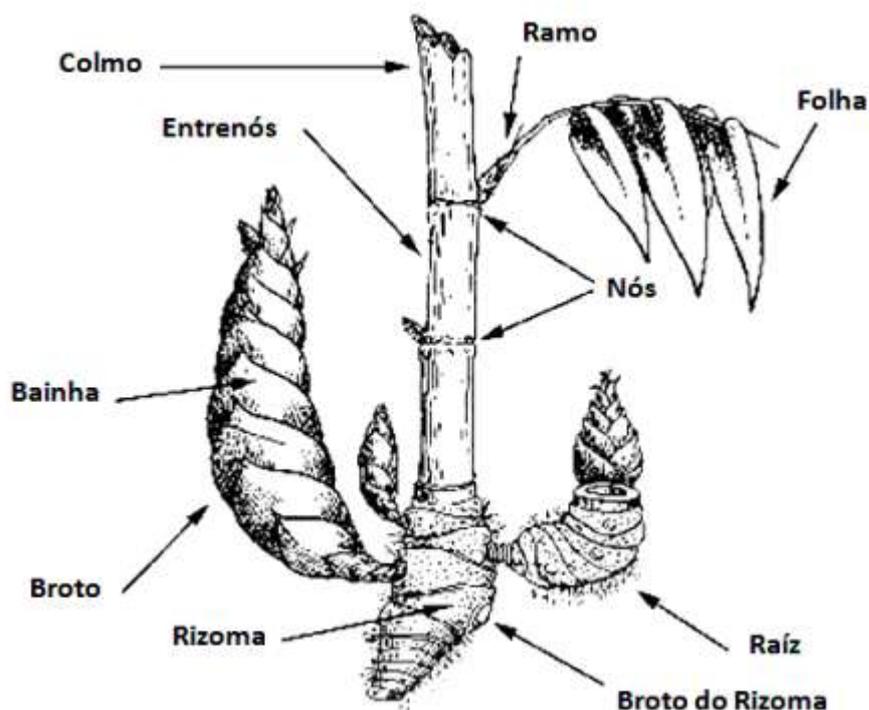
Conforme Espelho e Beraldo (2008), os colmos imaturos de bambu são menos propensos a serem atacados pelo caruncho (*Dinoderus minutus*), pois suas células parenquimatosas ainda não possuem amido. No entanto, em colmos maduros, com mais de três anos de idade, ocorre o espessamento das paredes celulares em algumas espécies, o que aumenta significativamente a deposição de amido e, conseqüentemente, a suscetibilidade ao ataque do caruncho. Esse pode ser um dos fatores que pode torná-los mais vulneráveis ao ataque.

Segundo Nogueira (2008), o diâmetro do colmo do bambu não pode ser usado como indicador da idade da planta. A idade do bambu pode ser determinada observando-se o aspecto e a aparência da superfície externa do colmo. Nos primeiros quatro a doze meses, o bambu é macio e flexível, sendo adequado para a fabricação de cestos e artesanato em geral. Entre três e seis anos de idade, o colmo alcança sua resistência máxima, tornando-se adequado para uso na construção civil.

Os bambus podem ser classificados em duas categorias principais: os lenhosos e herbáceos. Os bambus lenhosos são caracterizados por ter um porte mais elevado e uma morfologia semelhante às árvores, com raízes profundas; colmos fortes, formação de galhos e folhas, além de propriedades e resistência comparáveis às das árvores. Já os bambus herbáceos apresentam um porte menor, semelhante ao de arbustos, e são mais frequentemente utilizados como plantas ornamentais (SOUZA, 2014).

Diferentemente das árvores, os bambus não possuem crescimento secundário em seu “tronco”. Seu ciclo de vida ocorre por meio do sistema de rizomas, que se desenvolvem e amadurecem, gerando novos brotos, conforme a Figura 1 (MARINHO, 2012).

Figura 1 – Partes do Bambu



Fonte: Marinho (2012)

As raízes do bambu têm uma estrutura diferente dos colmos e rizomas, pois não são segmentadas em nós e entrenós. Essas raízes formam uma rede delicada e extensa, desempenhando um papel essencial no crescimento e desenvolvimento da planta. Além de ancorar a planta no solo, as raízes têm a função de absorver água e nutrientes, que são transportados por toda a planta. Também ocorre o armazenamento de amido, embora nos bambus o armazenamento seja principalmente nos rizomas (LUIS *et al.*, 2017).

3.2 Caracterização dos adesivos com nanoligninas Kraft

A lignina tem sido estudada como adesivo a mais de 100 anos, mas há poucas aplicações industriais. O interesse atual se deve à alta disponibilidade e baixo custo da lignina. Trata-se de um importante subproduto dos processos de fabricação de papel e é frequentemente queimada como combustível. Como a lignina é a cola natural das plantas e são de natureza fenólica, elas são um substituto atraente para as colas de madeira (HEMMILÄ; TRISCHLER; SANDBERG, 2013).

A lignina é um componente presente nas paredes celulares de praticamente

todas as plantas terrestres. Trata-se do segundo polímero natural mais abundante em todo o mundo, ficando atrás apenas da celulose (RANGEL, 2019).

A lignina tem um papel importante na indústria madeireira e de papel. Sua presença é importante para formação e resistências de fibras de celulose, embora, durante o processo de produção de papel, a lignina é removida (LUDWIG *et al.*, 2018).

De acordo com Lopes (2022), a lignina é um componente fundamental nos tecidos das plantas gimnospermas (sem fruto) e angiospermas (com fruto), estando presente em vegetais e tecidos vasculares. Sua importância reside no transporte de água, nutrientes e metabólitos, além de desempenhar um papel crucial na resistência mecânica das plantas, oferecendo proteção contra microrganismos.

Como apontado por Wilczak (2014), os adesivos são substâncias utilizadas para unir dois ou mais elementos, podendo ser encontrados em diferentes formas, como líquida, pastosa, granular e até mesmo em pó. Geralmente, esses adesivos são produzidos por meio da combinação de polímeros e resinas, que passam por processos de secagem, polimerização e cura utilizando agentes reticulantes (moléculas com peso molecular menor do que o peso molecular da cadeia principal, localizadas entre duas ligações cruzadas consecutivas).

Conforme Magalhães *et al.* (2019), nos últimos anos, pensando no reaproveitamento do que antes era considerado um resíduo, a lignina, vem sendo estudada e avaliada como uma alternativa natural, utilizada na produção de resinas de fenol-formaldeído, como substituta para o fenol, devido a sua semelhança estrutural.

Comumente, na produção de painéis de madeira aglomerada, os adesivos utilizados são: fenol-formaldeído, ureia-formaldeído, melamina-formaldeído, tanino-formaldeído e resinas poliuretanas (BUZO, 2018). A produção de adesivos à base de formaldeído apresenta sérios problemas devido à liberação de compostos orgânicos voláteis, que podem causar irritações em áreas de contato e representar riscos à saúde. Além disso, durante o processo de prensagem, os adesivos à base de formaldeído são altamente tóxicos, prejudicando a qualidade do ar, a saúde dos trabalhadores e a produtividade (RAZERA, 2006).

Os adesivos de fenol-formaldeído são utilizados na indústria madeireira devido às suas propriedades excelentes, tais como alta aderência, boa resistência ao calor e estabilidade química (ORLANDINI, 2016).

Os adesivos sintéticos uréia-formaldeído e fenol-formaldeído são utilizados na colagem de madeira e seus derivados. Uma das principais vantagens do adesivo fenólico é a sua alta resistência à umidade, o que o torna altamente recomendado para a colagem de produtos expostos a diversos ambientes (SILVA *et al.*, 2012).

Existem várias formulações de adesivos de lignina eficazes em processos de

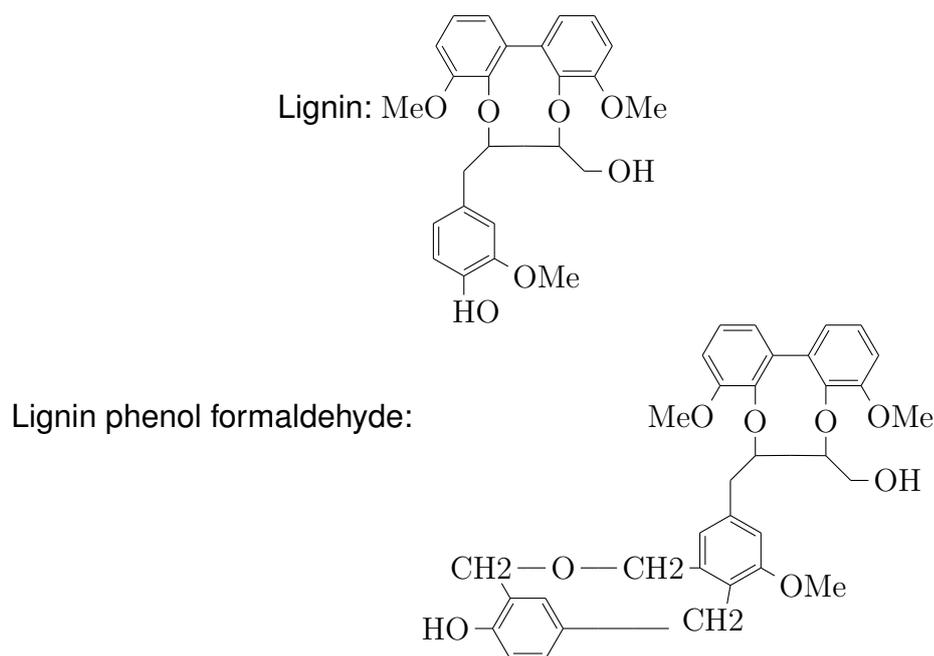
colagem, mas nem todos os compostos podem ser usados devido a dois problemas geralmente comuns que retardam o tempo de prensagem: a formulação tende a ser corrosiva e o adesivo de lignina tende a diminuir o tempo de prensagem, reduzindo a produtividade em níveis industriais (SANTOS, 2016).

Segundo Pizzi e Mittal (2003), a reação de condensação da lignina não tem sido efetiva devido ao baixo número de posições livres no anel aromático, e também à sua baixa reatividade. Conforme mencionado por Pizzi e Mittal (2003), a baixa reatividade da lignina Kraft com o formaldeído representa uma das principais dificuldades enfrentadas ao utilizar essa substância como adesivo para madeira, especialmente nos adesivos fenólicos (SANTOS, 2016).

Lopes *et al.* (2020), avaliaram as das propriedades dos adesivos modificados com nanoligninas Kraft em pinus e eucalipto, utilizando um catalisador sulfato de amônia (1,5%). A viscosidade dos adesivos tratados que continham nanolignina de pinus, de modo geral, teve a porcentagem maior que os de eucalipto. À medida que se aumenta a quantidade de nanolignina à formulação adesiva, reduz-se o que uma quantidade significativa da viscosidade, independentemente da lignina, ocorre por causa da grande quantidade de água presente na nanolignina que foram adicionadas. Valores bem baixos de viscosidade provocam uma super penetração do adesivo na madeira, assim resulta em uma linha de cola “faminta”, prejudicando o desempenho do adesivo na colagem (LOPES *et al.*, 2020).

Santos (2016), observou que diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de utilizar a lignina como componente dos adesivos para madeira e como agente de ligação das partículas em painéis. Foram investigadas as condições ideais para a síntese da lignina-fenol-formaldeído, utilizando lignina Kraft comercial. Os resultados indicaram que a temperatura de 80 °C e um tempo de reação de 4 horas proporcionaram as melhores condições para essa síntese. Além disso Santos (2016), eles esquematizou a reação da lignina com o fenol-formaldeído, conforme representado na Figura 2.

Figura 2 – Síntese da lignina e lignina fenol-formaldeído



Fonte: Santos (2016)

3.3 Embalagens biodegradáveis

Desde a última década, a indústria de embalagens tem visto um crescimento significativo no uso de plásticos. A popularidade dos plásticos nesse setor se deve principalmente à conveniência, segurança, baixo custo e alta qualidade estética que oferecem. Aproximadamente 41% da produção total de plástico é destinada à fabricação de embalagens, sendo que cerca de 47% desse volume é utilizado especificamente para embalar alimentos (RAY; BOUSMINA, 2005).

Segundo Machado *et al.* (2012), os materiais de origem agrícola são amplamente utilizados como matérias-primas na produção de embalagens biodegradáveis, uma vez que são mais baratos, disponíveis durante todo o ano e provêm de fontes renováveis. O amido, um polímero natural, é particularmente valorizado nesse segmento, pois pode formar filmes e espumas quando gelatinizado e seco, dependendo do processo utilizado.

Os aglutinantes convencionais utilizados em madeira e seus derivados são compostos à base de formaldeído. Esses aglutinantes são considerados perigosos para a saúde humana quando há exposição prolongada, devido à liberação de gases (RUGGERO; GORI; LUBELLO, 2019). Além disso, esses compostos são extremamente tóxicos quando queimados ou utilizados em ambientes com temperaturas muito elevadas.

De acordo com Bosco (2017), os polímeros biodegradáveis derivados de fontes renováveis são consideradas as opções mais sustentáveis para embalagens. Além de serem biodegradáveis, esses polímeros possuem características benéficas para o meio ambiente. Os polímeros biodegradáveis apresentam um balanço positivo de dióxido de carbono, uma vez liberado durante sua degradação, é absorvido pelas plantas que são usadas como matéria-prima para sua produção, fechando assim um ciclo de vida sustentável. Essas características fazem dos polímeros biodegradáveis uma escolha atrativa para embalagens mais sustentáveis.

A lignina é interessante para a fabricação de embalagens biodegradáveis por conta de ser biodegradável, abundante na natureza, uma ótima alternativa a não dependência de plásticos na indústria e por poder ser combinada com outros materiais como o amido. A mandioca, um produto agrícola nacional, é uma excelente fonte de amido, com uma grande quantidade desse polissacarídeo em sua composição e disponibilidade associada a um baixo custo, o que a torna ainda mais atraente como insumo na produção de embalagens biodegradáveis (MACHADO *et al.*, 2012).

Para evitar impactos ambientais, as embalagens devem cumprir certas condições de degradação. Nesse sentido, as embalagens biodegradáveis feitas de polímeros naturais surgem como uma alternativa aos efeitos negativos causados pelas embalagens convencionais (FRIEDRICHSEN *et al.*, 2022). As escolhas dos materiais utilizados na elaboração de embalagens visam reduzir ao máximo a interação com o produto embalado. Sendo assim, as embalagens atuam como barreiras inertes, cuja função principal é a proteção do produto, sem qualquer interação com sua composição (VEIGA-SANTOS *et al.*, 2005).

De acordo com ecycle (2018), a empresa Ecovative desenvolveu uma embalagem a partir de cogumelos. É fabricada utilizando raízes de cogumelos cultivadas a partir de folhas em decomposição, húmus e uma diversidade de substâncias, resultando em materiais com textura, flexibilidade e durabilidade distintas. Além de ser biodegradável, o material é comestível, embora não seja recomendado para consumo.

Segundo Godinho *et al.* (2021), durante o processo de produção do plástico poliácido láctico - PLA, as bactérias realizam a fermentação de vegetais ricos em amido, como a beterraba, o milho e a mandioca, para produzir o ácido láctico. O PLA apresenta excelentes propriedades biocompatíveis e biodegradáveis, mas algumas desvantagens como baixa cristalinidade (forma estrutural de cadeia longa), baixa capacidade de barreira a gases, alta fragilidade e suscetibilidade à degradação hidrolítica.

A embalagem de celofane é utilizada em setores industriais, como alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos. O celofane é um tipo de filme plástico transparente feito de celulose, geralmente derivado de plantas, porém, ela não é facilmente biodegradável, devido aos aditivos utilizados em sua produção (EURECICLO, 2019).

4 Materiais e Método

4.1 Local de realização do trabalho

O trabalho foi realizado nos laboratórios de Propriedades dos Materiais e Laboratório de Painéis, todos situados na UNESP, Campus de Itapeva.

4.2 Preparo das partículas de bambu

Os materiais utilizados neste trabalho foram oriundos de resíduos de laminação de bambu, transformado, em pó de bambu (0,3 a 0,4 mm), e da indústria de papel e celulose do processo de branqueamento da polpa celulósica, o pó de lignina. O bambu utilizado foi da espécie *Dendrocalamus asper*, comumente conhecida como bambu gigante. O bambu já triturado em cavaco, foi levado até o moedor, onde foi transformado em pó com auxílio do moinho (Figura 3).

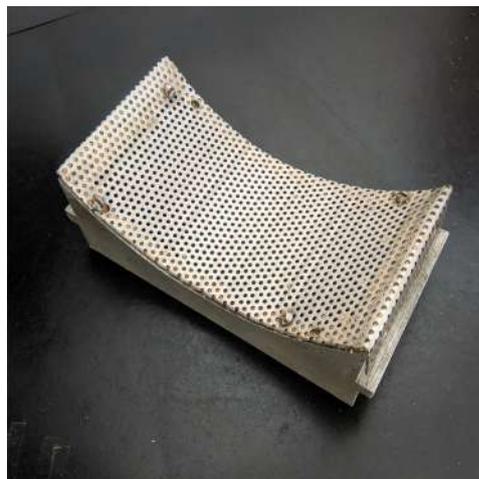
Figura 3 – Moinho



Fonte: Próprio autor

Na sequência foi usada uma peneira de aproximadamente 0,3 mm, conforme mostrado na Figura 4, para uniformizar a granulometria material a ser utilizado.

Figura 4 – Peneira



Fonte: Próprio autor

Após a moagem, o material foi arranjado em fôrmas de alumínio e seco em estufa com renovação e circulação forçada de ar, da marca Nova Ética 103 °C ± 2 °C por 24 horas. Na Figura 5 mostra-se a estufa utilizada e o material em processo de secagem.

Figura 5 – Processo de secagem do material

(a) Estufa



(b) Pó de bambu na estufa



Fonte: Próprio autor

O método de mistura foi experimentado de duas maneiras diferenciadas para a fabricação das embalagens.

4.3 Processo 1

Nos estudos exploratórios para se definir o traço do compósito foram gerados filmes de dimensão nominal 2 mm de espessura,

Utilizando-se quatro diferentes traços para o primeiro teste, sendo de 20%, 30%, 40% e 50% de concentração de amido em relação ao peso seco total do material a ser utilizado. Foram ainda estudados quatro diferentes traços de 0%, 10%, 20% e 30% de concentração de pó de lignina em relação ao peso total do material a ser utilizados, já para o segundo teste foram feitos cinco traços para ter uma espessura maior, conforme os dados da Tabela 1.

Tabela 1 – Dados processo 1

| Teste | Traço | bambu | Amido de mandioca | Lignina | Gelatinizar |
|--------------|----------------|--------------|--------------------------|----------------|--------------------|
| 1 | 1 ^o | 5g | 5g | 0g | 56 a 70 °C |
| 1 | 2 ^o | 5g | 4g | 1g | 56 a 70 °C |
| 1 | 3 ^o | 5g | 3g | 2g | 56 a 70 °C |
| 1 | 4 ^o | 5g | 2g | 3g | 56 a 70 °C |
| 2 | 1 ^o | 10g | 10g | 0g | 56 a 70 °C |
| 2 | 2 ^o | 10g | 10g | 3g | 56 a 70 °C |
| 2 | 3 ^o | 10g | 10g | 4g | 56 a 70 °C |
| 2 | 4 ^o | 10g | 10g | 5g | 56 a 70 °C |
| 2 | 5 ^o | 10g | 10g | 6g | 56 a 70 °C |

Fonte: Dados do próprio autor

O pó de bambu em 33ml de água fria e sob agitação foi-se elevando a temperatura até 70 °C para gelatinização (Figura 6). Em seguida a mistura, esta foi colocada numa fina camada de aproximadamente 2 mm em papel laminado de alumínio para secagem ao ar livre.

Figura 6 – Gelatinização do amido, pó de bambu e lignina



Fonte: Próprio autor

4.4 Processo 2

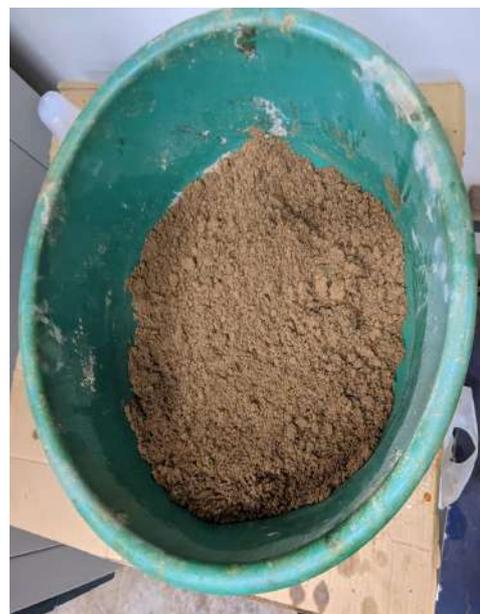
Neste processo, todos os materiais em pó foram misturados manualmente ao mesmo tempo e umedecidos com água para posteriormente ser prensado (Figura 7).

Figura 7 – Mistura

(a) Mistura manual



(b) Resultado da mistura



Fonte: Próprio autor

Os dados para os testes do processo 2, são conforme a Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Dados processo 2

| Teste | Bambu | Amido | Lignina | Água | Tonelada | Temperatura | Pressão |
|-------|-------|-------|---------|-------|----------|-------------|---------|
| 3 | 400g | 250g | 60g | 400ml | 1 | 170 °C | 150Bar |
| 4 | 350g | 280g | 70g | 35ml | 1 | 170 °C | 150Bar |
| 5 | 350g | 280g | 70g | 56ml | 1 | 110 °C | 150Bar |
| 6 | 350g | 280g | 105g | 56ml | 1 | 110 °C | 200Bar |
| 7 | 350g | 280g | 140g | 56ml | 1 | 100 °C | 200Bar |
| 8 | 400g | 250g | 60g | 290ml | 1 | 120 °C | 180Bar |
| 9 | 400g | 250g | 60g | 290ml | 1 | 60 °C | 180Bar |
| 10 | 400g | 250g | 60g | 290ml | 1 | 90 °C | 180Bar |

Fonte: Dados do próprio autor

A mistura passou por duas etapas de prensagem, a 1ª na prensa hidráulica manual (Figura 8), onde ela foi disposta numa forma de 15x15cm para a sua pré-prensagem.

Figura 8 – Prensa hidráulica



Fonte: Próprio autor

Utilizou-se maior quantidade de material para aumentar a espessura e quando fosse aplicada a pressão ao colchão, ele atingisse aproximadamente 10cm de espessura (Figura 9).

Figura 9 – Formação do colchão

(a) Forma 15x15 com material



(b) Prensagem



(c) Formação do colchão de 10cm



Fonte: Próprio autor

Logo após a pré-prensagem, iniciou-se o 2º processo de prensagem. No colchão foi colocado papel alumínio, acima e abaixo das duas chapas metálicas para que não grudasse na prensa durante a prensagem (Figura 10).

Figura 10 – Colchão com o papel alumínio e chapa metálica



Fonte: Próprio autor

Foi utilizado ainda um limitador de 1,5mm para uma prensagem térmica (Figura 11).

Figura 11 – Prensa de prensagem a quente



Fonte: Próprio autor

4.5 Métodos de ensaios

Como método de análise da qualidade do filme produzido para produção de embalagens, foram avaliadas a resistência a umidade (2h) e determinação da resistência ao arrebentamento adaptada da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR NM-ISO 2759, 2007). Os filmes produzidos no nono e décimo teste (Figura 12), e foram selecionados para os ensaios de qualidade do material (2h).

Figura 12 – Embalagens na estufa



Fonte: Próprio autor

Para o teste de resistência a umidade por 2h, as amostras que foram produzidas de acordo com as metodologias específicas e que os resultados foram minimamente aceitáveis, foi cortado 1 corpo de prova de cada traço obtido conforme a seguir na Tabela 3.

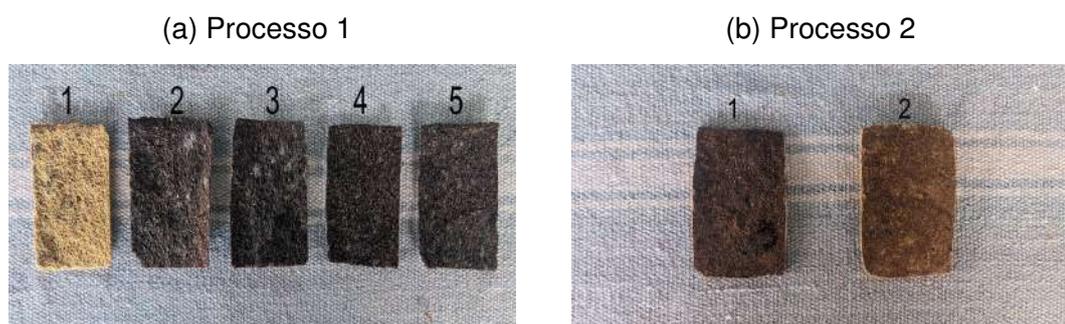
Tabela 3 – Dados para o teste de resistência a umidade

| Identificação | Tipo | Embalagem | Comprimento (mm) | Largura (mm) |
|----------------------|-------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | Processo 1 | 1º traço | 70 | 50 |
| 2 | Processo 1 | 2º traço | 70 | 50 |
| 3 | Processo 1 | 3º traço | 70 | 50 |
| 4 | Processo 1 | 4º traço | 70 | 50 |
| 5 | Processo 1 | 5º traço | 70 | 50 |
| 1 | Processo 2 | nono teste | 70 | 50 |
| 2 | Processo 2 | décimo teste | 70 | 50 |

Fonte: Dados do próprio autor

Os corpos de prova são mostrados na Figura 13.

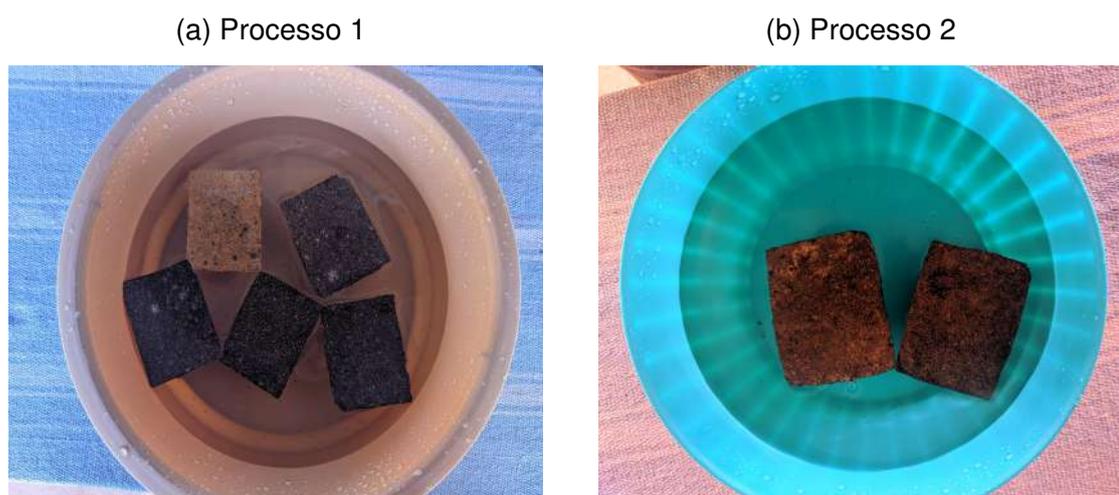
Figura 13 – Corpos de prova 70mm x 50mm



Fonte: Próprio autor

Para este teste, foram levados os corpos de prova até um recipiente para cada processo, e colocados até ficarem submersos na água (Figura 14).

Figura 14 – Recipiente com água



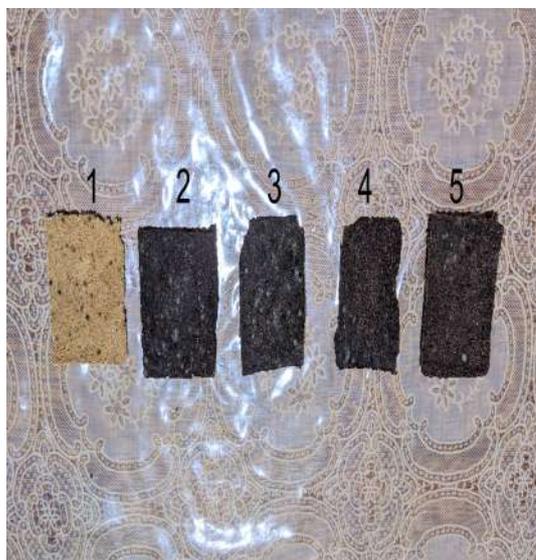
Fonte: Próprio autor

Após estarem submersos, foi observado a cada 15min o comportamento dos filmes para as embalagens dentro da água,

Para a determinação da resistência ao rasgo adaptou-se a metodologia do documento normativo ABNT (NBR NM-ISO 2759, 2007). Os corpos de provas foram usinados nas dimensões nominais de 100mm x 80mm e 70mm x 50mm. Os corpos de prova foram testados manualmente e se comparou qual resistiu mais ao rasgo (Figura 15).

Figura 15 – Corpos de prova 100mm x 80mm e 70mm x 50mm

(a) Processo de produção 1



(b) Processo de produção 2



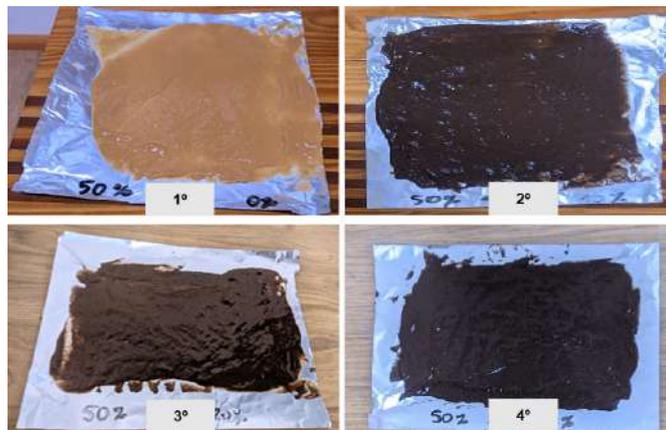
Fonte: Próprio autor

5 Resultados e discussão

5.1 Primeiro teste

Os filmes produzidos nesse processo, ficaram conforme a Figura 16.

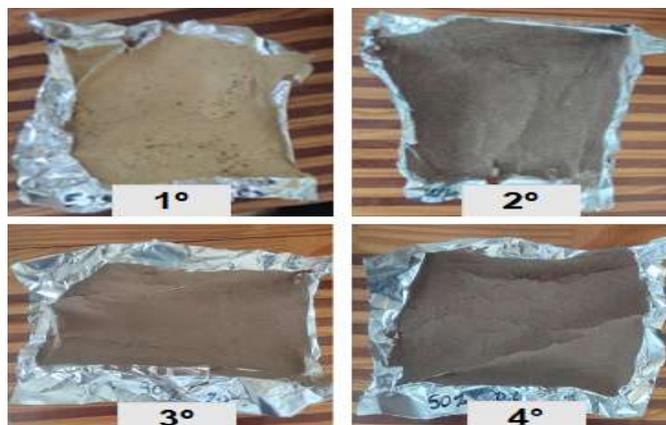
Figura 16 – Estudo de diferentes traços



Fonte: Próprio autor

Após a secagem, ficaram deformados e quebradiços, talvez pela espessura muito reduzida, observou-se que quanto maior concentração de lignina mais quebradiço se tornou o filme (Figura 17).

Figura 17 – Após a secagem ambiente



Fonte: Próprio autor

5.2 Segundo teste

Foram refeitos os testes para definição dos traços da composição para produção de um filme com maior espessura utilizando-se maiores quantidades de materiais.

Colocou-se no papel alumínio o filme com aproximadamente 3mm para secagem ao ar em temperatura ambiente para se observar em quanto tempo aconteceria a secagem (Figuras 18 e 19).

Figura 18 – Misturas colocadas para secar



Fonte: Próprio autor

Figura 19 – Misturas após uma semana de secagem



Fonte: Próprio autor

Em dois dias começaram a aparecer sinais de aparecimento de fungos no filme, e após 1 semana com a eliminação da umidade, o material começa a apresentar um aspecto de lixa e acaba se retraindo e enrolando nas bordas. Uma das possíveis alternativas para que isso não ocorra, seria a secagem em estufa controlada ou em prensa à quente.

5.3 Terceiro teste

O material foi para a pré-prensagem a uma força de 1 tonelada na prensa hidráulica, e foi utilizada maior quantidade de material para aumentar a espessura do colchão para aproximadamente 10cm. A prensagem final foi realizada com um limitador de 1,5mm em uma prensa térmica à 170°C e 150Bar.

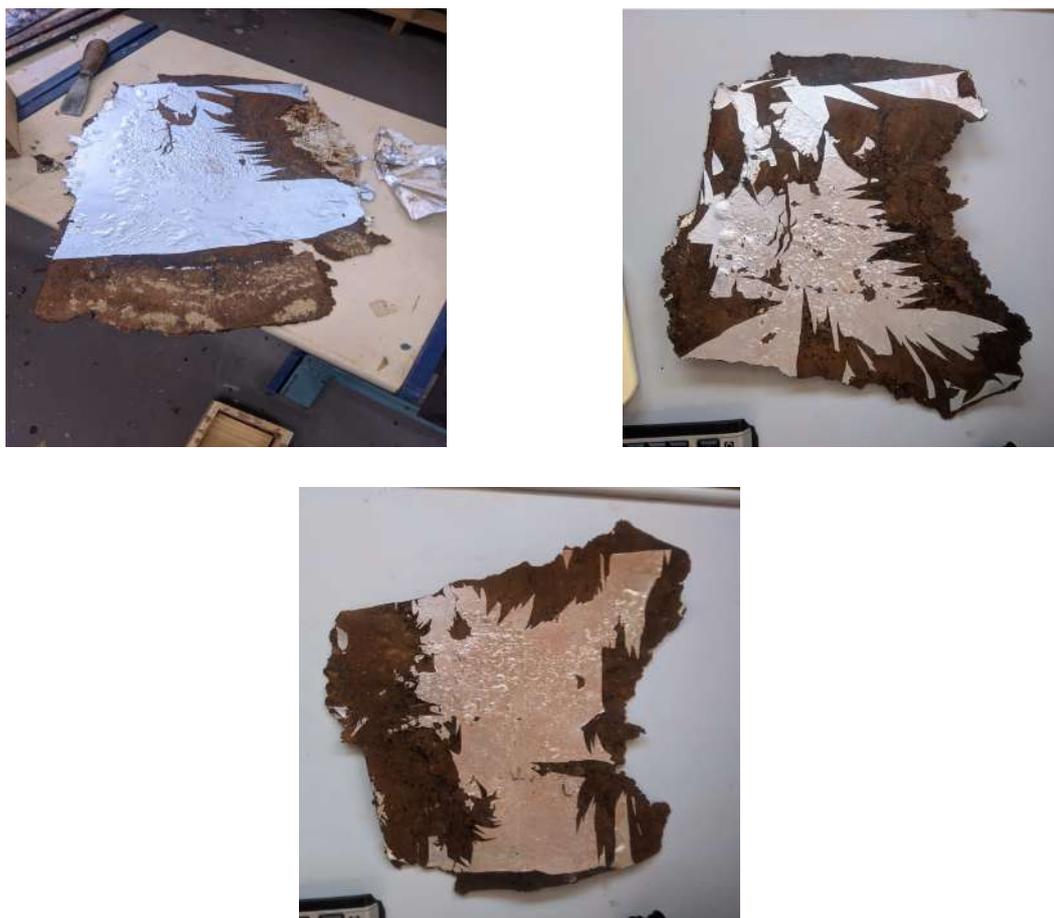
Neste terceiro teste, ocorreu algo inesperado pois acabou explodindo a amostra durante o ciclo de evaporação de ar na prensa por conta da umidade (Figura 20). Durante a explosão, os limitadores de espessura foram jogados para o lado e assim deixando a espessura do filme bem menor, Na Figura 21 pode-se observar o resultado da amostra após a prensagem.

Figura 20 – Material explodido dentro da prensa



Fonte: Próprio autor

Figura 21 – Embalagem teste 3



Fonte: Próprio autor

5.4 Quarto teste

Para o teste 4 e os outros testes subsequentes, foi utilizada a mesma metodologia variando a quantidade de água, materiais e temperaturas a fim de encontrar um melhor traço.

Foi feita a mistura manualmente, em seguida disposta na fôrma de 15x15cm para a sua pré-prensagem, à pressão de 1 tonelada na prensa hidráulica. Logo após foi feita a prensagem à 170°C e 150Bar e a embalagem ficou conforme a Figura 22.

Como resultado, o filme acabou torrando no centro a pesar de não ter explodido, formaram-se bolhas, inviabilizando o uso final.

Figura 22 – Embalagem teste 4



Fonte: Próprio autor

5.5 Quinto teste

No teste 5, elevou-se minimamente a quantidade de água para se analisar a influência no resultado final, pois apesar das bolhas, o material ficou quebradiço e esfarelento.

Como decidiu-se por reduzir a temperatura, e pensando que a pressão poderia não ser suficiente, decidiu-se por elevá-la para 200Bar (Figura 23).

Figura 23 – Embalagem teste 5



Fonte: Próprio autor

Nessa amostra formaram-se poucas bolhas, porém ainda ocorreu a queima de uma manta de teflon, utilizada em substituição ao alumínio, utilizado para não aderir na prensa nem no material prensado (Figura 24).

Figura 24 – Manta de teflon



Fonte: Próprio autor

5.6 Sexto teste

No teste 6, manteve-se a quantidade de pó de bambu e amido de mandioca, somente variando a quantidade de lignina (Figura 25).

Figura 25 – Embalagem teste 6



Fonte: Próprio autor

Houve dificuldade para desgrudar o papel alumínio e a chapa de metal. Possivelmente pela má mistura manual, não homogenizando adequadamente a mistura, o filme ficou esfarelando e ainda apresentou um queimado no centro da peça.

5.7 Sétimo teste

No teste 7, elevou-se em cerca de 25g a quantidade de lignina e manteve-se as mesmas metodologias do teste 6 (Figura 26).

Figura 26 – Embalagem teste 7



Fonte: Próprio autor

Novamente o material ficou esfarelando e foi difícil de desenformá-lo. A presença de algumas bolhas que chegaram a romper com a tentativa de remoção do papel alumínio, demonstraram que ainda não sendo encontrado os parâmetros ideais para o material a ser produzido.

5.8 Oitavo teste

Para o teste 8, foi acrescentada uma quantidade de água para verificar se durante a prensagem o material ficasse menos esfarelento (Figura 27).

Figura 27 – Embalagem teste 8



Fonte: Próprio autor

Foram colocadas duas folhas de papel alumínio para a prensagem. Neste teste observou-se que apesar do material não ter ficado esfarelento, a embalagem acabou grudando tanto no papel alumínio que impossibilitou sua retirada, a e ficou com um aspecto grudento.

5.9 Nono teste

Os parâmetros utilizados neste teste, foram as mesmas proporções dos dados da embalagem do oitavo teste.

Como a mistura dos materiais foram feitas um pouco diferente das outras anteriores, nesta o amido de mandioca foi dissolvido na água e logo após foi misturado com o bambu e a lignina. A pré-prensagem foi feita do mesmo modo, 2 toneladas e para à prensagem a quente, sem a utilização de limitador, onde os valores foram de 60°C e 180Bar que decaiu até aos 100Bar (Figura 28).

Figura 28 – Embalagem teste 9



Fonte: Próprio autor

Foram colocadas três folhas de papel alumínio em cada face, não houve adesão, não sendo fácil desenformar. Porém, a mistura ficou muito líquida e as bordas não secaram suficientemente.

5.10 Décimo teste

Como os dados dos materiais utilizados foram na mesma quantidade do teste anterior (Figura 29).

Figura 29 – Embalagem teste 10



Fonte: Próprio autor

Com as três folhas de papel alumínio em cada face, sem a utilização do limitador, não grudou e foi fácil desenformar, mas não saiu tudo no primeiro momento, continuou se com as bordas úmidas. Essa embalagem foi o melhor aspecto encontrado.

5.11 Resistência a umidade 2 horas

No processo 1, os corpos de prova se comportaram conforme mostram as Figuras 30 e 31.

Figura 30 – Recipiente processo 1 - até 1 hora

(a) 15 minutos



(b) 30 minutos



(c) 45 minutos



(d) 1 hora



Fonte: Próprio autor

Figura 31 – Recipiente processo 1 - 1h15min - 2 horas

(a) 1 hora e 15 minutos



(b) 1 hora e 30 minutos



(c) 1 hora e 45 minutos



(d) 2 horas



Fonte: Próprio autor

As embalagens do processo 1 com 15 minutos estavam em aspecto amolecido e começaram a se esfarelar, e com 1h15min já estavam quase 100% dissolvidos na água. Por conta do papel alumínio que não foi possível remover, e estava atrás nos corpos de prova acabaram apresentando uma maior resistência às embalagens. Com 2h já os corpos de prova tudo esfarelados e dissolvidos em água.

Para o processo 2 foi feito o mesmo aspecto dos corpos de provas, que resultou nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 – Recipiente processo 2 - até 1 hora

(a) 15 minutos



(b) 30 minutos



(c) 45 minutos



(d) 1 hora



Fonte: Próprio autor

Figura 33 – Recipiente processo 2 - 1h15min - 2 horas

(a) 1 hora e 15 minutos



(b) 1 hora e 30 minutos



(c) 1 hora e 45 minutos



(d) 2 horas



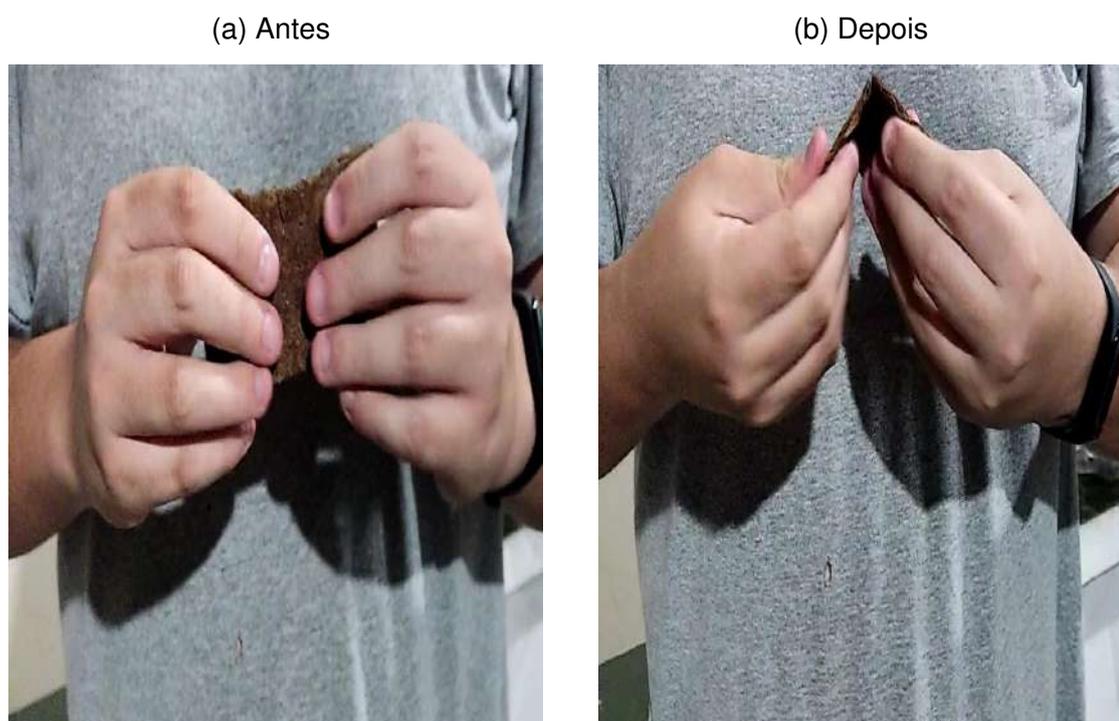
Fonte: Próprio autor

Nos filmes para as embalagens do processo 2, inicialmente começaram intactas, porém com 45 minutos os corpos de prova do nono teste começaram a quebrar e esfarelar com um aspecto esponjoso, e com o passar dos minutos isso foi se intensificando e eles foram se dissolvendo na água. Por outro lado o corpo de prova do décimo teste resistiu mais e começou a se esfarelar com 1 hora e 45 minutos.

5.12 Resistência ao rasgo

Primeiro foi feito o teste nas embalagens do processo 1, sendo das dimensões de 70mm x 50mm. Os corpos de prova foram testados manualmente e se comparou qual resistiu mais ao rasgo, conforme a Figura 34.

Figura 34 – Teste de rasgo/resistência do filme da embalagem - processo 1



Fonte: Próprio autor

Os cinco traços foram testados, e empiricamente, observou-se que o corpo de prova sem lignina foi mais fácil de se rasgar dentre os corpos de prova que possuíam lignina, houve pouca diferença quando se elevava as quantidades de pó de lignina, sendo, portanto, quase imperceptível detectar qual deles foi mais frágil ao rasgar.

No segundo teste foram feitos os corpos de prova em duas dimensões para se observar se haveria diferença na percepção da rigidez (Figura 35).

Figura 35 – Teste de rasgo/resistência do filme da embalagem - processo 2

(a) Antes



(b) Depois



Fonte: Próprio autor

Neste teste, comparando o nono e décimo teste de traço, a diferença foi perceptível entre eles, sendo o nono teste facilmente rompido. O nono teste justifica-se que talvez por conta da possível má mistura dos materiais, enquanto o décimo teste os dois corpos de prova ficaram bem rígidos, necessitando de mais força para o rasgo.

6 Conclusão

O pó de bambu e amido indicam um caminho na viabilidade para serem usados em uma composição destinada à fabricação de embalagens. Em consequência, nessa abordagem pode-se concluir que a utilização de um aglutinante de baixo custo e atóxico junto a esses materiais é promissora, após a realização de estudos de traços, composição, temperatura e pressão.

Dos dois tipos de filmes produzidos para embalagens, o mais viável economicamente é o feito com goma por não necessitar o uso de uma prensa térmica, porém, durante a secagem natural, eela acabou aparecendo mofos indicando a necessidade de uma secagem mais controlada e ou a adição de um aditivo antimofa. Por outro lado, em relação aos testes de resistência à umidade, para os filmes produzidos pelo processo 2, prensados à quente, pode-se concluir que resistem consideravelmente mais que os filmes secos ao ar livre.

Em relação aos testes de resistência, conclui-se que os traços que receberam pó de lignina na composição apresentaram resistência maior que os demais traços estudados.

Conclui-se de modo geral que os materiais adotados neste experimento são promissores e podem ter diferentes aplicações e, dependendo do traço adotado proporcionar níveis distintos de resistência e durabilidade ao compósito. No entanto, há necessidade de muitos estudos para se encontrar um traço ideal para embalagens biodegradáveis usando as matérias primas utilizadas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo**: apresentação março de 2021: retrospecto de 2020 e perspectivas para o ano de 2021. 2020. Disponível em: <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/>. Acesso em: 22 de mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM-ISO 2759**: cartão: determinação da resistência ao arrebentamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 13 p.

BORGES, Leonardo. **Como a poluição por plástico ameaça a vida na Terra**. Autos-sustentavel, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2018/06/poluicao-plastico-mares-limpos.html>. Acesso em: 22 de mai. 2022.

BOSCO, Tatiane Cristina Dal. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos**: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, p. 266, 2017. Disponível em: https://www.blucher.com.br/compostagem-e-vermicompostagem-de-residuos-solidos_9788580392371. Acesso em: 16 fev. 2023.

BRAND, Martha Andreia *et al.* Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima. **Revista Árvore**, [S.l.], v. 28, n. 4, p. 553–562, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000400009>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BUZO, Ana Laura Soler Cunha. **Painéis aglomerados produzidos com partículas de pinus e bagaço de cana empregando-se ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona**. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/157188>. Acesso em: 11 abr. 2023.

CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, Antonia Marli dos; NETO, Salvador Claro. Biodegradação: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 22, p. 17–21, 2005. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001529159>. Acesso em: 21 ago. 2023.

DAGOSTIN, Nathanael. **Propriedades físicas e mecânicas do material composto de colmos de bambu *Phyllostachys aurea* revestido com embalagens reutilizadas de garrafas PET**. 2015. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10959>. Acesso em: 16 ago. 2023.

DELGADO, Patrícia Santos. **O bambu como material eco-eficiente**: caracterização e estudos exploratórios de aplicações. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/2801>. Acesso em: 05 jun. 2023.

ECYCLE. **Embalagens biodegradáveis: benefícios e tipos**. 2018. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/embalagens-biodegradaveis/>. Acesso em: 13 mai 2023.

ESPELHO, Jean CC; BERALDO, Antonio L. Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 645–652, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600012>. Acesso em: 08 jul. 2023.

EURECICLO. **Entenda o que são embalagens biodegradáveis e confira opções para o seu negócio**. 2019. Disponível em: <https://blog.eureciclo.com.br/embalagens-biodegradaveis/>. Acesso em: 24 mai. 2023.

FRIEDRICHSEN, Jéssica Souza Alves *et al.* O uso de amido como proposta para embalagens biodegradáveis - uma revisão. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 11, n. 14, p. 1–7, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36449>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GODINHO, Grace Kelly da Silva *et al.* **Desenvolvimento de embalagem biodegradável à base de PLA e casca de cenoura**. 2021. 58 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/6521>. Acesso em: 23 set. 2023.

HEMMILÄ, Venla; TRISCHLER, Johann; SANDBERG, Dick. Lignin: an adhesive raw material of the future or waste of research energy? *In: PROCEEDINGS OF THE 9TH MEETING OF THE NORTHERN EUROPEAN NETWORK FOR WOOD (WSE)*, Hannover, Germany, September 11-12, p. 98–103, 2013. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1004499&dswid=3189>. Acesso em: 23 mai. 2023.

KOREN, Gijsbert. **New bamboo product for the global market, An Analysis and Exploration of Opportunities**. 2010. 1-99 p. Thesis (Master of Science Integrated Product Design) — Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2010. Disponível em: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:8cd0e8da-cf7b-41df-82c8-2c70eaccd68a?collection=education>. Acesso em: 25 jun. 2023.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; OSTAPIV, Fabiano (org.). **Bambu: Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Florianópolis: Grupo de Pesquisa Virtuhab/UFSC, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197060>. Acesso em: 21 mai. 2023.

LONDOÑO, Ximena. Evaluation of bamboo resources in latin america. *In: KUMAR, Ramanuja Rao; CHERLA, Sastry. Bamboo for sustainable development: proceedings of the Vth International Bamboo Congress and the Vith International Bamboo Workshop*, San José, Costa Rica, 2-6 November 1998. [S.l.]: Brill, 2021. *E-book*. p. 49-78. (In-bar proceedings, v. 7). Disponível em: https://brill.com/display/book/9789004473911/B9789004473911_s008.xml. Acesso em: 30 mar. 2023.

LOPES, Alessandra Andrade. **Produção e caracterização de filmes de poli (ácido láctico) e lignina para embalagens de alimentos**. 2022. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/256052>. Acesso em: 30 jun. 2023.

LOPES, Marina Stygar *et al.* Hidrólise ácida para produção de nano lignina em pó, **Biofix Scientific Journal**. [S.l.], v. 3, n. 1, p. 41–47, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.56180>. Acesso em: 16 jun. 2023.

LOPES, Thamirys Andrade *et al.* Nanopartículas de lignina e seus efeitos nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído para colagem de madeira. In: GONÇALVES, Fabricio Gomes (org.). **Engenharia Industrial Madeireira: Tecnologia, Pesquisa e Tendências**, Brasil. Guarujá: Editora Científica, 2020. Cap. 15. p. 218–242. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/201102049>. Acesso em: 02 jul. 2023.

LUDWIG, Raquel Lúcia *et al.* **Qualidade da madeira de Pinus patula schldtl. & cham para produção de celulose**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/196126>. Acesso em: 15 ago. 2023.

LUIS, Zanderluce Gomes *et al.* Caracterização anatômica dos órgãos vegetativos de bambu (*Poaceae, Bambusoideae*). In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. (Org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**, Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, p. 42–59, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170601/1/26392-44-61.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

MACHADO, Bruna Aparecida Souza *et al.* Tendências tecnológicas de embalagens biodegradáveis através da prospecção em documentos de patentes. **Cadernos de Prospecção**, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 132–140, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v5i3.11531>. Acesso em: 13 mai. 2023.

MAGALHÃES, Mateus Alves de *et al.* Adição de lignina kraft à resina fenólica para a fabricação de compensados. **Revista Ciência da Madeira - Rcm**, [S.l.], v. 10, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v10n2p142-149>. Acesso em: 23 out. 2023.

MARINHO, Nelson Potenciano. **Características das fibras do bambu (*dendrocalamus giganteus*) e potencial de aplicação em painéis de fibra de média densidade (mdf)**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/369>. Acesso em: 08 mai. 2023.

MENDES, Serliete de Carvalho *et al.* Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, [S.l.], v. 34, p. 991–999, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000600004>. Acesso em: 10 jul. 2023.

NOGUEIRA, Cláudia de Lima. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 2008. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001662524>. Acesso em: 26 mai. 2023.

ORLANDINI, Luana Ribeiro. **Caracterização termomecânica de adesivos com lignina**. 2016. 74 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrrj-pem_upl/THESIS/1804/pemufrrj2016mscluanaribeiroorlandini_20160613121929504.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

PIZZI, Antonio; MITTAL, Kashmiri L (ed.). **Handbook of adhesive technology**. 2nd. ed. Boca Raton: CRC press, 2003. *E-book*. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9780203912225/handbook-adhesive-technology-revised-expanded-antonio-pizzi-kashmiri-mittal>. Acesso em: 21 mar. 2023.

RANGEL, Alexander Rodrigues. **Contextualização dos Polímeros no ensino de Química numa perspectiva de sustentabilidade ambiental para o aproveitamento dos resíduos de bananeiras**. 2019. 57 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, - Campus de Viçosa. Viçosa, 2019. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/27801>. Acesso em: 22 set. 2023.

RAY, Suprakas Sinha; BOUSMINA, Mosto. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: *In*: greening the 21st century materials world. **Progress in materials science**, [S.l.], v. 50, n. 8, p. 962–1079, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2005.05.002>. Acesso em: 24 abr. 2023.

RAZERA, Dalton Luiz. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2006/t199_0242-D.pdf. Acesso em: 23 set. 2023.

RIBAS, Rodrigo Pinheiro. **Bambu: planta de grande potencial no desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/bambu-desenvolvimento-sustentavel.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

RUGGERO, Federica; GORI, Riccardo; LUBELLO, Claudio. Methodologies to assess biodegradation of bioplastics during aerobic composting and anaerobic digestion: A review. **Waste Management & Research**, [S.l.], v. 37, n. 10, p. 959–975, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X19854127>. Acesso em: 19 set. 2023.

SANTOS, Larissa Carvalho. **Síntese e caracterização de adesivos lignina-fenol-formaldeído para madeira e derivados**. 2016. 43 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/11565>. Acesso em: 19 abr. 2023.

SCUADRA. **Embalagem de papel ou isopor? qual a melhor solução de embalagem para alimentos**. 2019. Disponível em: <https://www.scuadra.com.br/blog/embalagem-de-papel-ou-isopor-qual-a-melhorsolucao-de-embalagem-para-alimentos/>. Acesso em: 22 de mai. 2022.

SCUADRA. **Saiba porque utilizar a embalagem cartonada personalizada para comida delivery**. 2021. Disponível em: <https://www.scuadra.com.br/blog/saibaporque-utilizar-a-embalagem-cartonada-para-comida-delivery/>. Acesso em: 22 de mai. 2022.

SILVA, Bruno Couto da *et al.* Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de pinus oocarpa e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, [S.l.], v. 19, n. 4, p. 511–519, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2012.057>. Acesso em: 01 abr. 2023.

SOUZA, Andressa Martinelli de. **Os diversos usos do bambu na construção civil**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6323>. Acesso em: 12 mar. 2023.

VASCONCELOS, Lopes. Planeta plástico. **Revista FAPESP**, São Paulo, ed. 281, p. 1, 29 jun. 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>. Acesso em: 22 dez. 2022.

VEIGA-SANTOS, P *et al.* Microstructure and color of starch–gum films: Effect of gum deacetylation and additives. part 2. **Food Hydrocolloids**, [S.l.], v. 19, n. 6, f. 1064–1073, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.02.007>. Acesso em: 09 mai. 2023.

WILCZAK, Luana. **Avaliação do comportamento mecânico do adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado na produção de painéis compensados**. 2014. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8421>. Acesso em: 02 ago. 2023.