

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

DAVI NOGUEIRA DA SILVA

**BIOCOMPÓSITO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRAS
DE JUTA DA AMAZONIA: MELHORAMENTO E ESTUDO DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS**

**MANAUS
2022**

DAVI NOGUEIRA DA SILVA

**BIOCOMPÓSITO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRAS
DE JUTA DA AMAZONIA: MELHORAMENTO E ESTUDO DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Tese apresentada ao Programa
Multi-Institucional de Pós-graduação em
Biotecnologia da Universidade Federal do
Amazonas – UFAM, como requisito para
obtenção do título de Doutor em
Biotecnologia

Orientador: Rogério Eiji Hanada

**MANAUS
2022**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586b Silva, Davi Nogueira da
Biocompósito de polipropileno reforçado com fibras de juta da
Amazônia: melhoramento e estudo das propriedades mecânicas /
Davi Nogueira da Silva . 2022
153 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Rogério Eiji Hanada
Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Biocompósito. 2. Juta. 3. Polipropileno. 4. Biotecnologia. 5.
Compósito. I. Hanada, Rogério Eiji. II. Universidade Federal do
Amazonas III. Título

DAVI NOGUEIRA DA SILVA

**BIOCOMPÓSITO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRAS
DE JUTA DA AMAZONIA: MELHORAMENTO E ESTUDO DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Tese apresentada ao Programa
Multi-Institucional de Pós-graduação em
Biotecnologia da Universidade Federal do
Amazonas – UFAM, como requisito para
obtenção do título de Doutor em
Biotecnologia

Aprovada em: 22/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Eiji Hanada (Orientador)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Prof. Dr. Dimas José Lasmar
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Prof. Dr. Manoel Henrique Reis Nascimento
Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)

Prof. Dr. Raimundo Kennedy Vieira
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Profa. Dra. Adalena Kennedy Vieira
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

DEDICATÓRIA

Em especial a minha esposa Rayónice e ao meu filho Davi, que são a minha família. E como eu sempre digo: “família é para sempre”. Dedico a minha mãezinha que sempre prezou pela educação e conhecimento. Um exemplo de mulher que criou sozinha dez filhos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao supremo criador, o rei da eternidade – Jeová Deus. Por conceber a mim e a minha família a benção da saúde.

Agradeço a minha família que sempre esteve ao meu lado, que souberam entender os muitos dias que precisei ficar ausente ou até um pouco mais tarde.

Agradeço ao meu filho Davi, que sempre me puxava para brincar com ele. Hoje tenho absoluta certeza que foi muito bom largar um pouco a pesquisa para brincar de carrinho ou de boneco, pelo menos por uns 30 minutos. Filho, eu te amo!

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Rogério Hanada, um zeloso pesquisador e um grande homem. Fala pouco mas diz muito.

Não esquecerei dos meus professores do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia – PPGBIOTEC UFAM, que fazem e estão fazendo a diferença em nosso Amazonas.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES que disponibilizou minha bolsa de estudo.

Agradeço a Universidade Federal do Amazonas, a Universidade Estadual do Amazonas, a empresa INNOVA e a empresa Tutiplast.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta tese.

EPÍGRAFE

Quem se comportar como menor entre todos vós é o que é grande.” (Luc. 9:46-48). O Soberano Senhor Jeová abriu o meu ouvido, e eu não fui rebelde, não me virei para a direção oposta (Isaías 50:5)

RESUMO PORTUGUÊS

A juta (*Corchorus* sp.), originária da Índia, se desenvolve extraordinariamente nas várzeas do Amazonas e produz uma fibra indispensável no mercado. Assim, este trabalho tem por objetivo desenvolver biocompósitos de polipropileno reforçados com 1%, 5% e 10% de fibras de juta da Amazônia, a partir do processo de extrusão e injeção plástica. Para melhorar a adesão entre a matriz e a carga de reforço, foi realizado o tratamento químico da mercerização nas fibras e posteriormente misturados em um extrusora. Os biocompósitos foram desenvolvidos pelo processo de injeção plástica. Os ensaios de tração, impacto, umidade, absorção de água, inchamento e cinzas, evidenciaram que existe diferença significativa entre os biocompósitos e o polipropileno. Além disso, a carga de 1% e 5% apresentaram nível de estabilidade comparado ao polipropileno. Os resultados comprovam que os biocompósitos de juta melhoram algumas propriedades mecânicas e estabilizam outras. Esses resultados devem proporcionar um novo campo para o desenvolvimento da Juta da Amazônia.

Palavras chaves: Juta, biocompósito, polipropileno, injeção plástica, extrusão plástica.

RESUMO INGLÊS

Jute (*Corchorus* sp.), originally from India, grows extraordinarily in the floodplains of the Amazon and produces an indispensable fiber in the market. Thus, this work aims to develop polypropylene biocomposites reinforced with 1%, 5% and 10% of jute fibers from the Amazon, from the process of extrusion and plastic injection. To improve the adhesion between the matrix and the reinforcing filler, chemical treatment of mercerization was carried out on the fibers and later mixed in an extruder. The biocomposites were developed by the plastic injection process. The tensile, impact, humidity, water absorption, swelling and ash tests showed that there is a significant difference between biocomposites and polypropylene. In addition, the 1% and 5% fillers showed a level of stability compared to polypropylene. The results prove that jute biocomposites improve some mechanical properties and stabilize others. These results should provide a new field for the development of Jute from the Amazon.

Keywords: Jute, biocomposite, polypropylene, plastic injection, plastic extrusion.

RESUMO ESPANHOL

El yute (*Corchorus* sp.), originario de la India, crece extraordinariamente en las llanuras aluviales del Amazonas y produce una fibra indispensable en el mercado. Así, este trabajo tiene como objetivo desarrollar biocompuestos de polipropileno reforzado con 1%, 5% y 10% de fibras de yute de la Amazonía, provenientes del proceso de extrusión e inyección de plástico. Para mejorar la adherencia entre la matriz y el relleno de refuerzo, se realizó un tratamiento químico de mercerización a las fibras y posteriormente se mezcló en una extrusora. Los biocompositos fueron desarrollados por el proceso de inyección de plástico. Las pruebas de tracción, impacto, humedad, absorción de agua, hinchamiento y cenizas mostraron que existe una diferencia significativa entre los biocompositos y el polipropileno. Además, los rellenos al 1% y al 5% mostraron un nivel de estabilidad en comparación con el polipropileno. Los resultados prueban que los biocompuestos de yute mejoran algunas propiedades mecánicas y estabilizan otras. Estos resultados deberían brindar un nuevo campo para el desarrollo del yute amazónico.

Palabras clave: Yute, biocompuesto, polipropileno, inyección de plástico, extrusión de plástico.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1	Estrutura química das fibras.....	21
Figura 2	Composição da celulose.....	22
Figura 3	Desenho esquemático da fibra natural.....	24
Figura 4	Aplicação das fibras naturais no setor automotivo.....	26
Figura 5	Ramo de café circundando o Brasão do Brasil.....	30
Figura 6	Estudantes japoneses do Instituto de Estudos Agrícolas.....	32
Figura 7	Livro distribuído na época para auxiliar os agricultores.....	34
Figura 8	Material distribuído na época relacionado a sementes de juta.....	37
Figura 9	Plantação de juta.....	38
Figura 10	Ferramentas manuais usados na cadeia produtiva de juta.....	39
Figura 11	Maceração nos rios da Amazônia.....	40
Figura 12	Campo de juta na Índia.....	42
Figura 13	Polipropileno semicristalino.....	43
Figura 14	Objetos de polipropileno com pigmentos coloridos.....	44
Figura 15	Pigmentos para uso em polipropileno.....	45
Figura 16	Química do polipropileno.....	47
Figura 17	Símbolo de reciclagem do polipropileno.....	48
Figura 18	Giulio Natta e o químico alemão Karl Waldemar Ziegler.....	49
Figura 19	Produção mundial de polipropileno.....	50
Figura 20	Projeção de crescimento de polipropileno.....	51
Figura 21	Objetos domésticos feitos a base de polipropileno.....	52
Figura 22	Objetos farmacêuticos de polipropileno.....	52
Figura 23	Partes externas de carro fabricados com polipropileno.....	53
Figura 24	Partes internas de carro fabricados com polipropileno.....	53
Figura 25	Eletrodomésticos que recebem polipropileno.....	54
Figura 26	Painel lateral de carro reforçado com biocompósito.....	57
Figura 27	Barco de pequeno porte desenvolvido com biocompósito.....	58
Figura 28	Aplicação de biocompósito em aviões.....	59
Figura 29	Máquina de injeção plástica.....	62
Figura 30	Calçamento de uma máquina injetora.....	67
Figura 31	Reservatório da máquina injetora.....	70
Figura 32	Resistência elétrica de uma máquina injetora.....	72
Figura 33	Rosca de uma máquina injetora.....	75
Figura 34	Plantação de curauá.....	78
Figura 35	Exemplo de injetora BONMAQ.....	81
Figura 36	Máquina extrusora.....	84
Figura 37	Produção de peças por extrusão sopro.....	85
Figura 38	Máquina extrusora para filme.....	85
Figura 39	Rosca da máquina extrusora.....	86
Figura 40	Fibra de juta no estado <i>in natura</i>	88
Figura 41	Fibras de juta durante o processo de secagem.....	89
Figura 42	Teste preliminar.....	90
Figura 43	Secagem das fibras no forno.....	90
Figura 44	Mercerização das fibras de juta.....	91
Figura 45	Controle dimensional das fibras.....	92
Figura 46	Obtenção do PH 7.....	92
Figura 47	Teste de umidade.....	93
Figura 48	Teste teor de cinzas.....	94
Figura 49	Teste teor de cinzas, forno de mufla.....	94
Figura 50	Teste teor de cinzas, pesagem.....	94
Figura 51	Análise termogravimétrica.....	96
Figura 52	Extrusora utilizada.....	96
Figura 53	Processo de extrusão.....	97
Figura 54	Processo de extrusão mistura manual.....	98
Figura 55	Produção dos pellets dos biocompósitos.....	99
Figura 56	Pesagem dos pellets.....	100
Figura 57	Teste de fluidez.....	100
Figura 58	Teste de impacto.....	101
Figura 59	Corpo de prova para ensaio de tração.....	102
Figura 60	Corpo de prova para ensaio de absorção de água.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação das fibras.....	16
Tabela 2	Propriedades das fibras naturais.....	22
Tabela 3	Maiores países produtores de juta.....	24
Tabela 4	Países produtores de juta na América Latina.....	25
Tabela 5	Propriedades do polipropileno.....	43
Tabela 6	Tipos de polímeros e respectivas fibras naturais.....	57
Tabela 7	Dados da pesagem dos cadinhos para o teste de cinzas.....	94
Tabela 8	Quantidade de material utilizado no processo de extrusão.....	96
Tabela 9	Parâmetros operacionais utilizado na extrusora.....	97
Tabela 10	Dados referentes ao teor de umidade.....	108
Tabela 11	Análise estatística teste de umidade.....	108
Tabela 12	Valores comparativo entre <i>in natura</i> e mercerizada.....	109
Tabela 13	Análise estatística teste teor de cinza.....	111
Tabela 14	Valores do teste de tração.....	115
Tabela 15	Valores do teste de impacto.....	117
Tabela 16	Valores do teste de índice de fluidez.....	118
Tabela 17	Valores do teste estatístico – índice de fluidez.....	119
Tabela 18	Valores do teste de absorção de água.....	119
Tabela 19	Valores do teste de inchamento.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IAN	Instituto Agronômico do Norte.....	30
PIB	Produto Interno Bruto.....	30
IPEAN	Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte.....	32
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.....	33
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Fibras.....	19
2.2	Fibras vegetais.....	20
2.2.1	Características físicas e químicas das fibras vegetais.....	21
2.2.2	Aplicações das fibras naturais no segmento automotivo.....	25
2.3	Fibra de juta.....	27
2.4	História da juta.....	29
2.4.1	História da juta no Brasil.....	30
2.4.2	História da juta em Parintins – AM.....	32
2.4.3	Investimento e produção de sementes de juta brasileira.....	33
2.4.4	O desafio do armazenamento das sementes de juta.....	36
2.4.5	Aspecto agrônomo - realidade da cadeia produtiva da juta.....	37
2.4.6	O declínio da juta no Amazonas.....	40
2.5	Polipropileno – PP.....	43
2.5.1	Propriedades do polipropileno.....	45
2.5.2	Química do polipropileno.....	46
2.5.3	Reciclagem do polipropileno.....	47
2.5.4	Origem do polipropileno.....	49
2.5.5	Mercado de polipropileno.....	50
2.5.6	Aplicabilidade do polipropileno.....	51
2.6	Biocompósito.....	55
2.6.1	Vantagens do biocompósitos.....	55
2.6.2	Aplicações de biocompósito em diversos segmentos.....	57
2.6.3	Unidade matriz do biocompósito.....	59
2.7	Introdução ao processo de injeção plástica.....	61
2.8	Máquina injetora: características técnicas.....	62
2.8.1	Especificações técnicas nacionais e internacionais das máquinas injetoras.....	63
2.8.2	Características construtivas da máquina de injeção plástica.....	67
2.8.3	Unidade hidráulica da injetora plástica.....	68
2.8.4	Elementos do circuito hidráulico de uma máquina injetora.....	70
2.8.5	Unidade do sistema elétrico da máquina injetora.....	72
2.9	Processo de injeção plástica.....	74
2.10	Injeção plástica com a utilização de várias fibras naturais.....	77
2.11	Processo de extrusão.....	82
2.12	Máquina extrusora.....	86
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	87
3.1	Primeira etapa - tratamento químico e a caracterização.....	87
3.2	Segunda etapa - ensaios, produção e testes dos biocompósitos.....	96
3.3	Análise estatística.....	104
4	RESULTADOS.....	105
4.1	Caracterização da fibra de juta.....	105
4.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	107
4.3	Umidade da fibra de juta.....	108
4.4	Teor de cinzas da fibra de juta.....	110
4.5	Análise termogravimétrica.....	112
4.6	Homogeneização da fibra a matriz.....	115
4.7	Ensaio de tração.....	116
4.8	Teste de impacto.....	118
4.9	Teste índice de fluidez.....	119
4.10	Teste absorção de água.....	120
4.11	Teste de inchamento.....	123
5	CONCLUSÃO.....	125
6	REFERENCIAS.....	126

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do conceito de inovação sustentável aliado ao desenvolvimento de biocompósitos tem fomentado cada vez mais o interesse em novas tecnologias sociais, em novos produtos, processos e serviços (BARACHO 2015; COSTA BARROS 2017; RESENDE E MULINARI 2017).

A inovação em novos materiais deve proporcionar mudanças positiva e possibilitar a intensificação ecológica, pois segundo Lisetchi y Brancu (2014, p.9), o “objetivo é sempre aumentar o valor do produto, satisfazendo aos clientes e garantindo a sustentabilidade local”.

Na literatura científica existem inúmeras fibras naturais que já foram estudadas e outras em várias partes do mundo que precisam de um estudo científico para comprovar suas aplicabilidades em biocompósitos (DHALIWAL, 2019; MARINELLI 2008; VIJAY, 2020). Malgrado os estudos de aplicabilidade em outras áreas, surge a necessidade do desenvolvimento de mais pesquisas, pois segundo Mesquita et al. (2005), a Amazônia possui um grande potencial em fibras naturais, apresentando produtos de demanda no mercado regional, nacional e internacional, podendo representar uma importante fonte de renda para a região. Em Manaus, a pesquisa de Santos (2013) apresenta um estudo da viabilidade de produção e avaliação de painéis de fibra de curauá (*Ananás erectifolius*), onde os resultados obtidos apontam que os painéis apresentaram boas propriedades físico-mecânicos, estando de acordo com as normas brasileiras e mais uma opção de material alternativo para o setor da construção civil. Outra pesquisa parte de Cunha (2017) que desenvolveu compósitos poliméricos utilizando matriz resina poliuretana com fibra de malva para substituir matérias primas não renováveis e com aplicabilidade em diversos segmentos.

A assertiva é corroborada por Ramamoorthy et al. (2015), o qual afirmam que os biocompósitos têm aplicações comerciais na área industrial, automotiva, aeronáutica e de construção. Ainda com relação a isso, Bajpai (2015), declara que biocompósitos reforçados com fibras naturais estão encontrando ampla aceitação em várias aplicações em diversos segmentos.

Essas aplicações na área da engenharia e em outras áreas são incentivos reais para beneficiar e valorizar a juta da Amazônia, abrindo novos caminhos para a utilização dessa fibra natural em vários produtos. Isso de fato é importante porque “os

novos produtos devem primeiro se conectar com as necessidades de desenvolvimento econômico das comunidades locais para terem um impacto positivo, estimulando a sustentabilidade econômica dessas comunidades” (SINKOVICS et al. 2014, p.4).

Esse estímulo à sustentabilidade econômica das comunidades ganha mais força com a globalização e a abertura de novos mercados, fazendo com que a fibra natural tenha cada vez mais importância, uma vez que, é cada vez mais difícil um produto evoluir tecnologicamente com apenas um tipo de material em sua composição (SIGRIST et al., 2015).

Estas iniciativas são ainda mais positivas porque os biocompósitos segundo Allacker et al., (2014), tem a característica de passar pelo processo de reaproveitamento, voltando a ser utilizados novamente no processo. Ressalta-se que a consciência mundial sobre o meio ambiente aumentou nos últimos anos garantindo o desenvolvimento de novos materiais e consequentemente de novos produtos (SETYOWATI, 2014). Exemplifica-se essa transformação na dicotomia entre os metais e os polímeros, onde os polímeros substituíram os metais em diversas aplicações sendo um dos maiores avanços em materiais (SAHEB E JOG, 1999).

Por este motivo os avanços devem se concentrar em biocompósitos que possam ser sustentáveis e tenham características iguais ou superiores. Enfatizando essa utilização Ku, et al. (2011), declaram que os polímeros combinados com as fibras naturais são extremamente vantajosos por causa da sua decomposição, visto que os processos de decomposição de outros resíduos não são eficazes. Raghavendra (2013), menciona que o interesse em biocompósitos reforçados com fibras naturais está crescendo rapidamente tanto em termos de sua aplicabilidade e de investigação fundamental.

Esta pesquisa justifica-se pela alta demanda global de matéria prima proveniente de polímeros. A crescente preocupação mundial com a preservação do meio ambiente e a substituição de polímeros por matéria prima renovável, a saber, a substituição das fibras sintéticas por fibras naturais. Portanto, os compósitos a serem desenvolvidos durante a pesquisa surgem como alternativa para suprir essas expectativas do mercado. A segunda justificativa parte do contexto da aplicação da tecnologia social, visto que a Amazônia apresenta seu enorme potencial de matéria prima natural que pode ser utilizado em interação com as comunidades. A floresta

amazônica é o maior reservatório natural de diversidade vegetal do planeta. Neste contexto, quanto maior o conhecimento da dinâmica e riqueza biológica amazônica, mais eficiente será as ações de manejo, conservação e restauração deste bioma. Porém, o uso da juta da Amazônia e de outras fibras naturais é direcionado exclusivamente para a produção de sacarias, gerando uma dependência social dos ribeirinhos em relação aos mercados mais desenvolvidos do mundo. A busca pelo desenvolvimento da região amazônica exige soluções econômicas viáveis. Ou seja, a sustentabilidade das comunidades na Amazônia que trabalham com a juta não pode ficar restrita apenas a produção de sacos e embalagens. É justificável e urgente encontrar meios para agregar valor à nossa matéria-prima, criando novas oportunidades de saída para a juta da Amazônia, ampliando seu campo de utilização e criando novas perspectivas de mercado para as comunidades ribeirinhas.

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver biocompósitos de polipropileno reforçados com 1%, 5% e 10% de fibras de juta da Amazônia, na forma de pellets, a partir do processo de extrusão e injeção plástica.

Os objetivos específicos são:

- mensurar a proporção ideal do tratamento químico/mercerização;
- comparar os resultados entre a juta *in natura* e a mercerizada;
- produzir os biocompósitos no formato de pellets através do processo de extrusão e posteriormente o processo de injeção plástica;
- apresentar os resultados dos testes mecânicos dos biocompósitos reforçados com 1%, 5% e 10% de fibras de juta da Amazônia.

Esta pesquisa realiza um estudo das propriedades mecânicas em um novo biocompósito desenvolvido a base de fibras naturais da Amazônia (fibras de juta), nas porcentagens de 1%, 5% e 10%, em uma matriz de polímero, através do processo de extrusão e injeção plástica. A avaliação do desempenho mecânico de impacto, dureza e tração dos biocompósitos foram efetuados através de um estudo comparativo entre os resultados obtidos nos ensaios com os polímeros já utilizados nos dias de hoje. Dentro desse contexto, o polipropileno foi escolhido como matriz por se tratar de um polímero de uso mundial inclusive com indústria de fabricação em Manaus.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fibras

As fibras conforme Quirino (2010), são filamentos que fazem parte das madeiras e se caracterizam pelo comprimento e pelos diâmetros que geralmente variam de 1 µm a 25 µm dependendo do seu tipo. São constituídas de macromoléculas cristalinas ou amorfas (YOUNG, 1997). Atualmente a classificação geral das principais fibras está disposta conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Classificação das fibras

Tipo	Origem	Nome	Localização
Fibra natural	Linho	<i>Linum usitatissimum L</i>	Caule
Fibra natural	Malva,	<i>Urena lobata Linn</i>	Caule
Fibra natural	Juta,,	<i>Corchorus capsularis,</i>	Caule
Fibra natural	Bambu	<i>Bambusa Vulgares</i>	Caule
Fibra natural	Palha	<i>Palea</i>	Semente
Fibra natural	Algodão	<i>Gossypium L</i>	Semente
Fibra natural	Sisal	<i>Agave sisalana</i>	Folha
Fibra natural	Curauá	<i>Ananas erectifolius</i>	Folha
Fibra sintética	Viscose	<i>Raiom viscose</i>	Celulose
Fibra sintética	Polietileno	<i>Polietileno tereftalato,</i>	Químico
Fibra sintética	Nylon	<i>Poliamida</i>	Químico
Fibra sintética	Lycra	<i>Elastano</i>	Químico
Fibra animal	Seda	<i>Bombyx mori</i>	Secreção glandular
Fibra animal	Lã	<i>Ovis vignei</i>	Pele
Fibra mineral	Amianto	<i>amiantos</i>	Químico

Fonte: adaptado de Callister e Rethwisch (2013)

De acordo com Silva (1999) as fibras naturais se dividem em três: animais, minerais e vegetais. As fibras animais se originam principalmente de algumas espécies encontradas na natureza como o bicho da seda, entre outros. As fibras minerais são encontradas nos sedimentos de rochas e minérios, como a amianto, que foi largamente utilizada na indústria da construção civil.

Devido às suas características de suavidade e flexibilidade as fibras vegetais são as que encontram as melhores combinações e se tornaram aptas para aplicações como reforço em diversos tipos de matrizes para o preparo de compósitos (SANTOS, 2008).

2.2 Fibras vegetais

O emprego das fibras vegetais é crescente porque o estudo das fibras tem levado ao desenvolvimento de novos tipos de materiais com alto desempenho agregado (FARUK et al., 2012) e por serem renováveis (YING-CHEN et al., 2010).

Para Joshi et al. (2004), as fibras vegetais oferecem inúmeras vantagens ambientais além de auxiliar na redução da emissão de poluentes. Apesar disso reduzir o uso de fibras sintéticas e produzir produtos com manutenção de suas propriedades é ainda um grande desafio para os pesquisadores (LONDHE, 2013). Contribuindo com o assunto De Brito Diniz (2020, p.7), enfatiza que:

As fibras vegetais vêm sendo uma alternativa na busca de novos materiais; além disso, o alto preço das fibras sintéticas e a maior conscientização dos próprios consumidores, da necessidade de preservação do meio ambiente, têm contribuído para o desenvolvimento de novas pesquisas nesta área. Nas últimas décadas a utilização de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos substituindo as fibras sintéticas tem sido o foco de inúmeras pesquisas devido às novas exigências legislativas quanto ao uso e destino final das fibras sintéticas e resinas derivadas do petróleo.

As perspectivas para o uso de fibras vegetais são muito grandes em diversas áreas como na indústria têxtil, na indústria automobilística, na área de revestimento interno de automóveis, ônibus, caminhões e construção civil. Nos últimos anos o uso de fibras vegetais como curauá, coco, sisal, rami, bagaço de cana-de-açúcar, juta e abacaxi como reforço em materiais poliméricos teve um acelerado crescimento (ARAÚJO, 2003).

Por serem fonte de recurso natural renovável as fibras vegetais apresentam baixo custo, são biodegradáveis, recicláveis, não tóxicas e podem ser incineradas. Com relação a isso Monteiro et al (2011), destaca que ao utilizá-las como reforço em polímeros pode-se substituir as fibras sintéticas como amianto, kevlar, boro, carbono, nylon e vidro que apesar de possuírem boas características mecânicas, apresentam um custo elevado, são abrasivas aos equipamentos de processamento, possuem alta densidade, não são biodegradáveis, geram produtos com alto custo de reciclagem, além do comprometimento com a saúde humana que essas fibras podem apresentar.

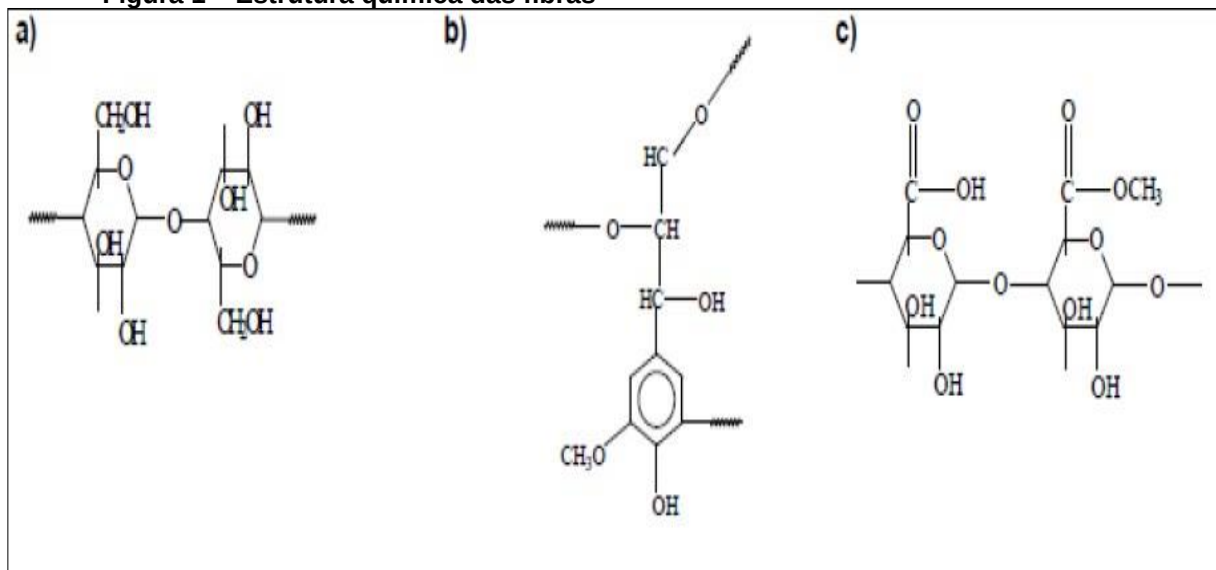
De acordo com Medina (1970) as fibras vegetais apresentam suas estruturas de comprimento alongado com secção transversal vazada e arredondada. Além disso podem estar distribuídas por o todo vegetal. Pode-se classificar as fibras vegetais como:

- fibras de talo caracterizadas por estão no floema que fica na entrecasca do talo, por exemplo, as fibras de rami, piaçava, linho, algodão e juta;
- fibras de folha que são extraídas das folhas dos vegetais. Pode-se citar as de abacaxi, sisal, palma, curauá e banana;
- fibras de lenho que são removidas do lenho como no caso as fibras de bagaço de cana-de-açúcar e bambu e;
- fibras de superfície que formam uma camada protetora de caules, folhas, frutos e sementes das plantas, como as fibras de coco, algodão e açaí.

2.2.1 Características físicas e químicas das fibras vegetais

As fibras vegetais são basicamente constituídas de lignina, celulose e hemicelulose, além de pequenas quantidades de sais inorgânicos, pectina, corantes naturais e substâncias nitrogenadas (SILVA, 2009). A Figura 1 representa de forma esquematizada as estruturas químicas da celulose, lignina e pectina.

Figura 1 – Estrutura química das fibras



Fonte: Silva (2009).

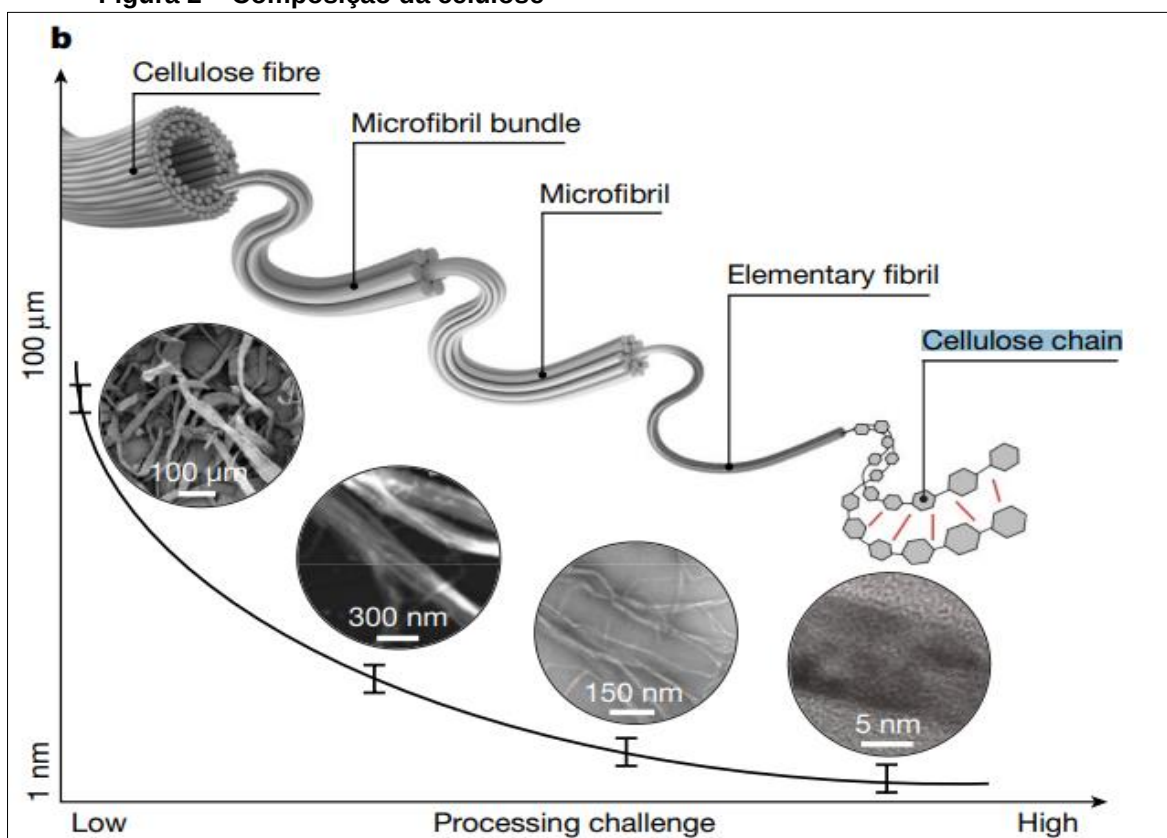
A celulose é um dos principais componentes das plantas e árvores sendo responsável pela resistência das fibras. Apresenta-se praticamente em todos os vegetais da flora terrestre, nas grandes florestas e em todos os continentes. Industrialmente a celulose há décadas é utilizada para a fabricação de papel.

Além disso “é o polímero natural mais abundante no planeta fornecendo um recurso natural sustentável” (WANG, 2017, p.2). Os estudos de Li et al., (2021, p.7) apresentam outras informações sobre a celulose:

A celulose pode ser decomposta em blocos, conhecidos como celulose fibrilada, de dimensões variáveis e controláveis que se estendem até a nanoescala. A celulose fibrilada é colhida de recursos renováveis, por isso o seu potencial de sustentabilidade aliado às suas outras propriedades funcionais (mecânicas, ópticas e térmicas) conferem um apelo tecnológico único.

A composição da celulose envolve as fibrilas de tamanhos decrescente até chegar à cadeia molecular. Por ser considerado em sua morfologia como um polímero linear cristalino unida por ligações glicosídicas apresenta propriedade de ser hidrofílico, absorvendo água em uma faixa de 8 a 12,6% de umidade. A Figura 2 apresenta uma visão geral da celulose.

Figura 2 – Composição da celulose



Fonte: adaptado de Li et al. (2021).

Devido ao seu alto grau de cristalinidade e polimerização a celulose normalmente apresenta maior estabilidade aos efeitos da degradação, seja ela química, térmica ou mecânica, quando comparada aos componentes não celulósicos conformadores das fibras (FRANZ e BLASCHECK, 1990).

A lignina é o segundo maior componente com até 35% de massa. É uma macromolécula formada por um sistema aromático reticulado com elevada massa molar, amorfo e com unidades de fenilpropano não cristalino.

Também é responsável pelo transporte de água, nutrientes e metabólitos, conferindo rigidez a planta e protegendo contra os ataques de agentes externos.

A lignina fornece resistência à compressão ao tecido celular e à fibra como um todo, enrijecendo a parede celular. A porcentagem de lignina presente nas fibras exerce influência direta na estrutura, propriedades, morfologia, flexibilidade e taxa de hidrólise.

Fibras que apresentam alto teor de lignina são de excelente qualidade mecânica e bastante flexível (FRANZ e BLASCHECK, 1990). Em relação as possibilidades da utilização na indústria, Chio (2019), declara que:

A lignina é o polímero aromático mais abundante da natureza. Devido à sua grande quantidade de armazenamento de compostos fenólicos, a lignina é considerada uma fonte alternativa para a produção de diversos polímeros e biomateriais e biocompósitos.

A hemicelulose é um polissacarídeo formado pela polimerização de vários açúcares. Geralmente atua como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina, não estando relacionada diretamente à resistência e dureza das fibras (FENGEL, WEGENER e WOOD, 1989).

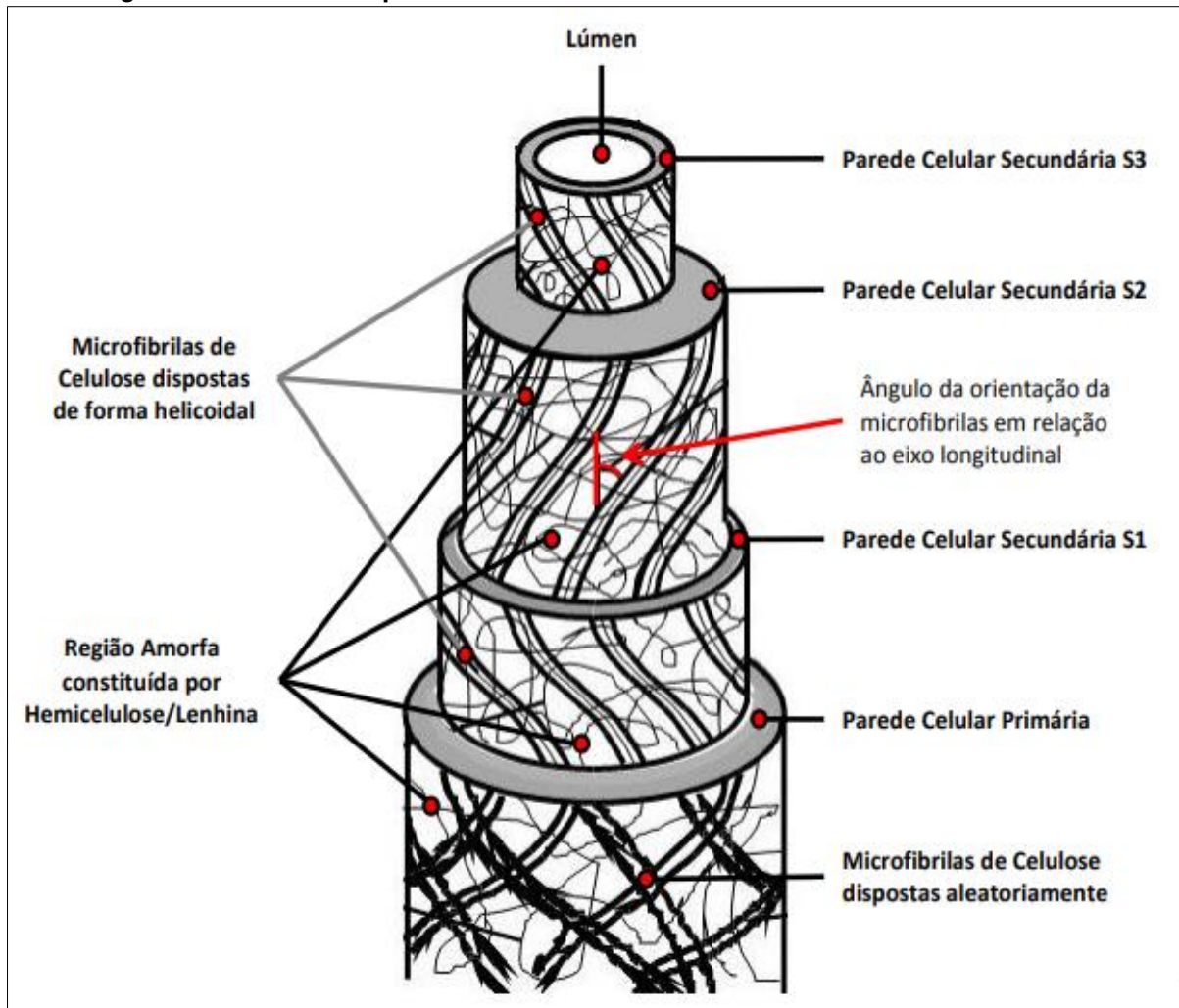
As hemiceluloses ocupam cerca de um terço da biomassa das plantas e a composição estrutural fina varia de acordo com as espécies de plantas e tecidos. Segundo SAHA (2003, p.2), as hemiceluloses são utilizadas em inúmeras indústrias e:

Sua abundância em matérias-primas lignocelulósicas não deve ser negligenciada, se a utilização deste recurso renovável para combustíveis e outras commodities químicas torna-se uma realidade.

Além dessas informações destaca-se que cada fibra-celular individual tem estrutura complexa formada por paredes celulares que circundam o lúmen. Essas paredes recebem denominações sucessivas da parte externa para interna: primária, secundária, e assim por diante. Para Junior et al (1997) são constituídas de camadas formadas por feixes de microfibrilas que crescem no vegetal em forma de espiral com diferentes orientações angulares.

De acordo com a Figura 3 as microfibrilas são compostas por micelas as quais são cristais de moléculas de celulose ordenadas paralelamente em diferentes estruturas alotrópicas (KLOCK et al., 2005).

Figura 3 – Desenho esquemático da fibra natural



Fonte: Adaptado de Rong (2001).

A Figura 3 apresenta os três principais componentes das fibras naturais reunidos, a celulose que estão conectadas pelas moléculas de hemicelulose e a lignina impregnada principalmente nas camadas próximas à superfície e que tem função de sustentação (MOHANTHY et al., 2000).

A composição química das fibras naturais varia dependendo do tipo de fibra. As propriedades de cada constituinte contribuem para as propriedades globais da fibra como a biodegradação, a absorção de humidade e degradação térmica da fibra (Saheb e Jog, 1999).

Conforme a Tabela 2 há um grande interesse na busca de fibras naturais que possam substituir as fibras sintéticas (DA SILVA, 2008).

Tabela 2 – Propriedades das fibras naturais			
Aspectos	Propriedades	Fibras naturais	Fibras sintéticas
Técnico	Propriedades mecânicas	Moderado	Alto
	Sensibilidade à umidade	Alto	Baixo
	Sensibilidade térmica	Alto	Baixo
Ambiental	Recurso	Infinito	Limitado
	Produção	Baixo	Alto
	Reciclagem	Boa	Moderado
Fonte: adaptado de Saravana (2010) e Sanjay (2016).			

Para Kalia et. al. (2011) as fibras naturais têm recebido grande interesse como material de reforço de polímeros por causa das propriedades mecânicas, despertando o interesse por exemplo da indústria automotiva. A lignina, a celulose e os outros agentes químicos presente nas fibras naturais são benéficos a tal ponto que Nam (2011), declara que as fibras naturais são consideradas os mais fortes candidatos para substituir as fibras de vidro convencionais devido ao baixo custo e por serem recursos renováveis e sua biodegradabilidade.

2.2.2 Aplicações das fibras naturais no segmento automotivo

A indústria automotiva vem incorporando há anos biocompósitos em diversas partes dos veículos. As fibras naturais são incorporadas como reforço com excelentes resultados. As fibras além de substituírem os materiais plásticos e não renováveis, agregam valor por serem mais leves e apresentar boas propriedades físico-mecânicas (SILVA, 2009).

Begum (2013) destaca quatro fatores fundamentais de ganho para a indústria automotiva:

- redução considerável de impacto ambiental na produção de biocompósito com fibra natural, em comparação com a atual produção de fibra de vidro;
- eficiência de combustível e emissão de taxa de poluentes cada vez menor. Carro mais leve, menos consumo;
- possibilidade do uso de créditos de carbono pela utilização correta de materiais renováveis;

- os biocompósitos são mais baratos e não exigem altas demandas de energia para o processo de produção, em comparação com a fibra de vidro e de carbono.

Conforme a Figura 4 embora as fibras naturais tenham se beneficiado da percepção de “que são amigos do ambiente, o que é mais importante é a sua capacidade de fornecer aumento de rigidez com menor custo e densidade do que fibras de vidro e cargas minerais” (RAJAK, 2019, p.3).

Figura 4 – Aplicação de fibras naturais no setor automotivo



Fonte: Adaptado de Ahmed et al. (2016) e Rajak, (2019).

É crescente o emprego das fibras naturais no setor automotivo sendo uma tendência crescente. Conforme Ramli (2012, p.5):

Alemanha declarou-se líder em o uso de compósitos de fibras naturais. Os fabricantes de automóveis alemães, Mercedes, BMW, Audi e Volkswagen apresenta compostos de fibra natural para aplicações internas e externas. O uso de composto de fibra natural, pode ser visto como uma evidência que a indústria precisa fazer qualquer iniciativa para as necessidades ambientais.

O desenvolvimento de veículos elétricos abre novas oportunidades para o uso das fibras. No Amazonas a fibra de juta apresenta-se como uma das melhores opções em termos de fibras naturais.

2.3 Fibra de juta

Dentre estas fibras naturais com potencial de aplicação a que merece maior destaque é a Juta, planta da família das Tiláceas (CABRAL, et al., 2005). Originário da Índia alcança um tamanho de 3 a 4 metros e o seu talo tem uma grossura de aproximadamente 20 mm. A fibra útil é contida entre a casca e o talo interno e a extração é feita pelo processo da maceração.

A alta temperatura das regiões nas quais é cultivada favorece a fermentação e desta forma consegue-se a maceração em oito a dez dias, permitindo assim a fácil retirada da casca da planta e separação da fibra da parte lenhosa do talo.

O comprimento das células elementares da juta é em média de 0,80 mm e o diâmetro varia de 0,01 a 0,03 mm, também possui rigidez por ser lignificadas. (ALVES, 2008).

Os números da última década destacam a juta como a segunda fibra vegetal mais consumida no mundo, perdendo apenas para o algodão (MORASSI, 1994). Valida-se esses dados quando se analisa os números da produção de juta. A produção mundial de juta foi da ordem de 3,1 milhões de toneladas em 2012 (último dado disponível), similar à obtida em 2011 (3,0 milhões de toneladas). Entretanto até o ano de 2010 tal volume girava em torno de 2,5 milhões.

Conforme demonstra à Tabela 3 durante as últimas décadas os países provenientes da Ásia e da China lideram a produção mundial. Bangladesh continua sendo o maior produtor com crescimento contínuo desde 2006, o que corresponde a 39% do total global.

Tabela 3 – Maiores países produtores de juta

Região	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2011/2012
Bangladesh	118.6	123.6	931	107.0	132.3
Índia	165.6	164.2	135.6	148.8	184.0
Myanmar	43.6	19.1	12.9	8.6	3.8
Nepal	17.1	16.8	17.0	17.7	15.0

Fonte: adaptado de FAO Statistic (2014).

O Brasil está estrategicamente desde o ano de 2005 como o quarto produtor mundial. Conforme a Tabela 4 a produção é de 14,2 mil toneladas.

Tabela 4 – Países produtores de juta na América Latina

Região	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2011/2012
Latin America	51.8	50.4	38.0	35.6	30.9
Brasil	26.0	25.7	13.4	14.9	14.2
Cuba	10.0	10.0	10.0	10.0	6.6
Other	15.8	14.8	14.6	10.7	10.1
África	13.1	11.2	11.3	13.3	12.4

Fonte: adaptado de FAO Statistic (2014).

Observa-se na Tabela 5 que a produção mundial ultrapassou 3 milhões de toneladas em 2017, sendo a região norte a protagonista.

Tabela 5 – Produção, área colhida e produtividade da juta no biênio 2016/2017

Região	Produção (t) 2016	Produção (t) 2017	Área colhida (ha) 2016	Área colhida (ha) 2017
Mundo	3.311.153	3.530.816	1.469.800	1.531.576
Ásia	3.301.802	3.521.690	1.463.874	1.525.728
África	8.694	8.611	5.479	5.500
Américas	657	515	447	348
Brasil	106	42	94	35

Fonte: adaptado de IBGE (2019).

Com relação ao Amazonas destaca-se que o desenvolvimento da juta sofreu historicamente positiva influência da imigração japonesa, através do desenvolvimento agrícola e com a introdução das lavouras de juta nas várzeas do rio Amazonas (HOMMA, 2005). A introdução do cultivo nas várzeas foi favorecida pelo clima úmido e equatorial que ajudou a produzir uma fibra de alta resistência que quando misturada a polímeros, pode dar origem a produtos com grandes aplicações (NETO, et al, 2007).

2.4 História da juta

A história da juta bem como das demais fibras naturais remetem ao início das grandes navegações. Na época da revolução industrial o interesse por matérias primas para a indústria têxtil crescia. Neste sentido as conquistas europeias envolveram também, segundo Crosby (2011) questões ecológicas, sendo comum os colonizadores se apropriarem dessas riquezas biológicas.

O interesse comercial levava os colonizadores a pesquisarem sobre novas espécies onde plantas e árvores exóticas eram identificadas, exportadas, aclimatadas e cultivadas em toda a Europa.

Essa dominação teve seu apogeu com o predomínio técnico e científico da “cultura do algodão e da juta. Essas duas plantas têxteis deram a eles a hegemonia do comércio mundial de tecidos e demais subprodutos.” (PACHLA, 2019, p.3).

A Índia já despontava como uma grande e próspera colônia de fibras naturais têxtil. Segundo os estudos de Da Silva Ferreira (2019) a companhia das Índias Orientais em 1792, enviou o especialista Dr. Roxburg para Calcutá, para examinar as propriedades da fibra que passou a chamar de “*jhot*”, de onde derivou o nome “juta”.

De acordo com Davis e Engerman (2006) o projeto napoleônico baseava-se na ideiação de dominar completamente as rotas interoceânicas e, por via de consequência, o domínio dos mercados continentais e suas ramificações. E foi com a ameaça feita por Napoleão de impedir que a Inglaterra importasse cânhamo da Rússia, a Companhia das Índias Orientais começou a comprar juta e a fornecê-la às fábricas de tecidos da Inglaterra (CRYSOSTOMO, 1957).

O comércio de fibras naturais estava criado e passou a ser de interesse político e econômico. A Europa vivia o dilema de não produzir a matéria-prima vital em seus próprios territórios continentais sendo dependente das importações oriundas de suas colônias (ANDRADE ARRUDA, 2016).

A Juta e todas as fibras naturais passaram a ser comercializadas e terem a sua importância dentro da economia em todos os continentes.

2.4.1 A história da juta no Brasil

A juta no Brasil tem raízes históricas que envolvem dois países: a Índia e o Japão. Não há como negar que antes do Brasil outros países já cultivavam a juta para diversas aplicações.

Conforme já relatado a Índia é considerada mundialmente como o berço da juta com relatos antigos que datam o cultivo e o uso da fibra desde as civilizações antigas (SOARES, 2020; LIMA, 2017; SILVA, 2019).

O Japão adquiriu a sua identidade a partir da imigração japonês com o assentamento de muitas famílias no Brasil e no interior do estado do Amazonas. (NISHIKIDO, 2019; UCHÔA, 2020; MUTO, 2021).

No Brasil a juta teve sua importância a partir da expansão do café. Durante o século XIX e XX, o Brasil se tornou um dos maiores produtores e exportadores de café do mundo.

Conforme a Figura 5 a cultura do café era tão predominante que até mesmo o Brasão da República Federativa do Brasil retrata uma cora formado por um ramo de café.

Figura 5 – Ramo de café circundando o Brasão do Brasil



Fonte: Governo Federal (2021).

Para atender a toda produção nacional de café necessitava-se de elevadas quantidades de sacos a base de fibra de juta com a finalidade de serem utilizados na armazenagem dos grãos. Com a falta de sacarias grandes remessas de sacos foram importadas da Índia (MAMIGONIAN, 1976).

Para conseguir frear o monopólio indiano de sacarias e consequentemente estabelecer uma produção nacional para redução de custos, surgiram as primeiras ideias de como fazer o plantio, a colheita e o beneficiamento da fibra de juta em terras brasileiras.

O apoio para isso veio através da Lei n. 678, de 13 de setembro de 1899, que organizou o serviço agrônomo no estado de São Paulo.

Segundo a lei, haveria ações para o apoio na aquisição de novas máquinas, ferramentas agrícolas, adubos e animais de raça reprodutores:

O serviço agronomico do Estado comprehende e tem por intuitos: O ensino profissional agrícola; A investigação e estudo das necessidades da agricultura em geral e das medidas mais convenientes ao seu desenvolvimento e progresso; O estudo completo de agrologia e climatologia do Estado, afim de classificar as diversas regiões agricolas conforme as condições especiaes de cada uma; O estudo dos actuaes systemas de cultura e criação de gado de modo a poder aconselhar os meios de obter o seu melhoramento e o estudo dos methods mais aperfeiçoados de piscicultura quer das costas, quer dos rios; O estudo das culturas novas adaptaveis ás condições agrologicas e climatologicas do Estado; A propagação dos principios agronomicos e dos conhecimentos praticos de agricultura em geral; O serviço florestal, comprehendendo a conservação, melhor aproveitamento e repovoamento das mattas e o serviço de repovoamento dos rios e aproveitamento das especies indigenas de peixe; O estudo das pragas e molestias que affectam as plantas e os animaes domesticos, bem como dos meios de combatel-as ou prevenil-as; A compilação e organização de estatisticas sobre agricultura em geral, bem como o estado das condições de produção e do consumo no Estado ou fóra delle, dos productos de exportação ou daquelles que possam vir a ter objecto do commercio exterior do Estado, para informação aos interessados; A informação aos interessados, mediante consulta, sobre o que possa ser util á agricultura em geral; A distribuição de sementes e plantas que convenha generalizar; O auxilio a que se refere o artigo antecedente consistirá no fornecimento pelo Estado das machinas, ferramentas agricolas, adubos e animaes de raça de reproductores necesarios. Além disso gosarão os campos particulares de preferencia para a aquisição, pelos preços que se ajustarem, das mudas e sementes e plantas uteis nellas produzidas destinadas ás distribuição aos lavradores.

A primeira tentativa de realizar o plantio da juta foi em São Paulo para produzir as sacarias. A ideia era que toda a cadeia produtiva fosse o mais próximo possível das fazendas de café.

Apesar de todos os esforços o clima do Sudeste não favoreceu a germinação e o crescimento da juta. Os cafeicultores precisavam encontrar em outro estado o padrão ideal de aclimatização e plantio da juta.

Nesse ínterim a partir de 1930, o município de Parintins interior do Amazonas iniciava o processo de exploração de recursos naturais e produção agrícola. Esse evento coincidiu com a chegada de algumas famílias japoneses, entre elas, Ryota Oyama (1882-1972), que entrou para a história da agricultura por iniciar o plantio da juta na Amazônia.

2.4.2 A história da Juta em Parintins - AM

A história da juta em Parintins inicia com a chegada dos imigrantes japoneses visando a agricultura. Com o declínio total da borracha e a pressão dos agricultores de café por sacarias, o Pará foi o primeiro estado a doar terras aos imigrantes japoneses. Posteriormente, o Amazonas, por intermédio do governador Efigênio Salles, aderiu ao projeto de colonização.

Em 1931 o Ministro da Agricultura do Japão, Tsaukusa Ujetsuka recebera de Getúlio Vargas a permissão para sediar no município de Parintins o Instituto de Estudos Agrícolas. Conforme Figura 6, Parintins recebeu os chamados *koutakusseis*, jovens estudantes de agronomia provenientes de famílias de classe média.

Figura 6 – Estudantes japoneses pertencentes ao Instituto de Estudos Agrícolas



Fonte: jornal Nippak (2021).

Foi possível alcançar a aclimação da cultura da Juta obtendo-se a primeira safra comercial já em 1937, estendendo-se ao longo das várzeas do rio Amazonas e seus afluentes (HOMMA, 2001).

A juta foi aclimatada por Ryota Oyama (1882-1972) que ocupou as várzeas nos Estados do Amazonas. Esta cultura atinge seu apogeu durante a década de 1960, quando mais de 34% do PIB do Estado do Amazonas era decorrente dessa atividade (HOMMA, 2012; MATOS, 1996).

O êxito comercial da lavoura da juta em Parintins teve um impulso com a II Guerra Mundial, que impossibilitou a importação de fibra de juta indiana, pela inexistência de transporte marítimo (FERREIRA, 2016). Segundo Saes (2008), os cafeicultores do sudeste do país não creditavam grande confiança no sucesso da jicultura nas várzeas amazônicas, em suprir a demanda de sacaria para os produtos agrícolas, sobretudo para a exportação de café.

Essa desconfiança foi reduzida quando souberam que as características de clima e geografia das terras de várzeas do Amazonas assemelhava-se com as bacias de plantio na Índia. Além disso os relatos da nova espécie de juta descoberta por Ryota Oyama já despertavam atenção. Os relatos de Pimentel (2018) descrevem que toda a cadeia de produção existente no tempo dos seringais foi rapidamente adaptada para atender o complexo da produção de fibra de juta.

Essa adaptação teve como resultado o início do primeiro processo de agro industrialização na Amazônia através do beneficiamento da fibra de juta e as primeiras instalações de fábricas de fiação e tecelagem em Castanhal, Belém, Santarém e Manaus (HOMMA, 2009; COELHO, 2015). A partir daquele momento foi-se necessário o investimento na pesquisa de novas sementes de juta, plantio, produção e armazenamento.

2.4.3 Investimento e produção de sementes de juta brasileira

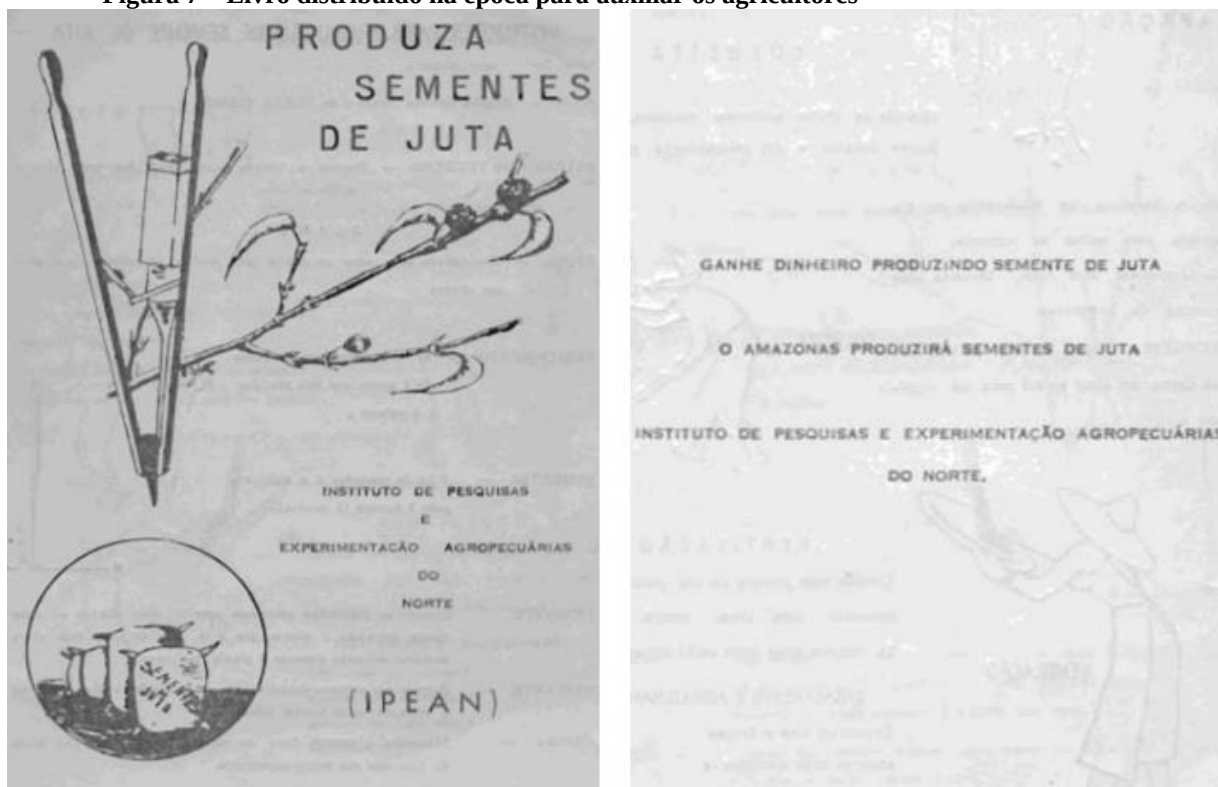
O desenvolvimento da juta na Amazônia precedeu a existência de sementes com características local em quantidade e qualidade para a garantia de uma safra rentável. Esse desafio se tornou um dos principais problemas dos produtores de juta,

após os resultados positivos das primeiras safras produzidas pelos agricultores japoneses.

Foi então que em 1939 foi criado pelo Decreto Lei nº 1.245/1939 o Instituto Agrônômico do Norte (IAN), com sede em Belém (Pará) e subordinado ao Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas do Ministério da Agricultura.

Conforme a Figura 7 um dos objetivos era auxiliar os produtores com a produção de sementes para o plantio de juta.

Figura 7 – Livro distribuído na época para auxiliar os agricultores



Fonte: IPEAN (2021).

Em meados de 1948, a Companhia Industrial Amazonense se tornou a mantenedora da difusão dos plantios de juta. De acordo com Monteiro (1973) após muitas pesquisas e experimentos, a adaptação e posteriormente a climatização, ocorreram mutações que deram origem a quatro cultivares brasileiras conhecidas como: branca ou Oyama, roxa, lisa e solimões bambu. Para Valois (1972), as características que diferem uma da outra são:

- branca ou Oyama: ramificada, caule verde e cápsulas rugosas;
- roxa: ramificada, caule arroxeadado e cápsulas rugosas;
- lisa: ramificada, caule verde e cápsulas pouco rugosas;

- solimões ou Bambu: não ramificada, caule verde e cápsulas rugosas.

Foi neste momento que Felisberto De Camargo (1948) então diretor do Instituto Agrônomo do Norte (IAN), apresentou o projeto para o soerguimento econômico do Vale Amazônico. Com relação a juta este projeto destacou a importância da juta no pós-guerra para a circulação de gêneros alimentícios no Brasil. Segundo os relatos da pesquisa De Camargo (1948) a ameaça de uma nova guerra mundial levaria a uma falta de juta no mercado nacional, podendo trazer sérias consequências para a exportação de café, cacau e cereais do Brasil.

O Decreto número 395 de 21 de dezembro de 1961 assinado pelo presidente Tancredo Neves, foi um auxílio adicional do governo federal ao realizar a distribuição gratuita e disciplinar a comercialização de sementes de juta:

Art. 1º O Ministério da Agricultura produzirá ou comprará sementes selecionadas de juta, para distribuição a preço de custo ou gratuitamente aos interessados na cultura desse produto na região amazônica. §1º A distribuição dessas sementes será feita aos agricultores pelos órgãos técnicos do Ministério da Agricultura, sediados na região Amazônica, diretamente, ou através das Secretarias da Agricultura dos Estados interessados, das Cooperativas e Associações Rurais.

De acordo com Futemma e Brondízio, (2003) o cultivo das primeiras sementes aconteceram em diversas colônias agrícolas como a de Alenquer e Monte Alegre, no estado do Pará.

Em meados de 1965 o Estado do Amazonas sofreu uma das maiores secas da história, afetando diretamente os produtores de juta que dependiam da vazante dos rios para o plantio. Então o Instituto Agrônomo do Norte (IAN) transformado em Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte (IPEAN), desenvolveu novos tipos de sementes de juta:

- semente de fundação: foi produzida em Alenquer no Pará, com melhoramento genético para garantir confiabilidade e pureza, sendo distribuída em larga escala;
- semente registrada: considerada um tipo de semente controlada, servindo para o desenvolvimento, aprimoramento e qualidade da juta;
- semente certificada: foi produzida para distribuição, atendendo ao plantio da variedade roxa, branca e lisa.

Descreve Libonati (1962) que vários estudos foram realizados para verificação da possibilidade de adaptação da juta no Maranhão. Municípios de Vitória do Mearim e

Arari foram colocados em evidência por sua cultura local ligada a agricultura. Além disso, aspectos geográficos, climáticos e geológicos foram pesquisados em busca de êxito.

Porém a introdução da cultura da juta no Maranhão não passou do modo experimental. Ao contrário do que aconteceu na Amazônia faltaram colonos que dominassem as técnicas de plantio, colheita e beneficiamento.

2.4.4 O desafio do armazenamento das sementes de juta

Devido à proximidade com a linha do Equador, o clima na região Amazônica é o equatorial. Esse tipo de clima é caracterizado por temperaturas e umidade elevada.

Essas características marcantes do clima influenciou a qualidade das sementes de juta armazenadas durante a década de 70 e 80 (JAIN e SAHA, 1971).

Conforme os estudos de Chapke et al., (2006) a tecnologia para armazenamento de sementes sempre foi precária. Até os dias atuais, muitos produtores ainda utilizam do conhecimento tradicional e de ferramentas manuais. Sem tecnologia avançada e sem o poder de mecanização, as sementes de juta eram acondicionadas em tambores regionais e em sacos plásticos.

Lotes de sementes foram descartadas pelo fato de não germinarem. Estudos conduzidos pelo Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte (IPEAN), demonstraram que essas perdas foram ocasionadas pelo excesso de umidade e o modo de armazenamento incorreto.

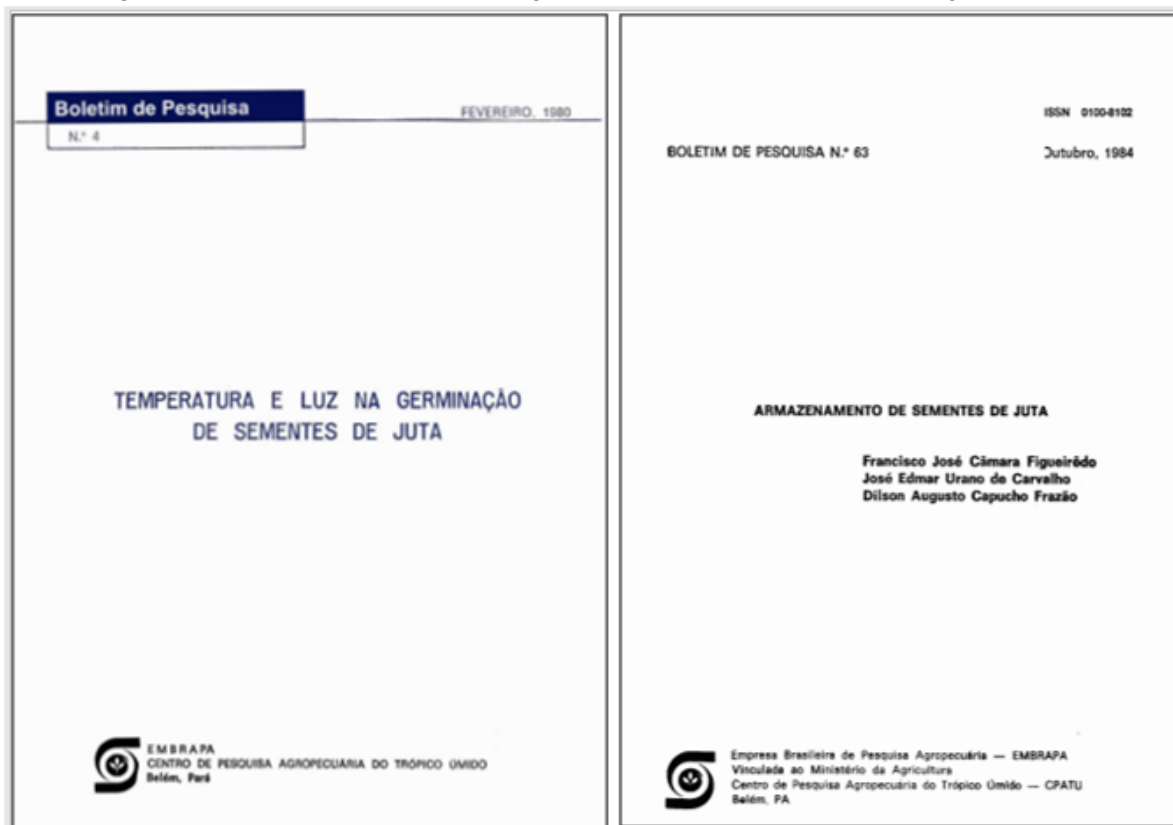
Os agricultores não detinham conhecimento sobre tempo correto de armazenagem nem informações sobre como estocar por longos períodos sem comprometer a qualidade das sementes.

Além disso, as formas de acondicionamento ocasionaram relativas perdas de lotes de sementes por ocasião da distribuição e da logística, realizada através de barcos e balsas, sempre muito distante e longas na Amazônia.

O intenso manuseio de carga e descarga, aliado aos desafios amazônicos de rios, estradas e vicinais em péssima condição de trafegabilidade, ocasionam a perda da qualidade das sementes.

Por causa disso conforme a Figura 8, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), publicou várias pesquisas mostrando que o armazenamento correto envolvia mais que a embalagem.

Figura 8 – Material distribuído na época relacionado a sementes de juta



Fonte: EMBRAPA (1984)

Novos conhecimentos foram gerados em auxílio aos produtores como o melhor período de armazenamento, o teor de umidade ideal, os tipos de embalagem segundo as características de cada semente e as condições do armazém. Essas informações auxiliou os agricultores no antes e pós armazenamento das sementes de juta.

2.4.5 Aspecto agrônômico - realidade da cadeia produtiva da juta

Conforme os estudos de WinklerPrins (2006) a realidade do Amazonas com a produção de juta é singular. Devido a adaptação em terras de várzeas os produtores de juta perceberam que o desafio não era apenas a questão genética de novas sementes, nem a forma de armazenamento e sim, toda a cadeia produtiva que envolve fibra.

Conforme a Figura 9 as etapas da cadeia produtiva dos produtores de juta eram basicamente a colheita, corte, maceração, lavagem, embalagem, estocagem e transporte.

Segundo Arce-Nazario, (2007) a colheita era realizada de forma manual, quando as plantas se encontravam no período de frutificação.

Figura 9 – plantação de juta

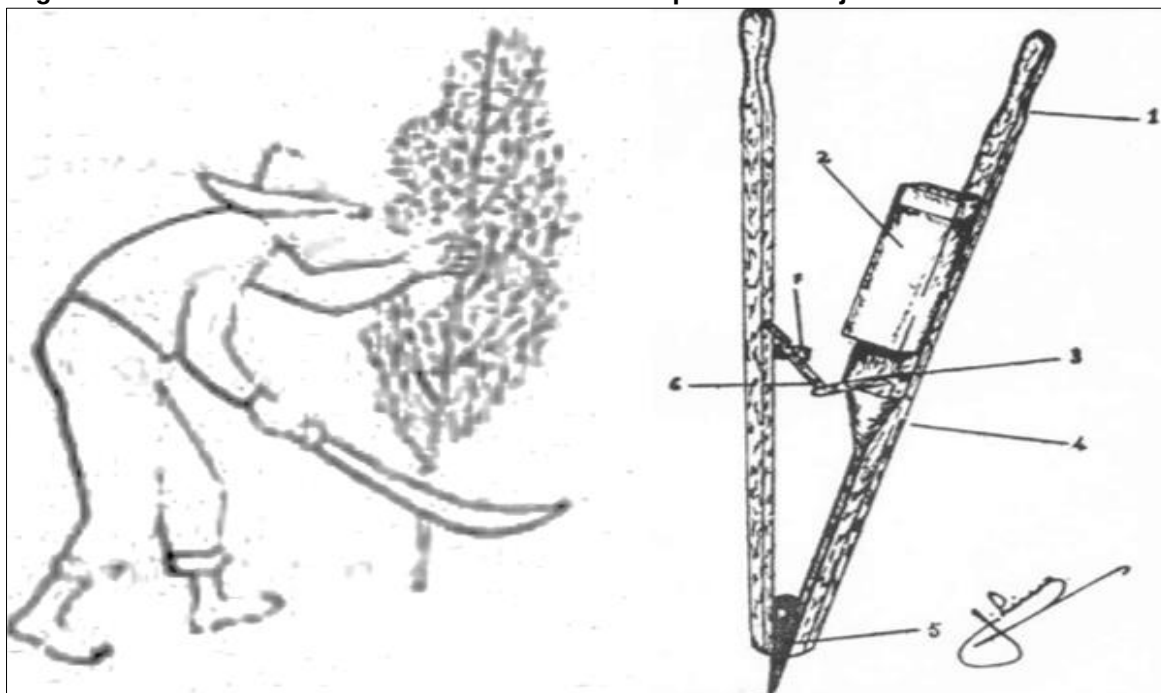


Fonte: EMBRAPA (1958).

Em um ritmo de trabalho pesado os agricultores usavam terçado e facão como ferramenta de corte. No entanto, quando esta etapa era realizada no rio de várzea, os agricultores usavam de foice.

Conforme a Figura 10 essas eram as únicas ferramentas disponíveis na época e nem todos os agricultores tinham acesso a elas. A utilização de terçado, facão e foice era de facilitar o corte sem danificar os talos da fibra, obtendo assim grande quantidade e com qualidade.

Figura 10 – Ferramentas manuais usados na cadeia produtiva de juta



Fonte: EMBRAPA (1958).

1. Braçadeira de madeira
2. Depósito de sementes
3. Válvula de saída das sementes
4. Cano de passagem das sementes
5. Bico perfurador e alargador dos buracos na terra
6. Acionamento da válvula de saída das sementes
7. Topo de madeira

Para o transporte das fibras era utilizado animais como boi, vaca, jumento e outros. Na ausência desses animais o carregamento era feito nos ombros, pelos próprios juticultores.

A lavagem das fibras era pelo processo de batimento, onde o juticultor ficava dentro do rio, batendo várias vezes a fibra contra a água. Isso facilitava a retirada de impurezas.

Conforme a Figura 11 na etapa de afogamento, as fibras ficavam submersas abaixo da superfície do rio por até 30 dias. Para isso contavam com o auxílio de paus e madeira nativa.

A secagem das fibras era realizada ao ar livre, aproveitando o sol típico da região amazônica.

Figura 11 – Maceração nos rios da Amazônia e extração das fibras das hastes



Fonte: EMBRAPA (1980).

Além de todo trabalho ser manual e realizado pelas próprias famílias, os agricultores estavam sempre desprotegidos com relação as enchentes. Em anos em que a enchente do rio foi além do esperado houveram perdas de safras consideráveis.

2.4.6 O declínio da Juta no Amazonas

O Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Norte (1966) destacou as ameaças que levaram ao declínio da juta no Amazonas, sendo de natureza técnica e econômica social:

De natureza técnica:

- necessidade de maior produção por área através do acréscimo da produtividade individual e determinação de melhor espaçamento;
- obtenção de fibra de melhor qualidade e diminuição do preço de custo, pela racionalização dos métodos de cultura e beneficiamento;
- obtenção de sementes selecionadas para distribuição;
- desenvolvimento de novas ferramentas manuais e automatizadas que facilitem o plantio e principalmente a colheita da juta.

De natureza econômica e social:

- melhoria nas condições de trabalho, saúde e vida, uma vez que o produtor vive isoladamente, em condições precárias, quase sempre sem a mínima assistência médico/hospitalar;
- aumento de lucro para o pequeno juticultor, que nas condições em que se praticava em nossa região, ainda apresenta um pequeno lucro;
- erradicação do analfabetismo por consequência da falta de escolas e professores;
- não há qualquer estímulo no sentido de que se aumente a produção e se melhore a qualidade das fibras.

A criação da Suframa em 1967, promoveu forte migração rural urbana do Estado do Amazonas com inchamento da cidade de Manaus, abandonando as atividades agrícolas das várzeas com consequente reflexo na queda da produção de fibra de juta.

A partir de 1971 a cultura da malva começou a crescer em todo o estado, sendo considerada uma fibra similar a juta. A colheita da Malva chegou a produzir quase o dobro da produção de juta nos anos de 1978 e 1979. (NASCIMENTO e HOMMA, 1984).

Nos meados de 1975 a Índia voltou a exportar fortemente a fibra para todo o mundo, incluindo o Brasil. De acordo com Pimentel e Martinez (2009) o declínio da juta foi acentuado no início dos anos 90, quando a liberação da economia no Brasil para mercados exteriores deixou economicamente mais atrativo importa-la da Índia. Desde a decadência da borracha até o início da Zona Franca de Manaus, a cultura da juta sustentou a economia da região. A juta durante o seu auge proporcionou ao Brasil à autossuficiência em fibra para sacaria.

Atualmente a indústria de polímeros e sintéticos detém o mercado mundial ao ofertar sacos e outros produtos com preços menores. Através da sua tecnologia e os incentivos dos governos, a indústria de polímeros comprime os outros produtos têxteis com lançamentos de sacos mais leves, resistentes, baratos e duráveis.

Conforme a Figura 12 a Índia tem investido no estudo do melhoramento genético, sendo o primeiro país do mundo a conseguir sementes de extrema pureza e germinação.

Figura 12 – Campo de juta na Índia



Fonte: International Natural Fiber Organization (2021).

Além disso o Paquistão desenvolveu técnicas de hibridação genética para a produção de sementes com maior potencialidade de adaptação e de produção.

2.5 Polipropileno

O polipropileno – PP é um dos polímeros mais versáteis sendo utilizado em diversos produtos. Muitos autores concordam que devido as suas atraentes propriedades mecânicas e químicas, tem se ramificado em diversos segmentos industriais (DOBRÁNSKY, 2021; LATIFI, 2021; MATIAS, 2020; RAJAEI, 2021; TIMSINA, 2019).

Entre os diversos tipos de plástico é o que possui a densidade mais baixa, excelente para os diversos tipos de conversão (FADZLY, 2019). O processo de conversão mais conhecido é o de injeção plástica, que incide em forçar o polipropileno através de uma matriz, injetando nas cavidades do molde (ALVARADO-INIESTA, 2019). Outra conversão muito utilizada está no processo de extrusão, onde o polipropileno passa através de um orifício, extrusado por meio de parafusos de força (DO VAL SIQUEIRA, 2020). Ademais tem-se a moldagem por sopro, que usa o ar sob pressão, soprando para que o polipropileno se expanda (AVERSA, 2021). E por último o processo de termoformagem, ocorre quando uma placa com polipropileno é aquecida e conformada sobre um molde sobre pressão (LEITE, 2018).

Antes do processo de conversão conforme a Figura 13, o polipropileno é fabricado como matéria prima na composição semicristalino. É possível obter outras tonalidades pela adição de corantes no processo de pigmentação (GAWISH, 2019; JAVID, 2019; PERIYASAMY, 2019; VIKOVÁ, 2017).

Figura 13 – Polipropileno semicristalino



Fonte: www.primeplas.com.br (2021).

Os pigmentos são partículas microscópicas que tem por objetivo colorir os plásticos durante o processo de injeção (TURNER, 2019).

Destaca-se que os pigmentos ficam dispersos no plástico de modo a “absorver e espalhar a luz que interage com as partículas de pigmento e emite uma cor dependendo da fonte de luz menos a luz absorvida e espalhada por a molécula de pigmento” (AL-MALAIKA, 2019, p.147). A Figura 14 apresenta alguns objetos de polipropileno em cores diversas.

Figura 14 – Objetos de polipropileno com pigmentos coloridos



Fonte: www.encimat.cefetmg.br (2021).

De acordo com RAJ (2019) os modelos mais sofisticados de pigmentos vêm com aditivos especiais que melhoram as propriedades do produto.

Os aditivos mais utilizados são de alta secagem retardante para fogo, antioxidante, protetor UV, branqueador e antimicrobiano. Com relação a isso, BARBOSA-PEREIRA, 2014, p.250:

Nesse tipo de embalagem ocorre a migração lenta de agentes ativos que foram incorporados na matriz polimérica para a superfície do alimento, combatendo, assim, a ação microbiana.

Conforme a Figura 15 além dessas funcionalidades, existem no mercado pigmentos com outros aditivos:

- aditivo de biodegradação para facilitar o processo de decomposição;
- aditivo com coloração fluorescentes para brinquedos e objetos destinados a festas e eventos;

- aditivo com fibra de vidro para aumento das propriedades mecânicas;
- aditivos antiestáticos para produtos eletrônicos.

Figura 15 - Pigmentos



Fonte: www.gedelplasticos.com.br (2021).

2.5.1 Propriedades do polipropileno

O polipropileno pode ser dividido em duas categorias de estrutura molecular, os copolímeros que são basicamente mais flexíveis e resistentes ao impacto e os homopolímeros que possuem maior rigidez (CHEN, 2002).

Independentemente do tipo o material apresenta propriedades especiais que o habilitam para diversos usos na indústria. Com relação a isso Maddah (2016, p.5) enfatiza:

O polipropileno é o mais importante material entre as poliolefinas devido a três razões principais. Primeiro, grandes propriedades do polipropileno, como baixa densidade, alto ponto de fusão temperatura e inércia química possuem baixo custo de fabricação, ideal para aplicações de longa duração. Segundo o polipropileno é um material altamente versátil, o que significa que diversidade em projetos estruturais e propriedades mecânicas são alcançáveis. Terceiro, diferentes melhorias nas estruturas do polipropileno são possíveis usando agentes de reforço.

De acordo com a Tabela 6 o polipropileno possui várias propriedades úteis como alta temperatura de distorção de calor, transparência, resistência à chama, “também é muito adequado para enchimento, reforço e com polímeros fibrosos naturais é uma das rotas mais promissoras para criar biocompósitos de polímero sintético-natural” (SHUBHRA, 2013, p.5).

Ressalta-se a pesquisa de Zampaloni et al (2007) que relataram a fabricação de biocompósitos de kenaf reforçadas com polipropileno termoformada para uma grande gama de aplicações.

Tabela 6 - Propriedades do polipropileno

Propriedades do PP	Características	Fontes
Física	É translúcido, tenaz, semirrígido e ter boa resistência à fadiga e semirrígido.	Rabello 1997 Agnelli e Chinelatto (2013) Nascimento (2013)
Química	É resistente a ácidos, bases, água ou detergentes. Possui baixa densidade, alto ponto de amolecimento e oferecem maior rigidez e dureza. À temperatura ambiente, é resistente a solventes orgânicos.	ABREU, 2006. De Carvalho (2007) Furlan (2012)
Mecânica	É resistente à fadiga, flexível, fáceis de soldar	Paiva (2006), Freire (2013), Pereira (2018)
Térmica	Ponto de fusão a 160 ° C.	Líbano (2012), Tedesco (2003), Fernandes (2012)

Fonte: o autor (2021).

2.5.2 Química do polipropileno

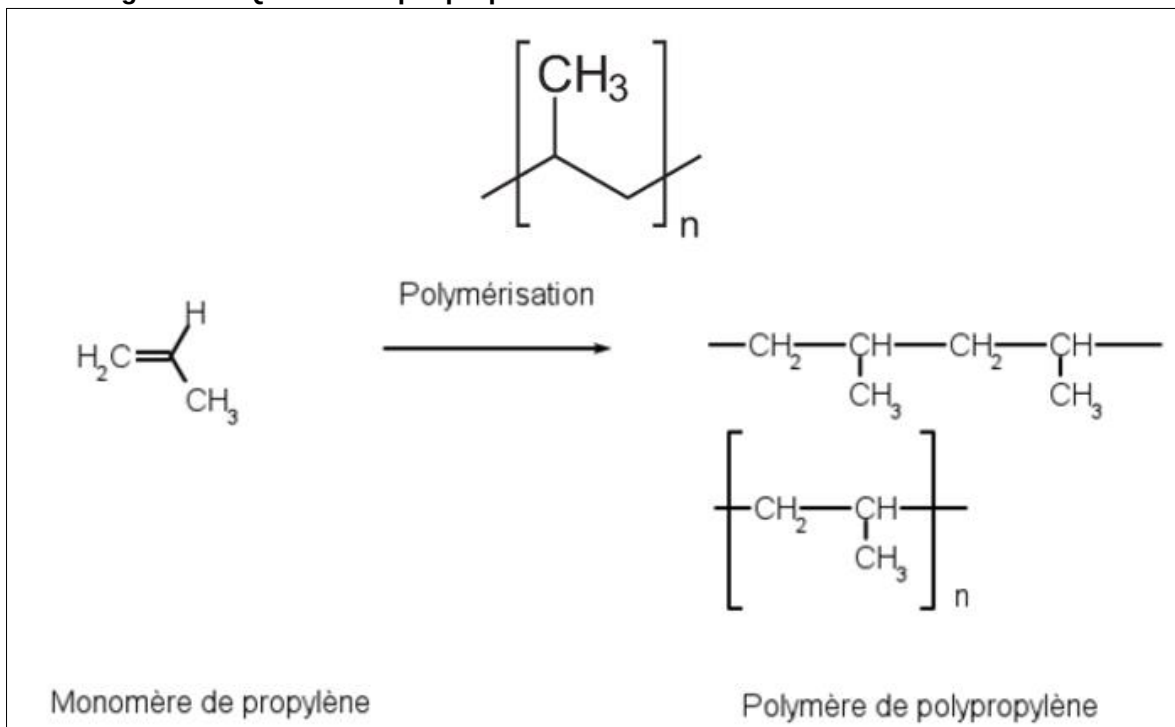
Igual aos outros tipos de plásticos o polipropileno é derivado da nafta, a partir do processo de craqueamento (MARTINO, 2021). Este processo consiste no aquecimento da nafta a altas temperaturas até ocorrer a quebra de suas moléculas, surgindo novas substâncias, como o tolueno, xileno, eteno e o propeno (NAYAK, 2020). Com o auxílio dos catalisadores, inicia o processo de polimerização, onde o conjunto de monômeros se unem formando o plástico (DUBEY, 2017; CHEN, 2020).

O polipropileno é um “polímero fabricado a partir da adição do monômero propileno” (BORGES et al, 2019, p.2). É obtido quando as moléculas de base, os monômeros, reagem, mesclando e cruzando entre si, formando moléculas cada vez maiores.

De acordo com Spadetti (2017) o propeno ou propileno é o monômero de unidade básica para a produção do polipropileno.

Conforme a Figura 16 a sua forma molecular é $(C_3H_6)_n$:

Figura 16 – Química do polipropileno



Fonte: internet (2021).

O polipropileno também é um termoplástico possuindo a característica de retomar ao estado sólido quando resfriados. Este ciclo de aquecimento e resfriamento pode ser repetido por diversas vezes, sendo também um benefício para a cadeia de materiais reciclados (MORAES, 2010).

Complementando isso, Rosário (2011, p.91) descreve:

Graças à excelente combinação de propriedades térmicas e mecânicas o PP é amplamente explorado numa variedade de aplicações que, combinada com condições favoráveis econômicas, encorajou uma rápida expansão no uso deste material. O PP pode ser modificado para uma variedade de aplicações, por meio de copolimerização, orientação e outras técnicas. As características físicas do polímero podem ser variadas para conseguir uma larga faixa de propriedades térmicas e mecânicas. A facilidade no processamento desse polímero permite o seu uso econômico na maioria das técnicas de fabricação comerciais

2.5.3 Reciclagem do polipropileno

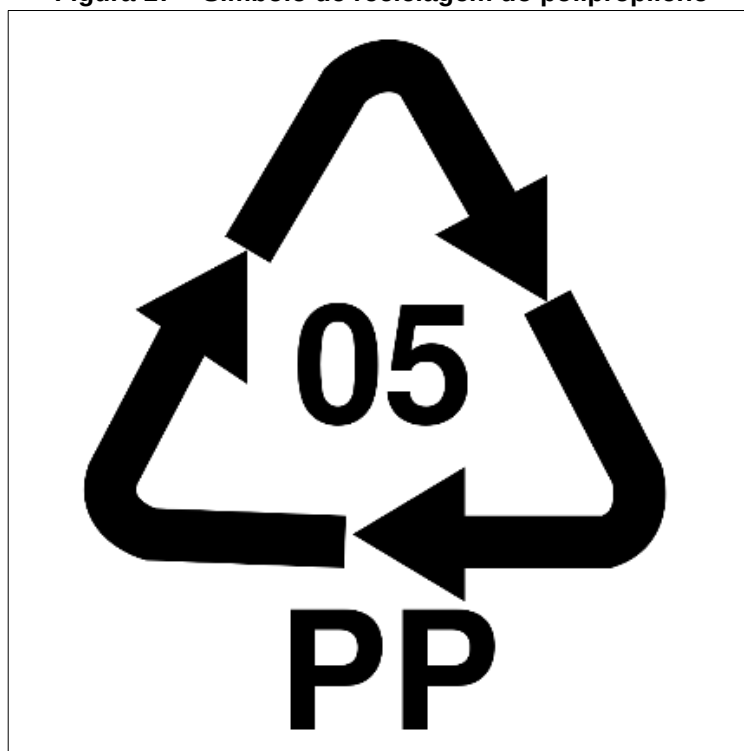
Reciclar significar reprocessar ou reutilizar uma substância ou um objeto, tornando-o usável (OZOLA, 2019). Quase todos os materiais são passíveis de reciclagem, porém o plástico, assume uma importância global (SANCHEZ, 2020), que

afeta todas as pessoas (ERIKSEN, 2020), os animais (WANG, 2019) e logicamente o mundo (SAHAJWALLA, 2018).

De acordo com Pitt et al. (2011) mais de 100 milhões de toneladas de polímeros derivados do petróleo são produzidas anualmente em todo o mundo. Além disso de acordo com Mano e Mendes (2004), os polímeros são fabricados a partir de um processo petroquímico, fazendo com que estejam presentes nos mais diversos setores, atividades e no nosso dia-a-dia.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 13230:2008) estabelece a identificação dos polímeros que podem ser reciclados, como o polipropileno (PP), o poli (tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), o poli (cloreto de vinila) (PVC). Dentre todos os polímeros disponíveis para reciclagem o polipropileno se destaca como o principal polímero da indústria, ou seja, sua alta aplicabilidade, versatilidade, emprego e qualidade. Geralmente é identificado nos rótulos de produtos recicláveis através do símbolo triangular e o número 5, conforme a Figura 17:

Figura 17 – Símbolo de reciclagem do polipropileno



Fonte: internet (2021)

A etapa para definição da matéria prima a ser reciclado não é apenas um mero processo de escolha. Fatores ambientais, tecnológicos, econômicos, mercadológicos

e sociais devem fazer parte do planejamento para a escolha do melhor polímero a ser reciclado (GALLEGO E GARTNER, 2006), pois o modo como a indústria se posiciona na questão ambiental pode influenciar diretamente na produção, no planejamento, na concorrência e nas vendas (BARBIERE, 2004).

2.5.4 A origem do polipropileno

A origem do polipropileno remete à década de 1950, onde o químico italiano Giulio Natta e o químico alemão Karl Waldemar Ziegler, sintetizaram o polipropileno pela primeira vez (GORNI 2003, p.9; PORRI 2009 p.4; OLIVEIRA 2015, p.7).

Segundo Dupont et al (2013), isso foi possível graças ao catalisador desenvolvido pelo próprio Ziegler, representando um grande avanço científico nos processos químicos de polimerização. Essa descoberta levou os dois pesquisadores a dividirem o prêmio Nobel de Química pelo avanço nos estudos de polímeros avançados.

Figura 18 - Giulio Natta e o químico alemão Karl Waldemar Ziegler



Fonte: Wikipédia (2021).

Através da engenharia sustentável os catalisadores encontram-se na 6ª geração. Com isso obtêm-se propriedades avançadas como uma velocidade maior de produção de pellets, menos impurezas de cinzas e produtos mais leves, transparentes.

2.5.5 Mercado de polipropileno

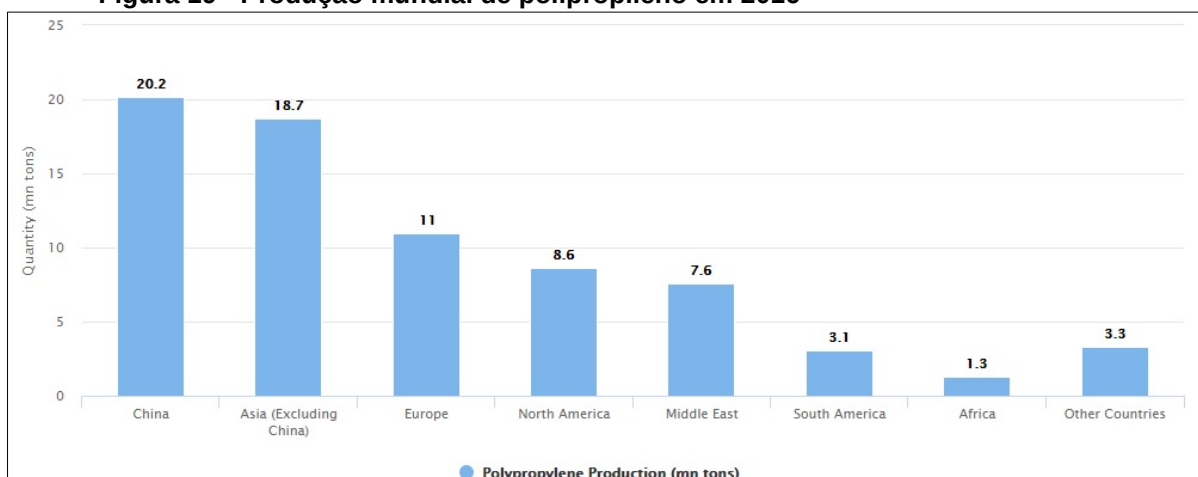
O polipropileno representa o “segundo maior mercado de polímeros em todo o mundo, respondendo por mais de ¼ da demanda global de polímeros, em uma taxa de crescimento média anual estimada em torno de 5,2%” (MODEKWE et al, 2021, p.692).

Ainda com relação ao mercado ocidental, ISLAM e SHAHJALAL (2021, p. 2), descrevem números significativos:

Entre todos os produtos plásticos, o polipropileno (PP) e o polietileno de alta densidade (PEAD) são os materiais mais produzidos. Em 2015, o PP ocupava o primeiro lugar na Europa em termos de procura de plástico (19,1%), seguido do PEBD (17,3%). Aproximadamente 55 milhões de toneladas de PP foram produzidos globalmente em 2013 nos Estados Unidos.

Conforme a Figura 19 a Plastics Insight intensifica que a produção global ficou em torno de 73,7 milhões de toneladas em 2016.

Figura 19 - Produção mundial de polipropileno em 2016

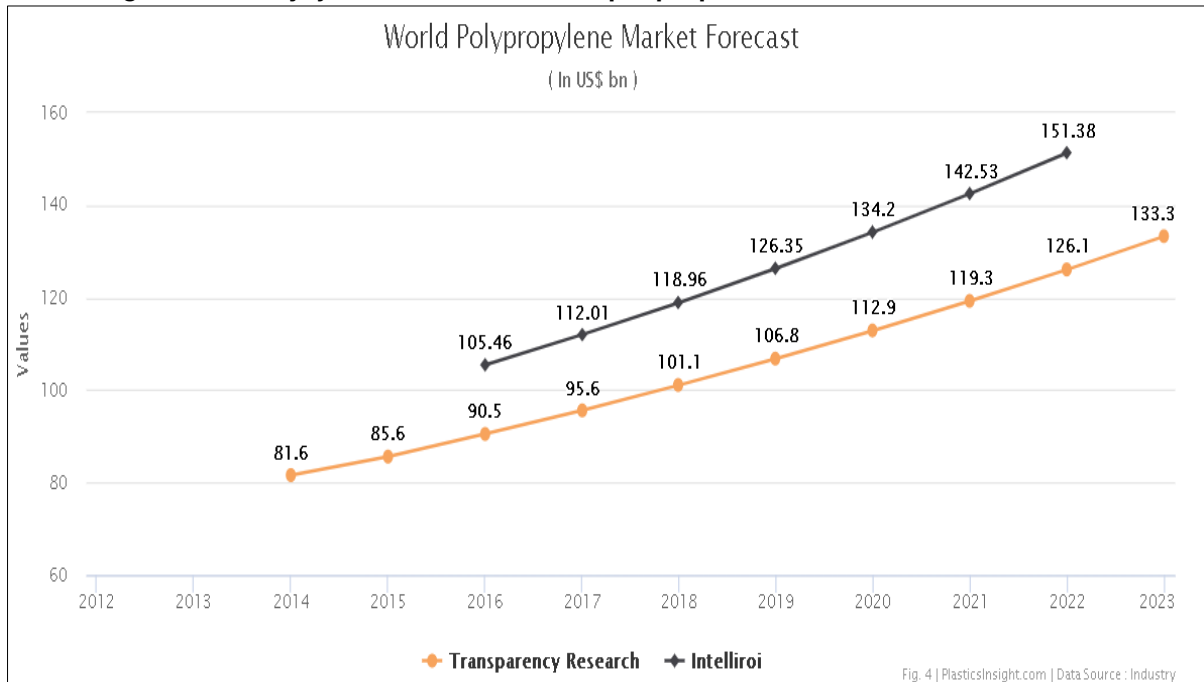


Fonte: Plastics Insight (2020).

Segundo a Figura 20, a China continua sendo o principal produtor de polipropileno, produzindo uma média de 20,2 milhões de toneladas com uma participação de 27% na produção global total.

De acordo com as estimativas da Plastics Insight a previsão é que o mercado continue em pleno crescimento, na ordem de mais de US \$ 133 bilhões até 2023.

Figura 20 – Projeção de crescimento de polipropileno



Fonte: Plastics Insight (2020).

A indústria de embalagens plásticas de alimentos e bebidas continuam sendo o maior mercado demandante de polipropileno. Em seguida tem-se a indústria automotiva com o desenvolvimento e produção de carros mais leves e uso cada vez maior de peças plásticas.

2.5.6 Aplicabilidade do polipropileno

A Figura 21 exemplifica diversos objetos domésticos onde o polipropileno é aplicado como matéria prima em copos plásticos, cadeiras plásticas, embalagens para alimentos e remédios, tampas de garrafas e corpo de eletrodomésticos (Li, 2020; MARTYNIS, 2019; RACHMADENA, 2018).

Figura 21 – Objetos domésticos feitos a base de polipropileno



Fonte: www.braskem.com.br (2021).

Na indústria farmacêutica de acordo com a Figura 22, é aplicado como matéria prima para confecção de seringas de injeção, material hospitalar, embalagens de remédios e equipamentos de laboratório (GOPANNA, 2019; OKEREKE, 2021; SELCAN TURKER, 2018).

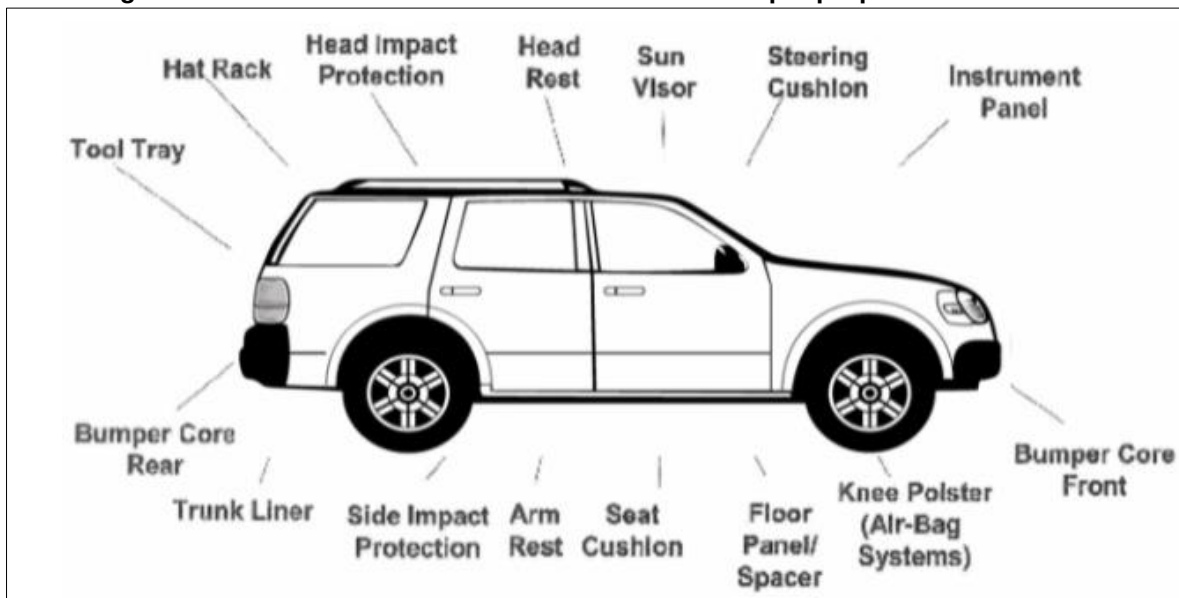
Figura 22 – objetos farmacêuticos de polipropileno



Fonte: www.descarpac.com.br (2021).

Na indústria de transporte conforme a Figura 23 e 24, é utilizado como matéria prima na fabricação de para-choques, pedais, carcaça de bateria, lanternas, ventoinhas e peças diversas (GALLONE, 2019; HADIJI, 2020; KWON, 2021).

Figura 23 – Partes externas do carro fabricados com polipropileno



Fonte: www.polyform.com (2021).

Figura 24 – Partes internas do carro fabricados com polipropileno



Fonte: www.polypacific.com (2021).

Na indústria de produtos para o lar que inclui eletrodomésticos e móveis, o polipropileno é usado na fabricação de aparelhos de grandes a pequenos.

Observa-se na Figura 25 máquinas de lavar louça, geladeiras e máquinas de lavar, passando por ferros, torradeiras e aspiradores de pó em aplicações de aparência e estruturais (TOMAR, 2020; SHARMA, 2019; ICHADO, 2021).

Figura 25 – Eletrodomésticos e objetos do lar que recebem polipropileno



Fonte: www.polypacific.com (2021).

2.6. Biocompósito

Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), conceitua-se biocompósito como uma substância constituída por dois materiais insolúveis entre si, combinados para fabricação de um material de engenharia que possua propriedades não existentes nos materiais que o formam, atuando em sinergia.

Além desse conceito o biocompósito também é definido como um material multifásico no qual não apenas dois, mas três ou quatro materiais distintos podem ser reforçados com matriz polimérica. É imprescindível que pelo menos um desses materiais deriva de origem biológica, resultando em melhorias, podendo atribuir propriedades do novo material que não podem ser obtidas a partir de qualquer um dos componentes constituintes individuais. (Frketic, 2017; Koronis, 2013).

Paralelo a estas definições, ressalta-se que o estudo do biocompósito avança gradualmente, possibilitando o emprego de novos materiais sintético de resinas onde a matriz recebe o reforço de fibras, partículas ou pó, feitos de fontes renováveis (KUMAR, 2020, p.3; O'DONNELL, 2004 p.8).

2.6.1 Vantagens do biocompósito

A primeira vantagem do biocompósito derivado de diversos botânicos naturais é a sua abundância e sua diversidade. Todos os continentes são ricos em algum tipo de fibra natural que com pesquisa aplicada pode ser considerada alternativa mais rentável (LIU, et al. 2005).

A segunda vantagem do biocompósito é a questão da sustentabilidade mundial. Segundo Furlan, Duarte e Mauler (2012), é uma excelente opção que ameniza gradualmente o elevado nível de consumo de produtos à base de petróleo, balanceando com outros materiais naturais.

A terceira vantagem do biocompósito é a permanência ou o aumento de novas propriedades. Para Bledzki; Reihmane e Gassan (1996), as vantagens das fibras vegetais sobre as fibras sintéticas são a baixa densidade na composição dos biocompósitos, boas propriedades térmicas, biodegradabilidade, melhores propriedades mecânicas específicas, além de serem menos abrasivas aos equipamentos de processamento de polímeros.

A quarta vantagem são as diversas possibilidades de se obter o biocompósito. O processo produtivo já consolidado no formato de placas, através de prensas e o processo que esta pesquisa oferece – o biocompósito por extrusão e injeção plástica.

A quinta vantagem do biocompósito é o valor agregado econômico. Por exemplo, no Reino Unido espera-se que o mercado de biocompósitos cresça para cerca de GBP 10 bilhões até 2030, com o crescimento mais rápido das indústrias automotiva, aeroespacial, energia renovável e construção. Segundo a 15ª pesquisa de mercado de biocompósitos, a Alemanha relatou que o primeiro semestre de 2020 teve uma severa queda nas classificações devido ao impacto da pandemia de coronavírus em vários segmentos de negócios e áreas de aplicação. Mesmo assim espera-se uma retomada do crescimento econômico e um aumento na produção global de biocompósitos, especialmente no que diz respeito ao crescente mercado de energia renovável (FITZGERALD, ET AL 2021).

A sexta vantagem do biocompósito é o desenvolvimento de comunidades locais. No Amazonas os municípios que possuem renda per capita derivada do cultivo de juta são: Parintins, Nhamundá, Manaquiri, Manacapuru, Itacoatiara, Iranduba, Coari, Caapiranga, Beruri, Anori e Anamã. O aumento na demanda de juta beneficia os produtores e toda a comunidade local.

A sétima vantagem é a inovação local e internacional. Desde o início a juta sempre teve como destino ser matéria prima da indústria têxtil, mais precisamente de sacarias para café e batata. Com o uso da juta em biocompósito amplia-se a possibilidade de seu emprego em produtos à base de polipropileno.

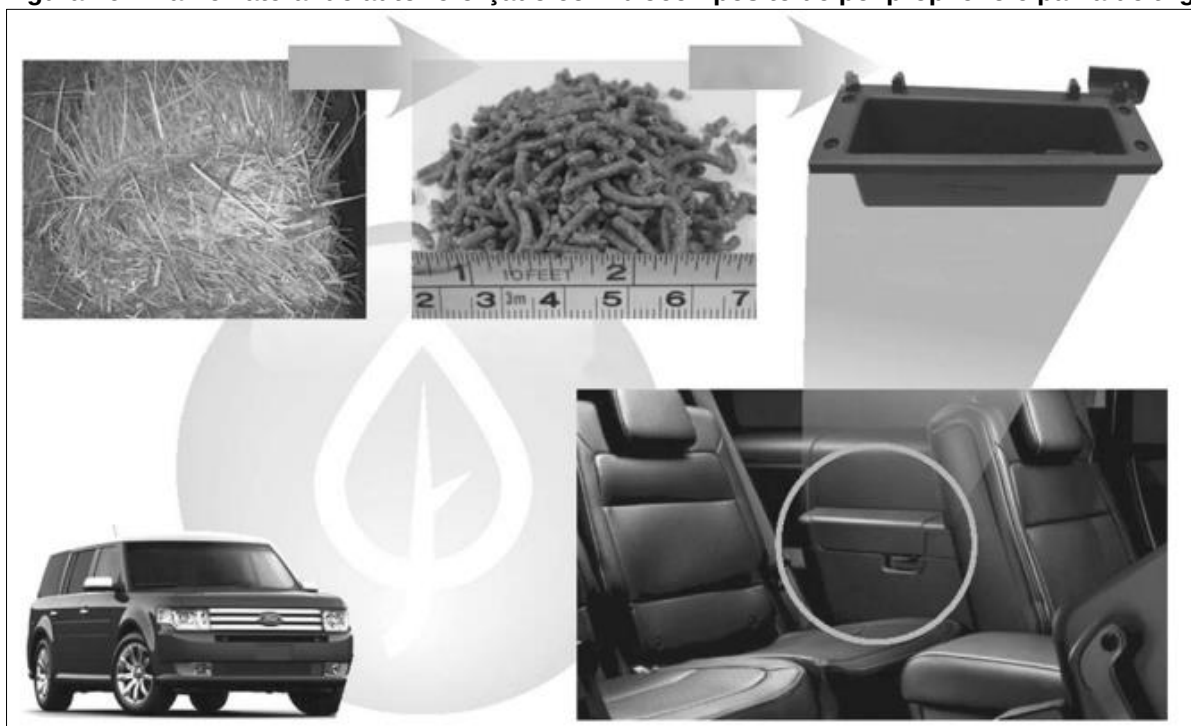
A oitava vantagem é a subvenção através da legislação. A Lei nº 2.611, de 4 de julho de 2000, regulamentada pelo Decreto 24.196, de 29 de abril de 2004, institui a concessão de subvenção econômica a produtores de juta e malva no estado, tendo como objetivo incentivar a produção dessas culturas. Também é possível os incentivos fiscais da Amazônia Ocidental através da Lei de Informática na ZFM – (Lei nº 8.387/1991).

2.6.2 Aplicações de biocompósito em diversos segmentos

Muitas pesquisas têm obtido êxitos com biocompósitos desenvolvidos com sisal (BARBOSA, 2020; CAMPOS 2011; FERNANDES, 2017), com fibras de curauá (DE ANDRADE, 2019; GUTIÉRREZ, 2018; RODRÍGUES, 2018), fibras de abacaxi (AZEVEDO, 2020; NEGRÃO, 2020; SIPIÃO, 2018), fibras de coco (DE ARAUJO, 2020; SILVA, 2018; WEARN, 2020) e fibras de bambu (LOPES, 2019; VERISSIMO, 2019; DE OLIVEIRA, 2019).

A primeira aplicação de destaque é na indústria automotiva. Com o desenvolvimento e produção de novos modelos de carros híbridos e elétricos, surge a necessidade de componentes cada vez mais leves e compactos. Conforme a Figura 26 a indústria automotiva vem a cada ano fortalecendo os recursos renováveis, incorporando biocompósito nas etapas de acabamento.

Figura 26 – Painel lateral de auto reforçado com biocompósito de polipropileno e palha de trigo



Fonte: AHMED et al (2016).

Tudo isso para lutar contra as mudanças climáticas. Portanto, as competências devem ser radicalmente aumentadas no campo das tecnologias de biopolímeros (FANTUZZI et al, 2021, p.1).

A segunda aplicação de destaque de biocompósitos é na indústria naval, com a fabricação de barcos. Para Fujii (2006), a utilização das fibras naturais auxilia na redução de CO_2 emitido na atmosfera, uma vez que a fibra de vidro (usada em barcos) é grande consumidora de energia elétrica.

Diversas peças náuticas já foram desenvolvidas com biocompósito a base de curauá (Minillo, 2021), a base de juta (Akram, 2019), fibra de coco (Yaacob, 2017), fibra de palmeira (2021) e fibra de sisal (Ashokkumar, 2020). Conforme a Figura 27, em alguns países asiáticos pequenos barcos já são desenvolvidos a base de biocompósitos:

Figura 27 – Barco de pequeno porte desenvolvido com biocompósito de bambu



Fonte: TANAKA, (2007).

De acordo com Tanaka (2007) apesar dos problemas de umidade, pequenos barcos de recreio foram com sucesso fabricado usando fibras de bambu como principal reforço.

Pesquisas tem mostrado a escalada dos biocompósitos na aviação comercial, atraindo o interesse de pesquisas em diversas parte do mundo (AFONSO BATISTA, 2018; KHALID, 2021; MONTEIRO, 2018; OUARHIM E BOUHFID, 2019).

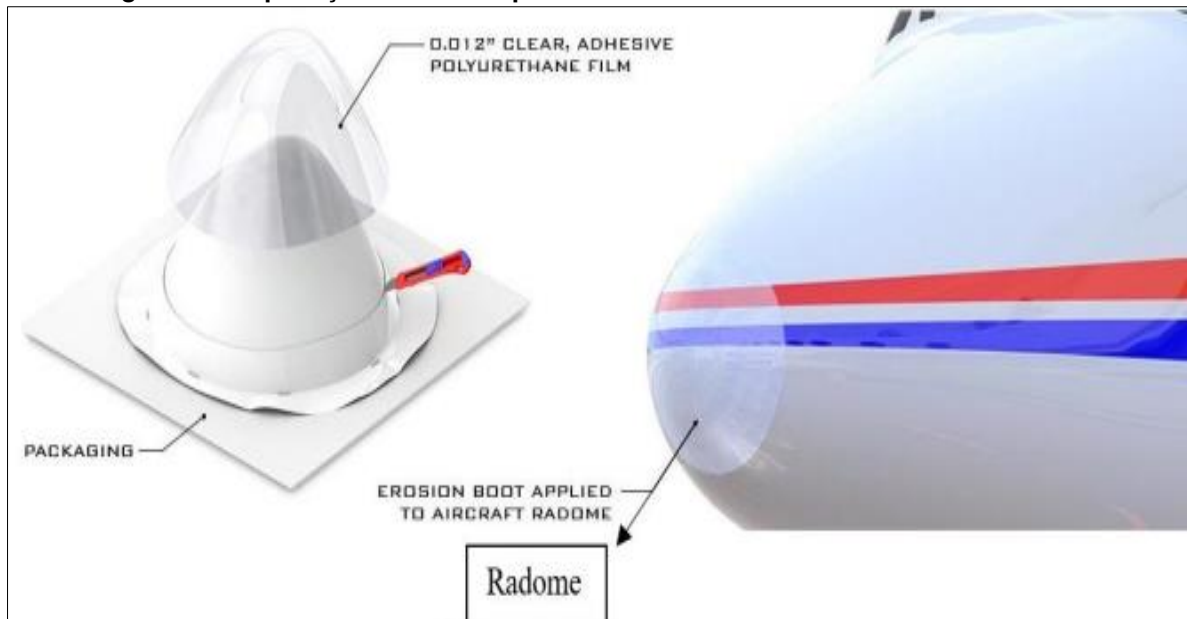
A inserção na indústria de planadores foi uns dos primeiros bem sucedidos casos na indústria aeronáutica. Teve-se também um uso constante de materias compósitos na aviação militar e aeroespacial. Muitas partes de aeronaves foram projetadas e construídas com o uso de fibras (OLIVEIRA et al, 2018).

Em vista de que esse tipo de material apresenta elevada rigidez e resistência mecânica frente a esforços que submetem a estrutura à compressão e à tração, aliados ao seu baixo peso específico, se comparado com os tradicionais materiais metálicos.

Esse comportamento é decorrente da união entre as fibras e a matriz, onde a matriz é a responsável pela proteção da fibra, garantindo boa resistência à corrosão, à fadiga e maior tenacidade, além de apresentar uma fase contínua responsável por distribuir uniformemente a carga aplicada na estrutura (DUBIELLA e VICENTINI, 2018).

Conforme a Figura 28, aplica-se nos randomes ou “bico” da aeronave (HARIS, 2011), em partes das asas (MOHAMMED, 2018) e na tampa do motor (SCARPONI, 2015).

Figura 28 – Aplicação de biocompósito em aviões



Fonte: Ilyas et al (2019).

A indústria de aviões testemunhou grandes desenvolvimentos para suportar cargas pesadas, reduzir custos e aumentar a segurança fatores pela orientação para os novos e multifuncionais materiais que são os compósitos (MOHAMMED, 2018).

2.6.3 Unidade matriz do biocompósito

Os biocompósitos são formados pela unidade matriz e a unidade de reforço (dispersa). A matriz é constituída pela unidade de base, material contínuo que deve interagir com a unidade de reforço (YASHAS, 2018).

O reforço por sua vez, dependendo da finalidade, atribui, melhora ou mantém as características do biocompósito (RAMANATHAN, 2019).

O ideal é que ambas, matriz e reforço, conservem suas identidades química e física e, se possível, produzam uma combinação de propriedades que não podem ser conseguidas com um dos constituintes agindo sozinho (RAZERA, 2006).

Conforme a Tabela 07 utiliza-se polímeros do tipo termoplásticos e termofixos como matriz e as fibras naturais como reforço.

Tabela 7 – Tipos de polímeros e respectivas fibras naturais

Polímeros		Fibras naturais
Termoplásticos	Termofixos	
Polypropylene (PP)	Polyester	Bamboo, banana, coconut, flax, pineapple, hemp
Polyethylene (PE)	Polyurethane	Coconut, banana, curcua, sisal
High density polyethylene (HDPE)	Epoxy	Cotton, flax, hemp, jute, sisal, pineapple
Polystyrene (PS)	Phenolic	Flax, sisal, jute, banana

Fonte: adaptado de YASHAS (2018)

Para obter propriedades mecânicas satisfatórios após processamento, uma boa aderência matriz de fibra deve ser alcançada além bem a dispersão e distribuição das fibras. (ELKHAOUANI, et al. 2013).

Apesar do crescente número de pesquisas o maior desafio continua sendo a compatibilidade entre matriz e reforço. Segundo os estudos de Merlini et al (2006) a conexão entre matriz e reforço é importante para que ocorra a transferência de propriedades no biocompósito. Por outro lado, se a interação for baixa, o biocompósito vai ser desenvolvido, porém sem o aumento das propriedades mecânicas. (OLADELE, 2020).

Um dos métodos mais utilizados é o tratamento alcalino que extrai a lignina e a hemicelulose, resultando em mudanças na estrutura, na morfologia, nas dimensões e nas propriedades mecânicas das fibras (DALMIS, 2020; BOURMAUD, 2020; SIRACUSA e BLANCO, 2020).

Para Seo et al. (2019) com o intuito de melhorar as características adesivas da fibra vegetal se realiza um procedimento de mergulha-las em uma solução de hidróxido de sódio. “uma maneira de contornar este problema é modificar a estrutura da fibra através de métodos químicos ou físicos” (PIRES, 2012, p.340). As impurezas (lignina, cera e óleos) são removidas expondo somente a superfície das fibras.

2.7. Introdução ao processo de injeção plástica

A injeção plástica é um processo de manufatura utilizado para a confecção de peças a partir de polímeros (BARBOSA, 2016; DE MORAIS e MAIA, 2021; GALDAMEZ E CARPINETTI, 2004).

Atualmente “vem se destacando como um dos processos mais importantes do mundo, com maquinários de alta tecnologia e equipamentos especiais.” (TANG et al, 2007, p.2).

Encontram-se produtos injetados nas peças de automóveis, eletrônicos, brinquedos, móveis, utensílios de cozinha, equipamentos médicos e agrícolas. Suas dimensões e peso podem variar podendo ser desde uma pequena engrenagem de relógio até um para-choque de caminhão. Por suas características “oferece enormes vantagens no acondicionamento e conservação de alimentos na forma de embalagens.” (GARBIN et al, p.4, 2020). Além disso, conforme Bledzki et al (2002), as peças automotivas, cuja aplicação exigem exclusividade e formas complexas, moldagem por injeção tem sido usada.

Os benefícios do plástico são inegáveis. Segundo Nielsen et al (2020), o material é barato, leve e fácil de fazer. Entretanto não é considerado amigo do ambiente. Por este motivo que o processo vem se atualizando com o surgimento de novas concepções e novas pesquisas onde “materiais a base de fibras naturais se mesclam resultando em biocompósitos e biopolímeros.” (ILYAS e SAPUAN, p. 3, 2020).

Segundo a Organização das Nações Unidas, através do relatório “O Estado dos Plásticos” (2018), biocompósito e biopolímeros são excelentes alternativas de novos materiais para o meio ambiente porque tem a vantagem de biodegradar naturalmente, diminuindo os estágios do ciclo de vida dos produtos plásticos. Além disso, pode ser realizado através do processo de injeção plástica.

Seguindo as recomendações da ONU, a The Plastics Industry Association (PLASTICS), destaca que a nova concepção mundial da indústria é mostrar que o plástico pode afetar a sociedade positivamente para melhor, através da adoção de materiais sustentáveis para o setor.

Por estes motivos que a indústria do plástico não para de evoluir. Segundo Shen et al. (2020) é cada vez mais importante entender o processo de injeção plástica em todas as suas particularidades, agregando conhecimento técnico a concepção de novos materiais a serem injetados.

2.8 Máquina injetora: características técnicas

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 13536) injetora é uma máquina utilizada para a fabricação não contínua de produtos, pela injeção de material plastificado no molde, que contém uma ou mais cavidades em que o produto é formado.

De acordo com Toderita e Vlase (2020) o processo descontínuo se dá porque na máquina injetora apenas um número determinado de peças é fabricado por vez.

Conforme a Figura 29, a injetora consiste, essencialmente, na unidade de fechamento, unidade de injeção, sistemas de acionamento e controle.

Figura 29 – Máquina de injeção plástica



Fonte: Romi (2020).

A máquina injetora é dividida em duas partes principais. Segundo Troughton (2008), a primeira parte é a seção de injeção e a segunda parte é a seção de

fechamento. “Estas partes estão localizados nas extremidades da máquina, uma em cada lado, tendo o molde de injeção entre ambas” (FADZLY e NATASHA, 2019, p.1).

Outros sistemas auxiliares são utilizados no processo como o “sistema mecânico, hidráulico, elétrico, eletrônico e o já disponível sistema de robôs associado a indústria 4.0, garantindo rapidez, força, economia e praticidade de operação” (PÉREZ-DOMÍNGUEZ, 2018, p.4).

2.8.1 Especificações técnicas nacionais e internacionais das máquinas injetoras

Existem vários fabricantes de injetoras no Brasil e no mundo. As marcas mais comercializadas são: Romi, Arburg, Husky, Engel, Battenfeld, Nissei, Sandretto, Krupp, Cincinatti-Milacron, Mannesmann, Remu, HPM.

Apesar do número de fabricantes, “todas atendem as normas e especificações técnicas nacionais e internacionais. Isso garante o nível de segurança na operação e na manutenção do equipamento” (ONAWUMI, 2021, p7).

As especificações internacionais são advindas principalmente da EUROMAP – organização que representa a indústria europeia de plásticos, responsável por cerca de 40% da produção mundial.

As especificações nacionais são desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Tanto a EUROMAP quanto a ABNT possuem comissões formadas pelas partes interessadas dos setores envolvidos como as empresas, os fornecedores, compradores, pesquisadores, universidades e consumidores.

Atender as normas de segurança é a etapa inicial antes da concepção de uma máquina injetora. A norma ABNT 13536/1995 define os requisitos técnicos de segurança para o projeto, construção e utilização de máquinas injetoras.

O “projeto de uma máquina injetora deve priorizar os equipamentos de segurança na unidade de fechamento, unidade de injeção, na área do molde e em toda região que conduz eletricidade” (ABNT 13536/1995).

A EUROMAP descreve que desde a concepção inicial da máquina ainda na etapa de desenho e modelagem. O fabricante deve planejar todo o funcionamento com base em requisitos de segurança e saúde. Seguem alguns pontos de segurança

que todo fabricante deve seguir ainda na fase de modelagem do protótipo de uma máquina injetora:

- o fabricante deve desenhar as partes construtivas de maneira que possa suprimir todos os riscos à saúde do operador. Partes integrantes da injetora como a unidade hidráulica, mecânica, térmica e de eletricidade devem constar no Manual de Instrução, de forma a evitar mau uso;
- o fabricante deve desenhar todo o sistema de funcionamento da máquina injetora de modo que só entre em operação por uma ação voluntária, exercida sobre um componente ou controle;
- todo material que vai ser empregado no desenvolvimento de uma máquina injetora e todo o produto por ela utilizado não pode trazer risco de adoecimento imediato ou risco a saúde das pessoas. Isso inclui os fluídos, a lubrificação, etc;
- as máquinas injetoras devem ser construídas com um sistema de iluminação para trabalhos noturnos, evitando criar zonas de sombras. A iluminação do painel de funções deve ser agradável e não pode gerar efeitos estroboscópios;
- as máquinas injetoras devem ser construídas com um sistema de intertravamento nas zonas automáticas. Qualquer erro humano durante o funcionamento da injetora deve acionar a parada imediata das zonas de perigo;
- o fabricante deve elaborar um relatório técnico para demonstrar que o protótipo da máquina injetora segue todos os requisitos de segurança. No relatório técnico deve conter a descrição geral da injetora, o plano detalhado com cálculos, testes, ensaios, certificados e outros documentos que permita verificar a conformidade da máquina com a legislação de segurança;
- o fabricante deve aplicar um sistema de qualidade aprovado nas etapas de desenho, fabricação e inspeção final das injetoras.

Além das normas de segurança os fabricantes devem seguir as seguintes recomendações técnicas:

EUROMAP 01: Description of injection moulding machines;

EUROMAP 02: Injection moulding machines – Mould fixing and connection dimension;

EUROMAP 04: Injection moulding machines - Determination of the actual injection efficiency;

EUROMAP 05: Injection moulding process - Determination of important production data - Manufacturing Report;

EUROMAP 06: Injection Moulding Machines. Determination of the duration of the dry cycle;

EUROMAP 07: Injection moulding machines - Determination of the maximum clamping force;

EUROMAP 08: Determination of the nominal opening force of injection moulding machines;

EUROMAP 09: Injection moulding machines - Testing the parallelism of the platens during closing;

EUROMAP 10: The testing of injection moulding machines - General rules for testing;

EUROMAP 11: Machinery for processing plastics and rubber automatic mould changing on injection moulding machines;

EUROMAP 12: Electrical interface between injection moulding machine and handling device;

EUROMAP 13: Injection moulding machines, core pullers, electrical interface;

EUROMAP 14: Injection moulding machines - hotrunners and electrical mould heating equipment, electrical interface;

EUROMAP 15: Protocol for communication between injection moulding machines and a central computer;

EUROMAP 16: Injection moulding machines - electrical connection of peripheral equipment with analog or digital interface;

EUROMAP 17: Protocol for Communication between Plastic Processing Machinery or Central Computer and Peripheral Equipment;

EUROMAP 18: Injection moulding machines, handling equipment, mechanical interface;

EUROMAP 19: Injection moulding machines - determination of the plasticizing capacity;

EUROMAP 60: Injection moulding machines - energy efficiency;

EUROMAP 61: Injection moulding machines - mode of operation – definitions;

EUROMAP 62: Electrical interface between Injection moulding machine and fluid injector systems;

EUROMAP 63: Data exchange interface (general + injection moulding machines);

EUROMAP 64: Injection moulding machines - warning signs;

EUROMAP 65: Injection moulding machines - user identification;

EUROMAP 66: Protocol for Communication with Peripheral Equipment;

EUROMAP 67: Electrical interface between injection moulding machine and handling device / robot;

EUROMAP 68: Injection moulding machines - prohibition signs;

EUROMAP 69: Injection moulding machines - mandatory action signs;

EUROMAP 70: Electrical interface between injection moulding machines and magnetic clamping systems;

EUROMAP 71: Electrical interface between Injection moulding machine and mould changing device;

EUROMAP 72: Horizontal injection moulding machines integration and use of magnetic clamping systems;

EUROMAP 73: Electrical interface between injection moulding machines and external safety devices;

EUROMAP 74: Electrical interface between injection moulding machines and electrically driven cores;

EUROMAP 75: Protocol for communication with peripheral equipment;

EUROMAP 77: OPC UA interfaces for plastics and rubber machinery – data exchange between injection moulding machines;

EUROMAP 78: Electrical interface between injection moulding machines and external safety devices;

EUROMAP 82: OPC UA interfaces for plastics and rubber machinery – peripheral devices – temperature control devices

EUROMAP 83: OPC UA interfaces for plastics and rubber machinery - general type definitions;

EUROMAP 90: Energy efficiency label

Somente após esses primeiros requisitos que a máquina injetora poderá adquirir as características construtivas.

2.8.2 Características construtivas da máquina de injeção plástica: unidade de base e apoio da injetora plástica

A injetora é uma máquina estacionária que pesa entre 2 a 8 toneladas dependendo do modelo. Para sustentar esse peso a base é feita de material fundido com reforço nas extremidades.

Esses reforços atuam também para neutralizar as vibrações das partes móveis da injetora. Conforme a Figura 30 para diminuir os efeitos da vibração são instalados calços que funcionam como amortecedores de vibração.

Figura 30 – Calçamento de uma máquina injetora



Fonte: <https://www.vibra-stop.com.br> (2021).

Os calços recebem o nome de *vibra stop*. Os estudos de Marques (2016), indicam que também funcionam para nivelar a máquina e como um isolante elétrico.

Os calços também servem no momento do primeiro uso quando são realizados o nivelamento e o alinhamento geométrico. Isso ocorre porque a montagem e instalação de uma máquina injetora depende da dimensão real da máquina, levando em consideração as falhas geométricas dos elementos mecânicos a serem montados.

Segundo Coradin e Pietrovski (2016), o nível de qualidade dos produtos, obrigando a trabalhar com folgas, requerem dimensões nominais e tolerâncias cada vez mais “apertadas” e variações dimensionais de componentes sob controle.

Assim, uma máquina injetora nivelada e alinhada geometricamente consegue trabalhar sem esforços adicionais e sem sobrecarregar nenhuma parte integrante.

2.8.3 Unidade hidráulica da injetora plástica

A hidráulica é um excelente meio de transmissão de energia. No processo construtivo, as injetoras utilizam tecnologia hidráulica sofisticada. São servoválvulas hidráulicas, responsáveis por processos finos e pequenas correções necessárias para que as peças sejam produzidas dentro das mais complexas especificações.

A hidráulica não é uma tecnologia nova. Desde a antiguidade foi usada para transmitir forças intensas, como nos canais para irrigação de lavouras, diques, poços e a roda de água. O pesquisador Gomes et al (2008), ao descrever os fundamentos da hidráulica industrial enfatiza que a própria palavra vem do grego *Hidro* que significa “água”.

Hoje a indústria utiliza o óleo hidráulico com aditivos ao invés de água nas injetoras plásticas. A água oxida os componentes mecânicos levando ao processo rápido de desgaste e falhas.

Ademais, o óleo hidráulico e os aditivos além de serem um excelente transmissor de energia, auxilia na lubrificação interna dos componentes, na troca calor com o ambiente além de possui aditivos que melhoram a vida útil do circuito hidráulico.

Os aditivos são substâncias químicas desenvolvidas em laboratórios para melhorar o potencial do óleo hidráulico das máquinas injetoras, intensificando as suas características. Os principais aditivos utilizados são: inibidor de corrosão; inibidor de oxidação; extrema pressão; antiespumantes; viscosidade e detergente dispersante.

O aditivo inibidor de corrosão protege as superfícies de metal do ataque por ácidos e material oxidante. O inibidor de corrosão deverá ser eficiente na “proteção

de todas as ligas com as quais o fluido entrar em contato, garantindo um valor limite de taxa de corrosão que não implique em dano significativo aos componentes metálicos.” (CARDOSO, p.2, 2005).

O inibidor de oxidação protege as superfícies da reação química entre o óleo e o oxigênio do ar. A velocidade de degradação das superfícies de metal é elevada quando existe a ausência do inibidor de oxidação, ocorrendo na ferrugem da superfície. “A presença dos antioxidantes inibidores tem como função interromper a série de reações em cadeia do processo oxidativo.” (MELO, p 2, 2005).

O aditivo de extrema pressão ou antidesgaste são usados em aplicações de alta temperatura e em situações severas. Isso acontece quando a película do óleo não é capaz de aguentar a pressão exercida nos pontos de contato. O aumento da temperatura em uma máquina injetora é crescente nos postos de contato e atrito, levando a diminuição da viscosidade. O aditivo extrema pressão “protege a superfície da máquina porque suporta temperatura elevada de atrito forma uma capa protetora.” (MARTINS, p.32 ,1995).

Aditivos antiespumantes: Os aditivos antiespumantes não permitem que bolhas de ar sejam recolhidas pelo óleo, o que resulta numa falha do sistema de lubrificação. Os estudos de Farias (2009) salientam que o efeito desse aditivo é “desestabilizar filmes formados por agentes tensoativos presentes no fluido, ou seja, as bolhas de espuma, causando o rompimento do filme e, conseqüentemente, a não formação das espumas.” (FARIAS, p.44,2009).

A viscosidade indica como um fluído quando a temperatura muda. É considera a propriedade mais importante de um óleo hidráulico. “A viscosidade irá determinar a formação do filme entre as partes do equipamento, evitando desgastes e estabelecendo a sua principal função de lubrificação.” (MARCAL, p.21, 2018).

O aditivo detergente dispersante são compostos que auxiliam a manter limpas as superfícies dentro do circuito hidráulico das máquinas injetoras. O circuito hidráulico é formado por impurezas de borras e limalha de ferro, provenientes da bomba hidráulica e do movimento das válvulas. Os detergentes agem a partir de “grupos terminais polares, gerando um filme, impedindo a deposição de resíduos. Os dispersantes têm por finalidade afastar as partículas sólidas, mantendo-os suspensos, impedindo o acúmulo de depósitos.” (CORDEIRO et al, p.26,2020).

A Norma NBR ISO 10100:2014 sobre testes de fluídos hidráulico recomenda aos fabricantes que tanto o óleo hidráulico quanto os aditivos devem ser compatíveis com os retentores e outros elementos de vedação.

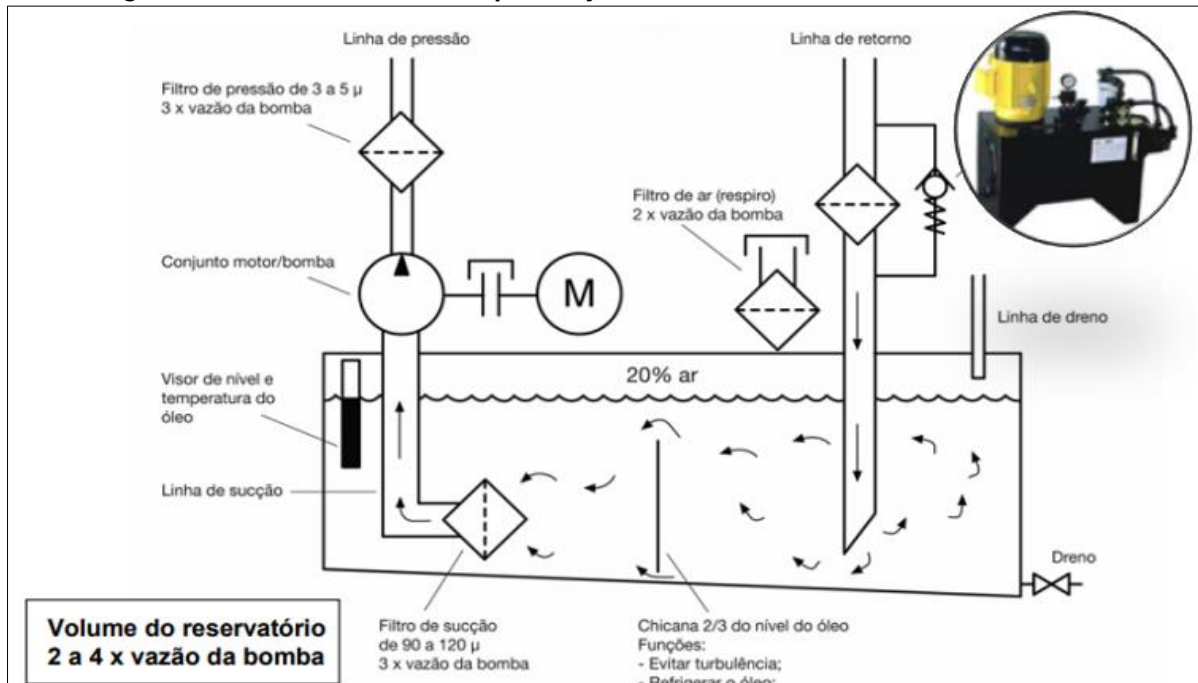
Em casos especiais onde o sistema requer um nível de pureza mais alto, a norma recomenda que os detalhes devem ser acordados entre o fabricante e o cliente.

2.8.4 Elementos do circuito hidráulico de uma máquina injetora

O circuito hidráulico é a parte da injetora composta pelo reservatório, bomba, válvulas e atuadores. Geralmente o reservatório fica localizado na parte traseira da injetora, próximo ao chão.

O reservatório hidráulico da máquina injetora é um tanque responsável pelo armazenamento do óleo hidráulico. De acordo com a Figura 31, apesar de ser um tanque, possui linhas de sucção, dreno e retorno, indicador de nível, respiradouro e placa defletora.

Figura 31 – reservatório da máquina injetora



Fonte: www.parker.com (2021).

Em pleno funcionamento o óleo hidráulico quente que volta ao reservatório se choca com as placas defletoras. Desta forma o calor se dissipa mais rápido antes do

óleo voltar para a linha de sucção e ser colocado novamente dentro do circuito hidráulico.

A bomba é o coração de todo o sistema hidráulico de uma máquina injetora. Recebe energia potencial de um motor elétrico e ao ser acionada comprime o óleo convertendo em pressão e força. É através desse ciclo que acontece a abertura e o fechamento do molde e conseqüentemente a injeção do material.

Todo circuito hidráulico das injetoras possuem diversos tipos de válvulas. As principais é a válvula direcional e a válvula de pressão.

A válvula direcional ordena o fluxo do óleo de acordo com a necessidade da ação, comando a partida, parada e o sentido da vazão. Quando o molde está fechado a válvula direcional está orientando o óleo hidráulico da bomba para que o cilindro atue na ação de fechamento do molde. Quando o molde está aberto a válvula direcional está realizando a operação inversa. Todo óleo é direcionado para reservatório. O acionamento desse tipo de válvula é por solenoide.

As válvulas direcionais das máquinas injetoras consistem basicamente de carcaça, elementos de atuação, êmbolo de comando e as molas para retorno.

O material da carcaça é próprio para alta pressão. É feita de ferro fundido esferoidal de grafite e segue as recomendações da EN-GJL-300 (GG 30). Esse tipo de material é ligado para obter propriedades de resistência ao desgaste, conformidade para tratamento térmico, resistência, usinabilidade, acabamento superficial. Além disso, essa classe de ferro fundido esferoidal possui excelente característica de amortecimento para vibrações.

Com relação à segurança, toda válvula hidráulica possui acionamento de emergência para comutação. O acionamento é feito por um pino.

A válvula de pressão limita, controle e reduz a pressão do sistema hidráulico da injetora. Ela também atua como uma válvula de segurança, aliviando a pressão em situações de risco.

Os atuadores são os cilindros hidráulicos que tem a função linear, criando movimento de avanço e recuo. Eles atuam no fechamento e abertura do molde, no avanço e retorno da unidade de injeção.

O atuador é composto pelos cabeçotes, pistão e camisa. Nos cabeçotes tem-se as conexões de entrada e saída do óleo.

A NBR 13444/95 padroniza os cilindros hidráulicos de haste simples, visando a intercambialidade entre os fabricantes. A norma estabelece diretrizes construtivas para identificação universal, tipos de montagem, modelos de fixação, diâmetro da camisa, diâmetro da haste, curso do cilindro e amortecimento.

2.8.5 Unidade do sistema elétrico da máquina injetora

O sistema elétrico da máquina injetora é o responsável pelo acionamento de uma série de elementos. Por exemplo, o motor elétrico é responsável por mais da metade da energia consumida pela injetora. Além disso, desde a bomba hidráulica até as resistências das zonas de aquecimento funcionam por corrente elétrica.

De acordo com a Figura 32, as resistências elétricas têm a função de gerar calor para fundir o plástico. Além disso, pode ser configurada para manter homogêneo e viscoso o material, facilitando a sua injeção.

Figura 32 – resistência elétrica de uma máquina injetora



Fonte: www.residalresistencias.com.br/ (2021).

As resistências são agrupadas em zonas de temperaturas e se localizam ao redor do canhão e do bico de injeção. O diâmetro da resistência pode variar de 30mm

até 70mm dependendo do tipo e capacidade da máquina injetora. Em injetoras mais sofisticadas as resistências são blindadas para evitar vazamento de material plástico que podem danificar e comprometer o funcionamento.

A cada ano surge novas tecnologias que trazem eficiência e agrega valor as resistências elétricas. Muitos fabricantes desenvolveram resistências elétricas associadas a cerâmica, garantindo assim um aquecimento mais forte e economia para a empresa.

Outro exemplo são as resistências elétricas de mica com fita de níquel cromo. Esse modelo também busca maior eficiência na manutenção da temperatura quando a máquina é desligada. Máquinas injetoras modernas conseguem manter a manutenção da temperatura estável por até 30 minutos após o desligamento da mesma.

O painel de controle é padronizado e fica instalado juntamente com a injetora. É uma central composta por software e hardware de alta precisão e veloz. As máquinas mais modernas concebem painéis elétricos de fácil montagem, manutenção e intercambialidade de seus componentes como relés, contactoras, fusíveis e o Controlador Lógico Programável (PLC).

O Controlador Lógico Programável é um equipamento microprocessado que, segundo Silva et al (2001), executa funções de controle de vários tipos e níveis de complexidade. Para isso possui uma unidade de processamento inteligente que controla todas as operações programadas.

Atualmente muitos fabricantes estão produzindo unidade híbridas, com um sistema elétrico conjugado com o hidráulico. Desta forma, o controlador lógico programável da máquina eleva a precisão do processo de injeção com movimentos acionados por servo bomba e automaticamente economiza energia.

2.9 Processo de injeção plástica

Processar polímeros por injeção é um dos mais modernos processos empregados no mundo, principalmente quando se fala em moldagem plástica. A cada dia surgem novos aparatos tecnológicos e novos procedimentos para viabilizar um processo mais eficiente e econômico.

Entender corretamente as etapas do processo de injeção plástica é fundamental para que qualquer organização possa deixar seu parque fabril e consequentemente seu produto mais competitivo e com excelente qualidade. O processo de injeção plástica requer que as empresas “busquem reduzir as perdas econômicas decorrentes da má qualidade dos produtos e processos de fabricação.” (GALDAMEZ e CARPINETTI, p.121, 2004).

O processo de injeção plástica está dividido nas seguintes fases: preparação do material; alimentação, transporte, plastificação, enchimento do molde, resfriamento e extração da peça.

1° Fase – Preparação do material: preparar um material é deixá-lo disponível com as características físico-químico preservada. Quando se fala em polímeros em um processo de injeção plástica, a umidade deve ser levada em consideração.

A umidade é a quantidade de partículas de água em suspensão no ar. Materiais úmidos ao serem colocados na injetora geram defeitos no processo. As pesquisas de Corrêa e Melo (2015) revelam que peças injetadas sem o controle da umidade ocasionam a formação de bolhas, gerando defeitos.

O processo de estoque dos materiais contribui para a condensação criando umidade na superfície dos pellets. Por este motivo que a primeira etapa é a secagem do material.

Além de evitar defeitos a secagem correta dos pellets auxilia no pré-aquecimento, possibilitando uniformidade na temperatura e melhorando a plastificação.

A secagem do material polimérico é realizada pelo processo de ar quente, onde o ar é circulado dentro do funil, eliminando a umidade.

2° Fase – Alimentação: o processo de alimentação ocorre quando os pellets entram na injetora através do funil. A alimentação pode ocorrer manualmente e automaticamente.

Seguindo o mesmo princípio da caixa de água os pellets descem por gravidade para serem conduzidas para a próxima etapa.

3° Fase – Transporte e uso da rosca: a fase de transporte é realizada através da rosca da injetora. A rosca é o principal componente da máquina injetora juntamente com o molde. Por este motivo que a rosca passa por um processo de fabricação especial.

Conforme a Figura 33 primeiramente a rosca é fabricada de aço liga especial para garantir uma excelente qualidade e dureza. A rosca é nitretada para reforçar a superfície e melhorar a sua resistência à abrasão.

Figura 33 – rosca de uma máquina injetora



Fonte: <https://www.roscaf.com.br/> (2021).

Após a primeira etapa de fabricação a rosca de uma máquina injetora é submetida a um cuidadoso polimento. Com isso, evita-se que o material engate em alguma parte metálica.

O transporte do polímero recebe duas ações importantes para que o processo de injeção seja completo. A ação número um acontece quando a rosca da máquina injetora atua como um parafuso sem fim.

A segunda ação é quando a rosca atua também como um atuador. Como parafuso sem fim a rosca é conjunto de filetes composta por um corpo e pelo canal. O corpo é a parte de aço liga central da rosca. O passo é a distância entre dois filetes e o canal da rosca é o espaço lateral entre dois filetes onde o material é transportado.

Como atuador a rosca funciona como um pistão, realizando movimento para frente para injetar o material no molde. Essa funcionalidade dupla é chamada de rosca recíproca.

O processo de transporte ocorre quando os pellets provenientes do funil de alimentação são depositados sobre a rosca que os carrega em movimentos como de uma rosca sem fim. No processo de transporte ocorre também o derretimento adequado dos pellets, a compressão total, a mistura homogênea do material e a injeção do material no molde.

No processo transporte a rosca ao realizar o giro cria espaço para depositar os pellets já fundidos. A rosca fica depositando material na parte da frente pronto para ser injetado no molde quando o bico de injeção for aberto.

4° Fase – Plastificação: a plastificação é a etapa de fusão dos pellets de forma rápida e uniforme. O polímero deixa de ser sólido e passa a ser fundido. O objetivo principal é manter a composição e a temperatura da massa polimérica homogênea.

5° Fase – Enchimento do molde: o enchimento do molde é uma das etapas mais estressantes da injeção. Isso ocorre porque o preenchimento é afetado diretamente pelas condições que se encontra os canais e as cavidades do molde. Por isso que o estudo de como o fundido se comporta dentro das cavidades do molde é fundamental para saber se a peça acabada é de qualidade ou não.

O polímero fundido deve ter fluidez suficiente para escoar e preencher os canais e cavidades por completo. Além disso durante o enchimento e esvaziamento do molde, a peça injeta sofre dilatação e contração térmica. Neste caso os canais e cavidades recebem uma porcentagem a mais sob forte pressão. Esta etapa é chamada de pressurização.

6° Fase – Recalque da rosca: além da etapa de preenchimento do molde e pressurização, tem-se a etapa de recalque, responsável por fazer que o polímero fundido fique em uma pressão controlada para que não retorne.

7° Fase – Resfriamento: toda máquina injetora possui um sistema de resfriamento onde o líquido circula nas cavidades específicas do molde. O resfriamento possibilita a solidificação do polímero.

O resfriamento envolve fatores como a temperatura média do molde, o tempo de resfriamento e principalmente do tipo de material injetado para o produto final. Todos esses fatores influenciam diretamente no ciclo de injeção, podendo melhorar ou não o processo produtivo.

Existem diversos líquidos utilizados no processo de resfriamento. A água é o fluido mais comum e o mais utilizado na grande maioria dos modelos de máquinas injetoras. O óleo é outro líquido utilizado quando o molde precisa permanecer com temperaturas elevadas, geralmente acima dos 80° C. Além dos líquidos temos o uso de substâncias gasosas como o ar comprimido, usado apenas quando o processo exigir um resfriamento lento e gradativo.

8° Fase – Extração: é a fase em que o produto já moldado é ejetado do molde. Essa etapa é indispensável porque o produto fica agarrado no molde após a sua abertura. A extração pode ocorrer por meio de acionamento hidráulico ou por acionamento mecânico, com uso de extratores e pinos. Além destes, temos outras formas de extração com o uso de ar comprimido.

2.10 Injeção plástica com a utilização de várias fibras naturais

O advento da concepção sobre sustentabilidade vem proporcionado o crescimento de pesquisas nas mais diversas áreas. Sabe-se que o plástico é a maior descoberta da história em se tratando de materiais. Atualmente é indispensável para o crescimento de qualquer organização.

Porém nem tudo é vantajoso quando se trata de pós uso de materiais a base de plástico. A nível social quando descartado de forma incorreta vira lixo acumulado, causando prejuízos de ordem econômica nas cidades. Além disso, alguns tipos de plásticos contêm substâncias que podem fazer mal à saúde. A nível ambiental o plástico é considerado como o maior lixo do mundo e um dos grandes desafios dos governantes.

O que fazer com o plástico? Nenhuma empresa admite deixar de embalar ou construir seu produto a partir dessa matéria prima popular e economicamente viável. Por este motivo que a combinação do plástico com outros tipos de materiais tem proporcionado a concepção de que é possível diminuir os impactos ambientais e sociais. Alguns materiais são o curauá, coco e sisal.

O Curauá (*Ananas erectifolius*) é uma bromeliaceae, sendo parte da família das bromélias. É uma planta nativa da Amazônia podendo chegar a atingir um metro e meio de altura. De acordo com a Figura 34 pode crescer em diversos tipos de solo, do arenoso até o solo pouco produtivo.

Figura 34 – Plantação de curauá



Fonte: Embrapa (2021).

Na questão socioambiental o curauá cria enormes expectativas do seu uso associado ao plástico, por concentrar enormes benefícios como a resistência, maciez, peso e robustez. Essas qualidades despertam novas pesquisas em prol da viabilidade do curauá nos processos industriais.

Por exemplo, a pesquisa realizada por Sousa (2016) sobre caracterização mecânica, térmica e morfológica de compósitos de Polihidroxibutirato (PHB) reforçados com fibras de curauá, passou pelo processo de extrusão e injeção plástica. O autor defende que todo corpo de prova relativos aos ensaios mecânicos de tração, flexão e impactos devem ser moldados por injeção plástica. O resultado da pesquisa corrobora que “os compósitos apresentaram propriedades mecânicas iguais ou

superiores ao polímero puro, considerado viável para aplicações industriais, notadamente revestimentos nas indústrias automotivas”. (SOUSA, p. 76, 2016).

Já os estudos de Araújo (2009) sobre compósitos de polietileno de alta densidade que foram reforçados com fibras de curauá foi obtido pelo processo de injeção plástica. Segundo o autor a injeção plástica foi fundamental para obter o compósito com as propriedades desejadas. O resultado da pesquisa demonstra que “o compósito reforçado com fibra de curauá apresentou propriedades equivalentes ao compósito reforçado com fibra de vidro, com a vantagem de ter menor densidade e menor custo.” (ARAÚJO, p.130, 2009).

Paralelo a estas duas pesquisas, Da Luz e Lens (2011) destacam que os compósitos de polipropileno virgem e reprocessado com a fibra de curauá obtidos pelo processo de injeção plástica “proporcionou uma redução na resistência à tração e no alongamento na ruptura dos compósitos.” (DA LUZ e LENS, p. 222, 2011).

Ainda segundo Da Luz e Lens (2011), a injetora utilizada foi da marca HIMACO com curso de dosagem de 55 mm e pressão de injeção de 90 bar. O perfil de temperatura das três zonas foi de 160°, C (alimentação), 165°C (zona intermediária) e 170°C (saída).

O coqueiro (*Cocos nucifera L.*) é uma das frutíferas mais conhecidas e apreciadas pelas pessoas. De acordo com a Figura seu cultivo e sua comercialização ocorrem praticamente em todos os continentes.

O coco possui na sua estrutura química a hemicelulose, celulose e lignina, sendo esta última responsável pela dureza. Alguns tipos de coco possuem porcentagem altíssimas de lignina, acima de 40%, tornando-se mais duro e resistente do que muitos tipos de madeira.

Pelo fato de o coco ser composto por material lignocelulósico sua fibra é estudada em vários processos de matérias poliméricos.

Os estudos de Bettini et al (2009) sobre o comportamento em fadiga de um compósito de polipropileno reforçado com fibra de coco, foi realizado em uma injetora Battenfeld, modelo HB 60/350, com perfil de temperatura de 190, 190, 190 e 195 °C nas zonas 1, 2 e 3 e no bico da injetora. A pesquisa concluiu que “a obtenção de compósitos de polipropileno e fibras de coco foi viável, tanto do ponto de vista

ecológico, quanto em termos de suas propriedades mecânicas.” (BETTINI et al, p. 8, 2009).

Outra pesquisa com fibras de coco tendo o processo de injeção plástica parte de Santos et al (2006). O desenvolvimento de um compósito híbrido de polipropileno com fibras de vidro e coco passou pela injeção plástica para a confecção do corpo de prova. Segundo os autores, “aumento da severidade do tratamento químico provocou um claro aumento do índice de fluidez, do módulo de Young e da resistência ao impacto dos compósitos.” (SANTOS et al, p. 3807, 2006).

A injetora plástica Battenfeld Extrusions technik GmbH, modelo 210-750 TM, foi utilizada pelos pesquisadores Pasquoto et al (2008), afirmam que esse modelo de injetora possui grande capacidade de processamento de material plástico. Os autores pesquisaram sobre a influência da polpação da fibra de coco na produção de compósitos de Polipropileno. O perfil de temperaturas utilizada foi de 175°C, 180°C e 200°C, contando desde o alimentador até o aplicador com o molde a 60°C.

O Sisal (agave sisalana perrine), é originária da península de Yucatá, no México. A introdução do sisal na Brasil data de 1903, no estado da Bahia.

A fibra é industrializada e convertida em fios, barbantes, cordas, tapetes, sacos, bolsas, chapéus e artesanato. a fibra de sisal pode ser empregada na indústria automotiva, de móveis e eletrodomésticos, na mistura com polipropileno e na construção civil. Apesar de todas essas aplicações, a principal utilização da fibra do sisal é a fabricação de fios agrícolas (Twines).

Na pesquisa de Jesus et al. (2008), sobre caracterização de biocompósitos de PHB, com fibras naturais de sisal acetiladas e não-acetiladas, foi usado a injetora da marca ARBURG, modelo 221k. A temperatura da zona de aquecimento foi de 155^o, 160^o, 170^o, 175^o e 170^o. “É possível produzir biocompósitos de PHB com fibras de sisal desde que os parâmetros da injetora possa ser definido e que a matriz de polihidroxibutirato (PHB) é biodegradável”. (JESUS et al, p. 3, 2008).

Outra pesquisa sobre a modificação de fibra de sisal via carbonização hidrotérmica para aplicação em materiais compósitos, Luz (2017), utilizou uma máquina injetora Thermo Sicentific HAAKE MiniJet II, com temperatura do canhão de 210 °C. “A adição de 10% e 20% de fibras de sisal com 2 horas de carbonização hidrotérmica produziu um compósito com, respectivamente, um aumento de 17,9% e

32,19%, no módulo de elasticidade, de 9,25% e 52,29% na resistência ao impacto e de 19,06% e 29,85% no limite de escoamento, em comparação ao polímero reciclado.” (LUZ, p.71, 2011).

Outra pesquisa parte de Gafforelli (2009) sobre reintegração de resíduo de polipropileno gerado pela indústria automotiva para composto termoplástico em para-choques. De acordo com a Figura 35, utilizou-se injetora BONMAQ, modelo APTA 80, A temperatura do molde foi de 20°C, com temperaturas de zonas de aquecimento de 150°C/150°C/170°C/180°C.

Figura 35 – injetora BONMAQ



Fonte: Gafforelli (2009).

Os resultados mais significativos extraídos do presente estudo demonstraram que “as propriedades elásticas em tração, deformação no ponto de ruptura, tenacidade e resistência ao impacto Charpy obtiveram resultados mais satisfatórios com a adição do PP reciclado em todos os teores em comparação ao material virgem.” (GAFFORELLI, p. 49, 2009).

2.11 Processo de extrusão

A extrusão é um dos processos de produção mais conhecidos e mais usados no mundo. O que era específico da indústria metalúrgica e de plástico, foi aperfeiçoado e hoje serve também a produção de alimentos pets e para o consumo humano. São exemplos disso as massas alimentícias, cereais matinais, sopas desidratadas entre outras.

Apesar da sua versatilidade a extrusão atinge seu maior volume entre os termoplásticos, sendo utilizada no processamento para fabricação de produtos contínuos.

Com relação a nível de importância a extrusão é unânime entre os profissionais. É considerada como a principal etapa de preparação de polímeros – o de base. É responsável pela alimentação, plastificação e transporte de polímeros que deverão servir a outros processos, como a injeção plástica e o sopro. “A extrusora é uma máquina de grande importância para o processo produtivo, sendo a primeira etapa para a transformação do material em plástico.” (DOS REIS, et al, p5,2018).

Além disso a extrusora é utilizada para a preparação da própria matéria-prima. Por exemplo, as indústrias mesclam polímeros e aditivos na produção de pellets de materiais compostos de alta qualidade.

Por causa dessa versatilidade em mesclar diversos tipos de materiais, o processo de extrusão começou a ser usado para o desenvolvimento de novos biocompósitos, com adição de fibras naturais. Neste caso, o polímero continua sendo a matriz principal e as fibras naturais atuam como reforço, agregando ao biocompósito novas características. Nesta pesquisa os biocompósitos são fabricados no formato de pellets pelo processo de extrusão.

O biocompósito por sua vez é considerado como propulsor oportunizando uma nova onda econômica, alimentando uma nova cadeia produtiva, onde o produtor rural familiar de fibras naturais também é beneficiado.

Por exemplo, os estudos de Margem (2013) sobre características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva, destaca que o uso de 30% de fibra de Malva como reforço em matrizes de plástico é suficiente para uma melhora significativa de resistência e de impacto dos produtos. Se a produção nacional de algum produto polimérico adicionasse a fibra de malva no seu

processo produtivo, os ganhos econômicos da empresa e do próprio produtor rural seria altíssimo.

Este tipo de estudo é o efeito reverso da indústria de transformação. Enquanto o processo de extrusão serve muito bem para a sua finalidade de produção de produtos à base de plástico, em contraste, não se pode negar os efeitos contaminantes do mesmo.

O desenvolvimento e o melhoramento de novos materiais a base de biocompósitos impulsiona a evolução dos plásticos de duas formas: o processo de extrusão e o de injeção estão sendo constantemente utilizados para que essa alternativa proporcione um plástico mais sustentável; e que também possa trazer benefícios para os agricultores de fibras naturais.

Os estudos de Santos et al (2004) demonstram que a adoção de plásticos mais sustentáveis ou propensos a reciclagem, contribuem para não esgotar a capacidade dos aterros sanitários e contribuem para preservar os recursos naturais.

Os agricultores de fibras naturais são extremamente prejudicados quando a questão é o preço da matéria-prima. O preço do quilo de muitas fibras não compensa o trabalho duro desde a colheita até a extração. Pancetti (2010), argumenta que os agricultores familiares precisam ter auxílio para que ocorra o desenvolvimento local e o reconhecimento econômico do seu trabalho.

Apesar de sua importância o processo de extrusão não é uma tecnologia atual. O primeiro relato remete ao ano de 1795, onde um inventor inglês chamado Joseph Bramah realizou experimentos com uma máquina que posteriormente ficou conhecida como a prensa hidráulica.

O conceito da prensa hidráulica para produtos extrudados era a possibilidade de a matéria-prima ser colocado em um molde blindado, com apenas um perfil. Através da pressão hidráulica, a matéria-prima é forçada em apenas uma direção.

Somente em meados de 1935 foi realmente desenvolvida a máquina para extrusão da forma como a gente conhece hoje. Seu inventor chama-se Paul Troester, da Alemanha.

A ideia original de Troester era fabricar na própria Alemanha máquinas de extrusão capazes de suprir a crescente demanda por produtos de borracha, pneus e termoplásticos para a indústria automobilística europeia. Com mais de 125 anos de fundação, a Troester, empresa familiar, é uma das mais respeitadas em todo mundo por sua expertise em extrusão.

Outro avanço data de 1950 um italiano chamado Roberto Colombo ampliou os conceitos de extrusão ao desenvolver as rodas duplas. Este avanço revolucionou a indústria sobre a plastificação e o transporte de polímeros sólidos.

O diferencial estava no aquecimento elétrico. Antes todas as máquinas eram aquecidas pelo vapor. Somente após 1935 que o aquecimento por eletricidade ganhou legitimidade nas indústrias até os dias de hoje.

Conforme a Figura 36 a extrusora de perfil apresenta dois modelos de acordo com a sua rosca. Pode ser de rosca única para material granulado ou rosca dupla para material em pó, como exemplo o PVC.

Figura 36 – Máquina extrusora plástica



Fonte: www.abiplast.org.br (2022).

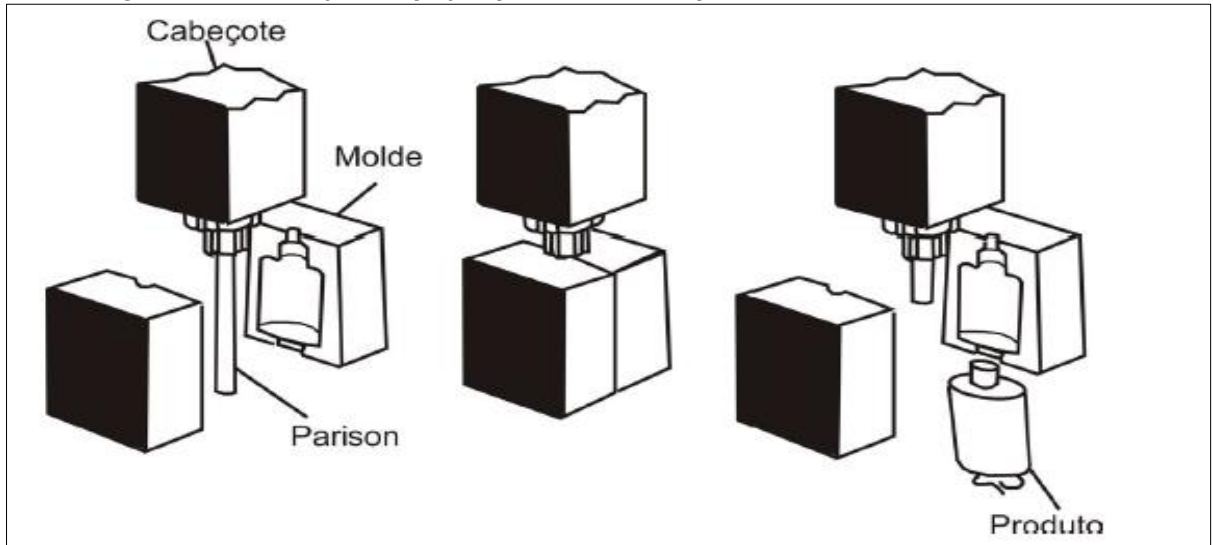
Na saída do perfil extrudado é realizado o acabamento que envolve o resfriamento do produto, corte, rebarbas e enrolamento.

A extrusão na fabricação de peças ocas é conhecida como sopro. É um processo que combina a tecnologia da extrusão com a termoformagem.

O processo inicia normalmente no funil ou silo da máquina extrusora onde a matéria-prima é depositada, passando pela rosca através do cilindro.

Conforme a Figura 37 ao passar pela matriz o material assumi a pré-forma (parison), o qual é introduzido em um molde específico. Em seguida sopra-se ar comprimido para que tome o formato desejado.

Figura 37 – Produção de peças por extrusão sopro



Fonte: www.abiplast.org.br (2022).

A extrusão de filmes é outro processo de alta produção na indústria plástica. É usado na fabricação de produtos com espessuras pequenas como sacos plásticos, sacolas, embalagens entre outras.

De acordo com a Figura 38 o processo inicia com a extrusão da matéria-prima através de uma matriz que infla várias vezes, formando uma espécie de bolha tubular com uma espessura fina.

Figura 38 – Máquina extrusora para filme



Fonte: www.abiplast.org.br (2022).

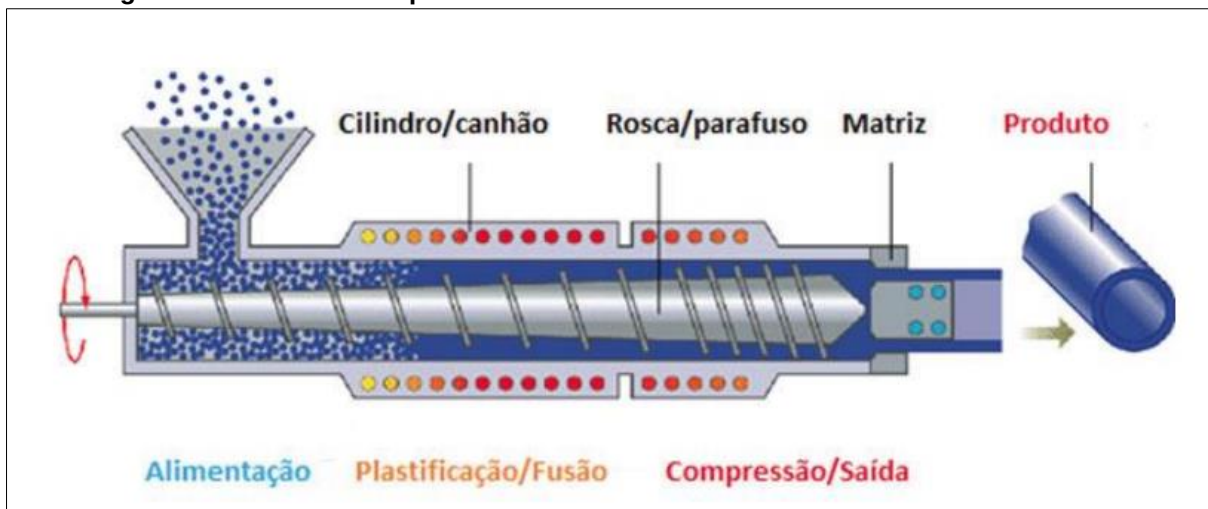
A etapa final consiste no esfriamento da bolha tubular antes de ser enrolada e cortada para o processamento de material plano ou mantida na forma de tubo para a produção de sacos e sacolas plásticas.

2.12 Máquina extrusora

A extrusão é conceituada como um processo mecânico onde o polímero é forçado através de uma matriz, adquirindo a geometria desejada. De acordo com a Figura 39, a máquina extrusora é formada por um funil ou por um silo, que recebe os pellets e os conduz de forma ordenada para dentro do equipamento.

Na parte interior da extrusora temos a rosca com formato helicoidal, uma combinação de elevada dureza e alto acabamento, que proporcionam redução de atrito entre a superfície da rosca e o polímero transportado. Ressalta-se que a rosca pode possuir diferentes modelos de acordo com o tipo de polímero a ser extrudado.

Figura 39 – rosca da máquina extrusora



Fonte: www.abiplast.org.br (2022).

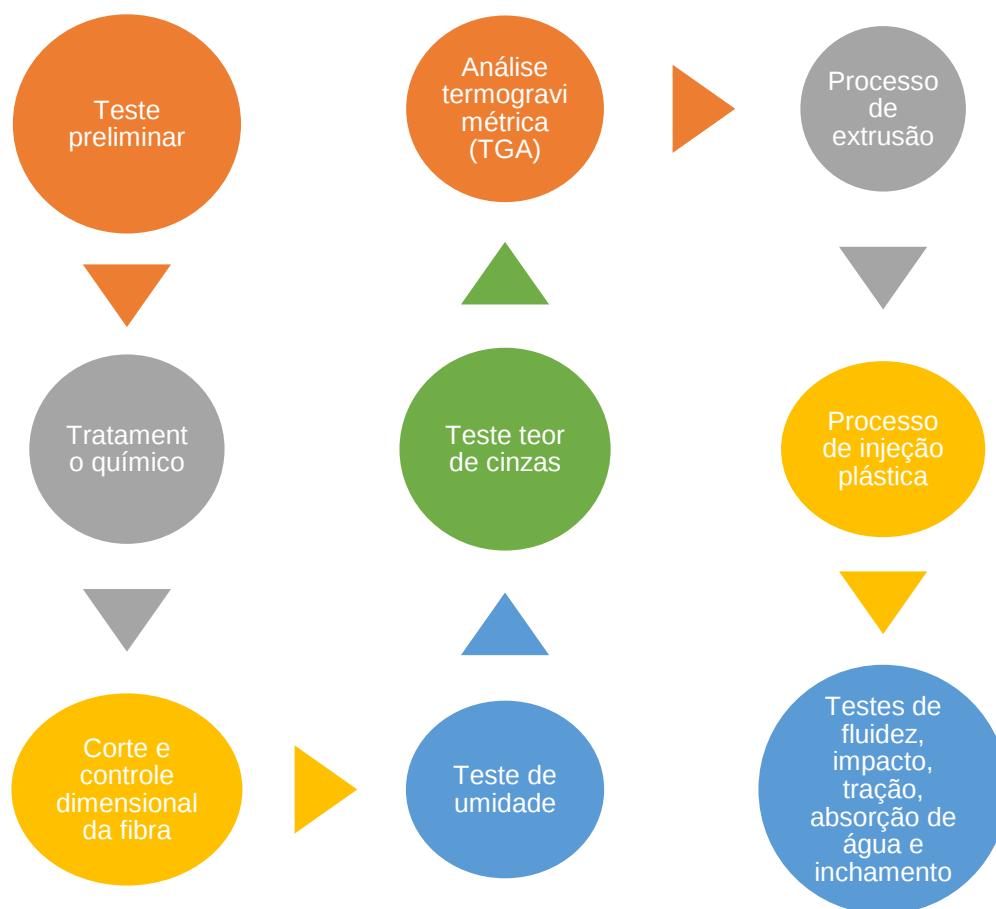
A rosca é a parte da máquina mais importante, porque dela vem a função de transportar, amolecer, fundir, homogeneizar e plastificar o polímero.

Arquimedes (287–212 a.C.) foi o físico-matemático inventor da rosca mecânica. O objetivo é de transferir um material de um ponto para o outro. Historicamente a rosca é conhecida como “parafuso de Arquimedes”.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em duas etapas: a primeira refere-se ao tratamento químico e a caracterização da matéria prima da fibra vegetal (*in natura* e tratada). A segunda refere-se aos ensaios, produção e testes dos biocompósitos.

Os procedimentos metodológicos e as principais etapas de desenvolvimento do trabalho encontram-se a seguir:



3.1 Primeira etapa - tratamento químico e a caracterização da matéria prima da fibra vegetal

As fibras de Juta oriundas do município de Manacapuru a 98 km de Manaus, foram obtidas na empresa Jutal e Amazon Fibras, localizada na cidade de Manaus, bairro Presidente Vargas. Estas foram adquiridas no estado *in natura*, separadas da malva e outras fibras em fardos de 30 kg conforme a Figura 40.

Figura 40 – Fibra de juta no estado *in natura*



Fonte: autor (2021).

Para a produção do biocompósito utilizou-se polipropileno (PP) correspondente a 25 Kg, com as seguintes especificações técnicas:

- Densidade de 0,905 g/cm³;
- Resistência a tração de 32,75 MPa;
- Elasticidade de 1404 MPa;
- Alongamento de 382, 50%.

O polipropileno foi doado pela empresa Tutiplast, localizada na cidade de Manaus, bairro Armando Mendes. Para o tratamento das fibras, fez-se uso do hidróxido de sódio a 95%, da marca Biotec Reagentes Químicos, adquirido na empresa Instrumental Técnico.

Para caracterização da fibra de Juta fez-se necessário à limpeza superficial das fibras por causa da grande quantidade de matéria orgânica e outros agregados presentes nas amostras coletadas. As fibras foram lavadas sob pressão com jatos contínuos por aproximadamente 2 horas em água corrente por toda a extensão e penteadas para o desembaraço dos feixes.

De acordo com a Figura 41, após a lavagem, as fibras de juta foram colocadas para secar em temperatura ambiente durante 16 horas. Após secagem as fibras foram novamente penteadas e agrupadas em feixes e disposta para o armazenamento em vasilhames de plástico.

Figura 41 – Fibras de juta durante o processo de secagem



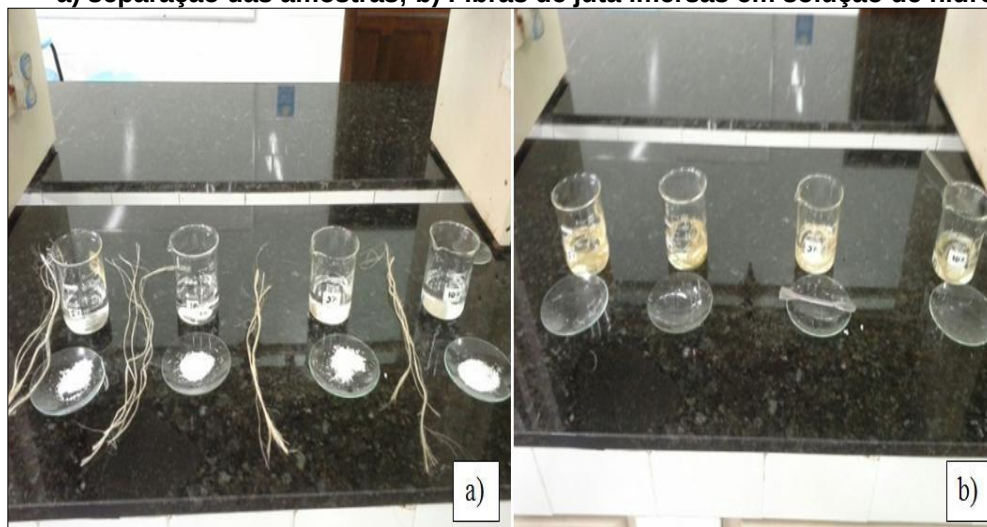
Fonte: autor (2021).

O processamento inicial através da lavagem, penteamento e secagem teve como base os procedimentos estabelecidos na literatura científica (DA SILVA e DE OLIVEIRA, 2021; MARTINS e MATOSSO, 2005; MOURA, 2019; OLIVEIRA, 2019; SAVASTANO JUNIOR e PIMENTEL 2000).

O **teste preliminar** foi realizado no Laboratório de Química da Universidade Federal do Amazonas, com as amostras em quatro repetição. O tratamento químico adotado foi o de mercerização, também denominado, tratamento alcalino. Esse tratamento foi escolhido porque já é um método bastante utilizado na literatura, em outras fibras naturais (AMORIM, 2019; BARBOSA, 2021; DE OLIVEIRA, 2019; DE MOURA FURTADO, 2020; IOZZI, 2010; NERY e JOSÉ 2018; OUTA 2019; SANCHEZ, 2010).

As fibras de juta foram colidas e separadas de diversas partes dos feixes de forma aleatória, até formarem cordonéis com peso de 3g cada.

Posteriormente foram cortadas em tamanhos iguais de 150 cm. Conforme a Figura 42, para escolha do teor de solução de hidróxido de sódio (NaOH), foram feitos testes preliminares em concentrações de 5% e 10%, com imersão em solução aquosa durante 30 e 60 minutos.

Figura 42 – Teste preliminar**a) separação das amostras; b) Fibras de juta imersas em solução de hidróxido de sódio**

Fonte: autor (2021).

O objetivo foi avaliar a concentração a ser adotada e igualmente o período de imersão do material, levando em consideração a intensidade do tratamento alcalino na superfície fibrilar (NORONHA, 2020; WEARN e MONTAGNA, 2020).

Após essa etapa, conforme a Figura 43, as fibras foram secas em temperatura ambiente de 36 °C por 5 h, e em seguida em estufa com temperatura de circulação de 60 °C durante 40 min.

O objetivo dessa etapa foi a retirada de umidade presente nas fibras, antes do procedimento de embalagem. Essa metodologia de secagem está descrita na literatura (CRISPINIANO, 2000; DE BRITO DINIZ, 2020; MIRANDA, 2015; MOURA e DALLA 2018).

Figura 43 – Teste preliminar:**a) Secagem das fibras na estufa; b) Acondicionamento das fibras em embalagens**

Fonte: autor (2021).

Após o processo as fibras foram acondicionadas em embalagens de proteção a vácuo para análise das condições de mercerização em microscópio.

O tratamento e caracterização química da fibra foi efetuada no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LaMAC/UFAM. As fibras foram separadas em pequenos feixes até completar o peso de 1,5 Kg em virtude da capacidade das bacias. Foi realizado o penteamento das fibras para diminuir o embaraço dos fios e o corte das pontas maiores para que cada feixe tivesse o mesmo tamanho. Após isso as fibras de jutas foram imersas em solução alcalina durante 60 minutos, cujo processo está ilustrado na Figura 44.

Figura 44 – Mercerização das fibras de juta:

a) Pesagem dos feixes; b) Feixes de fibras de jutas; c) Fibras imersas em hidróxido de sódio



Fonte: autor (2021).

Após esse período, as fibras foram lavadas abundantemente em água corrente, até obtenção de potencial hidrogeniônico $\text{pH}=7$ (neutro), cujo processo é ilustrado na Figura 45.

Em seguida os feixes foram colocados em temperatura ambiente por 12 horas ininterruptamente até completa secagem. Após secas os feixes foram novamente penteados por todo o comprimento e cortados nas dimensões de 1 a 3 mm. Durante este processo de mercerização houve perda de aproximadamente 200g para cada feixes de peso 1,5 Kg.

Figura 45 – Mercerização das fibras de juta: a) Obtenção do PH 7; b) Feixes de fibras de jutas dispostas para secagem; c) Controle dimensional das fibras



Fonte: autor (2021).

No controle dimensional as fibras foram cortadas segundo a metodologia estabelecida por diversos pesquisadores (ANGRIZANI, 2006; BARBOSA 2020; NOGUEIRA, 2021; OLIVEIRA 2010; PEREIRA 2012; RECH 2021; SANCHEZ, 2010; VITOR, 2021).

Assim, conforme a Figura 46 as fibras foram sendo cortadas em diversos tamanhos, dependendo do processo que foi submetida. Para o processo de extrusão foram cortadas no tamanho de 1 a 3 mm, identificadas e separadas em embalagens. Para os testes de DRX e TGA foram micro cortadas em tamanho menores que 1 mm, identificadas e acondicionadas em recipientes com tampa. Para o teste de cinzas e umidade foram cortadas em tamanhos de 15 e 30 mm respectivamente.

Figura 46 – Mercerização das fibras de juta: a) Obtenção do PH 7; b) Feixes de fibras de jutas dispostas para secagem; c) Controle dimensional das fibras



Fonte: autor (2021).

O Teste de umidade foi realizado com o intuito de verificar a umidade residual da fibra. O teste de umidade é amplamente utilizado por vários pesquisadores em várias fibras naturais (CORREA, 2003; DE OLIVEIRA, 2012; DE ARAUJO RIBEIRO 2019; LOPES, 2010; MIRANDA 2015; PICANÇO, 2008; SANTOS, 2010).

De acordo com a Figura 47, utilizou-se o analisador halogêneo de umidade, modelo OHAUS, cuja capacidade é de 5 gramas. No início da medição, o analisador de umidade determinou o peso das amostras sendo logo em seguida aquecida pela unidade secadora halógena, ocasionando a evaporação da umidade. Na conclusão após a secagem, os resultados da porcentagem de umidade foram exibidos e anotados.

Figura 47 – Teste de umidade



Fonte: autor (2018).

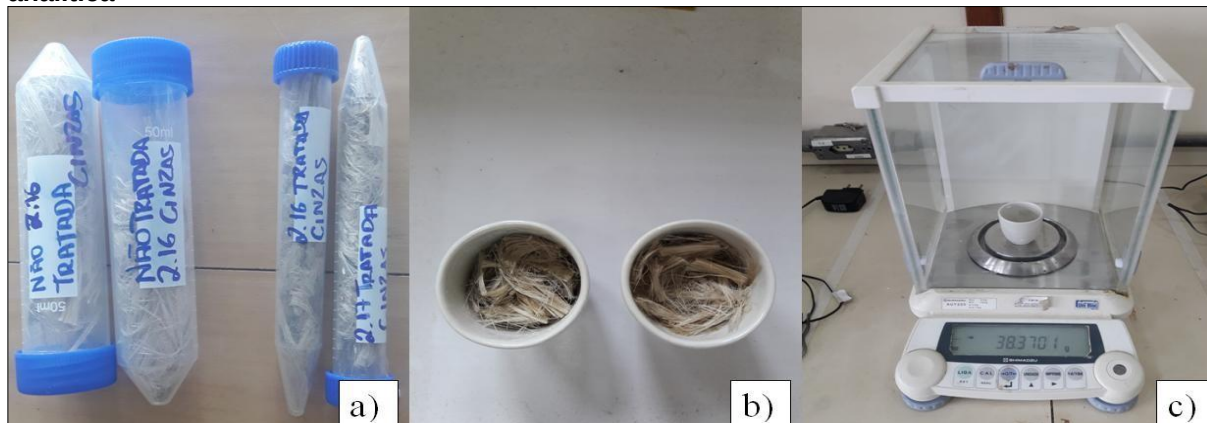
O Teste Teor de Cinzas, conforme a Figura 48, foi utilizada a metodologia descrita na Norma TAPPI T211 (2002).

Conforme as Figuras 49, os cadinhos foram calcinados a 600 °C por 30 minutos e resfriado no dessecador. Enquanto isso, as fibras de Jutas foram separadas em tratadas e não tratadas de vários feixes aleatoriamente.

De acordo com a Figura 50, foram pesadas em balança analítica. As amostras foram condicionadas em cadinhos, levadas ao forno de mufla em temperatura ambiente e acionado seu funcionamento com uma projeção de aquecimento de 9,6 °C min⁻¹ até a temperatura de 600 °C. As amostras ficaram sob esta temperatura por 3 horas.

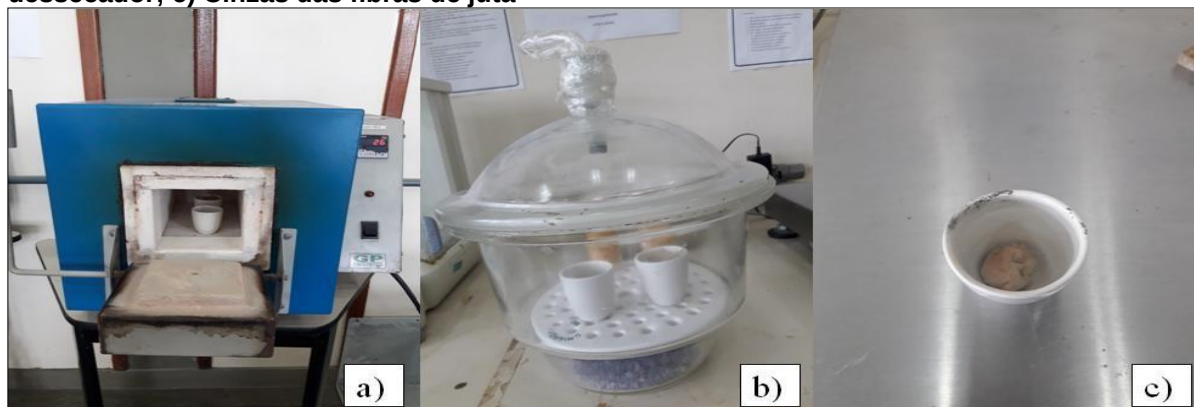
Após esse tempo as amostras foram retiradas da mufla e resfriadas em dessecador com sílica gel.

Figura 48 – Teor de cinzas: a) seleção das amostras em tratadas e não tratadas com hidróxido de sódio; b) Fibras colocadas nos cadinhos; c) Fibras foram pesadas em balança analítica



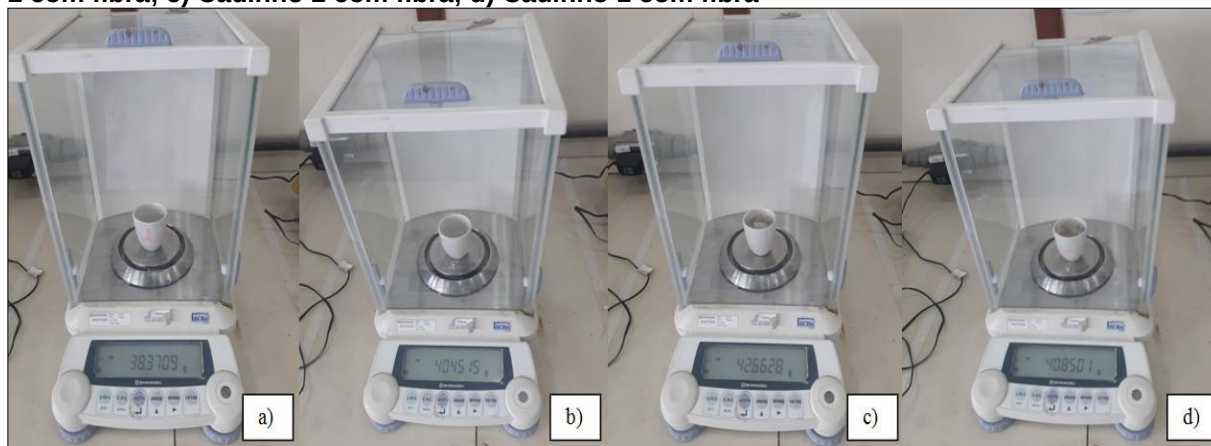
Fonte: autor (2018).

Figura 49 – Teor de cinzas: a) Fibras levadas para o forno de mufla; b) Fibras colocadas no dessecador; c) Cinzas das fibras de juta



Fonte: autor (2018).

Figura 50 – Teor de cinzas: a) Pesagem do cadinho 1 sem fibra; b) Pesagem do cadinho 2 com fibra; c) Cadinho 2 com fibra; d) Cadinho 1 com fibra



Fonte: autor (2018).

Todos os resultados obtidos nesta experiência podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados obtidos a partir da pesagem dos cadinhos para o teste de cinzas

Fibra Mercerizada		Fibra não tratada	
Cadinho 1 sem fibra	38,3702g	Cadinho 1 sem fibra	38,3709g
Cadinho 1 com fibra	40,5648g	Cadinho 1 com fibra	40,8501g
Cadinho 2 sem fibra	40,4485g	Cadinho 2 sem fibra	40,4515g
Cadinho 2 com fibra	42,5236g	Cadinho 2 com fibra	42,6629g
Peso das cinzas – cadinho 1	38,4009g	Peso das cinzas – cadinho 1	38,3970g
Peso das cinzas – cadinho 2	40,4786g	Peso das cinzas – cadinho 2	40,4716g
Massa da amostra 1	2,1639 g	Massa da amostra 1	2,4531g
Massa da amostra 2	2,045g	Massa da amostra 2	2,1913g

Fonte: Autor (2018)

A análise termogravimétrica destrutiva de TGA teve por objetivo analisar a variação da massa da fibra de juta em função da temperatura e do tempo. Esse tipo de análise já foi realizado em diversas fibras naturais (GOMES e VISCONTE, 2013; JESUS, 2019; MACHADO, 2010; NERY e SANTOS, 2018; PASSOS, 2022; POLETTTO, 2020; SALAZAR e CARASCHI, 2005; SEO, 2019).

Visto que o processo de obtenção do biocompósito de juta e polipropileno passa pela operação de extrusão e posteriormente injeção plástica, é fundamental compreender o comportamento da fibra de juta sob diferentes temperaturas.

Foi utilizado o equipamento TA Instruments Systems SDT Q600, Figura 51, com taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, até temperatura máxima de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, em atmosfera de nitrogênio. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LaMAC/UFAM.

Figura 51 – TA Instruments Systems SDT Q600



Fonte: autor (2018).

3.2 Segunda etapa - ensaios, produção e testes dos biocompósitos

O processo de extrusão e fabricação dos pallets dos biocompósitos foi realizado na Tutiplast, empresa do Polo Industrial de Manaus, localizada no bairro Armando Mendes. A máquina extrusora e a Peletizadora são da marca Ka Hay Machinery, Modelo KAPC 120/20:1. De acordo com a Figura 52 a máquina extrusora era equipada com dispositivo vertical de alimentação forçada, com saída de ventilação para melhorar a evaporação dos gases que desprendem do material.

Figura 52 – a) Sistema de resfriamento; b) Peletizadora; c) Máquina de extrusão



Fonte: autor (2018).

Para a produção do biocompósito foi empregado três tipos de formulação, segunda a Tabela 9:

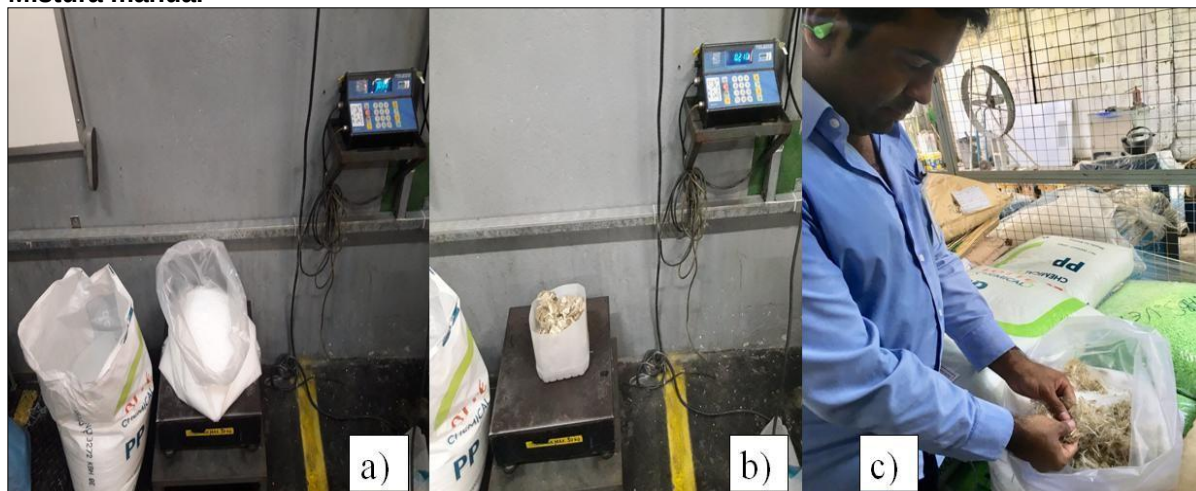
Tabela 9 – Quantidade de material utilizado no processo de extrusão.

Sequência	Polipropileno (PP)	Juta	Quantidade
1	700 g	0%	Testemunha
2	700 g	3%	210 gramas
3	700 g	1%	70 gramas

Fonte: Autor (2018).

O polipropileno (PP) e a fibra de juta foram pesados em uma balança de precisão da marca Toledo com precisão de 0,1 a 50 kg calibrados. De acordo com a Figura 53, após isso foi realizado a mistura manual dos dois compostos.

Figura 53 – Processo de extrusão: a) Pesagem do polipropileno; b) Pesagem da juta; c) Mistura manual



Fonte: Autor (2018).

A mistura foi colocada em um saco plástico e posteriormente levada até a zona de distribuição ou funil de entrada da extrusora que fez com que o polipropileno (PP) e a juta fluíssem livremente para dentro da extrusora pelo processo de gravidade, Figura 54.

Figura 54 – Processo de extrusão: a) mistura pp + juta b e c) adição no funil de entrada



Fonte: Autor (2018).

A extrusora é composta por 5 zonas de aquecimento que tem por finalidade obter uniformidade e homogeneização do biocompósito. As temperaturas das zonas foram definidas com base na literatura científica, levando em consideração o material de base polipropileno (BATTISTELLE, 2014; CHAGAS, 2021; FELTRAN, 2007; HILLIG, 2011; LIGOWSKI e SANTOS, 2015; SILVA, 2020; SIQUEIRA e ALVES, 2021). Conforme a Tabela 10, as temperaturas estabelecidas das zonas foram:

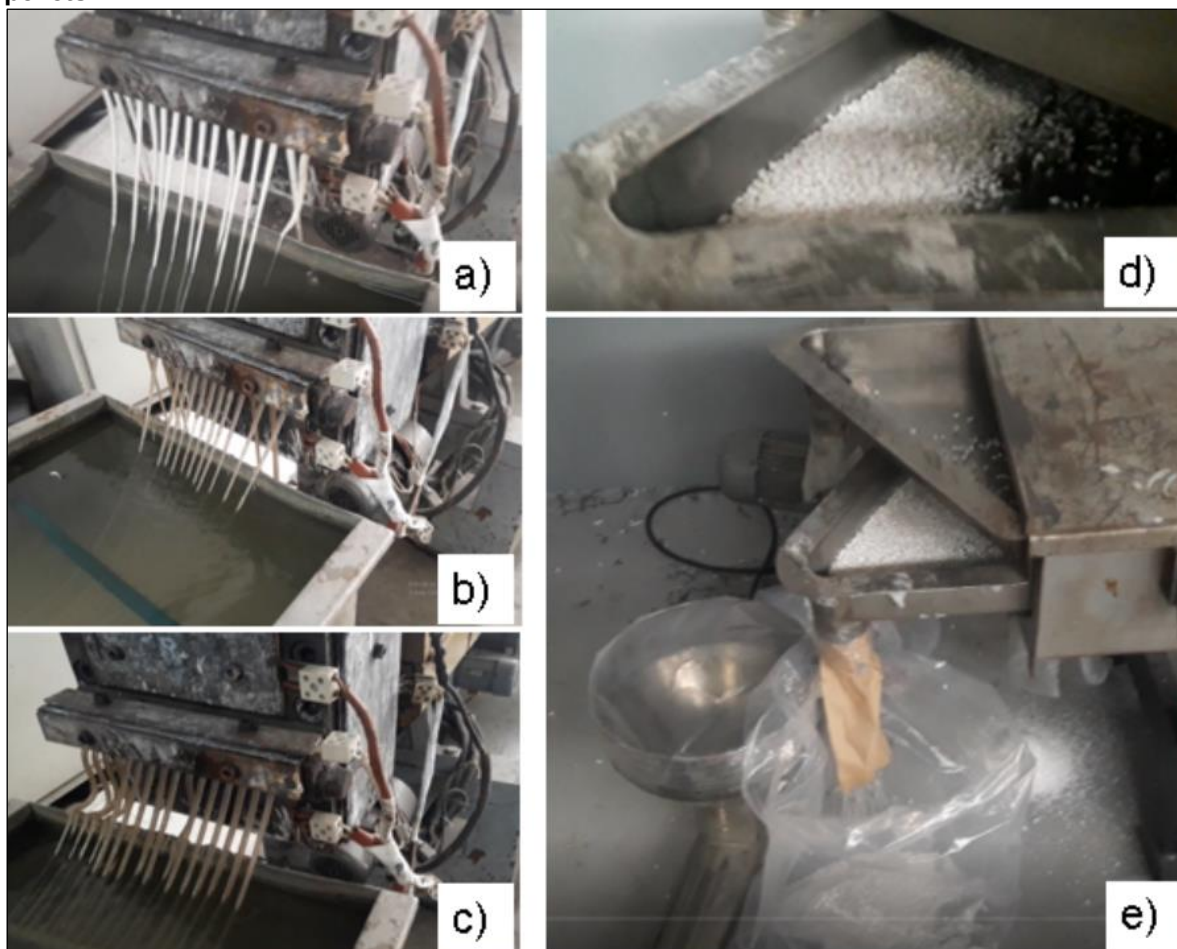
Tabela 10– Parâmetros operacionais utilizado na extrusora.

Extrusora	°C
Temperatura da zona 1	260
Temperatura da zona 2	260
Temperatura da zona 3	255
Temperatura da zona 4	255
Temperatura da zona 5	255
Temperatura da zona 6	270

Fonte: Autor (2018).

Depois de sair da extrusora, os fios do biocompósito foram mergulhados em uma banheira de 2 m de comprimento por 30 cm de largura e de profundidade, com água corrente a temperatura ambiente. Após o endurecimento os fios foram levados até a granuladora para a produção dos pellets, Figura 55.

Figura 55 – Processo de produção dos pellets: a) Biocompósito de 1%; b) Biocompósito de 5%; c) Biocompósito de 10%; d) Biocompósito no formato de pellets; e) ensacamento dos pellets.

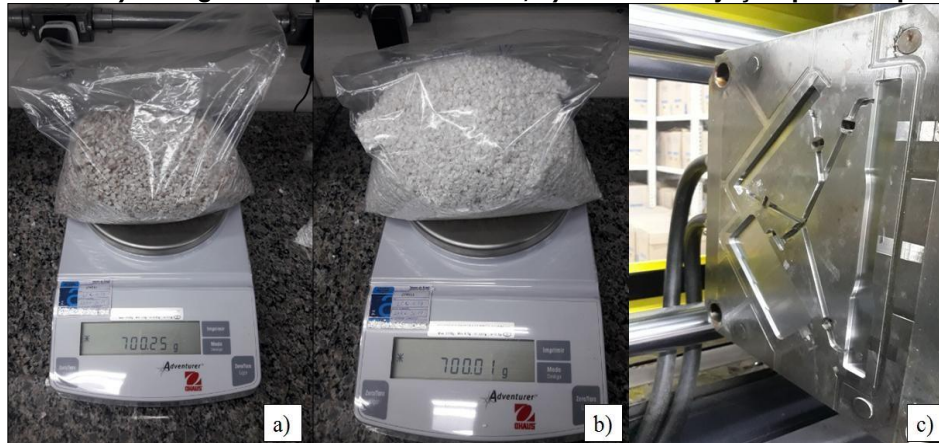


Fonte: Autor (2018).

O processo de injeção plástica ocorreu no mês de abril de 2018 no Laboratório de Polímeros da empresa INNOVA, bairro Distrito Industrial, Manaus. Foi usada a máquina injetora da marca Krauss Maffei, Modelo ELION 2800-270, balança de precisão da marca Adventurer, Modelo OHAUS com capacidade de 0,5 g a 3100 g (Figura 25). O molde de injeção foi fornecido pela própria e seguiu as orientações da ABNT 6152 para injeção do corpo de prova.

Os pellets foram separados por 1%, 5%, 10% e pesados na balança de precisão com 700g cada um, Figura 56. O processo de injeção plástica obedeceu a seguinte ordem: primeiro foi passado na injetora de polipropileno virgem para realizar a limpeza interna total das zonas e do canhão. Logo depois o material virgem foi injetado com 100% de polipropileno (PP) já no formato do corpo de prova.

Figura 56 – Processo de injeção plástica: a) Pesagem dos pellets com 1% e 5%; b) Pesagem dos pellets com 10%; c) Molde de injeção para corpo de prova



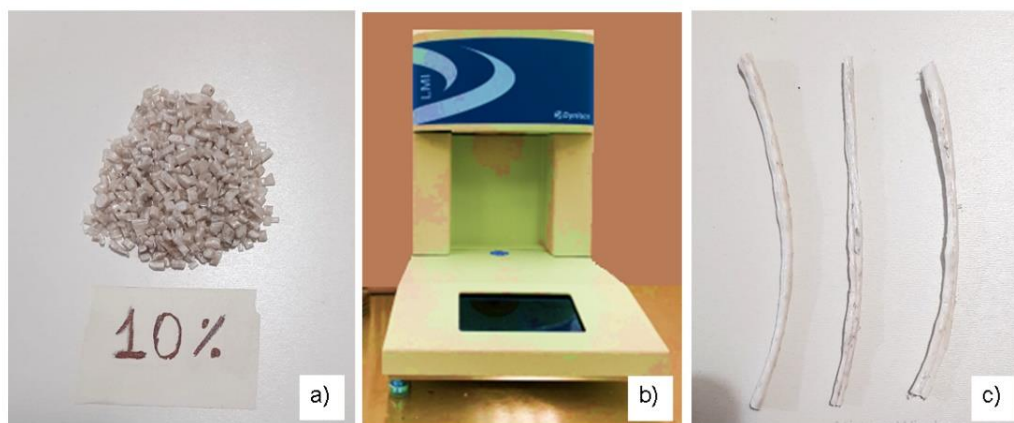
Fonte: Autor (2018).

Antes de cada processo, a rosca e o bico da injetora foram limpos novamente pela passagem de polipropileno (PP) virgem. A temperatura nas zonas iniciais, intermediária e no canhão foi: 200 °C, 220 °C, 225 °C, 230 °C e 230 °C, com tempo de resfriamento de 20 s, tempo de injeção de 5 s e velocidade de injeção de 25 mm/s.

Para o Índice de Fluidez, foi utilizada a norma ASTM D1238 - Método de teste padrão para taxas de fluxo de fusão de termoplásticos por extrusão plastômetro. Este método é adequado para determinar o índice de fluidez, através da extrusão de polímeros.

Conforme a Figura 57, o plastômetro foi da marca Dynisco. Os dados produzidos indicaram a uniformidade da taxa de fluxo de cada amostra. As unidades de medida foram gramas de material/10 minutos (g/10 min).

Figura 57 – metodologia do teste de fluidez: a) amostras do biocompósito; b) equipamento plastômetro; c) biocompósito fundido após o ciclo de extrusão



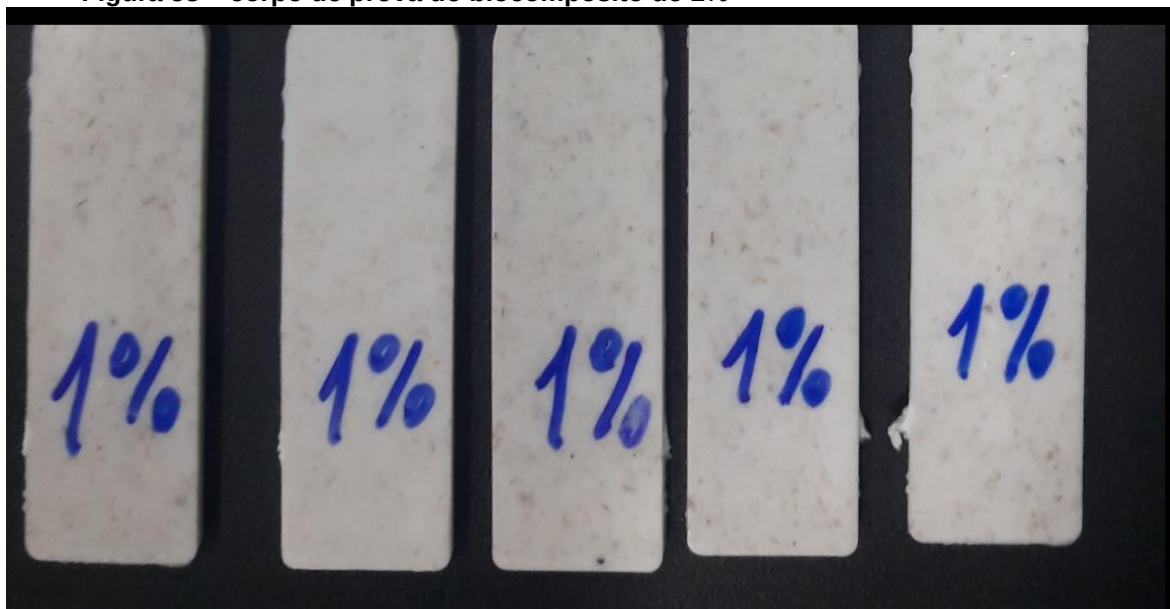
Fonte: autor (2018).

Primeiramente todas as superfícies do cilindro, matriz e pistão foram limpos com algodão seco. O plastômetro foi regulado para a temperatura de 230°C. As amostras foram adicionadas no canal de entrada e depois do ciclo de extrusão foram seccionadas no intervalo de tempo de 8s. Foram realizadas quatro repetições para cada amostra.

O Teste de Impacto foi realizado com base na norma ISO180:2019 – Método para determinar a resistência ao impacto Izod em plásticos. Essa norma é adequada para materiais de moldagem e extrusão de termoplásticos rígidos, incluindo compostos preenchidos e reforçados, além de tipos não preenchidos. Incluiu também os reforçados com fibras e compósitos termoplásticos unidirecionais ou reforços não unidirecionais, como tecidos, mechas de tecidas e fios picados.

A temperatura foi de 23° C, com 50% de umidade relativa. Foram realizadas dez repetições para cada corpo de prova. Conforme Figura 58, os mesmos foram padronizados nas dimensões de 80mm de comprimento, 10mm de largura e 4mm de espessura. Não houve a necessidade de entalhes nas amostras.

Figura 58 – corpo de prova do biocompósito de 1%



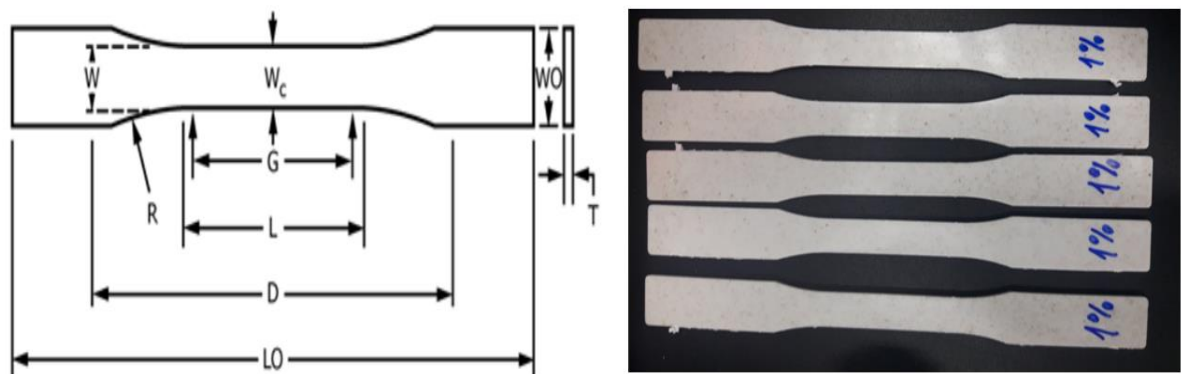
Fonte: autor (2020).

O ensaio de tração foi realizado com base na norma ASTM 638 - Método de teste padrão para propriedades de tração dos plásticos. Ressalta-se que esta norma abrange os plásticos não reforçados bem como os plásticos reforçados.

O equipamento utilizado no ensaio foi da marca Instron, modelo 5984 do laboratório de qualidade da empresa INNOVA. A temperatura do ambiente durante os testes foi de 23°C.

Foram testadas 5 amostras de cada composição. De acordo com a Figura 59, o corpo de prova teve as medidas padronizadas como modelo tipo I:

Figura 59 – corpo de prova biocompósito de 1% para o ensaio de tração



Fonte: autor (2020).

Onde:

W – Largura da seção estreita = 13mm

L – Comprimento da seção estreita = 57mm

WO – Largura total = 19mm

L0 – Comprimento total = 165mm

G – Comprimento do medidor = 50mm

D – Distância entre as garras = 115mm

R – Raio do filete = 75°

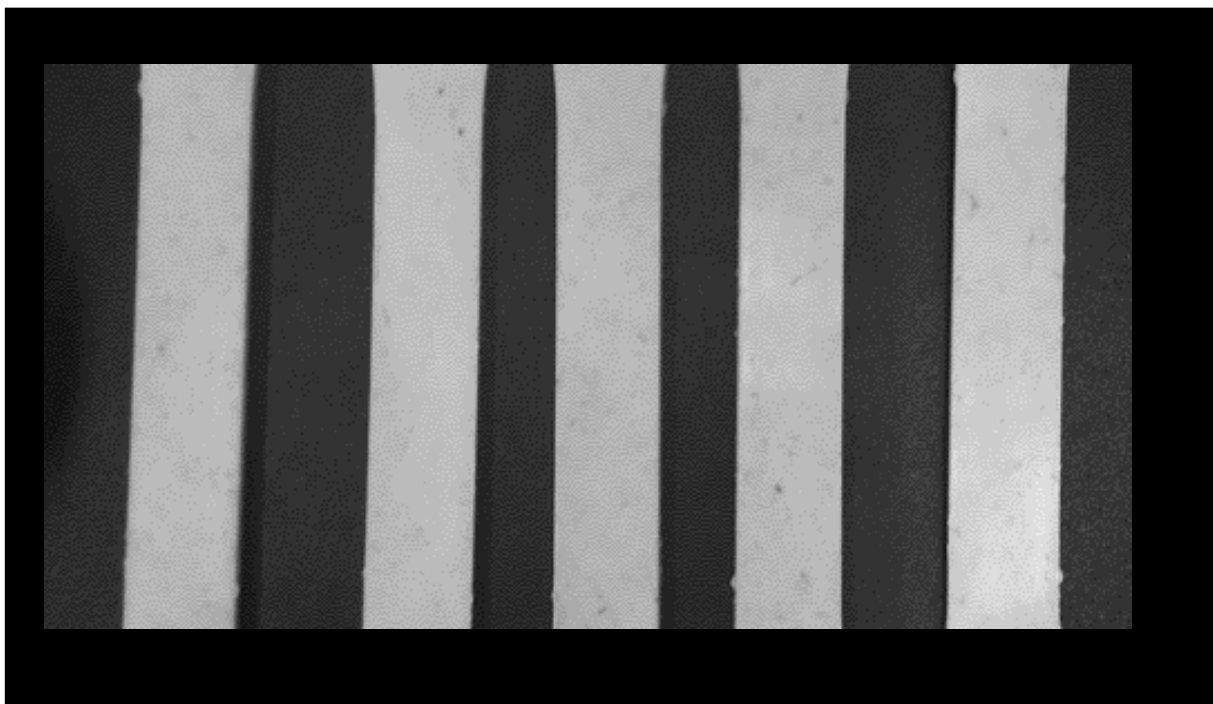
O Teste de Absorção de Água foi realizado com base na norma ISO 62/2008 – Determinação de absorção de água em plásticos. Este modelo é válido para materiais homogêneos e para compósitos de matriz polimérica reforçados.

O procedimento para determinar as propriedades de absorção de umidade foi através da medição da espessura dos corpos de prova, comparando se houve variação entre a massa inicial com a que foi submetida a água.

Três amostras de cada biocompósito foram confeccionados e tratados em condições idênticas, em formato plano circular (disco), com diâmetro de 40mm e com espessura de 2mm. Utilizou-se a temperatura de referência de 23°C, com umidade relativa do ar em 50%.

Inicialmente foram limpas com pano e secas por 2h antes de iniciar o teste. Os corpos de prova foram mergulhadas em água destilada, por um período de 24h. Posteriormente foram secas na estufa, com temperatura de 50°C, por um período também de 24 horas.

Figura 60 – corpo de prova biocompósito de 5% para o ensaio



Fonte: autor (2020).

3.3 Análise estatística

Os dados foram apresentados como Média $\pm$ Desvio Padrão (DP). A normalidade dos resultados em todas as medidas foi testada utilizando o critério Shapiro-Wilk, $p < 0,05$.

Para as comparações entre os tratamentos nos testes de Umidade e Teor de Cinzas, foi utilizado o teste de comparação de médias para dados não paramétricos de Kruskal-Wallis.

Para a comparação entre os tratamentos com diferentes concentrações do biocompósitos (1, 5 e 10%) e o com Polipropileno nos testes de Absorção, Inchamento, Impacto e Fluidez, foi inicialmente utilizado o Teste de Análise de Variância ANOVA.

Após constatada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, foi aplicado o teste *Post-hoc* de correção de Bonferroni para identificar quais tratamento tiveram médias diferentes entre si.

3.4 Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

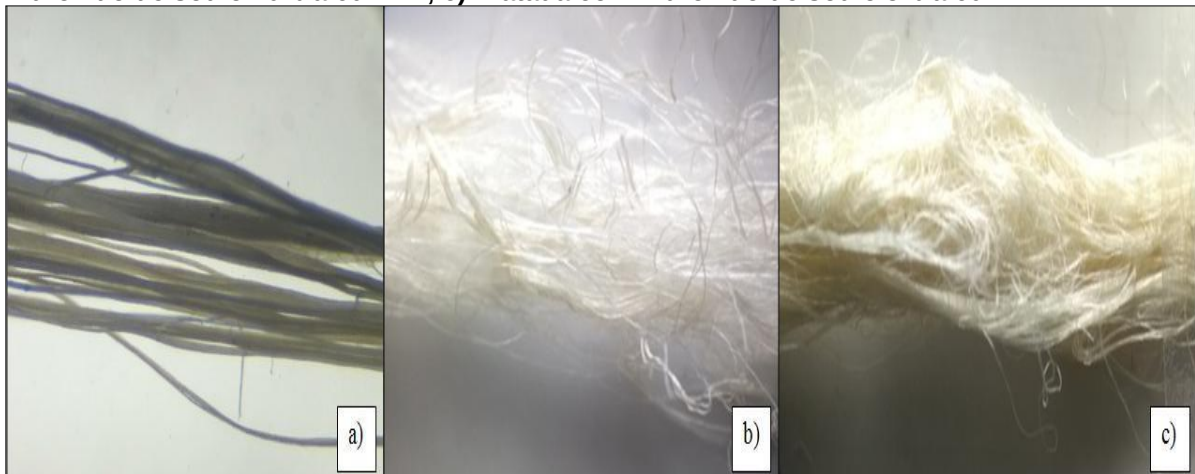
Após a realização dos testes químicos os biocompósitos foram submetidos ao MEV para captação e interpretação de dados estruturais. Priorizou-se a análise da superfície, no plano longitudinal. Verificou-se a compatibilidade da fibra de juta com a matriz de polipropileno. Foram utilizadas sete amostras para cada biocompósito com aumento de 300x.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização da fibra de Juta

A Figura 61 (a) mostra a morfologia da fibra de juta em sua condição natural ensaiada longitudinalmente através do microscópio. Observou-se alto nível de resíduo de impureza por todo o comprimento fibrilar.

Figura 61 – Caracterização química: a) Fibras de Juta em aspecto natural; b) Tratada com hidróxido de sódio 10% a 60 min.; c) Tratada com hidróxido de sódio 5% a 60 min



Fonte: autor (2018).

Essas impurezas com tonalidade mais escuram do que o normal é devido aos meios de colheita, armazenamento, transporte e estocagem das fibras, geralmente realizados sem um método de qualidade apropriado (AMORIM, 2019; DA COSTA, 2006; DE MOURA PAIVA, 2013; DE SANTANA e WANDERLEY, 1995; MELLO et al., 1995). Além disso, a pesquisa de Marinelli (2008), sobre o desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras naturais, delineia sobre a problemática do uso correto das fibras. Esses resíduos presentes na superfície das fibras diminuem a adesão quando estas fibras são utilizadas em materiais compósitos ou laminados” (MARINELLI, p.7, 2008). Corroborando com o assunto, Santos (2022), descreve que as fibras naturais ao serem destinados para produtos que não requerem um nível de pureza elevado (telas e sacarias), certo nível de impureza é aceito, devido ao próprio objetivo de comercialização e destino desses produtos. Porém, para a constituição de um biocompósito as impurezas ao se ligarem com a matriz interferem nos resultados.

As amostras que passaram pelo processo de maceração, tratada com hidróxido de sódio (10% a 60 min.). Conforme a Figura 61 (b), apresentou alta degradação da

fibra. O ataque químico sofrido pela juta durante os 60 minutos destruiu as microfibrilas, enfraquecendo as ligações intramoleculares, reduzindo a rigidez e consequentemente levando a deterioração das fibras (SJOSTROM e ALÉN, 2013). Esses valores foram equivalentes a pesquisa de Pinto (2007), onde o tratamento químico utilizado em fibras da cana-de-açúcar, promoveu também degradabilidade potencial efetiva da matéria seca, matéria orgânica e da fração fibrosa. As condições apresentadas inviabilizam o uso dessa porcentagem de hidróxido de sódio por esse tempo longo. Os estudos de Beltrami et al (2014), com fibras naturais semelhantes à de juta, comprovam que o enfraquecimento das fibrilas interfere na adesão entre a fibra e a matriz polimérica. Da mesma forma, Cavalcanti et al (2010), em uma pesquisa sobre compósito de poliéster reforçado com fibras de juta e vidro, descrevem que a degradação da fibra de juta ocasiona tensões internas na matriz, levando a defeitos de porosidade e interferindo no resultado final do produto.

Na Figura 61 (c), as amostras tratadas com hidróxido de sódio (5% a 60 min) além de apresentarem desfibrilamento também tiveram o embaraçamento e entrelaçamento em várias partes do seu comprimento. Esses mesmos resultados foram recorrentes na pesquisa feito por Dos Santos (2021), que utilizou tratamento químico com 5% hidróxido de sódio em fibras de bambu e teve também como resultado o entrelaçamento das fibras.

Na Figura 62 observa-se que a fibra tratada com Hidróxido de sódio a 10% no tempo de 30 min. Foi possível notar que a fibra mostrou uma baixa degradação, no entanto foram verificadas perdas relativas de elasticidade ao longo do comprimento da fibra (fibra seca). Isto se dá devidos a perdas residuais de hemicelulose durante o processo químico (AZUMA et al. 1985).

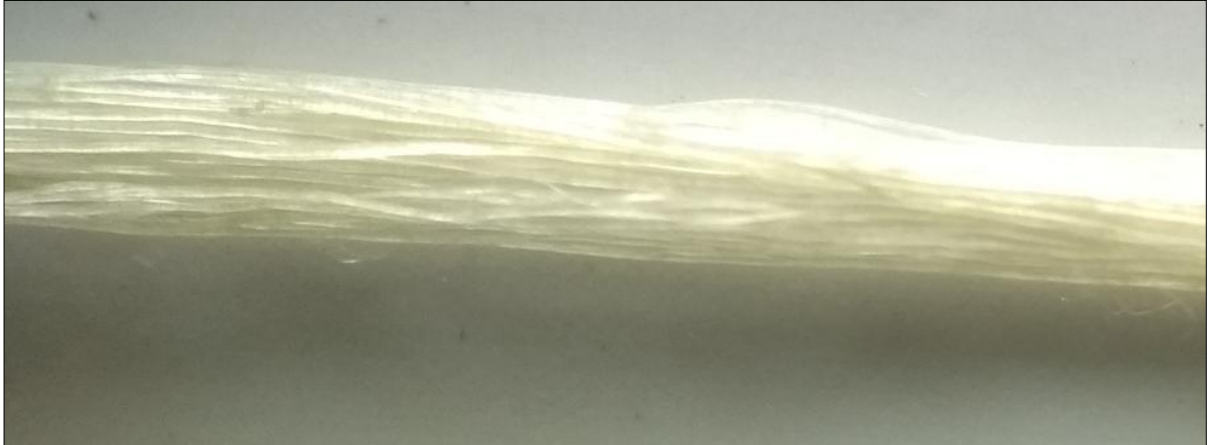
Figura 62– Fibras de Juta ressecada (10% a 30min.)



Fonte: autor (2018).

A fibra tratada com hidróxido de sódio a 5% no tempo de 30 min. mostrou o melhor resultado, pois além do aspecto esbranquiçado da juta, apresentou baixa degradação e foi possível notar elasticidade das fibras, como pode ser vista na Figura 63.

Figura 63 – Fibras de juta ressecada (5% a 30min.).



Fonte: autor (2018).

Os resultados do aspecto esbranquiçado são os mesmos apresentados por Koschevic Turim (2017), que ao aplicar a mercerização com hidróxido de sódio a 5%, em fibras do coco de babaçu e castanha de Barú, as fibras sofreram alterações químicas com a remoção de impurezas, e certa quantidade de lignina e hemicelulose. Outra pesquisa parte de Pires et al (2012), sobre o efeito do tratamento alcalino de fibras de juta em compósitos de matriz epóxi, os resultados demonstram que a aplicação de hidróxido de sódio a 5% ocasionou baixa degradação das fibras de juta, remoção das impurezas e aumento da adesão a matriz. Além disso, Wearn e Montagna (2020), destacam que o tratamento alcalino em fibras de coco em comparação com as fibras de juta, o uso de hidróxido de sódio a 5% melhorou o desempenho de adesão a unidade matriz.

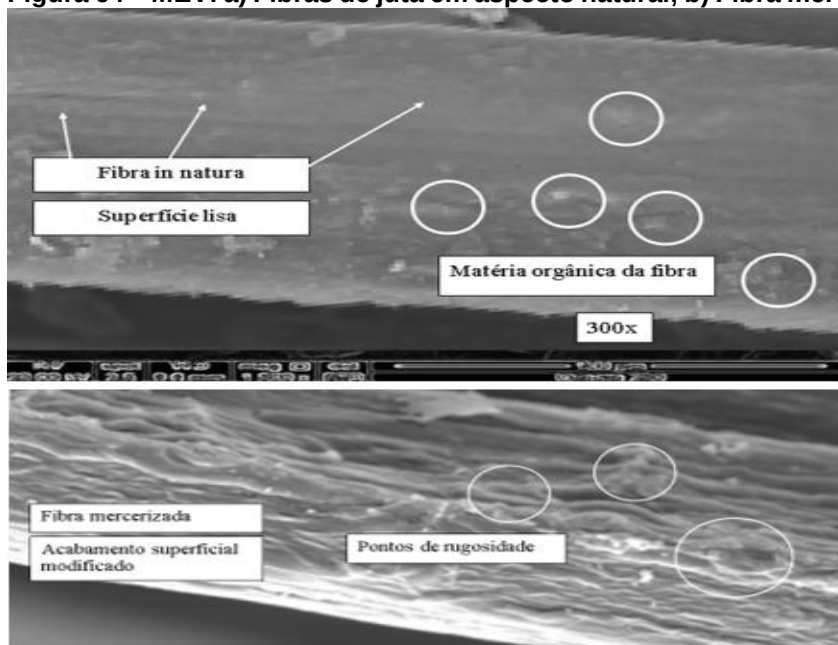
4.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Observou-se na micrografia MEV que existe uma diferença na superfície entre as fibras de juta natural e a fibra mercerizada.

Na micrografia das fibras de juta natural, Figura 64 (a), verifica-se uma superfície lisa e com grande concentração de matéria orgânica presente. As fibras mercerizadas, Figura 62 (b), apresentaram rugosidades por toda a sua extensão, em

alguns pontos mais concentrados do que em outros. De Alencar (2021), destaca na sua pesquisa sobre proporção do fio de fibras de juta na resistência mecânica, que o tratamento alcalino aumenta a rugosidade das fibras de juta devido à retirada parcial da hemicelulose e lignina. Outra conclusão sobre as rugosidades superficiais foi explanada por Menezes (2018), ao declarar que o uso do hidróxido de sódio proporciona um ataque químico na superfície fibrilar, modificando o acabamento superficial da fibra de juta. Para Kataoka (2021), o uso de agente químico promove a desfibrilação da fibra de juta, trazendo pequenas rupturas e proporcionando a rugosidade fibrilar.

Figura 64 – MEV: a) Fibras de juta em aspecto natural; b) Fibra mercerizada (5% a 30 min.)



Fonte: autor (2018).

De acordo com Satyanarayana et al., (2007), as modificações observadas na superfície das fibras podem resultar em maior efetividade de difusão da matriz polimérica nas regiões interfibrilares, levando a um aumento da adesão interfacial entre fibra e matriz.

4.3. Umidade da fibra de Juta

De acordo com a Tabela 11, foram coletadas amostras de fibras por bandeja, contendo estas, entre 8% de umidade, próximo às condições da fibra *in natura*, cuja umidade foi de aproximadamente 10% de umidade. Segundo Rosa et al. (2011), essas

informações são importantes porque quanto maior for a umidade presente na fibra e posteriormente nos pellets, maior a dificuldade de homogeneização com o polipropileno, durante a extrusão e a injeção plástica.

Tabela 11 – Dados referentes ao teor de umidade

Teste umidade – Analisador halogêneo Ohaus					
IN NATURA	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Média
Massa In (g)	0,705	0,702	0,733	0,747	0,721
Massa Fn (g)	0,624	0,631	0,666	0,672	0,648
% Umidade	11,49	9,86	9,14	9,21	9,925
MERCERIZADA	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Média
Massa In (g)	0,723	0,704	0,728	0,736	0,722
Massa Fn (g)	0,662	0,644	0,665	0,680	0,662
% Umidade	8,44	8,52	8,53	8,73	8,555

Fonte: Autor (2018).

Tabela 12 – Análise estatística teste de umidade

	Juta <i>In natura</i>	Juta Mercerizada	P - value
Média	9,9075	8,555	0,02
DP	1,10	0,12	

Fonte: Autor (2021).

Observa-se que a fibra de juta mercerizada ficou com o teor de umidade na média de 8,55%, enquanto que a juta natural ficou com 9,92%. A média entre elas permaneceu estatisticamente equivalente e dentro da margem padrão e aceitável de uma fibra vegetal (SANTOS, 2021). Na literatura, vários estudos confirmam que o teor de umidade da juta mercerizada de 8,55% é aceitável, uma vez que a juta e outras fibras naturais são hidrofílicas, absorvem água em diversas faixas, sendo que o teor de umidade mais comum reside entre 8% a 12% (D'ALMEIDA, 2005; MEI e OLIVEIRA, 2017; MONTEIRO, 2006; PESCAROLO, 2021).

Em contraste com os resultados encontrados, a pesquisa de Tumuluru et al. (2011), afirmam que a umidade acima da média modifica as propriedades mecânicas do compósito, diminuindo a resistência e o módulo elástico, o que pode causar bolhas internas. Estas mudanças também implicam em mudanças nos parâmetros de injeção conforme a quantidade de água presente (RODRIGUEZ, 1996). Corroborando com isso, o estudo de Scheeren e Mählmann (2020), descrevem que o teor de umidade fora do padrão provoca uma rede de micro fraturas na superfície do compósito, por onde surgem as imperfeições no produto final.

4.4. Teor de Cinzas da fibra de Juta

Com o conhecimento dos valores da massa do recipiente (MR), da massa da amostra (MA) e da massa do conjunto recipiente/amostra calcinada (MRAC), foi possível calcular o teor de cinzas totais (TC%) em percentagem, na qual foi utilizada a seguinte equação: $\frac{MRAC-MR}{MA} \times 100\% = TC\%$ correspondente ao valor que se procura. Os resultados obtidos através da equação foram agrupados, conforme a Tabela 13, que apresenta os resultados obtidos nas amostras de juta natural e juta mercerizada. A Tabela 13 apresenta os valores obtidos no referido teste.

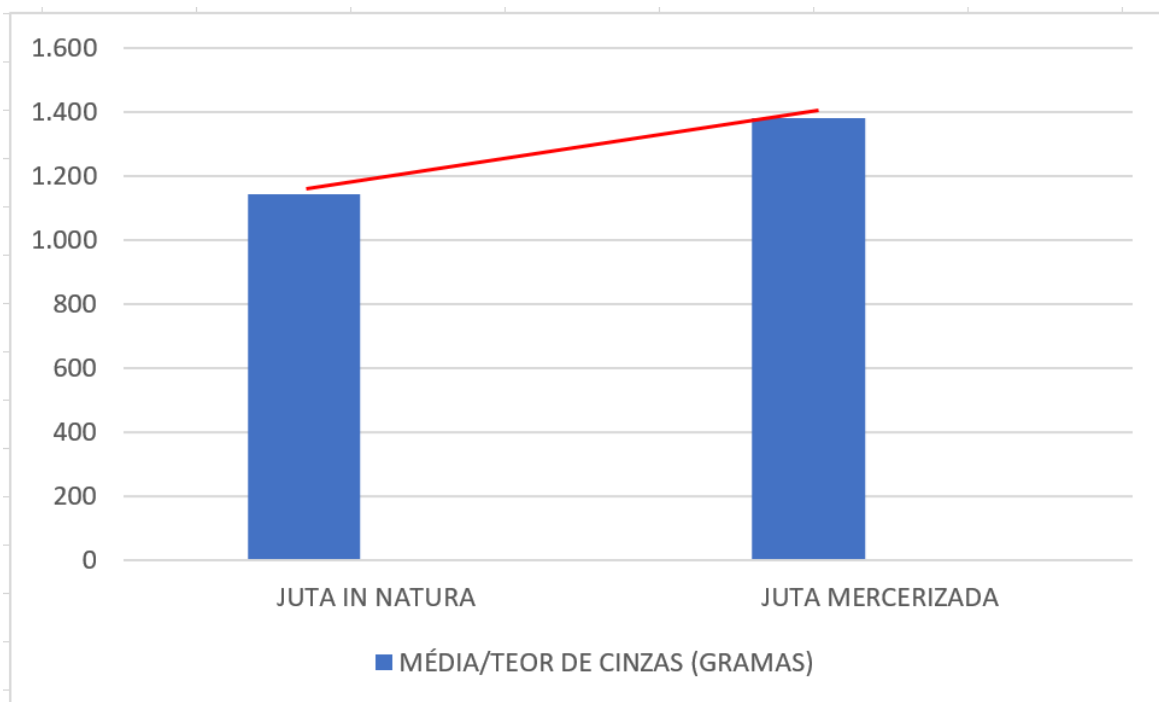
Tabela 13 – Valores comparativo entre *in natura* e mercerizada

	Juta <i>in natura</i>	Juta mercerizada
Média teor de cinza	1,145	1,382

Fonte: Autor (2021).

Conforme a literatura científica, vários pesquisadores encontraram o teor de cinzas similar, estando dentro dos limites de tolerância para lignoceluloses. Leão et al (2002) descrevem o teor de cinzas em fibras de linho no valor de 1,5%. Outra pesquisa foi realizada por De Melo Barbosa (2019), que caracterizou a fibra de açai com o teor de cinzas no valor de 1,57%. Lima (2012), destaca que as fibras de cumaru possuem o teor de cinzas com 1,72%. Esses valores são equivalentes aos encontrados na pesquisa de Salazar e Silva (2005), onde o teor de cinzas da fibra natural extraída da palha de milho ficou em 1,52%. A Figura 65 apresenta os dados para análise do teor de cinzas

Figura 65 – Diferença entre a juta mercerizada e in natura



Fonte: Autor (2021).

Em contrapartida, os estudos de Correia (2021), apresenta o teor de cinza em fibra de juta mercerizada no valor de 0,56%. Este resultado é bem abaixo do valor encontrado nesta pesquisa, isso se deve ao fato de que foi utilizado outro tipo de tratamento químico a base de ácido acético e posteriormente a lavagem da fibra com água deionizada, retirou grande parte dos componentes inorgânicos presentes na fibra de juta.

Para a produção de pellets, a pesquisa realizada por Almeida (2015), descreve que o teor de cinzas influencia o procedimento de fabricação de pellets. Se o teor de cinzas for maior do que 10%, causa desgaste dos equipamentos, diminuindo a vida útil do equipamento. A pesquisa de Pereira (2016), sobre a adição de lignina na produção de pellets, delineia que o teor de cinza elevado é inapropriado para a produção de pellets porque podem formar incrustações nas paredes e fundos das máquinas, diminuindo sua eficiência térmica.

Além disso, James (2013) afirma que as cinzas são impurezas no processo de injeção plástica, assim, quanto maior a porcentagem de cinzas, maior deve ser a frequência de limpeza dos depósitos de cinzas, uma vez que se pode formar incrustações nos equipamentos.

Tabela 14 – Análise estatística teste teor de cinza

	Juta <i>In natura</i>	Juta mercerizada	P - value
Média	1,146	1,378	0,24
DP	0,22	0,0,24	

Fonte: Autor (2018).

Não teve diferença quanto ao teor de cinzas ($p=0,24$). O teor de cinzas é um parâmetro importante uma vez que a cinza é um subproduto da combustão e precisa ser removida. Além disso, as cinzas contribuem para a escorificação além de entupir o bico da máquina injetora (BOM, 2009). Portanto, é importante reduzir a quantidade de cinza contida dentro de um biocompósito.

Além disso, a pesquisa de Oliveira (2016), conclui que o aumento de partículas indesejáveis causa defeitos de tonalidades, ou seja, as peças injetadas apresentarão cores de várias proporções.

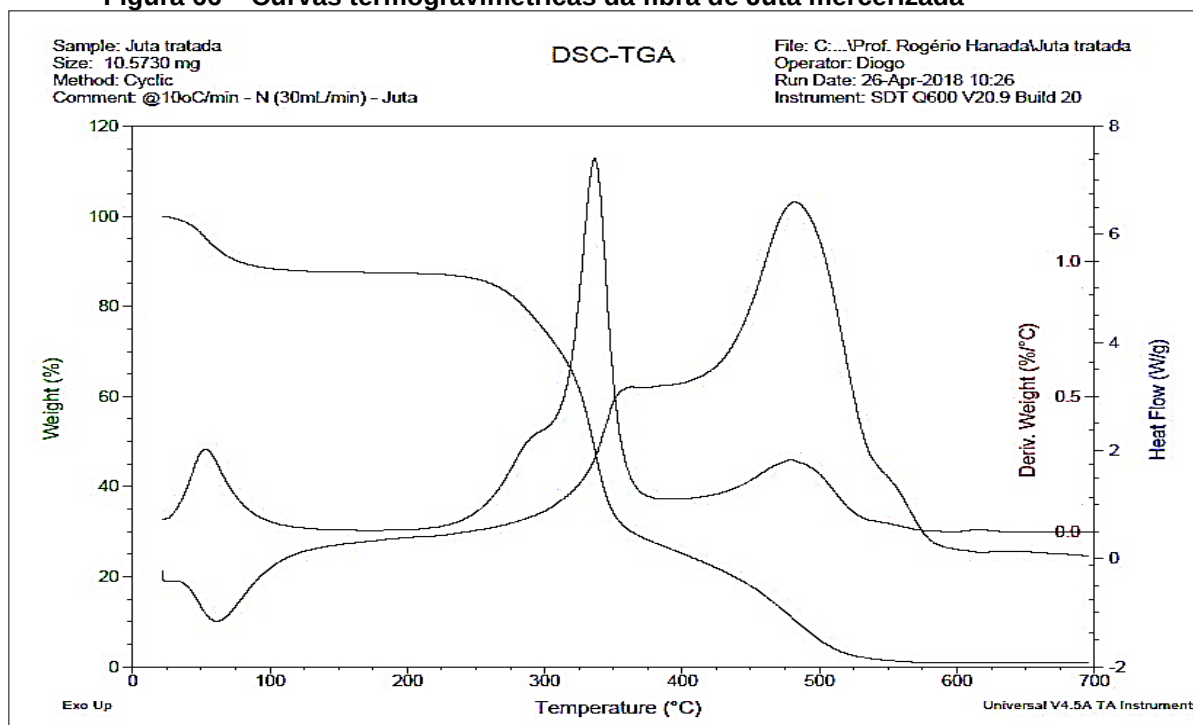
4.5. Análise Termogravimétrica

As curvas termogravimétricas das fibras de juta mercerizadas e as de polipropileno estão apresentadas da seguinte maneira: DSC (linha azul) apresenta os eventos endotérmicos e exotérmicos da juta mercerizada e do polipropileno; DTG (linha vermelha) exhibe visualmente os picos de degradação sendo fundamental para entender os pontos de transformação física da juta mercerizada e do polipropileno; TGA (linha verde) demonstra a degradação da juta mercerizada e do polipropileno em relação a temperatura até o ponto final destrutivo.

Analisando as curvas termogravimétricas pode-se observar que a fibra de Juta mercerizada apresenta três estágios de degradação. Conforme a Figura 66, o primeiro estágio, entre 25 °C e 100 °C representa uma perda inicial de 9% de massa referente à evaporação de água e extrativos de baixa massa molar (ZIMMERMANN et al. 2014). O segundo estágio ocorre entre 250 °C a 350 °C, devido à degradação da hemicelulose e quebra das ligações glicosídicas da celulose (MOHAN e KANNY, 2012). A ausência desse estágio nas fibras tratadas quimicamente é uma evidência da remoção de grande parte do material amorfo, demonstrando eficácia nos

tratamentos aplicados. O terceiro estágio, entre 350 °C e 500 °C, refleti um pico bastante definido e estreito representando a degradação da celulose através de reações de despolimerização, desidratação e decomposição das unidades glicosídicas da celulose (MITIBE et al. 2015). É possível observar que o mesmo está relacionado com a degradação de resíduos de carbono.

Figura 66 – Curvas termogravimétricas da fibra de Juta mercerizada

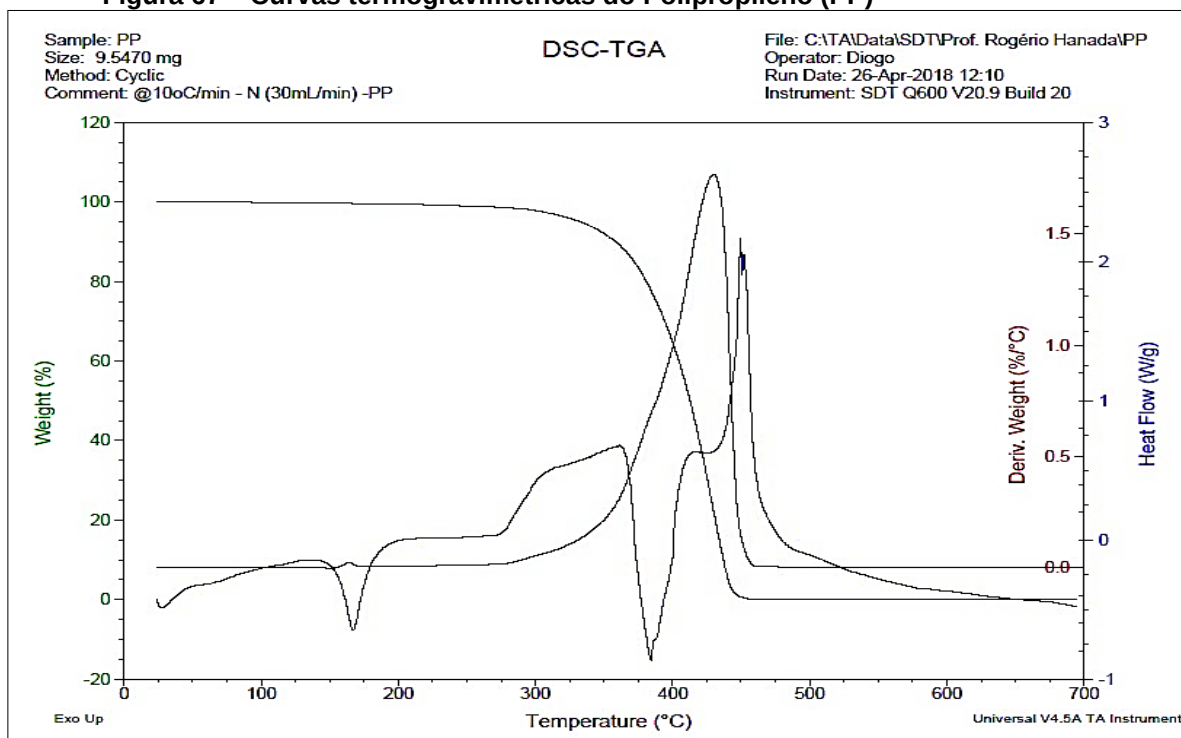


Fonte: Autor (2018).

Com relação aos eventos químicos foram observadas duas reações, uma endotérmica e a segunda do tipo exotérmica. A reação endotérmica ocorreu durante o primeiro estágio, aproximadamente a 100° C, quando houve liberação de umidade pela fibra, demonstrando o início da adsorção de calor, ou seja, a água evaporou ao absorver energia. A reação exotérmica ocorreu próximo aos 400 °C quando ocorre o processo químico de combustão da fibra, degradando a cadeia carbônica e consequentemente a liberação de energia produzida pelo calor (MOHANTY, 2006).

Com relação ao Polipropileno (PP) as curvas termogravimétricas demonstram um acentuado estágio de degradação, conforme a Figura 67.

Figura 67 – Curvas termogravimétricas do Polipropileno (PP)



Fonte: Autor (2018).

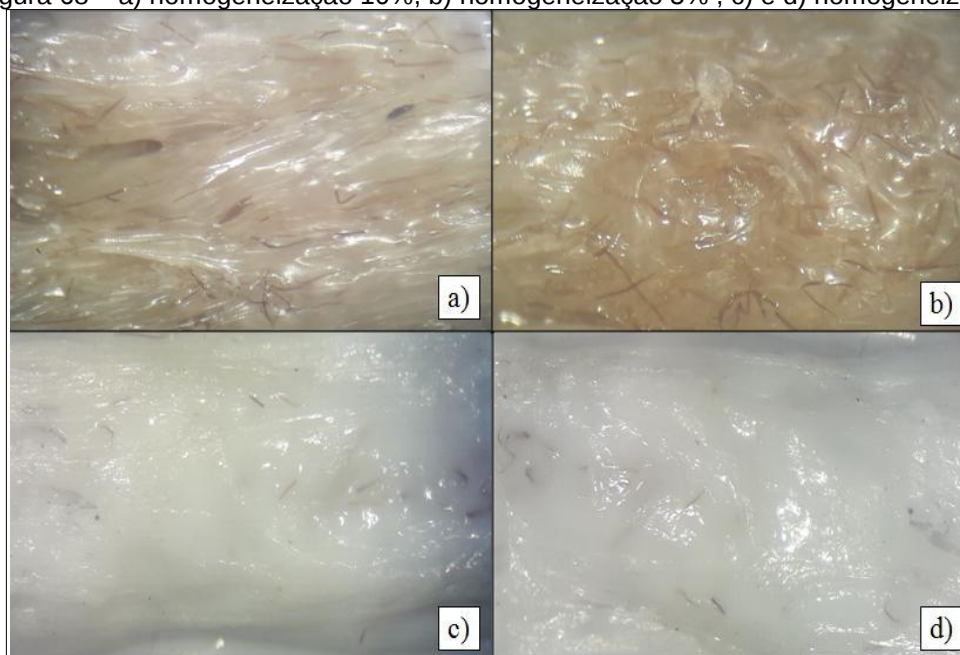
O primeiro estágio de degradação do Polipropileno (PP) acontece a partir de 300 °C até 450 °C, onde ocorre a completa fusão e destruição das cadeias químicas. As curvas de DSC apresenta 4 eventos químicos sendo evidenciados pelos seguintes picos: o primeiro pico é endotérmico entre 125 °C a 200 °C. O segundo pico é exotérmico entre 275 °C a 300 °C. O terceiro pico é endotérmico e ocorreu na faixa de 375 °C a 425 °C. O último evento químico é exotérmico, entre 425 °C a 500 °C.

Os eventos endotérmicos ocorrem porque o Polipropileno (PP) a partir de uma temperatura inicial começa a absorver grande quantidade de energia para começar a quebrar as cadeias de polimerização, rompendo as cadeias cristalinas (Silva et al. 2009). Os eventos exotérmicos ocorrem porque na hora em que o PP vai degradando e ficando em parte menores, fica fácil de quebrar as cadeias poliméricas mais fracas, ele absorve energia para quebrar as cadeias poliméricas e com isso ele libera uma energia ainda maior (GAÑAN e MONDRAGON, 2003).

4.6. Homogeneização da fibra a matriz

O tamanho dos pellets foi determinado principalmente pelo diâmetro do furo do filtro usado na etapa de extrusão. Por este motivo, conforme a Figura 68, os pellets foram observados segundo a homogeneização com relação a matriz de polipropileno (PP).

Figura 68 – a) homogeneização 10%, b) homogeneização 5% , c) e d) homogeneização 1%



Fonte: Autor (2020).

Observa-se que na Figura 68 (a e b) houve completa homogeneização entre a matriz de polipropileno e a juta como elemento de reforço. Em todo o comprimento houve a adição da fibra estando dispostas em todas as direções. Em algumas partes existem um agrupamento maior de fibras do que em outras partes, isso ocorre devido a própria mistura do processo de extrusão e a forma de repuxo da rosca da extrusora. Para Youngquist (1986), durante o processo de extrusão existe o chamado fluxo de avanço, pelo qual o material fundido nos canais da rosca se adere as paredes internas do cilindro e à própria rosca em rotação, dispersando o material em diferentes camadas.

Na Figura 68 (c e d) também houve homogeneização, porém, é visível que existe uma quantidade menor de fibra (1%), estando dispersas em várias regiões entre a matriz de polipropileno. As fibras se apresentaram em todas as direções. Para Thwe

e Liao (2003), o processo de extrusão apresenta uma falta de habilidade em produzir camadas uniformes de materiais com viscosidades muito diferentes, já que as camadas de menor índice de fluxo tendem a ser forçadas até os extremos da matriz.

4.7 Ensaio de tração

A Tabela 15 apresenta os valores obtidos no teste de tração:

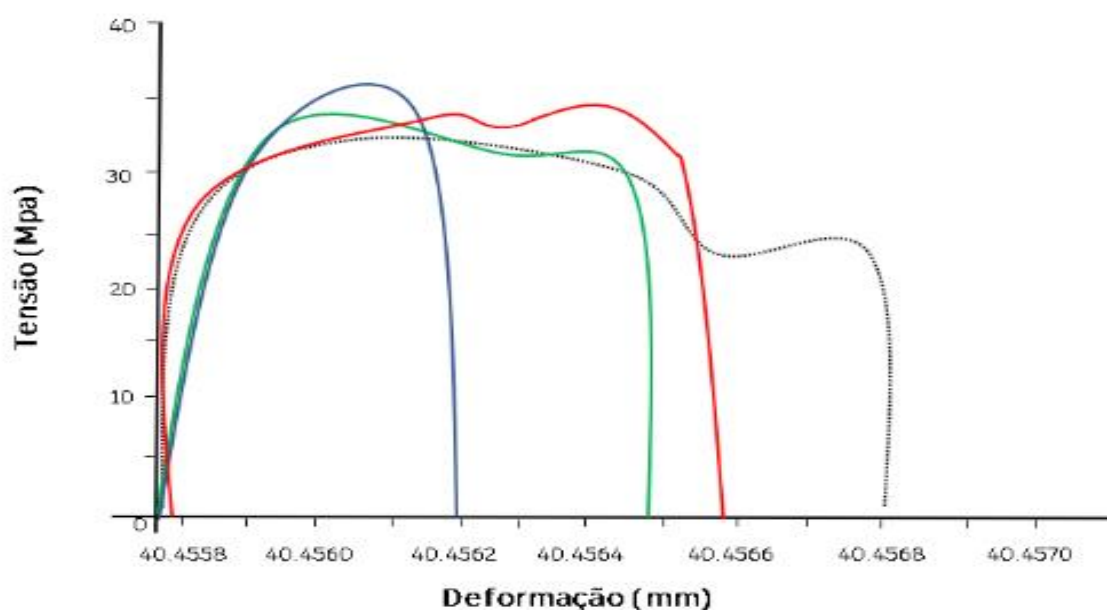
Tabela 15 – Valores do teste de tração

Material	Tensão no Escoamento (MPa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Tensão Maxima (MPa)	Modulo de Tensao (kgf/cm ²)
PP	30,205	29,62	30,205	-
Biocompósito 1%	30,847	30,798	30,847	20,939
Biocompósito 5%	31,620	31,220	31,620	21,280
Biocompósito 10%	28,789	28,320	28,789	20,782

Fonte: Autor (2018).

A Figura 69 apresenta os dados para análise da curva tensão x deformação, comparando as medidas do polipropileno, biocompósito de 1%, biocompósito de 5% e biocompósito de 10%.

Figura 69 – Comparação da curva tensão x deformação



Fonte: Autor (2020).

O percentual de fibras de juta influência nos parâmetros de deformação e consequentemente na tração do material final. Com relação a tensão de escoamento, não houve variação significativa com os biocompósito de 1% e 5% em relação ao polipropileno, que iniciam o escoamento com 30,847 (Mpa) e 31,620 (Mpa) respectivamente. Nota-se que a alteração ocorreu com o biocompósito de 10% com 28,78 (Mpa), o que significa 5% a menos em comparação ao polipropileno. O módulo de tensão na ruptura não houve variação significativa entre os biocompósito de 1%, 5% e 10% em relação ao polipropileno. Com relação a resistência a tração, o biocompósito de 1% apresentou resultado semelhante ao polipropileno. O biocompósito de 5% apresentou variação positiva de 4,7% em relação ao polipropileno. Esse aumento é também evidenciado nos estudos de Pires (2009), que ao pesquisar sobre o tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico, obteve aumento de 18%, com a incorporação também de resina epóxi, demonstrando que com o tratamento alcalino, há uma maior eficiência no mecanismo de transferência de tensão da matriz para as fibras, induzindo assim maior resistência à tração. Além disso, Vilaseca et al (2007), descreve que a rugosidade advinda do processo químico juntamente com a reação dos radicais livres, provenientes da celulose, contribui para melhorar a adesão mecânica e química dentro da matriz. O biocompósito de 10% apresentou resistência a tração de 4,5% menor em comparação ao polipropileno. Em comparação ao biocompósito de 5%, a resistência a tração foi 8,9% menor. Esses resultados são diferentes dos apresentados por Arobindo (2020), ao destacar que a resistência à tração deve diminuir com o aumento do comprimento de corte da fibra de juta. Por outro lado, a contribuição de Rashed et al (2006), sobre os efeitos dos parâmetros de processo na resistência à tração de compostos termoplásticos reforçados com fibra de juta, descreve que o tamanho das fibras de juta (média 1mm), não é suficiente para uma distribuição adequada da carga, ocasionando uma baixa resistência à tração.

4.8. Teste de Impacto

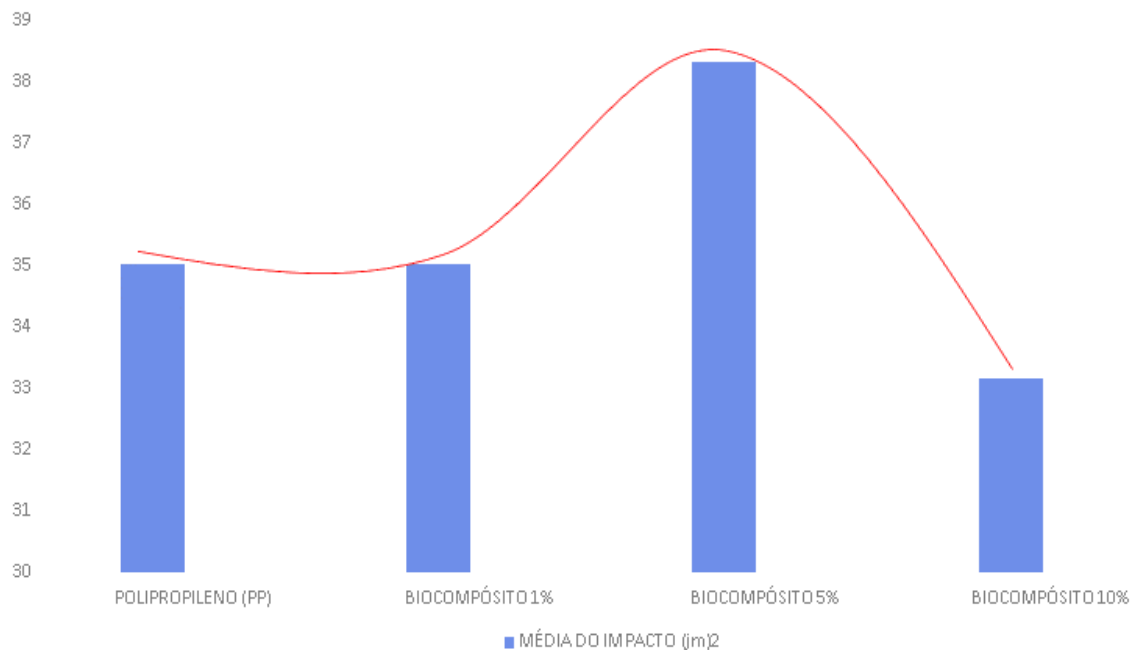
A Tabela 16 apresenta os valores obtidos no referido teste

Tabela 16 – Valores do teste de impacto				
	Polipropileno	Biocompósito 1%	Biocompósito 5%	Biocompósito 10%
Média do impacto (jm)2	35,10	35,10	38,30	33,15

Fonte: Autor (2018).

A Figura 70 apresenta os dados para análise da média, comparando as medidas do polipropileno, biocompósito de 1%, biocompósito de 5% e biocompósito de 10%.

Figura 70– Média do teste de impacto estável entre o polipropileno e biocompósito de 1%. Diferença entre os demais.



Fonte: Autor (2018).

Não houve diferença entre o polipropileno e o biocompósito de 1%, demonstrando assim que houve uma boa interação entre a fibra e matriz. O biocompósito de 5% apresentou um resultado maior que o polipropileno. Esse resultado demonstra que a carga de juta teve adesão de alto nível, resulta em uma zona de dano menor e mais localizada, com propriedades compressivas residuais mais altas (CANTWELL, 1991). O ganho positivo de resistência pode também estar

relacionado a homogeneidade, a formação de caminhos interconectados dentro do termoplástico (FAVIER, 1994). O biocompósito de 10% apresentou redução no módulo de impacto em relação ao polipropileno. Essa perda de energia ocorre provavelmente pela má adesão fibra-matriz, que ocasiona falhas na carga, ou seja, a má adesão resulta em falha (RICHARDSON, 1996).

4.9. Índice de fluidez

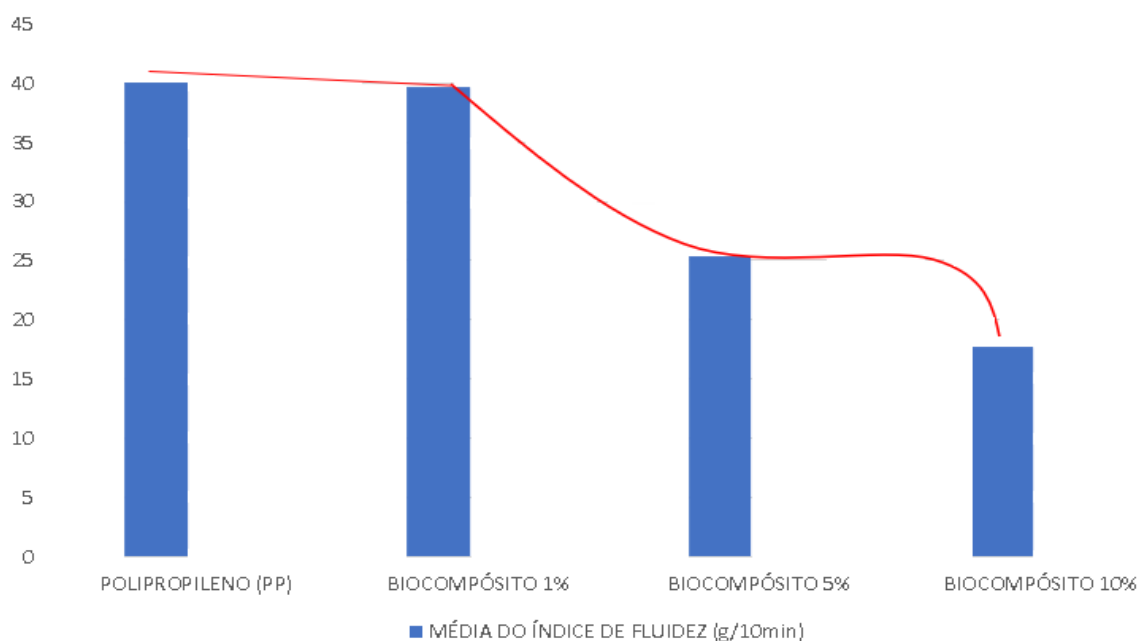
A Tabela 17 apresenta os valores obtidos no referido teste:

Tabela 17 – Valores do teste índice de fluidez				
	Polipropileno	Biocompósito 1%	Biocompósito 5%	Biocompósito 10%
Índice de fluidez (g/10min)	40,00	39,70	25,40	17,70

Fonte: Autor (2018).

A Figura 71 apresenta os dados para análise da média, comparando as medidas do polipropileno, biocompósito de 1%, biocompósito de 5% e biocompósito de 10%.

Figura 71– Comparação do índice de fluidez entre a matriz de polipropileno e os biocompósitos de 1%, 5% e 10 %



Fonte: Autor (2018).

Todas as composições apresentaram uma redução do índice de fluidez respectivamente. O biocompósito de 1% apresentou uma redução de 0,7% comparado ao polipropileno. O biocompósito de 5% apresentou uma redução do índice de fluidez de 74,6% em comparação ao polipropileno. O biocompósito de 10% apresentou uma redução de 55,7%. Esses valores corroboram com a pesquisa de Mohanty et al (2006), que relataram variação de viscosidade no comportamento reológico de polipropileno reforçado com juta. Assim, a viscosidade aumenta proporcionalmente ao aumento na porcentagem de carga na matriz. Além disso, Maiti et al (1989), ao pesquisarem a viscosidade em compósito de polipropileno e farinha de madeira, descrevem um aumento de viscosidade na matriz, ocasionado pelas fibras tratadas quimicamente. A variação da viscosidade, desta vez em fibras curtas, foi apresentada por Joseph et al (2002), observaram que a viscosidade aumenta com a adição fibras curtas de sisal. A tabela 18 apresenta os valores referentes a análise estatística

Tabela 18 – Valores do teste estatístico - índice de fluidez

	Polipropileno	Biocompósito 1%	Biocompósito 5%	Biocompósito 10%
Média $\pm$ DP	40,0 $\pm$ 0,00	39,7 $\pm$ 0,24	25,425 $\pm$ 0,43	17,7 $\pm$ 0,08

Fonte: Autor (2018).

Houveram diferenças significativas entre o biocompósito de 5% e polipropileno, entre o biocompósito de 1% e 5%, entre o biocompósito de 10% e polipropileno e entre o biocompósito de 10% e 5%.

4.10. Absorção de água

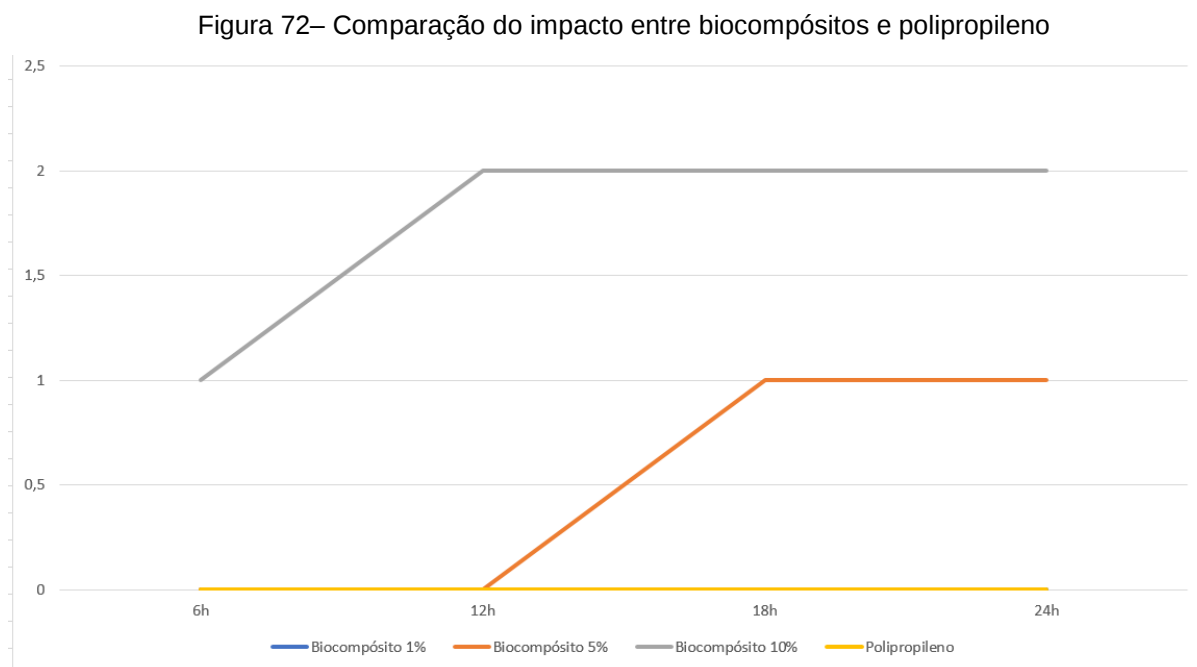
A Tabela 19 apresenta os valores obtidos no referido teste:

Tabela 19 – Valores referentes ao teste de absorção de água

	Polipropileno	Biocompósito 1%	Biocompósito 5%	Biocompósito 10%
Média absorção de água (%)	0	0	0,10	0,20

Fonte: Autor (2018).

A Figura 72 apresenta os dados para análise da média, comparando as medidas do polipropileno, biocompósito de 1%, biocompósito de 5% e biocompósito de 10%.



Fonte: Autor (2018).

A composição de 1% mostrou estabilidade proporcional ao polipropileno. Rana et al (1998), ao estudarem sobre a influência da absorção de água nas propriedades mecânicas do polipropileno reforçado com fibra de juta, destacam que a estabilização/redução da absorção de água estar associado a fatores como uma boa dispersão e adesão das fibras, uma baixa quebra e baixo índice de aglomeração da fibra, distribuição e orientação da fibra, volume/peso fração das fibras, microestrutura. Salem (2020), pesquisou sobre melhoria do desempenho mecânico, térmico e de absorção de água de compósitos verdes de fibra juta por meio de tratamentos químicos na superfície da fibra. Sua pesquisa destaca uma estabilização e redução significativa na absorção de água em até 1%, utilizando agentes de silano e epóxi.

Os biocompósito de 5% e 10% apresentaram alteração em comparação ao polipropileno, ocasionado absorção de água. Isso pode ser em função do aumento da porcentagem de fibra, uma vez que, a pesquisa realizada por Sawpan et al., (2003), enfatizam quimicamente que os grupos de hidroxila presentes na celulose, criam várias ligações de hidrogênio, tornando as fibras celulósicas hidrofílica. Além disso,

Kamaker et al. (1994), descrevem que o processo térmico pode ocasionar pequenas lacunas entre as fibras de juta e o material da matriz, levando o biocompósito a absorver quantidade de água. Outra pesquisa realizada por Das et al (2018), sobre os efeitos da carga de fibra nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçados com fibra de juta, concluíram que as primeiras 24 horas, as amostras compostas mostraram ganho de peso gradual (%), com taxa de absorção muito alta, de 12,5% nas primeiras 24 horas e depois aumentou constantemente até 17,5% até 96 horas e após 168 horas a taxa de absorção foi a mesma devido ao ponto de saturação. De fato, quando imersa na água, a juta absorve grande quantidade de água, influenciando a matriz (AKTER, 2018; JOHN e THOMAS, 2008).

A tabela 20 apresenta os valores referentes a análise estatística

Tabela 20 – Valores comparativos				
	Polipropileno	Biocompósito 1%	Biocompósito 5%	Biocompósito 10%
Média $\pm$ DP	0 $\pm$ 0	0,025 $\pm$ 0,05	0,175 $\pm$ 0,05	0,275 $\pm$ 0,05

Fonte: Autor (2018).

Os resultados comprovam que houve uma diferença significativa entre as seguintes amostras: biocompósito de 5% em relação ao polipropileno, biocompósito de 5% com 1%, biocompósito de 10% com o polipropileno e o biocompósito de 10% com o de 5%.

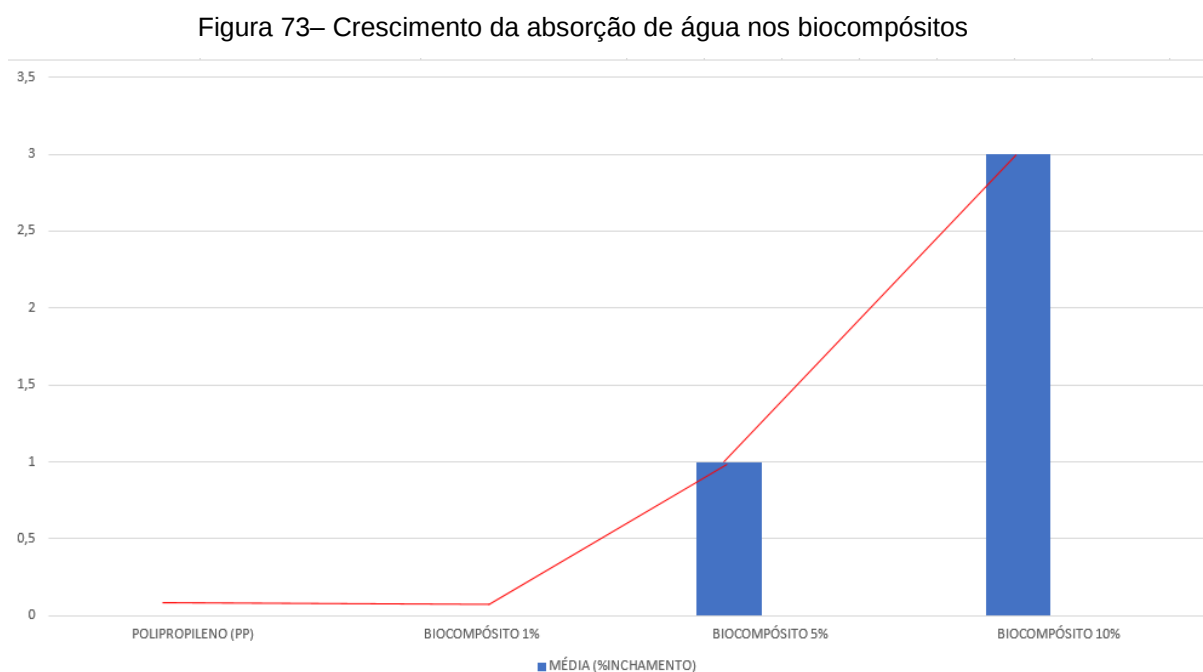
4.11. Teste de inchamento

A Tabela 21 apresenta os valores obtidos no referido teste:

Tabela 21 – Valores do teste de inchamento				
	Polipropileno	Biocompósito 1%	Biocompósito 5%	Biocompósito 10%
Média inchamento (%)	0	0	0,10	0,03

Fonte: Autor (2018).

A Figura 73 apresenta os dados para análise da média, comparando as medidas do polipropileno, biocompósito de 1%, biocompósito de 5% e biocompósito de 10%.



Fonte: Autor (2018).

Essa estabilidade do biocompósito de 1% é semelhante aos dados encontrados por Abdul et al (2011), ao pesquisarem sobre os comportamentos de absorção de água e inchamento em espessura em biocompósito híbridos, os autores descrevem 0% de inchaço, utilizando aditivo epóxi.

Isso acontece por que a molécula de celulose tem um grupo polar que atrai moléculas de água através de pontes de hidrogênio, que por sua vez acúmulo de umidade na parede celular que aparece como fibra inchamento (ASHORI e KUMAR, 2010).

Park (2008), ao analisar a avaliação interfacial e durabilidade de compósitos de fibras de juta/polipropileno, destaca que o inchamento é ocasionado também pela deterioração das fibrilas inchadas por infiltração de água e microfalhas.

Sam et al (2014), analisa os híbridos feitos de fibras de juta/coco, relacionando a absorção de água, inchamento de espessura, densidade, morfologia e propriedades mecânicas. Segundo os autores, o inchamento de espessura aumentou ligeiramente, à medida que a matriz passou a absorver água a partir de 11,2%. Com a presença de água, os trabalhos de adesão não só diminuíram como foram negativos, o que indica a instabilidade do sistema interfacial.

A diferença de inchaço encontrado nos biocompósito de 5% e 10% estão alinhados com Masoodi e Pillai (2012), ao conduzirem uma pesquisa sobre a absorção de umidade e inchaço em compósitos de juta, os autores destacam que as maiores quantidades de valores de absorção de água foram encontradas em amostras com 40% de fibra, com valores de inchaço de 19% a 24%, respectivamente.

Tabela 22- Os valores referentes a análise estatística

	Polipropileno	Biocompósito 1%	Biocompósito 5%	Biocompósito 10%
Média $\pm$ DP	0 $\pm$ 0	0,025 $\pm$ 0,05	0,175 $\pm$ 0,05	0,375 $\pm$ 0,05

Fonte: Autor (2018).

Houve uma diferença significativa entre as seguintes amostras: Os resultados comprovam que houve uma diferença significativa entre as seguintes amostras: biocompósito de 5% em relação ao polipropileno, biocompósito de 5% com 1%, biocompósito de 10% com o polipropileno e o biocompósito de 10% com o de 5%.

5 CONCLUSÃO

Os biocompósitos de 1%, 5% e 10% são passíveis de aplicabilidade em diversos segmentos, definidos dentro do campo de tolerância de cada teste aqui realizado. Observa-se a necessidade de novos testes para porcentagem maiores de carga.

O tratamento químico da mercerização melhorou a adesão das fibras descontínuas nos biocompósitos de 1% e 5%. Porém, não houve melhoria significativa no biocompósito de 10%.

Em relação a umidade, o biocompósito de 10% absorveu maior quantidade, podendo influenciar as propriedades mecânicas.

Os testes de cinza garantem que os valores estão dentro de campo de tolerância das fibras naturais. A proporção de cinzas após a queima é insignificante, fato este que converte os biocompósitos em material prima para a indústria do plástico.

Os biocompósitos de 1%, 5% e 10% homogeneizaram satisfatoriamente durante o processo de extrusão e de injeção plástica. Porém, novas pesquisas de produção em grande escala é necessário, inclusive utilizando outros modelos de extrusora e de injetora.

Durante o processo de desenvolvimento e fabricação, ocorreu problema de obstrução do bico de saída pelas fibras de juta. São necessários outros testes, modificando o bico para uma dimensão maior.

Com relação aos testes mecânicos de tração e impacto e ao teste de fluidez, é possível que os valores encontrados sejam diferentes substancialmente daqueles em processos de grande escala, o que resultar em dados que não se correlacionam diretamente com o processamento comportamento.

6. REFERÊNCIAS

- ABDUL Khalil, JAWAID M., ABU Bakar A. Woven hybrid composites: water absorption and thickness swelling behaviors. **BioResources** 2011; 6(2): 1043–1052, 2011.
- AFONSO BATISTA, G., DOS SANTOS Amarante, M., FIGUEIREDO, L., MIHARA, Y., dos Santos Souza, A. H., DE CASTILHO Martins, P. V. C. (2018). Materiais compósitos na aeronáutica. **Revista Pesquisa e Ação**, 4(1), 240-246, 2018.
- AGNELLI, José Augusto M.; CHINELATTO, M. A. Degradação de polipropileno: aspectos teóricos e recentes avanços em sua estabilização. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 3, p. 27-31, 2013.
- AKAMPUMUZA, O., WAMBUA, PM, AHMED, A., LI, W., QIN, XH. Revisão das aplicações de biocompósitos na indústria automotiva. **Polymer Composites** , 38 (11), 2553-2569, 2017.
- AKRAM, A., HASANUDDIN, I., NAZARUDDIN, N., PUTRA, R., & NOOR, M. M. Mechanical behavior of hybrid glass Fiber-Jute reinforced with polymer composite for the wall of the Acehnese boat 'Jalo Kayoh'. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 523, n°. 1, p. 12076. IOP Publishing, 2019.
- AKTER, Nasrin et al. Effect of bitumen emulsion and polyester resin mixture on the physico-mechanical and degradable properties of jute fabrics. **Fibers**, v. 6, n. 3, p. 44, 2018.
- ALAMO, R. G. - **Polímeros**, 13, p.270 (2003). <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282003000400012>.
- ALLACKER, K., et al., Allocation solutions for secondary material production and end of life recovery: proposals for product policy initiatives. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 88, p. 1-12. 2014.
- AL-MALAIKA, Sahar et al. Additives for plastics. In: Brydson's **Plastics Materials**. Butterworth-Heinemann, 2017. p. 127-168. 2017.
- ALMEIDA, L.F.D.P. Pelletização do bagaço de cana de açúcar: um estudo das propriedades dos produtos e rendimento do processo (master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná). 2015.
- ALUIGI, A.; et al., **Compos. Part A: Appl. Sci. Manufact.**, v. 39, p.126, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.08.022>. Acesso 28 de jan. de 2020.
- ALVARADO-INIESTA, Alejandro; CUATE, Oliver; SCHÜTZE, Oliver. Multi-objective and many objective design of plastic injection molding process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, n. 9, p. 3165-3180, 2019.

ALVES, R.T. Embrapa Cerrados celebra centenário da imigração japonesa. *Cerrado Informa*. **Planaltina**, v. 9, n. 88, p. 2, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D3878 – 16: standard terminology for composite materials. **West Conshohocken**: ASTM, 2016.

AMORIM, Laudenor et al. Caracterização de Fibras de Sisal por Infravermelho, Uv-Vis por Reflectância Difusa e Microscopia Eletrônica de Varredura. **Period Tche Quim**, 2019.

ANDRADE ARRUDA, José Jobson de. O algodão brasileiro na época da revolução industrial. **América Latina en la historia económica**, v. 23, n. 2, p. 167-203, 2016.

ANGRIZANI, C. A. et al. Influência do comprimento da fibra de sisal e do seu tratamento químico nas propriedades de compósitos com poliéster. In: **17º CBECIMat- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 2006.

ARAÚJO, Joyce Rodrigues de et al. Compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibra de curauá obtidos por extrusão e injeção. 2009.

ARCE-NAZARIO, JÁ. As paisagens humanas têm trajetórias complexas: reconstruindo a história da paisagem da Amazônia peruana de 1948 a 2005. **Ecologia da paisagem**, 22 (1), 89-101, 2007.

AROBINDO Chatterjee, SACHIN Kumar, HARWINDER Singh. Tensile strength and thermal behavior of jute fibre reinforced polypropylene laminate composite. **Composites Communications**, Volume 22, 2020,ISSN 2452-2139, <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100483>. 2020.

ASHOKKUMAR, S., JAYASEELAN, G. A. C., AKASH, A., RAJA, V. B., ABEESH, A. Experimental Investigation of Composite Material in Boat Hull. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 993, nº. 1, p. 012029, IOP Publishing, 2020.

ASHORI A, SHESHMANI S. Hybrid composites made from recycled materials: Moisture absorption and thickness swelling behavior. **Bioresour Technol** 2010; 101(12): 4717–4720, 2010.

ASHORI, A., et al.,Chemical and Morphological Characteristics of Malaysian Cultivated Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) Fiber. **Polymer-Plastics Thecnology and engineering**, v. 45, n. 1, p. 131-134, 2006.

ASSIS, Foluke Salgado et al. Photoacoustic thermal characterization of banana fibers. **Materials Research**, v. 18, p. 240-245, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13536: Máquinas injetoras para plástico e elastômeros - Requisitos técnicos de segurança para o projeto, construção e utilização. Rio de Janeiro, 2008.

AVERSA, Clizia et al. Injection-stretch blow molding of poly (lactic acid)/polybutylene succinate blends for the manufacturing of bottles. **Journal of Applied Polymer Science**, p. 51557, 2021.

AZEVEDO, Afonso R. et al. Desenvolvimento de argamassa para assentamento e revestimento com fibras de abacaxi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 187-193, 2020.

AZUMA, J; NOMURA, T; KOSHIJIMA, T. Lignin-carbohydrate complexes containing phenolic acids isolated from the culm of bamboo. **Agric. Biol. Chem**, v. 49, p. 2661-2669, 1985.

BAJPAI, P. K., DEBNATH, K., & SINGH, I. Hole making in natural fiber-reinforced polylactic acid laminates An experimental investigation. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, 0892705715575094, 2015.

BARACHO, Raphaela V. et al. Obtenção e caracterização de material híbrido entre sílica e ciclodextrinas. **Química Nova**, v. 38, p. 1063-1067, 2015.

BARBIERI, J.C. Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudança da Agenda 21. **Vozes**, Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, Karla Suellen Lino et al. Incorporação de fibras curtas de bambu e carga de resíduo industrial de caulim flint em compósitos de matriz polimérica. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1065-1073, 2020.

BARBOSA, Karla Suellen Lino et al. Influência de fibras vegetais e resíduo de mármore e granito na propriedade mecânica de tração dos compósitos poliméricos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 100929-100941, 2021.

BARBOSA, Larissa Moreira et al. Comportamento físico-químico sob diferentes temperaturas de secagem de compósitos de fécula de mandioca e fibra de sisal. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 16, n. 2, p. 81-85, 2020.

BARBOSA-PEREIRA, Letricia et al. Development of new active packaging films coated with natural phenolic compounds to improve the oxidative stability of beef. **Meat science**, v. 97, n. 2, p. 249-254, 2014.

BATTISTELLE, Rosane et al. Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 19, p. 07-15, 2014.

BEGUM K, ISLAM M. Natural fiber as a substitute to synthetic fiber in polymer composites: a review Research, **J Eng Sci**, 2278 9472, 2019.

BELTRAMI, Lílian Vanessa Rossa; CRISTINE SCIENZA, Lisete; ZATTERA, Ademir José. Efeito do tratamento alcalino de fibras de curauá sobre as propriedades de compósitos de matriz biodegradável. **Polímeros**, v. 24, p. 388-394, 2014.

BETTINI, Sílvia HP; ANTUNES, Marcela C.; MAGNABOSCO, Rodrigo. Estudo da influência do agente compatibilizante no comportamento em fadiga de um compósito de polipropileno reforçado com fibra de coco. 2009.

BLEDZKI, A. K., SPERBER, V. E., & FARUK, O. Natural and wood fibre reinforcement in polymers (Vol. 13). **iSmithers Rapra Publishing**, 2002.

BLEDZKI, A. K.; REIHMANE, S. & GASSAN J. - J. **Appl. Polym. Sci.**, 59, p. 1329, 1996.

BOGOEVA Gaceva, G., *et al.* Natural fiber eco.composites. **Polymer composites**, v. 28, n. 1, p. 98-107, 2007.

BOM, Ricardo Pedro. Caracterização de resíduos plásticos procedentes da reciclagem de papel. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 5, n. 2, p. 147-156, 2009.

BORGES, Ana Paula Silva Nascentes; MOTTA, Leila Aparecida de Castro; PINTO, Eliane Bernardes. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 24, 2019.

BOURMAUD, Alain et al. Property changes in plant fibres during the processing of bio-based composites. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112705, 2020.

CABRAL, H.; *et al.* Structure – properties relationship of short jute fiber-reinforced polypropylene composites. **Journal of Composites Materials**, v. 39, n. 1, p. 51-65, 2005.

CALLISTER JR, W.D.; RETHWISCh, D. G. Livro: Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2013.

CAMPOS, Adriana de et al. Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal. **Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 217-222, 2011.

CANTWELL, W. J. MORTON, J., 'The Impact Resistance of Composite Materials – a Review', **Composites** 22(5), 347, 1991.

CAVALCANTI, Wilma S.; DE LIMA, Antonio GB; CARVALHO, Laura H. de. Sorção de água em compósitos de poliéster insaturado reforçados com tecido de juta e juta/vidro modelagem, simulação e experimentação. **Polímeros**, v. 20, p. 78-83, 2010.

CHAGAS, Gabriella Neto et al. Compósito sustentável de polipropileno pós-consumo e resíduo de rocha ornamental. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 22298-22309, 2021.

CHAPKE, R., BISWAS, C. R., JHA, S. K. Adaptability of improved technologies in jute cultivation. **Indian Res. J. Ext. Edu**, 6, 6-8, 2006.

CHEN, H. B. et al. Fracture toughness of α - and β -phase polypropylene homopolymers and random-and block-copolymers. **Polymer**, v. 43, n. 24, p. 6505-6514, 2002.

CHEN, Min; CHEN, Changle. Controlar o processo de polimerização de abertura do anel usando estímulos externos. **Chinese Journal of Chemistry**, v. 38, n. 3, pág. 282-286, 2020.

CHIO, C., SAIN, M. e QIN, W. Utilização da lignina: uma revisão da despolimerização da lignina sob vários aspectos. **Revisões de energia renovável e sustentável**, 107, 232-249, 2019.

CLEMONS, Craig M.; CAULFIELD, Daniel F. Natural fibers. Functional fillers for plastics. **Weinheim: Wiley-VCH**, p. 195-206, 2005.

COELHO, Moisés Andrade. Ecoinovação em uma pequena empresa de reciclagens da cidade de Manaus. **RAI Revista de Administração e Inovação**, v. 12, n. 1, p. 121-147, 2015.

Composite Materials Market Forecast for the United Kingdom (UK) from 2015 to 2030, by Industrial Sector. Available online: <https://www.statista.com/statistics/624539/composite-market-industry-sector-uk/> (accessed on 15 January 2021).

Composites Germany-Results of the 15th Composites Market Survey. Available online: https://www.composites-germany.org/images/PR_03-2020_market_survey_01_2020.pdf (accessed on 15 January 2021).

CORADIN, Carlos Henrique; PIETROVSKI, Felipe. Aplicação do dimensionamento geométrico e toleranciamento (GD&T) de ferramentas para moldagem por injeção de termoplásticos. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CORDEIRO, Yasmim Monteiro et al. Aspectos Técnicos e Ambientais dos Óleos Lubrificantes Minerais versus Vegetais em Aplicações de Metal Working com Ênfase em Usinagem. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, n. 11, p. 20-39, 2020.

CORREA, Carlos A. et al. Compósitos termoplásticos com madeira. **Polímeros**, v. 13, p. 154-165, 2003.

CORRÊA, G.; MELO, P. J. Avaliação e melhoria no processo de injeção de PEAD. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 14330-14337, 2015.

CORREIA, Carla Almêda. Efeito da fibra de juta na forma bruta, branqueada ou de nanocelulose sobre as propriedades reológicas, mecânicas e de vulcanização da borracha natural. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 2021.

CRISPINIANO, Felipe Farias et al. Avaliação da cinética de secagem da fibra do sisal e do uso das fibras na adsorção de corante têxtil sintético. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, 2020.

CROSBY, Alfred W. Imperialismo ecológico: a expansão biológica da Europa, 900-1900. Tradução: José Augusto Ribeiro, Carlos Afonso Malferrari. São Paulo: Companhia da Letras, 2011.

CUNHA, Juliana dos Santos Carneiro da et al. Estudo de compósitos poliuretânicos reforçados com fibras de Malva. 2017.

DA COSTA BARROS, Camila et al. Propriedades mecânicas dos compósitos híbridos Vidro/Sisal. **Cadernos UniFOA**, v. 7, n. 18, p. 33-38, 2017.

DA COSTA, J. N. et al. Padrões universais para classificação do algodão. **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.

DA LUZ, Juliana Flores; LENZ, Denise Maria. Compósitos de polipropileno virgem e reprocessado com fibra de curauá obtidos por injeção. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, v. 1, n. 9, 2011.

DA SILVA FERREIRA, Aldenor; HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. A colonização britânica e o declínio da produção de juta indiana: singularidades e possibilidades para a Amazônia. **Fronteiras: revista de História**, v. 21, n. 37, p. 39-57, 2019.

DA SILVA, Igor Cesar Rosa; DE OLIVEIRA, Ana Karla Freire. Ecocompósito de resina vegetal e resíduos de fibra de piaçava: Estudos de usinagem e sensorialidade para aplicações no campo do design. **Design e Tecnologia**, v. 11, n. 23, p. 24-37, 2021.

DA SILVA, R. V., et al. Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética. **Revista Matéria**, v. 13, n. 1, p. 154-161, 2008.

D'ALMEIDA, Ana LFS et al. Acetilação da fibra de bucha (*Luffa cylindrica*). **Polímeros**, v. 15, n. 1, p. 59-62, 2005.

DALMIS, Ramazan et al. Characterization of a novel natural cellulosic fiber extracted from the stem of *Chrysanthemum morifolium*. **Cellulose**, v. 27, n. 15, p. 8621-8634, 2020.

DAVIS, Lance E. ; ENGERMAN, Stanley L. Bloqueios navais na paz e na guerra: uma história econômica desde 1750 . **Cambridge University Press**, 2006.

DE ALENCAR, Krishana Carvalho et al. Influência do comprimento e proporção do fio de fibras de juta na resistência mecânica à tração de compósitos poliméricos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 116381-116389, 2021.

DE ANDRADE TANOBE, Érico Shooji Oliveira et al. AVALIAÇÃO MECÂNICA DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇAÍ E CURAUÁ. **Revista Técnico-Científica**, n. 21, 2019.

DE ARAÚJO RIBEIRO, Kilder César; DA SILVA, Cristiano Alves; FREIRE, Luiz Henrique Castor. Ecodesign via biocompósitos poliméricos: envelhecimento, análise estrutural e reciclagem. **MIX Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 35-42, 2019.

DE ARAUJO, Carla Reis; SAMPAIO, Michel Serra. Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) com fibra de coco. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 5, p. 0688-0694, 2020.

DE BRITO DINIZ, Jacqueline Félix et al. Secagem de fibras de sisal em estufa com circulação forçada de ar: Um estudo experimental. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e8639109342-e8639109342, 2020.

DE BRITO DINIZ, Jacqueline Félix et al. Secagem de fibras de sisal em estufa com circulação forçada de ar: Um estudo experimental. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 10, pág. e8639109342-e8639109342, 2020.

DE CAMARGO, F. C. Sugestões para o soerguimento econômico do Vale Amazônico. Embrapa Amazônia Oriental-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E), 1948.

DE CARVALHO, Giovanna MX et al. Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno. **Polímeros**, v. 17, p. 98-103, 2007.

DE MACEDO, et al. f. m. **Bosch Rexroth** Ltda, 2013.

DE MELO BARBOSA, Andrezza et al. Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil. **Revista Matéria**, v. 24, n. 3, 2019.

DE MOURA FURTADO, Josélia Borges et al. Caracterização química da fibra do caule da palmeira de babaçu natural e após tratamento. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 5, n. 3, p. 56-64, 2020.

DE MOURA PAIVA, Rayane Lima et al. Avaliação do envelhecimento ambiental e das propriedades mecânicas dos compósitos de polipropileno/bagaço de cana-de-açúcar. **Cadernos UniFOA**, v. 8, n. 1 (Esp.), p. 19-28, 2013.

DE OLIVEIRA, Jorge Miguel et al. Propriedades mecânica e química das fibras vegetais resinadas: cana de açúcar e bambu. **Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica**, v. 23, n. 1, p. 71-84, 2019.

DE OLIVEIRA, Jorge Miguel et al. Propriedades mecânica e química das fibras vegetais resinadas: cana de açúcar e bambu. **Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica**, v. 23, n. 1, p. 71-84, 2019.

DE OLIVEIRA, Reginaldo Soares. Eficiência de painéis de fibras vegetais utilizados para sistemas de resfriamento evaporativo direto: um estudo experimental. **Revista Tecnologia**, v. 33, n. 1, p. 32-45, 2012.

DE SANTANA, J. C. F.; WANDERLEY, M. J. R. Interpretação de resultados de análises de fibras, efetuadas pelo instrumento de alto volume (HVI) e pelo finurímetro-maturímetro (FMT2). **Embrapa Algodão-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1995.

DHALIWAL, J. S. Natural fibers: applications. **Generation, Development and Modifications of Natural Fibers**, 2019.

DICKER, M. P. M., et al., Green composites: A review of material attributes and complementary applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, n. 56, p. 280-289, 2014.

DIDACTIC, FESTO. Introdução a Hidráulica H11. 1983.

DO VAL SIQUEIRA, Larissa et al. Starch-based biodegradable plastics: Methods of production, challenges and future perspectives. **Current Opinion in Food Science**, 2020.

DOBRÁNSKY, Jozef et al. Implementation of a Recycled Polypropylene Homopolymer Material for Use in Additive Manufacturing. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4990, 2021.

DOS REIS–UNIREDENTOR–MONTEIRO, IASMIN MONTEIRO et al. Proposta de um plano de manutenção em uma indústria de embalagens plásticas flexíveis. 2018.

DOS SANTOS, Alessandro José Gomes et al. Determinação de propriedades mecânicas de tração de compósitos híbridos reforçados utilizando fibras de bambu tratadas em solução NaOH e lama vermelha. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 6, p. 2197-2204, 2021.

DUBEY, Satya P. et al. Progresso em material nanocompósito de polímero ecológico da PLA: Síntese, processamento e aplicações. **Vácuo**, v. 146, p. 655-663, 2017.

DUPONT, Jairton; FORTE, Madalena C.; MIRANDA, Márcia SL. Novas resinas produzidas com catalisadores metalocênicos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 49-60, 2013.

ELKHAOULANI, A., et al. Mechanical and thermal properties of polymer composite based on natural fibers: Moroccan hemp fibers/polypropylene. **Materials & Design**, v. 49, p. 203-208. 2013.

ERIKSEN, Marie Kampmann et al. Contamination in plastic recycling: Influence of metals on the quality of reprocessed plastic. **Waste management**, v. 79, p. 595-606, 2018.

VILASECA, J.A. MENDEZ, A. PÈLACH, M. LLOP, N. CAÑIGUERAL, J. GIRONÈS, X. Turon, P. Mutjé. Composite materials derived from biodegradable starch polymer and jute strands. **Process Biochemistry**, Volume 42, Issue 3, 2007, Pages 329-334, ISSN 1359-5113, <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.09.004>. 2007.

FADZLY, M. K., NATASHA, A., & NORDIN, F. Experimental investigation of plastic part defect from plastic injection molding machine. In **AIP Conference Proceedings**, vol. 2129, No. 1, p. 020149, 2019.

FADZLY, M. K.; NATASHA, Ainur; NORDIN, Farisha. Experimental investigation of plastic part defect from plastic injection molding machine. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, 2019. p. 020149.

FANTUZZI, N., BACCIOCCHI, M., BENEDETTI, D., & AGNELLI, J. The use of sustainable composites for the manufacturing of electric cars. **Composites Part C: Open Access**, 4, 100096, 2021.

FAO, J., & FOODS, M. H. I. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, URL: <http://faostat.fao.Org>. 2004.

FARIAS, Kássie Vieira et al. Uso de aditivos nacionais no desenvolvimento de fluidos aquosos para perfuração de poços de petróleo. 2009.

FARUK, O., *et al.* Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 – 2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.

FAVIER, V., CANOVA, G.R., CAVAILLE, J.Y., CHANZY, H., DUFRESNE, A. and Gauthier, C. **Polym. Adv. Tech.**, 6: 351–355, 1994.

FELTRAN, Murilo B.; DIAZ, Francisco RV. Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: utilização de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira. **Polímeros**, v. 17, n. 4, p. 276-283, 2007.

FERNANDES, Janaina Rodrigues et al. Nanopartículas de sílica silanizada como compatibilizante em compósitos de fibras de sisal/polietileno. **Polímeros**, v. 27, p. 61-69, 2017.

FERNANDES, Laércio L. et al. Estudo do efeito do tipo de polipropileno na fotodegradação da blenda polipropileno/poliestireno de alto impacto. **Polímeros**, v. 22, p. 61-68, 2012.

FERREIRA, Aldenor da Silva et al. Fios dourados dos trópicos: culturas, histórias, singularidades e possibilidades (juta e malva-Brasil e Índia). 2016.

FITZGERALD, A., Proud, W., Kandemir, A., Murphy, R. J., Jesson, D. A., Trask, R. S., ... & Longana, M. L. (2021). A life cycle engineering perspective on biocomposites as a solution for a sustainable recovery. **Sustainability**, 13(3), 1160.

FLORENTINO, Wagner Martins et al. Biocompósitos de poliuretano reforçados com fibras de coco verde. **Cadernos UniFOA**, v. 6, n. 17, p. 11-16, 2017.

FRANZ, G. e BLASCHECK, W. Cellulose. *In: Methods in plant biochemistry*. **Academic Press**, v.2, p. 291-322, 1990.

FREIRE, Estevão; MONTEIRO, Elisabeth EC; CYRINO, Julio CR. Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 3, p. 25-32, 2013.

FRKETIC, J.; Dickens, T.; Ramakrishnan, S. Automated manufacturing and processing of fiber-reinforced polymer (FRP) composites: An additive review of contemporary and modern techniques for advanced materials manufacturing. **Additive Manuf.**, 2017, 14, 69-86. 2017.

FUJII, T. (2006). **Journal of Reinforced plastics**. Vol. 51, (8), 358-362.

FURLAN, L. G.; DUARTE, U. L.; MAULER, R. S., Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1499-1501, 2012.

FURLAN, Luciano Gomes; DUARTE, Ueiler Lisoski; MAULER, Raquel Santos. Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1499-1501, 2012.

FUTEMMA, C., & BRONDÍZIO, ES. Reforma agrária e mudanças no uso da terra no baixo Amazonas: implicações para a intensificação agrícola. **Human Ecology**, 31 (3), 369-402, 2003.

GAFFORELLI, Cecília Pelisoli. Reintegração de resíduo de polipropileno gerado pela indústria automotiva para composto termoplástico em para-choques. 2019.

GALDAMEZ, Edwin V. Cardoza; CARPINETTI, Luiz C. Ribeiro. Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 121-134, 2004.

GALLEGO, K., LÓPEZ, B. L., e GARTNER, C. Estudio de mezclas de polímeros reciclados para el mejoramiento de sus propiedades. **Revista facultad de Ingeniería**, n. 37, 59-70, 2006.

GALLONE, Toni; ZENI-GUIDO, Agathe. Closed-loop polypropylene, an opportunity for the automotive sector. Field Actions Science Reports. **The journal of field actions**, n. Special Issue 19, p. 48-53, 2019.

GAÑAN, P., MONDRAGON, I. Thermal and degradation behavior of fique fiber reinforced thermoplastic matrix composites. **J. Therm. Anal Cal.** v. 73, n. 3, p. 783-795, 2003.

GARBIN, Fabiana Quiroga; DITOMASO, Renato; JUNIOR, Nelson Beuter. Reciclagem do plástico: o caminho para a implementação da economia circular–reeducação do setor produtivo e dos hábitos de consumo.2020.

GAWISH, Samiha Mahmoud; RAMADAN, Ameera; MOSLEH, Sayeda El-Sayed. Improvement of polypropylene (PP) dyeing by modification methods. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 62, n. 1, p. 49-62, 2019.

GOMES, Marcio Rodrigues; ANDRADE, Marcos; FERRAZ, Fábio. Apostila de hidráulica. Santo Amaro-BA: Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, p. 11-28, 2008.

GOMES, Thiago S.; VISCONTE, Leila LY; PACHECO, Elen BAV. Substituição da fibra de vidro por fibra de bananeira em compósitos de polietileno de alta densidade: parte 1. Avaliação mecânica e térmica. **Polímeros**, v. 23, p. 206-211, 2013.

GOPANNA, Aravinthan et al. Polyethylene and polypropylene matrix composites for biomedical applications. In: **Materials for Biomedical Engineering**. Elsevier, 2019. p. 175-216.

GORNI, Antonio Augusto. A evolução dos materiais poliméricos ao longo do tempo. **Revista plástico industrial**, 2003.

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, S.K. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. **Compos. Part A: Appl. Sci.** 77, 1–25, 2015.

GUTIÉRREZ, M. C. et al. Efectos de la presencia de fibras de celulosa y curauá em las propiedades térmicas y mecánicas de eco-compósitos de acetato de celulosa. **Revista mexicana de ingeniería química**, 2018.

HADIJI, Hajer et al. Damping analysis of nonwoven natural fibre-reinforced polypropylene composites used in automotive interior parts. **Polymer Testing**, v. 89, p. 106692, 2020.

HANNIFIN, PARKER. Tecnologia Hidráulica Industrial. São Paulo: Centro Didático de Automação Parker Hannifin, 2000.

HARIS, M. Y., LAILA, D., ZAINUDIN, E. S., MUSTAPHA, F., ZAHARI, R., & HALIM, Z. (2011). Preliminary review of biocomposites materials for aircraft radome application. **Key Engineering Materials**, 471–472, 563–567.

HILLIG, Éverton et al. Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira-parte II-extrusão em dupla-roscas. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 335-347, 2011.

HOMMA, A. K.O. Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição? **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 54, n. 19, p. 115-135, 2005.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. Os japoneses na Amazônia e sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2009.

ICHADO, Solomon. Propane Dehydrogenation Technology; A Viable Alternative to Meet Nigeria's Growing Propylene Demand. In: **SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition**. OnePetro, 2021.

ILYAS, R. A., & SAPUAN, S. M. Biopolymers and biocomposites: chemistry and technology. **Current Analytical Chemistry**, 16(5), 500-503, 2020.

ILYAS, R. A., SAPUAN, S. M., NORIZAN, M. N., ATIKAH, M. S. N., HUZAIFAH, M. R. M., RADZI, A. M., ... & ATIQA, A. (2019). Potential of natural fibre composites for transport industry: A review. In **Prosiding Seminar Enau Kebangsaan** (Vol. 2019, pp. 2-11). 2019.

IOZZI, Marco A. et al. Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. **Polímeros**, v. 20, n. 1, p. 25-32, 2010.

ISLAM, Md Jahidul; SHAHJALAL, Md. Effect of polypropylene plastic on concrete properties as a partial replacement of stone and brick aggregate. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00627, 2021.

Jain, N. K., & Saha, J. R. (1971). Effect of Storage Length on Seed Germination in Jute (*Corchorus* spp.) 1. **Agronomy Journal**, 63(4), 636-638.

JAMES, A. Innovative strategies for the utilization of biomass ash. Doctoral dissertation, University of Northern British Columbia. 2013.

JAVID, Amjed et al. Engineering of surface properties of polypropylene nonwovens through oxygen plasma for enhanced color yield of pigment prints. **Pigment & Resin Technology**, 2019.

JESUS, Luiz Carlos Correia de et al. Comportamento térmico de compósitos de poliestireno reciclado reforçado com celulose de bagaço de cana. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, 2019.

JESUS, Rodolfo Cardoso de et al. Processamento e caracterização de biocompósitos de PHB com fibras naturais de coco e sisal acetiladas e não-acetiladas. 2008.

JOHN, M. J. & THOMAS, S. – Carbohydr. **Polym.**, n. 71, p. 341, 2008.

JOSHI, S. V., et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? **Composites Part A: Applied science and manufacturing**, v. 35, n. 3, 371-376, 2004.

KALIA, S., et al. Natural fibers, bio-and nanocomposites. 2011.

KATAOKA, Lays Furtado de Medeiros Souza. Desenvolvimento de filmes condutores de celulose regenerada de juta com nanopartículas de prata. 2021.

KHALID, M. Y., AL RASHID, A., ARIF, Z. U., AHMED, W., ARSHAD, H., e ZAIDI, A. Natural fiber reinforced composites: Sustainable materials for emerging applications. **Results in Engineering**, 100263, 2021.

KORONIS, G.; SILVA, A.; FONTUL, M. Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. **Compos. Part B: Eng.**, v. 44, 120-127, 2013.

KOSCHEVIC TURIM, Marivane et al. Mercerização/branqueamento de fibras naturais nativas: análise térmica. In: **CBPol 2017: 14º Congresso Brasileiro de Polímeros: Águas de Lindóia, SP, Brasil: 22 a 26 de outubro de 2017: livro de resumos**. 2017. p. 1-5.

KU, H., et al. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 42, n. 4, p. 856-873, 2011.

KUMAR, A., JYSKE, T., & MÖTTÖNEN. Properties of Injection Molded Biocomposites Reinforced with Wood Particles of Short-Rotation Aspen and Willow. **Polymers**, 12(2), 257, 2020.

KWON, Dong-Jun et al. Investigation of impact resistance performance of carbon fiber reinforced polypropylene composites with different lamination to applicate fender parts. **Composites Part B: Engineering**, v. 215, p. 108767, 2021.

LATIFI, Mujeebul Rahman; BIRICIK, Öznur; MARDANI AGHABAGLOU, Ali. Effect of the addition of polypropylene fiber on concrete properties. **Journal of Adhesion Science and Technology**, p. 1-25, 2021.

LEÃO, A. L., MACHADO, I. S., DE SOUZA, S. F., & SORIANO, L. (2007, November). Production of curauá (*Ananas Erectifolius* LB SMITH) fibers for industrial applications: characterization and micropropagation. In VI International Pineapple Symposium 822 (pp. 227-238). 2007.

LEÃO, A.; FROLLINI, E.; RAZERA, I. A. T.; TRINDADE, W. G. In “Anais do 4º International Symposium of Polymers and Composites”, São Pedro, Brasil, p.507, 2002.

LEITE, Wanderson De Oliveira et al. Vacuum thermoforming process: an approach to modeling and optimization using artificial neural networks. **Polymers**, v. 10, n. 2, p. 143, 2018.

LI, Dunzhu et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. **Nature Food**, v. 1, n. 11, p. 746-754, 2020.

LI, T., CHEN, C., BROZENA, A. H., ZHU, J. Y., XU, L., DRIEMEIER, C., ... & HU, L. Developing fibrillated cellulose as a sustainable technological material. **Nature**, 590(7844), 47-56, 2021.

LÍBANO, Elaine VDG; VISCONTE, Leila LY; PACHECO, Élen BAV. Propriedades térmicas de compósitos de polipropileno e bentonita organofílica. **Polímeros**, v. 22, p. 430-435, 2012.

LIBONATI, V. F. Observações preliminares sobre as possibilidades da cultura da juta no Estado do Maranhão. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE), 1962.

LIGOWSKI, Ezequiel; SANTOS, Benedito Cláudio dos; FUJIWARA, Sérgio Toshio. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. **Polímeros**, v. 25, p. 70-75, 2015.

LIMA, M. D. F., Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Dipteryx odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona, Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Manaus, AM, Brasil, 2012.

LIMA, Mayara Viana; DA SILVA, Sandra Helena. Gênero, trabalho e saúde da mulher: percepção das malvicultoras da Ilha do Valha-me Deus–Juruti/PA. **O Social em Questão**, v. 20, n. 38, p. 95-110, 2017.

LISETCHI, M., e BRANCU, L. The entrepreneurship concept as a subject of social innovation. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, n. 124, p. 87-92, 2014.

LIU, W., et al. ‘Green’composites from soy based plastic and pineapple leaf fiber: Fabrication and properties evaluation. **Polymer**, v. 46, n. 8, p. 2710-2721, 2005.

LONDHE, A. B. FEA and analytical analysis of natural fibers composite leaf spring. **International Journal of Mechanical Engineering and Research**, v. 3, n. 4, p. 355-360, 2013.

LOPES, Carlos Eduardo Pinto et al. Colmos de caule de bambu e da cana-de-açúcar para a fabricação de compósitos poliméricos. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 6, p. 6364-6375, 2019.

LOPES, Fernanda FM et al. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 783-788, 2010.

LUZ, Juliana da. Modificação de fibra de sisal via carbonização hidrotérmica para aplicação em materiais compósitos. 2017.

M. Zampaloni, F. Pourboghrat, S. A. Yankovich, B. N. Rodgers, J. Moore, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and M. Misra, *Compos. Part A-Appl. S.*, 38, 1569 (2007).

MACHADO, Miriam LC et al. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero poli-3-hidroxibutirato (PHB) e de compósitos PHB/pó de madeira. **Polímeros**, v. 20, p. 65-71, 2010.

MADDAH, H. A. Polypropylene as a promising plastic: **A review. Am. J. Polym. Sci**, 6(1), 1-11, 2016.

MAHLMANN, C.M., et al., Compósitos de matriz de polipropileno reciclado reforçado com fibras de bananeira e de sisal tratadas com anidrido maléico e hidróxido de sódio. In 10º Congresso Brasileiro de Polímeros (CBPol). Foz do Iguaçu. BR. 2009.

MAHONTY, A. K.; et al. **Mater. Eng.**, n. 1, p. 276-277, 2000.

MAMIGONIAN, Armen. O processo de industrialização em São Paulo. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 50, p. 83-102, 1976.

MANO, E; MENDES, L. C., Introdução aos polímeros. São Paulo, editora: Edgard bulcher, ed. 2, 2004.

MARÇAL, Laura Duarte. Estudo da copolimerização de aditivos melhoradores do índice de viscosidade de óleos lubrificantes automotivos. 2018.

MARGEM, Jean Igor. Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva. Universidade estadual do norte fluminense-UENF. **Campos dos Goytacazes-RJ**, 2013.

MARINELLI, ALESSANDRA L. *et al.* Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARQUES, Fernando Michelon et al. Desenvolvimento do projeto mecânico de uma máquina para teste de torção em eixos: Um caso prático. *Revista Ciência e Tecnologia*, v. 19, n. 35, 2016.

MARTINO, Marco et al. Propylene Synthesis: Recent Advances in the Use of Pt-Based Catalysts for Propane Dehydrogenation Reaction. **Catalysts**, v. 11, n. 9, p. 1070, 2021.

MARTINS, Ismael dos Santos et al. Estudo das características de extrema-pressão e de desgaste de óleos lubrificantes aditivados, ensaiados na máquina de quatro-esferas. 1995.

MARTINS, Maria Alice; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli; PESSOA, José Dalton Cruz. Comportamento Térmico da Fibra do Açaí. **Embrapa Instrumentação-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2005.

MARTYNIS, M. et al. Thermal pyrolysis of polypropylene plastic waste into liquid fuel: reactor performance evaluation. In: IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering. IOP Publishing**, p. 012047, 2019.

MASOODI, Reza; PILLAI, Krishna M. A study on moisture absorption and swelling in bio-based jute-epoxy composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 31, n. 5, p. 285-294, 2012.

MATIAS, Áurea A. et al. Use of recycled polypropylene/poly (ethylene terephthalate) blends to manufacture water pipes: An industrial scale study. **Waste Management**, v. 101, p. 250-258, 2020.

MATOS, Maria Izilda Santos. Trama e poder: trajetória e polêmica em torno da indústria de juta. 2 ed. Rio de Janeiro: **Sette Letras**, 1996.

Maya Jacob John, Sabu Thomas. Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, Volume 71, Issue 3, 2008, Pages 343-364, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>.

MCGRATH, DG, de Castro, F., FUTEMMA, C., de Amaral, BD, & CALABRIA, J. A pesca e a evolução da gestão dos recursos na planície de inundação do baixo Amazonas. **Ecologia humana**, 21 (2), 167-195 1993.

MEEKERS, I., REFALO, P., & ROCHMAN, A. (2018). Analysis of Process Parameters affecting Energy Consumption in Plastic Injection Moulding. **Procedia CIRP**, 69, 342-347.

MEI, Lúcia Helena; OLIVEIRA, Natália. Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ϵ -caprolactona) e borra de café. **Polímeros**, v. 27, p. 99-109, 2017.

MELLO, M.L.S.; CONTENTE, S.; VIDAL, B.C.; PLANDING, W.; SCHENCK, U., Modulation of ras transformation affecting chromatin supraorganization as assessed by image analysis. **Exp. Cell Res**, v. 220, p. 374-382, 1995.

MELO, A. M. B. et al. Estudos de oxidação em compostos parafínicos e avaliação do desempenho de aditivos. In: trabalho apresentado no VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Campinas, Campinas–São Paulo. 2005.

MENEZES, Patricer Lubumba. Desenvolvimento e caracterização de um compósito polimérico reforçado com resíduos têxteis de tecido de juta e malha de poliéster. 2018.

MERLINI, Claudia; SOLDI, Valdir; BARRA, Guilherme MO. Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. **Polymer Testing**, v. 30, n. 8, p. 833-840, 2011.

MESQUITA, A. L. et al. Relatório Técnico do Estudo da Avaliação Sócio- Econômica da Cadeia de Produtos de Origem Florestal. Consultoria e Assessoria Ambiental - Projeto executado com apoio financeiro da SEPLAN/Banco Mundial, 2005.

MINILLO, L. Q., de Castro Cardoso, B. C., & ORTENZI, A. Design of nautical cleat for small-medium boats using hybrid curaua-glass fiber-reinforced epoxy. **Materials Today: Proceedings**, 34, 341-349, 2021.

MIRANDA, Cleidiane S. et al. Efeito dos tratamentos superficiais nas propriedades do bagaço da fibra de piaçava *Attalea funifera martius*. **Química Nova**, v. 38, p. 161-165, 2015.

MIRANDA, Cleidiane S. et al. Efeito dos tratamentos superficiais nas propriedades do bagaço da fibra de piaçava *Attalea funifera martius*. **Química Nova**, v. 38, p. 161-165, 201

MODEKWE, Helen Uchenna et al. Effect of Different Catalyst Supports on the Quality, Yield and Morphology of Carbon Nanotubes Produced from Waste Polypropylene Plastics. **Catalysts**, v. 11, n. 6, p. 692, 2021.

Mohammed, T. W., Taha, D. Y., & Abdul-Ilah, R. R. (2018). Evaluation of composite material used in the Wings of Typical Airplane based on Stress Analysis. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 3(11), 37-41.

MOHAN, T. P.; KANNY, Krishnan. Chemical treatment of sisal fiber using alkali and clay method. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 43, n. 11, p. 1989-1998, 2012.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M. and; HINRICHSEN, G. I. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. **Macromolecular materials and Engineering**, v. 276, n. 1, p. 1-24, 2000.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL L. T. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World, **Journal of Polymers and the Environment**, v. 10, p. 19-26. 2002.

MOHANTY, Smita; VERMA, Sushil K.; NAYAK, Sanjay K. Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites. **Composites Science and Technology**, v. 66, n. 3-4, p. 538-547, 2006.

Monteiro, E., Leao, S., Norton, M., Martins, M. G., & Avila, A. F. (2018). Fire Behavior of Hybrid Nano-Modified Composites for Airplane Interiors. In *2018 AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference* (p. 0910).

MONTEIRO, L. F. Considerações sobre a produção de sementes de juta: seu centro produtor na Amazônia. IPEAAOc, 1973.

MONTEIRO, Sergio N.; D'ALMEIDA, José Roberto M. Ensaio de Pullout em fibras lignocelulósicas: uma metodologia de análise. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 11, p. 189-196, 2006.

MONTEIRO, Sergio Neves. Properties and structure of *Attalea funifera* piassava fibers for composite reinforcement—A critical discussion. **Journal of natural fibers**, v. 6, n. 2, p. 191-203, 2009.

MORAES, Sandra Regina et al. Avaliação de polímeros termoplásticos recicláveis como materiais componentes de telhas e tijolos. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

MORASSI, J. O., Fibras naturais, aspectos gerais e aplicação na indústria automobilística, *In: congresso brasileiro de engenharia e ciências dos materiais. Águas de São Pedro. ANAIS...* São Paulo, SP, p. 1259-1262, 1994.

MOURA, Cassiano Rodrigues. APLICAÇÕES E TRATAMENTOS DA FIBRA DE BAMBU E SIMILARES: UMA REVISÃO. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 5, n. 5, p. 0460-0468, 2019.

MOURA, Cassiano Rodrigues; DALLA, Luiz Veriano Oliveira; VIEIRA, Adalberto José Tavares. Avaliação da perda de massa de colmos de bambu durante o processo de ecagem. **Engvista**, v. 20, n. 3, p. 476-486, 2018.

MTIBE, A. et al. A comparative study on properties of micro and nanopapers produced from cellulose and cellulose nanofibres. **Carbohydrate Polymers**, v. 118, p. 1-8, 2015.

MUTO, Reiko; ARAGÓN, Luis Eduardo. A saga dos koutakusseis na Amazônia. **Papers do NAEA**, v. 1, n. 3, 2021.

NAM, Tran Huu *et al.* Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly (butylene succinate) biodegradable composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 42, n. 6, p. 1648-1656, 2011.

NASCIMENTO D.C.O.; FERREIRA A.S.; MONTEIRO S.N.; AQUINO R.C.M.P.; KESTUR S.G. Studies on chareitization of piassava fibers and their epoxy composites. **Composites part A**, v.43, n. 3, p. 353-362, 2012

NASCIMENTO, Uédson Alexandre do; TIMÓTEO, Gustavo Arante V.; RABELLO, Marcelo S. Efeito de Plastificantes à base de Poliisobutenos nas Propriedades Físicas e Mecânicas do Polipropileno. **Polímeros**, v. 23, p. 257-261, 2013.

NAYAK, Narayan et al. Comparative study of effect of sisal fibres in powder and short form on the mechanical properties of polypropylene. *In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC*, 2020. p. 030014.

NEGRÃO, Ana Gomes; PINTO, Edna Moura; SILVA, Lucineide Balbino da. Material compósito de fibra da folha do abacaxizeiro (Ananas comosus) para uso no ambiente construído. **Ambiente Construído**, v. 20, p. 627-645, 2020.

NERY, TATIANA Barreto Rocha; JOSÉ, N. M. Estudo das fibras de bananeira pré-tratadas e in natura como possível matéria-prima para reforço em compósitos poliméricos. **Revista virtual Química**, v. 10, n. 2, p. 10, 2018.

NERY, Tatiana Barreto Rocha; SANTOS, Zora Ionara Gama dos; JOSÉ, Nádia Mamede. Desenvolvimento e caracterização de biocompósitos de polihidroxibutirato e fibra de bananeira. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, 2018.

NETO, J. R. A., CARVALHO, L. H., ARAÚJO, E. M., Influência da Adição de uma Carga Nanoparticulada no Desempenho de Compósitos Poliuretano/Fibra de Juta, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, nº. 1, p. 10-15, 2007.

NIELSEN, T. D., HASSELBALCH, J., HOLMBERG, K., & STRIPPLE, J. (2020). Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, 9(1), e360.

NISHIKIDO, Linda Midori Tsuji. Produção de haicais pelos imigrantes japoneses no amazonas: a dialética com a natureza amazônica. **Estudos multidisciplinares japoneses**, ISSN 2526-3846, v. 4, n. 7, p. 72-83, 2019.

NOGUEIRA, Ana Paula Lages et al. Analysis of Concrete Strength with Addition of Bamboo Fiber. **International Journal of Geoscience, Engineering and Technology**, v. 3, n. 1, p. 80-90, 2021.

NORONHA, Thaynon Brendon Pinto et al. Comportamento Mecânico de Argamassas de Cimento Reforçadas com Fibras de Sisal Tratadas com Hidróxido de Sódio. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 15, n. 15, p. 51-56, 2020.

NUNES, José. Moldagem por injeção. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.carnavale.com.br.html>. Acesso em: 13 out. 2013.

O'DONNELL, A.; DWEIB, M. A.; WOOL, R. P. Natural fiber composites with plant oil-based resin. **Composites science and technology**, v. 64, n. 9, p. 1135-1145, 2004.

OKEREKE, Melody. How Pharmaceutical Industries Can Address the Growing Problem of Climate Change. **The Journal of Climate Change and Health**, p. 100049, 2021.

OLADELE, I. O. et al. Influence of designated properties on the characteristics of dombeya buettneri fiber/graphite hybrid reinforced polypropylene composites. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.

OLIVEIRA, Eduardo Júnio Gomes. **Estudo sobre a processabilidade de PET reciclado obtido pelo processo de reciclagem mecânica**. 2016. Tese de Doutorado.

OLIVEIRA, Emanuel Igor da Silva et al. A versatilidade dos compostos de coordenação na produção de polietilenos: uma revisão dos sistemas catalíticos. **Química Nova**, v. 38, p. 97-105, 2015.

OLIVEIRA, Michel Picanço et al. Propriedades e características estruturais de compósitos poliméricos de resina poliuretana de óleo de mamona (ricinus communis L.) reforçados com fibras do bagaço de cana-de-açúcar. **Exatas & Engenharias**, v. 9, n. 26, p. 35-44, 2019.

OLIVEIRA, Taysa Ávila et al. Avaliação do uso de agente compatibilizante no comportamento mecânico dos compósitos PEBD reforçados com fibras de coco verde. **Cadernos UniFOA**, v. 5, n. 14, p. 11-17, 2010.

ONAWUMI, A. S., AREMU, A., AJIBOSO, O. A., AGBOOLA, O. O., OLAYANJU, T. M. A., & OSUEKE, C. O. Development of strategic maintenance prediction model for critical equipment maintenance. **Materials Today: Proceedings**, 44, 2820-2827, 2021.

Ouarhim, W., Zari, N., & Bouhfid, R. Mechanical performance of natural fibers–based thermosetting composites. In *Mechanical and physical testing of biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites* (pp. 43-60). **Woodhead Publishing**, 2019.

OUTA, Roberto et al. Reconhecimento de padrões: classificação e identificação de danos em materiais compósitos de fibra de cana de açúcar e bambu. **Revista Iberoamericana de Ingenieria Mecánica**, v. 23, n. 2, p. 61-77, 2019.

OZOLA, Zanda U. et al. Paper Waste Recycling. Circular Economy Aspects. **Environmental & Climate Technologies**, v. 23, n. 3, 2019.

P. V. Joseph, Z. Oommen, K. Joseph, and S. Thomas, J. Therm. Compos. Mater. 15, 89 (2002). <https://doi.org/10.1177/0892705702015002446>

PACHLA, Eduardo et al. Desempenho térmico-acústico-mecânico de um compósito de matriz cimentícia leve reforçado com casca de arroz. **Matéria** (Rio de Janeiro) , v. 24, 2019.

PAIVA, Lucilene B. de; MORALES, Ana R.; GUIMARÃES, Thiago R. Propriedades mecânicas de nanocompósitos de polipropileno e montmorilonita organofílica. **Polímeros**, v. 16, n. 2, p. 136-140, 2006.

PANCETTI, Alessandra. Os desafios da agricultura familiar. **Divulgación y**, 2010.

PARDINI, Luiz C.; LEVY NETO, Flaminio. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Edição. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 2006.

PARK, Joung-Man et al. Interfacial evaluation and durability of modified Jute fibers/polypropylene (PP) composites using micromechanical test and acoustic emission. **Composites Part B: Engineering**, v. 39, n. 6, p. 1042-1061, 2008.

PASQUOTO, Caio Godoy; BETTINI, Silvia Helena Prado; GIANNETTI, Andreia de Araújo Morandim. Estudo da influência da polpação da fibra de coco na produção de compósitos de PP. 2008.

PASSOS, Ionara Nayana Gomes et al. Obtenção de novo produto natural, mistura de torta de babaçu e LCC eletrolisada (ETBL) a partir de eletrossíntese de produtos naturais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e38211427652-e38211427652, 2022.

PAWLAK, Jeferson Silveira et al. Princípios da Administração Científica e do Lean Manufacturing aplicados em uma fábrica de injeção de plástico: análise comparativa do resultado operacional. **Produção em Foco**, v. 4, n. 1, 2014.

PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi et al. Influência da adição de lignina kraft nas propriedades de pellets de eucalipto. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 235-242, 2016.

PEREIRA, Caio H. et al. Influência da incorporação de resíduos de tecido de big bag nas propriedades mecânicas do polipropileno. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 13, n. 1, p. 18-22, 2018.

PEREIRA, Thatiana Vitorino Castro et al. Investigação da influência morfológica via análise de imagens na resistência à tração de fibras naturais. In: **Congresso Anual da ABM, ABM WEEK-67, Rio de Janeiro, Brasil**. 2012. p. 31-03.

PÉREZ-DOMÍNGUEZ, L., MOJICA, K. S., PABÓN, L. O., & DÍAZ, M. C. Application of the MOORA method for the evaluation of the industrial maintenance system. In **Journal of Physics: Conference Series**, vol. 1126, No. 1, p. 01, 2018.

PERIYASAMY, Aravin Prince; VIKOVA, Martina; VIK, Michal. Photochromic polypropylene filaments: impacts of mechanical properties on kinetic behaviour. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, 2019.

PESCAROLO, Aline et al. A influência de microfibras de celulose no estado fresco de argamassas. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 179-190, 2021.

PICANÇO, Marcelo de Souza; GHAVAMI, Khosrow. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 61, n. 1, p. 13-18, 2008.

PIMENTEL, G. M.; MARTINEZ, G. B. A "insustentabilidade" da produção de sementes de juta por agricultores familiares no Estado do Pará. In: Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., 2009, Viçosa, MG. Agricultura, pecuária e cooperativismo: anais de resumos expandidos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 31-34., 2009.

PIMENTEL, Sávio. Fotos da cooperativa mista dos jaticultores de Parintins: educação histórica e ensino de história. 2018.

PIRES, Eduardo N. et al. Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. **Polímeros**, v. 22, p. 339-344, 2012.

PIRES, Eduardo N. et al. Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. **Polímeros**, v. 22, n. 4, p. 339-344, 2012.

PIRES, Eduardo Nascimento et al. Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. 2009.

PITT, Fernando Darci; BOING, Denis; BARROS, António André Chivanga. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista da UNIFEBE**, v. 1, n. 09, 2011.

POLETTTO, Matheus. Correlação entre as propriedades físicas, químicas e térmicas de seis fibras naturais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10558-10565, 2020.

PORRI, Lido. Os anos 1954-1963 no Politécnico de Milão. **Polímeros**, v. 19, p. E4-E11, 2009.

QUIRINO, M. G. Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (Euterpe precatória). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2010.

RABELLO, Marcelo S.; WHITE, James R. Fotodegradação do polipropileno: um processo essencialmente heterogêneo. **Polímeros**, v. 7, p. 47-57, 1997.

RACHMADENA, Devi; FAIZAL, Muhammad; SAID, Muhammad. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 8, n. 3, p. 694-700, 2018.

RAGHAVENDRA, S. et al. Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites. 2013.

RAJ, Athira KV et al. Pigmentary colors from yellow to red in Bi₂Ce₂O₇ by rare earth ion substitutions as possible high NIR reflecting pigments. **Dyes and Pigments**, v. 160, p. 177-187, 2019.

RAJAEI, Shahin et al. Rubberized alkali-activated slag mortar reinforced with polypropylene fibres for application in lightweight thermal insulating materials. **Construction and Building Materials**, v. 270, p. 121430, 2021.

RAJAK, DK, PAGAR, DD, MENEZES, PL, & LINUL, E. Compósitos de polímero reforçados com fibra: fabricação, propriedades e aplicações. **Polymers**, 11 (10), 1667, 2019.

RAMAMOORTHY, Sunil Kumar; SKRIFVARS, Mikael; PERSSON, Anders. A review of natural fibers used in biocomposites: plant, animal and regenerated cellulose fibers. **Polymer Reviews**, v. 55, n. 1, p. 107-162, 2015.

RAMANATHAN, Arunachalam; KRISHNAN, Pradeep Kumar; MURALIRAJA, Rajaraman. A review on the production of metal matrix composites through stir casting–Furnace design, properties, challenges, and research opportunities. **Journal of Manufacturing processes**, v. 42, p. 213-245, 2019.

RAMLI, N., MAZLAN, N., ANDO, Y., LEMAN, Z., ABDAN, K., AZIZ, AA, & SAIRY, NA. Fibra natural para tecnologia verde na indústria automotiva: uma breve revisão. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 368, No. 1, p. 012012, 2018.

RASHED, HMMA; ISLAM, MA; RIZVI, FB Efeitos de parâmetros de processo na resistência à tração de compósitos termoplásticos reforçados com fibra de juta. **Journal of Naval Architecture and Marine Engineering**, v. 3, n. 1, pág. 1-6, 2006.

RECH, Fernanda et al. Formulação e caracterização de potenciais filamentos compósitos de PLA e talos de tabaco para aplicação em manufatura aditiva. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, 2021.

RESENDE, Juliana Marques; DE OLIVEIRA, Franciny Lima; MULINARI, Daniella Regina. Avaliação de compósitos híbridos para aplicações em Engenharia. **Cadernos UniFOA**, v. 6, n. 15, p. 11-17, 2017.

RIBEIRO, Leandro dos Santos. Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras. São Paulo, 2009.

RICHARDSON, M. O. WISHEART, M. J., 'Review of Low-velocity Impact Properties of Composite Materials', **Composites A27**, 1996.

RODRÍGUES, Beatriz S. et al. Remoción de hemicelulosa en fibras de Curaua (Ananas erectifolius) para compósitos de poliéster. **Nova scientia**, v. 10, n. 21, p. 154-172, 2018.

RODRIGUEZ, F., Principles of Polymer Systems. **Taylor & Francis**. Washington, DC. 1996.

ROMAN, Jr C. et al. Análise do comportamento mecânico de compósito de polipropileno/fibra de madeira com polipropileno reciclado em aterro sanitário. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 16, n. 6, p. 295-300, 2015.

RONG, M.Z., et al., The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 2001. 61(10): p. 1437-1447.

ROSA, Simone Maria Leal. Isolamento de nanocristais de celulose de resíduos agrícolas e emprego em nanocompósitos de polipropileno. 2012.

ROSÁRIO, Francisco et al. Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado. **Polímeros**, v. 21, p. 90-97, 2011.

ROSSI, Eloiza et al. Serragem de eucalipto e bagaço de cana: adsorventes naturais para remoção de corantes residuais da indústria têxtil. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 13, n. 1, 2021.

S. Mohanty, S. K.Verma, and S. K. Nayak, *J Appl. Polym. Sci.* 99, 1476 (2006). <https://doi.org/10.1002/app.22661>

S. N. Maiti and M. R. Hassan, *J. Appl. Polym. Sci.* 37, 2019 (1989). <https://doi.org/10.1002/app.1989.070370721>

SAES, Alexandre Macchione. Industrialização e política local: constrangimentos na expansão da Companhia Nacional de Tecidos de Juta no início do século XX. XIII Encontro de História Anpuh-Rio, 2008.

SAHA, B. C. Hemicellulose bioconversion. **Journal of industrial microbiology and biotechnology**, 30(5), 279-291, 2003.

SAHAJWALLA, Veena; GAIKWAD, Vaibhav. The present and future of e-waste plastics recycling. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 13, p. 102-107, 2018.

SAHEB, D. Nabi; JOG, Jyoti P. Natural fiber polymer composites: a review. Advances in Polymer Technology: **Journal of the Polymer Processing Institute**, v. 18, n. 4, p. 351-363, 1999.

SALAZAR, Rodrigo Fernando dos Santos; SILVA, G. L. P.; SILVA, M. L. C. P. Estudo da composição da palha de milho para posterior utilização como suporte na preparação de compósitos. In: **VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Unicamp**. 2005.

SALAZAR, Vera Lúcia Pimentel; CARASCHI, José Cláudio; LEÃO, Alcides Lopes. Avaliação dos produtos de emissão a partir da pirólise de assentos automotivos feitos de fibra de coco e de espuma de poliuretano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 162-166, 2005.

SALEM, Tuffaha Fathe et al. Enhancement of mechanical, thermal and water uptake performance of TPU/jute fiber green composites via chemical treatments on fiber surface. **e-Polymers**, v. 20, n. 1, p. 133-143, 2020.

SANCHEZ, Elisabete et al. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, v. 20, n. 3, p. 194-200, 2010.

SANCHEZ, Fabio A. Cruz et al. Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121602, 2020.

SANJAY, MR, ARPITHA, GR, NAIK, LL, GOPALAKRISHNA, K., & YOGESHA, B. Aplicações das fibras naturais e seus compostos: uma visão geral. **Recursos naturais**, 7 (3), 108-114, 2016.

SANTOS, A. M.; AMICO, S. C.; SYDENSTRICKER, T. H. D. Desenvolvimento de compósito híbrido polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações de engenharia. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2006.

SANTOS, Amélia SF; AGNELLI, José Augusto M.; MANRICH, Sati. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros**, v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004.

SANTOS, Evelise F. et al. Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: efeito da temperatura e agentes de acoplamento. **Polímeros**, v. 20, p. 215-220, 2010.

SANTOS, Gabrielle Machado dos et al. Análise da concentração de resíduo de madeira, buriti e andiroba na produção de painéis poliméricos de média densidade. 2021.

SANTOS, Thalita Paula dos et al. Potencial de utilização do resíduo de soja como carga em polietileno de baixa densidade (PEBD). **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, 2022.

SANTOS, Zilda Cohen et al. O ambiente institucional da produção de juta no estado do Pará entre as décadas de 1940 e 1990. **Cadernos CEPEC**, v. 9, n. 2, 2021.

SARAVANA Bavan., D. e MOHAN Kumar, D. Potential Use of Natural Fiber Composite Materials na Índia. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 29, 3600-3613, 2010.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, FERNANDO. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, n. 7, p. 1694-1709, 2007.

SAVASTANO JUNIOR, Holmer; PIMENTEL, Lia Lorena. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.

SAW, Sudhir KUMAR et al. Hybrid composites made from jute/coir fibers: Water absorption, thickness swelling, density, morphology, and mechanical properties. **Journal of Natural Fibers**, v. 11, n. 1, p. 39-53, 2014.

SAWPAN, M. A., KHAN, M. A., e ABEDIN, M. Surface modification of jute yarn by photografting of low-glass transition temperature monomers. **Journal of Applied Polymer Science**, 87(6), 993–1000, 2003.

Scarponi, C. (2015). Hemp fiber composites for the design of a Naca cowling for ultra-light aviation. *Composites Part B: Engineering*, 81, 53-63.

SCHEEREN, Denise; MÄHLMANN, Cláudia Mendes; MÜLLER, Franciélli. Avaliação das propriedades de um compósito de matriz polimérica de polipropileno reciclado reforçado com resíduo de madeira. **Tecno-Lógica**, v. 24, n. 2, p. 132-141, 2020.

SELCAN TURKER, N. et al. The effect of different sterilization methods on polypropylene syringes. **Journal of Medical Devices**, v. 12, n. 2, 2018.

SEO, E. S. M. et al. Obtenção de um copo mais sustentável: preparação e caracterização de fibras naturais e de biocompósitos. **InterfaceHS**, v. 14, n. 2, 2019.

SEO, E. S. M. et al. Obtenção e caracterização de fibras vegetais para a preparação de biocompósito. 2019.

SETYOWATI, Erni. Eco-building material of styrofoam waste and sugar industry fly-ash based on nano-technology. **Procedia Environmental Sciences**, v. 20, p. 245-253, 2014.

SHARMA, Tarun; KAUSHIK, Rohin. Effect of polypropylene fiber on properties of bagasse ash-cement stabilized clay soil. **Int. J. Emerg. Technol**, 2019.

SHEN, S., KANBUR, B. B., ZHOU, Y., & DUAN, F. (2020). Thermal and mechanical analysis for conformal cooling channel in plastic injection molding. **Materials Today: Proceedings**, 28, 396-401.

Shubhra, Q. T., Alam, A. K. M. M., & Quaiyyum, M. A. (2013). Mechanical properties of polypropylene composites: **A review. Journal of thermoplastic composite materials**, 26(3), 362-391.

SIGRIST, C. S. L.; FONSECA, L. F. B.; VEIGA, J. M.; PAIVA, J. M. F.; MORIS, V. A. S., Desenvolvimento de ponto de coleta de resíduos eletroeletrônicos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1423-1438, 2015.

SILVA, Eliezer et al. Elaboração de Mini Extrusora de Escala Laboratorial: Processamento e Reciclagem de Materiais Poliméricos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 15, n. 1, 2020.

SILVA, Everton Jose da et al. Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 23, 2018.

SILVA, Giselle Maria Menezes da et al. Subjetividade e trabalho com juta e malva: um estudo em Manacapuru/AM. 2019.

SILVA, Jair Elisio Andrade Ferreira et al. Projeto e construção de uma planta hidráulica industrial. 2001.

SILVA, R. et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32, nº3, p.661-671, 2009.

SILVA, R. V. Compósito de resina poliuretana derivada do óleo de mamona e fibras vegetais. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil. 2003.

SILVA, R., et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, n 3, 661-671.

SINKOVICS, Noemi; SINKOVICS, Rudolf R.; YAMIN, Mo. The role of social value creation in business model formulation at the bottom of the pyramid—implications for MNEs?. **International Business Review**, v. 23, n. 4, p. 692-707, 2014.

SIPIÃO, B. L. S. et al. Resistência ao impacto dos compósitos pp/fibras provenientes da coroa do abacaxi. **Cadernos UniFOA**, v. 5, n. 1, p. 52, 2018.

SIQUEIRA, Felipe Fabrício dos Santos; ALVES, Tatianny Soares; BARBOSA, Renata. Avaliação da inflamabilidade e do envelhecimento natural de compósitos de polímero verde e argila vermiculita para potencial uso na construção civil. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 331-347, 2021.

SIRACUSA, Valentina; BLANCO, Ignazio. Bio-Polyethylene (Bio-PE), Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly (ethylene terephthalate)(Bio-PET): recent developments in bio-based polymers analogous to petroleum-derived ones for packaging and engineering applications. *Polymers*, v. 12, n. 8, p. 1641, 2020.

SJOSTROM, E. e ALÉN, R. Analytical methods in Wood chemistry, puping, and papermaking. **Springer Science & Business Media**. 2009.

SOARES, Francisco Igo Leite et al. Sustentabilidade na agricultura familiar: um estudo na cadeia produtiva da juta (*Corchorus capsularis*) em Alenquer/PA/Sustainability in family farming: a study on the production chain of jute (*Corchorus capsularis*) in Alenquer/PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16652-16663, 2020.

SOUSA, Vitor Magalini Zago de. Caracterização mecânica, térmica e morfológica de compósitos de Polihidroxibutirato (PHB) reforçados com fibras de curauá. 2016.

SPADETTI, Carolini et al. Propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de Polipropileno pós-consumo reforçados com fibras de celulose. **Polímeros**, v. 27, p. 84-90, 2017.

SURIANI, M. J., ILYAS, R. A., ZUHRI, M. Y. M., KHALINA, A., SULTAN, M. T. H., SAPUAN, S. M., SHARMA, S. Critical Review of Natural Fiber Reinforced Hybrid Composites: Processing, Properties, **Applications and Cost. Polymers**, 13(20), 3514, 2021.

TANAKA, R., OKUBO, K., FUJII, T., ONO, M., & SAKURAI, A. (2007). Development of a pleasure boat using bamboo fiber reinforced plastics. In 16th International Conference on Composite Materials Development (pp. 1-6).

TANG, S. H., TAN, Y. J., SAPUAN, S. M., SULAIMAN, S., ISMAIL, N., & SAMIN, R. The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage. **Journal of Materials Processing Technology**, 182(1-3), 418-426, 2007.

TEDESCO, Adriana et al. Propriedades térmicas e mecânicas de nanocompósitos de polipropileno. In: Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros. 2003.

TEIXEIRA, E. M.; et al. Nanofibras de algodão obtidas sob diferentes condições de hidrólise ácida. **Polímeros**, v.20, n.4, p.264-268, 2010.

THWE, M.M.; LIAO, K. Environment degradation of bamboo/glass fiber hybrid polypropylene composites. **J. Mater. Sci. Lett**, V. 38, p. 363- 381. 2003.

TIMAR-BALAZSY, A. e EASTOP, D. Chemical principles of textile conservation. Routledge. 2012.

TIMSINA, Sulove. Investigation into mechanical properties to use recycled Polypropylene/Talc composites for car bumper application. **Technical Journal**, v. 1, n. 1, p. 54-64, 2019.

TODERITA, A., & VLASE, S. (2020). Reliability Study on PUR Injection Machine. **Procedia Manufacturing**, 46, 885-890.

TOMAR, Anuj; SHARMA, Tarun; SINGH, Sandeep. Strength properties and durability of clay soil treated with mixture of nano silica and Polypropylene fiber. **Materials Today: Proceedings**, v. 26, p. 3449-3457, 2020.

TROUGHTON, M. J. (2008). Handbook of plastics joining: a practical guide. William Andrew.

TURNER, Andrew. Cadmium pigments in consumer products and their health risks. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 1409-1418, 2019.

UCHÔA, Mayra De Oliveira. trabalho e gênero: mulheres no trabalho da juta na vila amazônia (Parintins/AM). Manduarisawa-**Revista Eletrônica Discente do Curso de História da UFAM**, v. 4, n. 1, p. 438-446, 2020.

VALOIS, A. C. C.; HOMMA, A. K. O. Análise econômica da descorticação mecânica na cultura da juta (protótipo Iseki Mitsui). Embrapa Amazônia Ocidental-Séries anteriores (INFOTECA-E), 1972.

VERISSIMO, Wellington Bazarim et al. Absorção de Impacto em Painéis Honeycomb de Bambu. **ABSORÇÃO DE IMPACTO EM PAINÉIS HONEYCOMB DE BAMBU**, p. 1-388–416, 2019.,

VIJAY, R., MANOHARAN, S., ARJUN, S., VINOD, A., & SINGARAVELU, D. L. Characterization of silane-treated and untreated natural fibers from stem of *Leucas aspera*. **Journal of Natural Fibers**, 1-17, 2020.

VIKOVÁ, M. et al. Effect of drawing ratio on difference in optical density and mechanical properties of mass colored photochromic polypropylene filaments. **The Journal of The Textile Institute**, v. 108, n. 8, p. 1365-1370, 2017.

VITOR, Igor Meireles et al. Analise das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com a adição de fibras de aço. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 28236-28249, 2021.

WANG, Hui; ZHANG, Yingshuang; WANG, Chongqing. Surface modification and selective flotation of waste plastics for effective recycling—a review. **Separation and Purification Technology**, v. 226, p. 75-94, 2019.

WANG, X., YAO, C., WANG, F., & LI, Z. Cellulose-based nanomaterials for energy applications. **Small**, 13(42), 1702240, 2017.

WEARN, Yves Nicolau; MONTAGNA, Larissa Stieven; PASSADOR, Fábio Roberto. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 25, 2020.

WINKLERPRINS, A. M. (2006). Jute cultivation in the lower Amazon, 1940–1990: an ethnographic account from Santarém, Pará, Brazil. **Journal of Historical Geography**, 32(4), 818-838.

Yaacob, A., Zakaria, Z. A., Jaswar, K., & Yahya, M. Y. (2017). The comparison on mechanical bonding properties of untreated coconut fiber towards synthetic fiber for fiberglass boat building. In *Key Engineering Materials* (Vol. 740, pp. 100-107). Trans Tech Publications Ltd.

YASHAS GOWDA, T. G. et al. Polymer matrix-natural fiber composites: An overview. **Cogent Engineering**, v. 5, n. 1, p. 1446667, 2018.

YING-CHEN, Zhang; HONG-YAN, Wu; YI-PING, Qiu. Morphology and properties of hybrid composites based on polypropylene/polylactic acid blend and bamboo fiber. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 20, p. 7944-7950, 2010.

YOUNGQUIST J. A. Natural Fiber Reinforced Composites, *In*: Gayson M.(eds), **Encyclopedia of Composite Materials and Components**, New York, John Wiley & Sons, p. 661, 3 ed., c. 5, 1986.

ZIMMERMANN, M.V.G.; TURELLA, T.C.; ZATTERA, A. J., Influência do Tratamento Químico da Fibra de Bananeira em Compósitos de Poli(etileno-co-acetato de vinila) com e sem Agente de Expansão. **Polímeros**, v. 24, n. 1, p. 58-64, 2014.

DAS, Subrata Chandra et al. Effect of fiber loading on the mechanical properties of jute fiber reinforced polypropylene composites. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 8, n. 4, p. 215-224, 2018.

KARMAKER, A. C.; HOFFMANN, A.; HINRICHSSEN, G. Influence of water uptake on the mechanical properties of jute fiber-reinforced polypropylene. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 54, n. 12, p. 1803-1807, 1994.

RANA, A. K. et al. Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: Effect of compatibilizer. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 69, n. 2, p. 329-338, 1998.