

GUILHERME DE OLIVEIRA MARTINS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BIOCOMPÓSITOS DE
FIBRA DE COCO: CONTRIBUIÇÕES PARA A ECONOMIA CIRCULAR**

Botucatu

2024

GUILHERME DE OLIVEIRA MARTINS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BIOCOMPÓSITOS DE
FIBRA DE COCO: CONTRIBUIÇÕES PARA A ECONOMIA CIRCULAR**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

Orientador: Alcides Lopes Leão

Coorientadora: Ivana Cesarino

Botucatu

2024

M386a Martins, Guilherme
Avaliação das propriedades mecânicas de biocompósitos de fibra de coco: contribuições para a economia circular / Guilherme Martins. -- Botucatu, 2024
69 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Alcides Lopes Leão
Coorientadora: Ivana Cesarino

1. Materiais. 2. Biocompósitos. 3. Produtos do coco. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

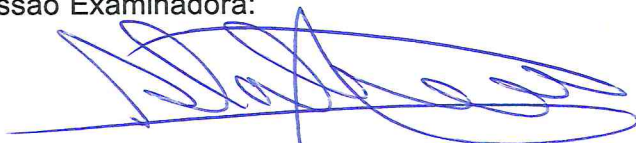
AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BIOCOMPÓSITOS DE FIBRA DE COCO: CONTRIBUIÇÕES PARA A ECONOMIA CIRCULAR

AUTOR: GUILHERME DE OLIVEIRA MARTINS

ORIENTADOR: ALCIDES LOPES LEÃO

COORIENTADORA: IVANA CESARINO LEÃO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência Florestal, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ALCIDES LOPES LEÃO (Participação Presencial)
Ciencias Ambientais / Faculdade de Ciencias Agronomicas Unesp Campus de Botucatu



Prof.ª Dr.ª SILVIA ANGÉLICA DOMINGUES DE CARVALHO (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Pesquisadora Dr.ª MILENA CHANES DE SOUZA (Participação Virtual)
Centro de Excelência de Economia Circular / Flextronics Instituto de Tecnologia

Botucatu, 28 de novembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais.

Ao Prof. Dr. Alcides, pela orientação, ensinamentos e suporte.

A todos os professores, funcionários e colegas de trabalho da FCA.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 3300406-4.

RESUMO

A área de estudo dos materiais tem sido atualizada constantemente. Observando a competitividade, complexidade de produção e sustentabilidade, surge a necessidade de produzir materiais eficientes, viáveis e que gerem menor impacto ambiental. Os compósitos podem substituir os materiais convencionais, e os fabricados em associação com fibras naturais podem ser uma alternativa, e que vem crescendo cada vez mais no mundo como um todo, principalmente em setores industriais como o automotivo e de construção civil. A fibra de coco se mostra como um material de valor agregado e que apresenta propriedades mecânicas satisfatórias e superiores, se comparada a outras fibras naturais, além de sua alta disponibilidade no Brasil e da possibilidade da adoção de conceitos de economia circular durante seu emprego como um insumo mais sustentável. Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno e fibra de coco e de chapas fabricadas apenas com a fibra, sem adição de aglutinantes. Foram avaliados a partir de testes de tração, flexão, dureza e resistência ao impacto, compósitos com 20% e 40% de fibra, e diferentes tamanhos de partículas. Para as chapas foram avaliados os módulos de flexão, absorção de água e inchamento. Foi observada grande variação nos resultados dos testes relacionados a processabilidade dos materiais compósitos, como o MFI (*melt flow index*), que variou de acordo com a concentração de fibra no material. Os módulos de tração e flexão, e os valores de dureza e resistência ao impacto também foram avaliados e mostraram-se dependentes tanto da concentração de fibra quanto do tamanho das partículas. Uma correlação entre as variáveis mostrou a interdependência entre o volume de fibra e o MFI de -96%; energia de quebra e teor de umidade apresentaram forte correlação de 83% e para os testes de tração, flexão e dureza, correlações de até 94%. Para as chapas, apesar da limitação observada em relação a pressão aplicada, o processo de produção mostrou-se viável e com possibilidade de melhoria de suas propriedades. Pode-se destacar que a fibra de coco é um insumo que se mostra mais sustentável em relação a materiais convencionais e que seu uso na fabricação de materiais promove a economia circular na cadeia de produção do fruto.

Palavras-chave: fibra de coco; compósito; chapas; materiais sustentáveis.

ABSTRACT

The field of materials studies has been constantly updated. Considering the competitiveness, complexity of production and sustainability, there is a need to produce efficient, viable materials that generate less environmental impact. Composites can replace conventional materials, and those manufactured in association with natural fibers can be an alternative, and this has been growing more and more throughout the world as a whole, especially in industrial sectors such as the automotive and civil construction sectors. Coconut fiber is a value-added material that presents satisfactory and superior mechanical properties when compared to other natural fibers, in addition to its high availability in Brazil and the possibility of adopting circular economy concepts during its use as a more sustainable input. This study aimed to evaluate the mechanical properties of polypropylene and coconut fiber composites and of sheets manufactured only with the fiber, without the addition of binders. Composites with 20% and 40% fiber and different particle sizes were evaluated based on tensile, flexural, hardness and impact resistance tests. The flexural modulus, water absorption and swelling were evaluated for the sheets. A large variation was observed in the results of the tests related to the processability of the composite materials, such as the MFI (melt flow index), which varied according to the fiber concentration in the material. The tensile and flexural modulus, and the hardness and impact resistance values were also evaluated and were shown to be dependent on both the fiber concentration and the particle size. A correlation between the variables showed the interdependence between the fiber volume and the MFI of -96%; breaking energy and moisture content showed a strong correlation of 83% and for the tensile, flexural and hardness tests, correlations of up to 94%. For the sheets, despite the limitation observed in relation to the applied pressure, the production process proved to be viable and with the possibility of improving its properties. It is worth noting that coconut fiber is an input that is more sustainable in relation to conventional materials and that its use in the manufacture of materials promotes the circular economy in the fruit production chain.

Keywords: coconut fiber; composite; boards; sustainable materials.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Coco	16
2.2	Produtos derivados do Coco	19
2.3	Fibra de Coco e Materiais Compósitos	20
2.4	Mercado de Materiais Compósitos	22
2.5	Materiais de Fibra de Coco e a Economia Circular	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Poder Calorífico.....	27
3.2	Compósitos de Fibra de Coco e Polipropileno.....	28
3.3	Chapas de Fibra de Coco	32
4	RESULTADOS.....	37
4.1	Poder Calorífico.....	37
4.2	Testes mecânicos dos compósitos	37
4.3	Testes mecânicos das chapas de Fibra de Coco	45
5	DISCUSSÃO	49
5.1	Poder Calorífico.....	49
5.2	Testes mecânicos dos compósitos	49
5.2.1	<i>Índice de Fluidez (MFI)</i>	50
5.2.2	<i>Teste de Tração</i>	51
5.2.3	<i>Teste de Flexão</i>	52
5.2.4	<i>Teste de Impacto</i>	53
5.2.5	<i>Teste de Dureza Shore D</i>	54
5.2.6	<i>Matriz de Correlação</i>	54
5.3	Testes mecânicos das Chapas de Fibra de Coco	55
5.3.1	<i>Testes de Absorção de Água e Inchamento</i>	57
5.4	Resíduos de coco e a Economia Circular	57
6	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia dos materiais é uma área que necessita ser atualizada constantemente, além de acompanhar um movimento de inovação na busca por materiais que apresentem propriedades mecânicas satisfatórias para suas diversas aplicações, também se tem observado que a competitividade por baixo custo, facilidade de produção e sustentabilidade tem integrado o conceito de materiais eficientes (Lan *et al.*, 2021). Essa visão pragmática que, além de avaliar as características físicas finais dos produtos, também avalia os impactos atrelados a fabricação desses materiais e da escalabilidade de sua produção, se atentando ao ciclo de vida, a emissão de carbono decorrente da extração de matéria prima, além da preocupação dos fabricantes com metas globais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável acordados no Pacto Global por organizações empresariais vinculadas à Organizações das Nações Unidas (ONU). Essa abordagem também integra perspectivas de cenários futuros para novos materiais, com estruturas mais leves, redução na demanda de energia para a produção e conceitos de economia circular e ESG (*Environmental, Social and Governance*) (Ostermann *et al.*, 2023).

Setores da indústria como a automotiva tem investido recursos tanto no desenvolvimento quanto na otimização de materiais utilizados em sua cadeia produtiva. Materiais mais leves quando utilizados em componentes veiculares, por exemplo, podem reduzir o consumo de combustível pelo veículo; essa demanda pode ser reduzida em até 0,4 L/Km por veículos com motores a combustão interna e até 1,7 kWh/100Km para veículos elétricos à bateria (Del Pero; Berzi; Antonacci e Delogu, 2020).

A necessidade de materiais com alta rigidez e resistência, aliado à menor densidade e técnicas mais sustentáveis em sua produção também é foco do setor de construção civil, que não só tem buscado reduzir sua demanda por energia e recursos, mas também busca promover uma economia circular agregando resíduos a seus processos produtivos (Sagbansua; Balo, 2017). Resíduos agroindustriais como as fibras de coco, sisal, juta, eucalipto, entre outras, são uma alternativa para o desenvolvimento de materiais mais resistentes, leves e com menor impacto ambiental. Apesar de haver uma limitação de tecnologias e processos na produção desses materiais, observa-se um crescimento global na demanda por materiais reforçados com fibras, com um crescimento estimado de até 500.000 toneladas produzidas até

2050 (Lefeuvre; Garnier; Jacquemin; Pillain e Sonnemann, 2017; Wang; Li; Zhang; Guo e Niu, 2023).

A característica de atuar como reforço em um material está ligado a efetividade das ligações químicas entre a matriz (material de maior proporção) e o reforço utilizado, como as fibras, por exemplo. Essa composição de materiais é chamada de compósitos, são multifásicos e apresentam propriedades de ambas as partes que o constituem, exibindo uma proporção significativa, podendo-se obter a melhor combinação entre suas propriedades (Callister, 2018). O termo biocompósito é sinônimo de materiais compósitos, considera conceitos de sustentabilidade em sua concepção. As matrizes poliméricas são constituídas de polímeros (macromoléculas compostas por unidades estruturais que se repetem ao longo da cadeia), e que tem características variáveis dependentes dos grupos orgânicos ligados a essas cadeias, formando uma diversidade de polímeros como o poli (cloreto de vinila) (PVC), polietileno (PE) e polipropileno (PP).

A utilização de fibras naturais em associação com as matrizes é devido a presença de um polímero natural que ocorre nas fibras, a lignina, um material amorfo polifenólico, com diferentes funcionalidades químicas e que se mostra promissor para aplicações em compósitos (Thakur, Thakur, Raghavan e Kessler, 2014). Cada fibra tem características específicas, com variadas morfologias, densidades e teores de lignina, que vão influenciar no comportamento mecânico dos polímeros e conseqüentemente, dos compósitos. Algumas propriedades como módulo de elasticidade, limite de escoamento e limite de resistência à tração podem ser utilizados para comparar o desempenho dos materiais (Ahmad; Ishak; Mohammad Taha; Mustapha e Leman, 2023). As fibras de coco contêm aproximadamente de 40 a 50% de lignina, quantidade superior a maioria de outras fibras naturais, e isso a torna naturalmente mais rígida, sendo conveniente para aplicações onde essa característica é importante (Narendar; Priya Dasan, 2014).

Além das propriedades mecânicas esperadas em materiais que contenham fibra de coco, sua utilização se mostra promissora devido a disponibilidade das fibras. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), somente em 2021, a quantidade de frutos de coco produzida no Brasil foi mais de 1,6 bilhões; essa demanda em crescimento por produtos derivados de coco mostra a possibilidade de utilização das fibras, que consideradas como resíduos de alguns processos

industriais, podem ser um material de valor agregado que contribui não só para a economia circular, mas também se mostra competitivo e com perspectivas de escalabilidade por diferentes setores industriais (Ignacio; Miguel, 2021).

Tendo em vista que a fibra de coco pode ter relevância significativa na produção de materiais e que suas propriedades devem ser conhecidas a partir de diferentes tipos de testes, este trabalho visa avaliar as propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno e fibra de coco, tendo como objetivos específicos:

- Avaliar a influência do volume de fibra nas propriedades mecânicas dos compósitos;
- Avaliar se o tamanho das partículas de fibras influencia as propriedades mecânicas finais dos compósitos;
- Correlacionar os parâmetros medidos durante o processamento dos materiais e as propriedades mecânicas finais.
- Avaliar o comportamento de materiais produzidos apenas com a fibra de coco, observando assim, a capacidade da fibra de formar materiais independentemente de estar associada a uma matriz.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Coco

O coco ou coco-da-baía como é popularmente conhecido, é um fruto proveniente do coqueiro (*Cocos nucífera* L.), espécie pertencente à família Arecaceae. O fruto é formado por epiderme ou epicarpo de característica lisa (0,1 mm de espessura), possui mesocarpo fibroso e espesso (de 10 a 50 mm) e uma camada interior lenhificada dura, denominada endocarpo (de 3 a 6 mm) (Fontes, Ferreira, 2006). Os frutos do coqueiro possuem uma única semente, e algumas características de sua morfologia variam, como sua forma, cor, tamanho e proporções de biomassa. O tempo de germinação do coqueiro também é bastante variável, sendo de 30 a 220 dias para as espécies selvagens, podendo levar até 420 dias após a polinização para se desenvolver completamente; o peso total do fruto pode chegar a aproximadamente 2,3 kg (Beveridge *et al.*, 2022).

As diferenças no tempo de maturação e produção do fruto geram dois tipos distintos de coco a serem consumidos, o coco verde e o coco seco. O coco verde possui tempo de maturação menor em relação ao coco seco, e é o fruto de coloração verde e que geralmente é consumido *in natura*. O coco seco tem coloração marrom, e é a semente do fruto; é o endocarpo que seco na maturidade é menor e pesa menos devido a perda de água da casca (mesocarpo). Essa semente, ou noz, possui três micrópilas ou “olhos” indicando a posição do embrião embutido no miolo (Hocher; Verdeil; Malaurie, 2005). A diferença entre o coco verde e o coco seco pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Coco seco e coco verde.



Fonte: UNIT (2023). Coco seco de coloração marrom observado ao lado esquerdo da imagem, e à direita, o coco verde.

A distribuição geográfica do coco e sua diversidade fenotípica estão relacionadas a atividades antrópicas que ao longo do tempo favoreceram sua dispersão em todo o mundo (Gunn; Baudouin; Olsen, 2011). A seleção pelo homem durante o tempo favoreceu frutos com formato esférico, espessura reduzida da casca e maior teor de água. De acordo com Loiola (2014) dentre as variedades do fruto conhecidas no Brasil, temos a *Typica* (coqueiro gigante), *Nana* (coqueiro-anão), *Aurantiaca* (coqueiro-intermediário) e um híbrido intervarietal (anão x gigante); todas de grande importância comercial devido a sua produtividade de frutos e velocidade de crescimento.

A origem do coco ainda tem sido debatida, mas acredita-se que sua dispersão se iniciou no sudeste asiático. Atualmente, estima-se que seu cultivo se estende a aproximadamente 12 milhões de hectares em mais de 90 países, sendo que mais de 80% da produção do fruto é proveniente da região Ásia-Pacífico, impactando fortemente a economia e cultura desses locais (BEVERIDGE *et al.*, 2022; Gunasekaran; Annadurai; Kumar, 2012).

Os países que mais produzem coco são Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka, sendo o Brasil o quinto maior produtor mundial. Dados do último Censo Agropecuário realizado no país revelam que em 2017 as regiões de maior produção de coco eram a Nordeste e Norte, com destaque para os estados da Bahia, Ceará, Sergipe e Pernambuco que possuíam o maior número de estabelecimentos agropecuários com

50 pés ou mais existentes em lavoura permanente (IBGE, 2017). Ainda de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2022, a quantidade produzida no país foi mais de 1,8 bilhões de frutos, com uma área colhida de 190 mil hectares e um valor de produção de 1,6 bilhões de reais (IBGE, 2023).

A produtividade dos coqueiros tem forte relação com variáveis climáticas como temperatura e nível de pluviosidade. Eventos extremos tem sido visto como uma condicionante da baixa produtividade em diferentes regiões do mundo. Períodos de seca e altas temperaturas interferem negativamente no desenvolvimento dos frutos nos seus primeiros meses após a floração (Pathmeswaran *et al.*, 2018). A menor disponibilidade de água e níveis de precipitação mais baixos em alguns locais, podem exigir um sistema de irrigação podendo aumentar os custos de produção (Ganeshkumar B; Gopala Krishna Gvt, 2022). De acordo com Teixeira *et al.* (2019), práticas de manutenção da cobertura do solo podem reduzir a perda de água por evaporação, conservando a umidade, favorecendo a produtividade dos coqueiros e a qualidade da água do coco. O tipo de irrigação também pode influenciar nessa produtividade, técnicas de cobertura do solo aliada a irrigação por gotejamento podem promover uma maior eficiência no consumo de água e absorção de nutrientes e possibilitar maior rentabilidade da produção (Jayakumar; Janapriya; Surendran, 2017).

No Brasil, a produção de coco ocorre frequentemente nas zonas costeiras do país, isso tem sido apontado como uma condicionante de variáveis ambientais que se interrelacionam e interferem na quantidade de frutos produzida. A alta condutividade elétrica do solo e os níveis de salinidade dessas áreas mostram um decréscimo na concentração de nutrientes absorvidos pelas plantas. O clima semiárido é característico da região Nordeste do Brasil e o baixo nível de água disponível no solo para o crescimento das plantas também pode ser um fator de estresse à planta e que explica baixas produtividades (Sousa Santos *et al.*, 2020).

A busca por práticas mais sustentáveis na produção de coco tem sido observado pelo mercado atual, a escolha de insumos menos agressivos ambientalmente e o manejo adequado dos resíduos são uma forma de mitigar impactos ambientais e ainda possibilitam o aumento da competitividade do produto a partir de certificações, por exemplo. É uma tendência em crescimento a produção de coco em sinergia com outras culturas, a fim de tornar os cultivos mais rentáveis, ao mesmo tempo em que o uso de novas tecnologias e de agroquímicos podem

influenciar toda a cadeia de produção em relação a seus impactos (Tolinggi *et al.*, 2023). Em uma avaliação para definir a pegada de carbono da produção de coco em diferentes fazendas do Nordeste brasileiro com sistemas convencionais de plantio, demonstrou-se que a emissão de carbono durante toda a cadeia produtiva do fruto pode chegar a 363 kg de CO_{2eq}/ton de coco. A pegada hídrica está relacionada principalmente à irrigação, avaliada neste caso, num consumo total de 0,18 m³/kg de coco produzido (Sampaio *et al.*, 2021).

2.2 Produtos derivados do Coco

O coco é um fruto consumido de formas variadas e possui uma infinidade de aplicações; após os frutos serem colhidos, podem ser consumidos *in natura* ou serem utilizados pela indústria para a fabricação de bebidas, óleos, margarinas, ração animal, solventes, glicerina, entre outros. A parte fibrosa pode ser aproveitada como substrato orgânico na agricultura e no controle de erosão, também na fabricação de bancos de veículos, colchões, tapetes, escovas e cordas. O óleo do coco pode servir de matéria prima para a produção de sabões devido a suas características bactericida, espumante e germicida. O coco também pode ser aproveitado na formulação de cosméticos e como emulsificantes e estabilizantes naturais para alimentos (Cuenca, 2016; Ignacio, *et al.* 2021).

Os cultivos brasileiros são, em sua grande maioria, destinados a produção de coco seco *in natura*, coco ralado, leite de coco e água de coco, em contrapartida com o mercado mundial que tem como produtos principais o óleo de coco e o coco dessecado, que é quando a polpa é desidratada e desfiada (Brainer *et al.*, 2020).

O óleo de coco é um produto que vem ganhando notoriedade nos últimos anos devido a suas propriedades alimentares funcionais, mostrando ter efeitos positivos na saúde, podendo ser utilizado como antibiótico, antiviral e como hidratante se utilizado na formulação de cosméticos (Harimurti *et al.*, 2022). O óleo de coco virgem pode ser considerado mais benéfico à saúde se comparado com o óleo de coco refinado, devido a suas propriedades antioxidantes e a presença de componentes ativos, como compostos fenólicos (Marina *et al.*, 2009). Karamanlioglu e Yesilkir-Baydar (2022), avaliaram o potencial de incorporação de óleo de coco em materiais para aplicações biomédicas e constataram que há um potencial de utilização desse produto, que tem um efeito promissor na cicatrização de lesões. De acordo com a Organização das

Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, foram produzidas 2,6 milhões de toneladas de óleo de coco somente em 2020, e observando a tendência de crescimento no consumo em anos anteriores pode-se dizer que este tem sido um produto muito utilizado pelo mercado global (FAO, 2023).

O leite de coco é extraído da polpa do fruto, geralmente com maturação de 12 a 14 meses, tem cor branca e é obtido a partir da separação entre duas fases de diferentes densidades (Divya *et al.*, 2023). Já a farinha de coco, ou coco ralado, é um subproduto obtido após a extração do leite, onde a parte fibrosa do fruto é moída em diferentes tamanhos de partículas. Por ser uma importante fonte de fibra dietética e de proteínas, pode ser utilizado para a elaboração de alimentos funcionais (Divya *et al.*, 2023).

A água do coco é conhecida por suas propriedades nutricionais, é um líquido coletado do fruto de 5 a 7 meses de maturação podendo conter carboidratos, açúcares, potássio, sódio e cálcio. O volume de água pode aumentar conforme a maturação (Divya *et al.*, 2023).

Importante observar a forma de disposição do coco em seu pós-consumo, pois devido ao fruto apresentar uma taxa de degradação lenta após seu descarte, o alto volume de resíduos de coco é um problema que precisa ser mitigado. Esses produtos podem servir de insumos e matéria prima a diversas aplicações, e a partir da transformação em pó ou fibras surge a possibilidade de aumento da rentabilidade para os produtores e uma forma de solucionar os problemas ambientais causados pelos resíduos (Brainer *et al.*, 2021).

Alguns autores buscaram avaliar a possibilidade do aproveitamento de resíduos do processamento de coco, e concluíram que dentre diversas aplicações, esse material tem potencial de ser utilizado na produção de biodiesel (Leesing *et al.*, 2022), como agregados na construção civil sendo incorporado ao concreto (Ejaz *et al.*, 2022), e como absorvente de poluentes da água (Stelte *et al.*, 2023).

2.3 Fibra de Coco e Materiais Compósitos

Apesar da variedade apresentada entre os frutos do coqueiro, pode-se considerar que o coco possui a parte mais espessa de seu fruto, o mesocarpo, constituído de fibras curtas (comprimento médio de 0,64 mm) se comparado a outras fibras, como a de eucalipto, por exemplo (Ferreira, 2017). A fibra do coco tem diversas

aplicações, podem ser utilizadas na fabricação de cordas, tapetes, tecidos, colchões, estofamento para automóveis, geotêxteis, como substrato para o desenvolvimento de mudas florestais, entre outros. Devido a suas propriedades de resistência, isolamento térmico e efeito retardante de chamas, sua aplicabilidade tem crescido nos últimos anos (Coir Board, 2023).

Dentre os constituintes presentes nas fibras do coco como extrativos e carboidratos, destaca-se a celulose com teores entre 31% e 37%, e lignina representando aproximadamente 37% a 45% do total (Corradini *et al.*, 2009; Nadzri *et al.*, 2022). A quantidade de celulose, lignina e o comprimento médio de algumas fibras naturais para comparação com a fibra de coco estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de celulose, lignina e comprimento médio de fibras.

Fibra	Celulose (%)	Lignina (%)	Comprimento (mm)	Referências
Coco	31,0 – 37,0	45,0 – 46,0	0,3 - 1,0	(Giraldelli <i>et al.</i> , 2021 Ferreira, 2017)
Sisal	43,0 – 88,0	4,0 – 12,0	0,8 - 8,0	(Giraldelli <i>et al.</i> , 2021)
Bambu	60,0 – 70,0	30,0 – 35,0	-	(Lucchino <i>et al.</i> , 2022)
Eucalipto	40,0 – 60,0	15,0 – 40,0	-	(Souza <i>et al.</i> , 2021)
Cânhamo	57,0 – 78,0	3,7 – 13,0	5,0 - 55,0	(Giraldelli <i>et al.</i> , 2021)
Banana	60,0 - 65,0	5,0 – 10,0	-	(Kumar; Raja, 2021)

A quantidade de lignina presente nas fibras é um fator que reflete diretamente na eficiência de materiais compósitos com fibras em sua composição, e está intrinsecamente ligada a resistência e rigidez desses compósitos, por exemplo (Serra-Parareda *et al.*, 2020). Esses compósitos são materiais compostos por pelo menos dois tipos de constituintes diferentes e podem ser classificados devido as características das partículas que os compõe, e que influenciam as interações entre partícula e matriz. Compósitos com partículas “grandes” podem atuar como reforço, tendem a restringir o movimento da fase matriz e essencialmente, a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, a qual suportam uma fração da carga. Já os compósitos reforçados por dispersão, geralmente tem partículas menores, com diâmetros entre 10 e 100 nm, e neste caso as interações partícula-matriz ocorrem a nível anatômico ou molecular, desse modo também se percebe alterações na

deformação plástica, limites de escoamento e resistência dos materiais (Callister, 2016). Cada vez mais as partículas utilizadas em materiais compósitos tem sido as fibras naturais, assim como a fibra de coco, que tem boa performance em relação as demais.

Em comparação com outras fibras naturais, a fibra de coco possui maiores concentrações de lignina, o que reflete em seu comportamento mecânico, tornando-a viável para utilização na engenharia. Devido a estas características das fibras, aspectos de durabilidade, rigidez, impermeabilidade, acústica, resistência térmica e contra-ataques biológicos, fazem com que essa fibra seja cada vez mais adotada na fabricação de materiais (Giraldelli *et al.*, 2021).

Algumas outras características das fibras de coco como baixa densidade e baixo custo, se comparada a outras fibras como a de vidro ou de carbono, favoreceram o desenvolvimento de materiais compósitos, com as fibras atuando como reforço ou como enchimento (Nadzri *et al.* 2022). Ribeiro *et al.* (2021) mostraram que a fabricação de compósitos de fibra de coco e PVC é viável economicamente e possui bom retorno de investimentos a curto prazo.

A viabilidade da produção de compósitos com fibra de coco deve ser vista sob diferentes perspectivas, pois há variações regionais, por exemplo, principalmente no preço de produção do fruto que apresentou em 2020 o valor médio de R\$ 0,61 por fruto produzido no Brasil, sendo a região Sul a que apresentou o maior custo de produção de R\$ 1,44 e a região Nordeste de R\$ 0,60 (Brainer *et al.*, 2020). O valor da fibra do coco também é um fator importante a ser avaliado já que diferentes mercados utilizam da fibra para diversas finalidades, criando assim uma dinâmica no preço desse insumo. O custo de venda da fibra de coco foi descrito por alguns autores (Ribeiro; De Carvalho; Mendes, 2021), atualmente o valor de R\$ 66,00/Kg de fibra é o preço médio encontrado (preço válido para o dia 26/12/2024, em sites de venda de fibra de coco para uso geral).

2.4 Mercado de Materiais Compósitos

Segundo a Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (ALMACO), há uma estimativa de que o valor de produção de materiais compósitos em 2024 na América Latina chegue a 3.509 bilhões de reais, consumindo cerca de 242 mil toneladas de matérias-primas e gerando mais de 67 mil empregos. A utilização de

fibras não só tem sido estudada em matrizes termoplásticas, mas também sua incorporação em matrizes cimentícias; dentre os maiores mercados consumidores desses materiais estão os setores de construção, transporte e saneamento (ALMACO, 2023). Porém, muito das matérias primas utilizadas por estes setores são fibras de carbono, fibras de vidro, resinas, adesivos entre outros materiais que, apesar de uma ampla aplicabilidade, não incorporam em sua produção, conceitos e tecnologias alinhadas à sustentabilidade.

Neste sentido, muitos estudos têm buscado viabilizar a utilização de materiais mais sustentáveis, como as fibras naturais. A escolha da fibra ideal vai depender da finalidade do material fabricado, pois diferentes comportamentos podem ser observados quando há uma variação desde o tipo de fibra, quanto ao seu volume e a matriz em que será incorporada, alguns exemplos são vistos na Tabela 2.

Uma combinação entre fibra de coco e fibra de vidro, por exemplo, é uma forma de aumentar a performance de resistência dos materiais ao mesmo tempo em que se obtém redução de peso, boa adesão entre as interfaces, e um método de produção de materiais menos agressivo ambientalmente (Demirdağ *et al.*, 2024). Apesar do crescente interesse de pesquisadores na utilização da fibra de coco em materiais compósitos, ainda assim uma lacuna de informações quanto a seu desempenho pode ser um fator limitante a sua utilização em larga escala.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas de diferentes materiais compósitos.

Material	Resistência à Tração	Resistência à Flexão	Resistência ao Impacto	Referência
Fibra de coco (25%) + Resina Epoxy (75%)	9,66 MPa	7,66 MPa	66,56 KJ/m ²	(Kumar Patel; Mishra; Choudhary, 2022)
Fibra de Juta (25%) + Resina Epoxy (75%)	6,1 MPa	8,88 MPa	-	(Kumar Patel; Mishra; Choudhary, 2022)
Cânhamo (15%) + Rami (15%) + Resina Epoxy (70%)	64,2 MPa	88,3 MPa	-	(Suriyaprakash <i>et al.</i> , 2023)
Fibra de Coco (30%) + Fibra de Vidro (10%) + Resina Epoxy (60%)	9,78 MPa	56 MPa	8,9 KJ/m ²	(Prakash Marimuthu <i>et al.</i> , 2019)
Polipropileno (80%) + Casca de Eucalipto (20%) + MAPP ¹ (2%)	30 – 35 MPa	15 – 20 MPa	-	(Sartor <i>et al.</i> , 2017)
Polipropileno (90%) + Lignina Kraft (10%)	18,05 MPa	30,57 MPa	-	(Dias <i>et al.</i> , 2016)

¹ MAPP - Polipropileno modificado com anidrido maleico, utilizado como compatibilizante na fabricação de compósitos.

2.5 Materiais de Fibra de Coco e a Economia Circular

Devido a sua taxa de degradação complexa, alguns autores avaliaram o potencial de utilização da casca do coco para produção de energia térmica, e a partir de análises físico-químicas de briquetes produzidos com os resíduos de coco, observou-se que este material pode ser eficiente na geração de calor, além das vantagens socioeconômicas e ambientais quando esse resíduo substitui combustíveis de origem fóssil (Miola *et al.*, 2020).

A produção de placas de fibra de coco também tem sido objeto de estudo por diversos autores. Valores promissores de absorção acústica dessas placas mostram que essa característica faz com que as placas produzidas sejam interessantes para diferentes setores industriais (Doca; Barbosa; Kubota, 2023).

O CFC (Common Fund for Commodities) é uma instituição financeira intergovernamental, e a pedido da Food and Agriculture Organization (FAO) (agência especializada do sistema ONU que trabalha por meio da melhoria da segurança alimentar e desenvolvimento agrícola de países), publicou em 2005 um documento técnico intitulado *Coir Based Building and Packaging Materials* (Materiais de construção e embalagem à base de fibra de coco) onde traz informações sobre a possibilidade da utilização da fibra de coco como insumo na fabricação de materiais, especificamente de chapas, trazendo assim benefícios financeiros para a cadeia de produção do coco com o aproveitamento de seus resíduos, ao mesmo tempo em que fortalece ações direcionadas à sustentabilidade (Snijder, 2005).

O processo de fabricação de chapas de fibra de coco segue o fundamento da plastificação da lignina presente nas fibras, que quando compactadas a altas temperaturas e pressão provocam um aglutinamento das partículas sem a adição de qualquer agente químico (Ferreira; De Campos; Rangel, 2018).

Há uma enorme escassez de trabalhos em que a abordagem de fabricação de materiais é baseada apenas em fibra de coco, sendo um assunto que mesmo quando explorado, faz a associação de fibra de coco com produtos químicos ou matrizes diversas (Viswanathan; Gothandapani, 1999). Observa-se então, a necessidade de avaliar a viabilidade dessa técnica produtiva e suas propriedades mecânicas finais.

A geração de resíduos de coco tem impactos ambientais diretos e indiretos. O descarte em aterros municipais pode fazer com que esses locais sofram pressão pelo

volume excessivo de resíduos, reduzindo a vida útil do aterro. No Brasil, somente em 2022 foram gerados cerca de 81,8 milhões de toneladas de resíduos orgânicos, sendo que somente 61% desse total é destinado de forma ambientalmente correta (Lino; Ismail; Castañeda-Ayarza, 2023). O descarte inadequado, ou o alto volume de resíduos orgânicos aterrados estão diretamente ligados a geração de gases decorrentes do processo de decomposição e que muitas vezes não possui nenhuma forma de controle ambiental, como é o caso de lixões. O metano (CH₄) é um dos principais gases de efeito estufa gerado durante a decomposição dos resíduos orgânicos e que se não houver uma estratégia para controlar sua emissão, pode causar impactos diretamente nas mudanças do clima (Bakkaloglu; Cooper; Hawkes, 2022).

Ao realizar o reaproveitamento dos resíduos de coco pode-se direcioná-los para um novo processo produtivo, tratando-os não mais como resíduos, mas sim como insumos para a fabricação e composição de novos materiais, por exemplo. Essa modificação de um sistema linear que segue a premissa de utilização e descarte, para um sistema circular que propõe novas formas de produzir, considerando a circularidade dos materiais e a redução da dependência de matéria prima, busca unir o desenvolvimento econômico ao uso sustentável, racional e responsável dos recursos naturais. A Economia Circular refere-se a uma economia industrial restauradora por concepção, e que reflete a natureza ao otimizar ativamente os sistemas dos quais opera (Favre, 2014).

A estratégia de reinserir o resíduo do coco em uma economia circular pode ser viável do ponto de vista ambiental já que reduz a destinação do resíduo em aterros e evita a exploração de novos recursos naturais. Paralelamente a isso, o impacto da adoção de uma linha de produção e consumo circular, pode refletir positivamente na economia local dos produtores de coco, assim como nas métricas de sustentabilidade das empresas envolvidas no processo de produção. Atualmente, empresas de capital aberto tem se preparado para a obrigatoriedade a partir de 2026 de divulgação ao mercado dos riscos e oportunidades relacionadas ao tema de sustentabilidade e mudanças climáticas incorporada as divulgações de suas demonstrações financeiras, ou seja, as ações tomadas no âmbito da sustentabilidade e da economia circular vão afetar diretamente nas informações que serão divulgadas a seus stakeholders (CVM, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Toda a prática experimental foi desenvolvida no Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos (Residuall) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Câmpus de Botucatu.

A escolha da fibra de coco como objeto de estudo foi devido a necessidade de descartar e a possibilidade de reaproveitar um grande volume de coco pós consumo que são gerados pelos visitantes que frequentam o Parque Ibirapuera, localizado na cidade de São Paulo (SP). O parque possui 158 hectares, é um dos principais pontos turísticos de toda a América Latina e possui mais de 18 milhões de visitantes anualmente (URBIA, 2024). Os gestores do parque, em contato com o Laboratório *Residuall*, indicaram a necessidade de transformar os resíduos de coco em um material que pudesse ser aproveitado pela empresa gestora do parque ou por seus fornecedores (neste caso, empresas que tem autorização para venda de bebidas no parque, incluindo a água de coco diretamente consumida no fruto).

Este caso segue uma tendência que ocorre em todo o país; dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em seu relatório “Produção Agrícola Municipal”, mostram que a produção de coco no Brasil cresceu cerca de 28% entre 2017 e 2022; conseqüentemente a geração de resíduos na cadeia de produção do fruto cresceu concomitantemente (IBGE, 2023).

A fibra de coco utilizada no trabalho foi obtida já moída, sendo esta a forma usual de compra das fibras dos fornecedores.

3.1 Poder Calorífico

O teste para obtenção do poder calorífico foi realizado para quantificação da energia por unidade de massa, sendo que quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia contida na fibra. Essa avaliação é importante para entender o potencial da fibra de servir como combustível para geração de calor, e conseqüentemente de energia, assim como ocorre em fornos e caldeiras de indústrias.

Há diferentes formas de considerar o poder calorífico, sendo o poder calorífico superior, poder calorífico inferior e poder calorífico útil. O poder calorífico inferior representa apenas a quantidade de energia liberada na forma de calor, já o poder

calorífico superior representa a soma da quantidade de energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de oxidação, ou seja, considera a energia necessária para vaporização da umidade contida na fibra. Já o poder calorífico útil é a quantidade de calor liberado pela queima, de modo que a água proveniente da queima esteja em estado gasoso, ou seja, no poder calorífico útil é descontada a energia necessária para evaporar a água referente à umidade da fibra.

As análises de poder calorífico foram realizadas em Calorímetro automático Parr modelo 6400. Foram analisadas 3 amostras de 1g cada. O resultado foi expresso em cal/g.

3.2 Compósitos de Fibra de Coco e Polipropileno

Para a análise granulométrica, 100 g de fibra de coco foram peneiradas, utilizando um agitador de peneiras eletromagnético, modelo AGMAGB e utilizadas peneiras com aberturas de acordo com a Tabela 3. A massa retida em cada peneira foi medida em balança analítica.

Tabela 3 – Abertura das peneiras para análise granulométrica.

Mesh	Abertura da Peneira (mm)
14	1,180
20	0,841
28	0,600
35	0,500
42	0,355
60	0,250
65	0,212
80	0,177
200	0,074
250	0,063

Foi utilizado o polímero polipropileno (PP) da marca SABIC®, especificação 575P como matriz do compósito, fibra de coco e polipropileno homo modificado por

anidrido maleico (MAPP) da marca Bondyram®, especificação 1001, que atua como agente de acoplamento para fibras em compósitos de polipropileno. O MAPP é um material amplamente estudado e possui considerável potencial industrial devido a sua característica de proporcionar interação e miscibilidade entre as diferentes fases dos compósitos (Hu, Stevanovic, & Rodrigue, 2014). Os materiais utilizados são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Componentes do material.



1) Fibra de Coco, 2) Polipropileno, 3) MAPP.

Foram definidos diferentes tratamentos para a composição das amostras, variando-se o volume de fibra no compósito em 20% e 40%, e com dois limites de tamanho de partículas de fibras de coco; o PP foi utilizado como comparativo nos testes mecânicos. O volume de MAPP utilizado foi definido a partir de referências de trabalhos anteriores (Passatore, Leão, & Dos Santos Rosa, 2016). A composição das amostras está representada na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição das amostras.

Tratamento	Polipropileno (%)	MAPP (%)	Fibra de Coco (%)	Tamanho de partícula (x)
PP	100	0	0	
B1	78	2	20	x < 0,355 mm
B2	78	2	20	Sem separação
B3	58	2	40	x < 0,355 mm
B4	58	2	40	Sem separação

As faixas de tamanho de partícula escolhidas levaram em consideração o aspecto visual do material final, de forma que o componente fabricado pudesse ter um bom acabamento, o que ocorre quando partículas menores são utilizadas.

Foi feita a homogeneização dos componentes das amostras, utilizando um misturador, modelo MH-4, e então, as amostras foram extrudadas em uma extrusora monorosca da marca LGMT, modelo LGEX - SIV 0V 060/36D com velocidade de 30 rpm e temperatura média no comprimento da rosca de 170°C. Os filamentos obtidos na extrusão foram picotados em um granulador da marca Sagec, modelo SG 70. Os pellets obtidos estão mostrados na Figura 3.

Figura 3 – Pellets depois do processo de extrusão.

Antes da obtenção dos corpos de prova (CP), foram avaliados os parâmetros de umidade de cada tratamento em um analisador de umidade, modelo MOC63u e o índice de fluidez, obtido pelo plastômetro modelo JJH, de acordo com a norma ASTM D1238 – 23. Para cada tratamento, 10 corpos de prova foram fabricados para testes mecânicos a serem realizado posteriormente, ou seja, 10 CP para testes de flexão, 10 CP para tração, 10 CP para impacto. Sendo assim, os materiais passaram pelo processo de injeção, em uma injetora de plásticos, marca Semeraro, modelo 650/247, com pressão de preenchimento de 41 bar e temperatura média no comprimento da rosca de 170°C. Os corpos de prova são mostrados na Figura 4.

Figura 4 – Corpos de prova.

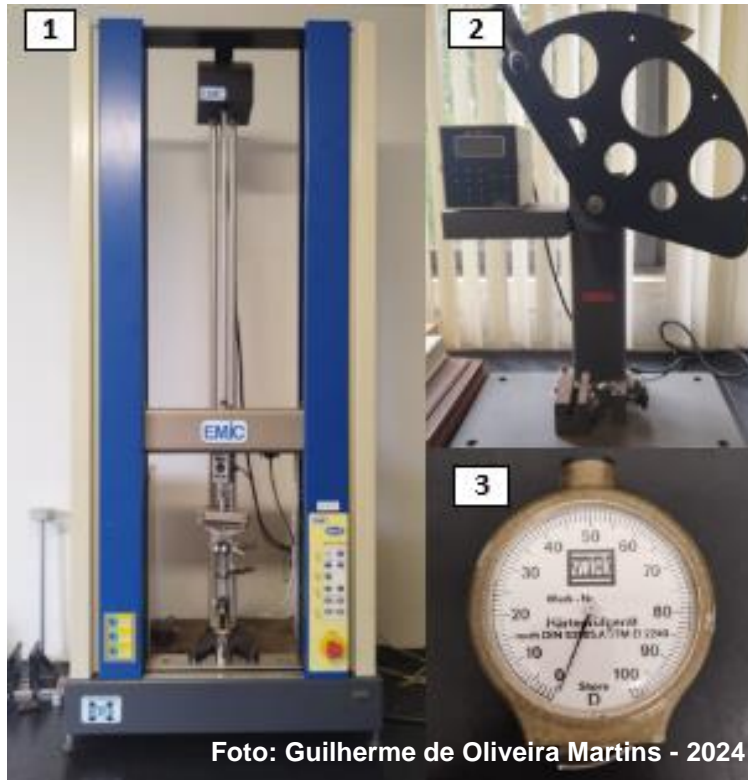


Corpos de prova para o teste de Tração (à esquerda), Impacto (ao meio) e Flexão (à direita).

Para a realização dos testes mecânicos e obtenção das variáveis de tensão em flexão e tração, foi utilizada uma máquina universal de ensaios, modelo Emic DL-3000. Os testes seguiram as normas definidas pela ASTM D638 – 22 para os testes de tração e ASTM D790 – 17 para os testes de flexão. Para os testes de resistência ao impacto, foi utilizado um pêndulo para testes de impacto, marca Tinius Olsenm, modelo 892 seguindo as definições da ASTM D256 – 10 (Reaprovada em 2018).

Para a avaliação da dureza Shore D do material, foi utilizado um Durômetro, marca Zwick, de acordo com as definições da ASTM D2240 – 15 (Reaprovada em 2021). Os equipamentos utilizados nos testes podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 – Equipamentos utilizados nos testes mecânicos.



1) Máquina de ensaios Emic DL-3000, 2) Pêndulo Tinius Olsenm, 3) Durômetro Zwick

Os resultados dos testes de tração, flexão, impacto, dureza e fluidez foram expressos por meio da comparação de médias e desvios padrões. Foi feita uma correlação linear entre B1, B2, B3 e B4 para avaliar a relação entre estes tratamentos. Todo o método utilizado para cálculo das variáveis dos testes mecânicos, seguiram as normas ASTM anteriormente citadas. O tratamento dos dados e análises estatísticas foram realizadas no software R versão 4.3.1 (R Core Team, 2023).

3.3 Chapas de Fibra de Coco

Uma chapa de fibra de coco foi realizada em prensa piloto na empresa Dexco SA localizada em Agudos – SP. A prensa possui pressão máxima de 102 bar (104,1 kgf/cm²) e a fibra foi prensada a 180° C por 180 segundos. Esta chapa foi utilizada como comparativo para os testes realizados em escala laboratorial, sendo assim, um

relatório cedido pela empresa com a avaliação das propriedades da chapa foi encaminhado ao *Residual*.

Para a formação das chapas em laboratório, inicialmente foram definidas as amostras para a observação do comportamento dessas quanto ao seu módulo de flexão, absorção de água e inchamento. Ao todo foram feitos 6 tratamentos; com diferentes densidades e tempo de prensagem. A composição das amostras pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 - Amostras de Chapas.

Amostra	Temperatura (°C)	Tempo de Prensagem (min)	Massa de Fibra (g)	Dimensões do molde (cm)	Volume da Placa (cm ³)	Densidade (g/cm ³)
C1	180	10	100	17x17x0,1	28,9	3,46
C2	180	15	100	17x17x0,1	28,9	3,46
C3	180	10	140	17x17x0,47	135,83	1,03
C4	180	15	140	17x17x0,47	135,83	1,03
C5	180	10	110	17x17x0,47	135,83	0,81
C6	180	15	110	17x17x0,47	135,83	0,81
DT	180	3	-	-	-	0,97

DT – Chapa fabricada na Dexco SA.

As chapas foram prensadas em uma prensa com aberturas quente e fria, acionamento hidráulico pneumático de modelo MH-8MT conforme Figura 6.

Figura 6 – Prensa.

Todas as amostras tiveram tempo de prensagem a frio por 5 minutos, após a prensagem a quente. Um exemplo das chapas pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – Chapa de Fibra de Coco produzida no Laboratório *Residuall*.

Para a realização dos testes mecânicos e obtenção das variáveis de tensão em flexão, as chapas foram cortadas em dimensões de aproximadamente 4 cm de largura por 15 cm de comprimento. Na realização dos testes mecânicos e obtenção das variáveis de tensão em flexão, foi utilizada uma máquina universal de ensaios, modelo Emic DL-3000. Os testes seguiram as normas definidas pela ASTM D790 – 17, e apesar dessa norma ser direcionada a materiais compósitos, foi utilizada como referência. Os resultados dos testes de flexão foram expressos por meio da comparação de médias e desvios padrões.

Para os testes de absorção de água e inchamento, foram obtidos corpos de prova (CP) de dimensões de 7,6 cm de comprimento e 2,5 cm de largura, conforme definição da norma ASTM D570 – 22 - Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, que apesar de ter como foco a avaliação de materiais plásticos, foi utilizada como referência já que o teste em placas de fibras não possui norma aplicável. Os corpos de prova podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 – Corpo de prova para os testes de flexão, absorção de água e inchamento.



1) CP para teste de flexão, 2) CP para teste de absorção de água e inchamento.

Os corpos de prova foram pesados para obtenção de sua massa inicial. Logo após, foram imersos em água deionizada durante 2h para avaliação do seu peso final e assim obter a quantidade de água retida na placa, a partir do incremento de seu peso pela absorção. Para avaliar o inchamento, foram medidas as espessuras dos CP inicialmente e após 2h de imersão. As variáveis de inchamento e absorção de água

foram obtidas a partir das equações a seguir. O tratamento dos dados e análises estatísticas foram realizadas no software R versão 4.3.1 (R Core Team, 2023).

$$\text{Absorção de Água (\%)} = \frac{(M_{2h} - M_0)}{M_0} * 100$$

$$\text{Inchamento (\%)} = \frac{(E_{2h} - E_0)}{E_0} * 100$$

Onde:

M_{2h} = massa em gramas após 2 hora de imersão em água;

M_0 = massa inicial em gramas;

E_{2h} = espessura em centímetros após 2 horas de imersão em água;

E_0 = espessura inicial em centímetros.

4 RESULTADOS

4.1 Poder Calorífico

Os resultados obtidos para o poder calorífico das amostras de fibra de coco são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Poder Calorífico.

Poder Calorífico (cal/g)			
Amostra	Massa (g)		
1	0,9936	PCS	3956,58
		PCI	3952,72
		PCU	3085,54
2	1,0501	PCS	3982,97
		PCI	3679,11
		PCU	3108,39
3	1,0229	PCS	3956,75
		PCI	3652,89
		PCU	3085,68

PCS – Poder Calorífico Superior, PCI – Poder Calorífico Inferior e PCU – Poder Calorífico Útil.

4.2 Testes mecânicos dos compósitos

A massa de fibra de coco retida em cada peneira e a representação da proporção de fibras com dimensões abaixo de 0,355 mm (mesh 42) em relação ao total, estão representados na Figura 9 e Figura 10.

Figura 9 - Massa de Fibra de Coco retida em relação ao Mesh das peneiras.

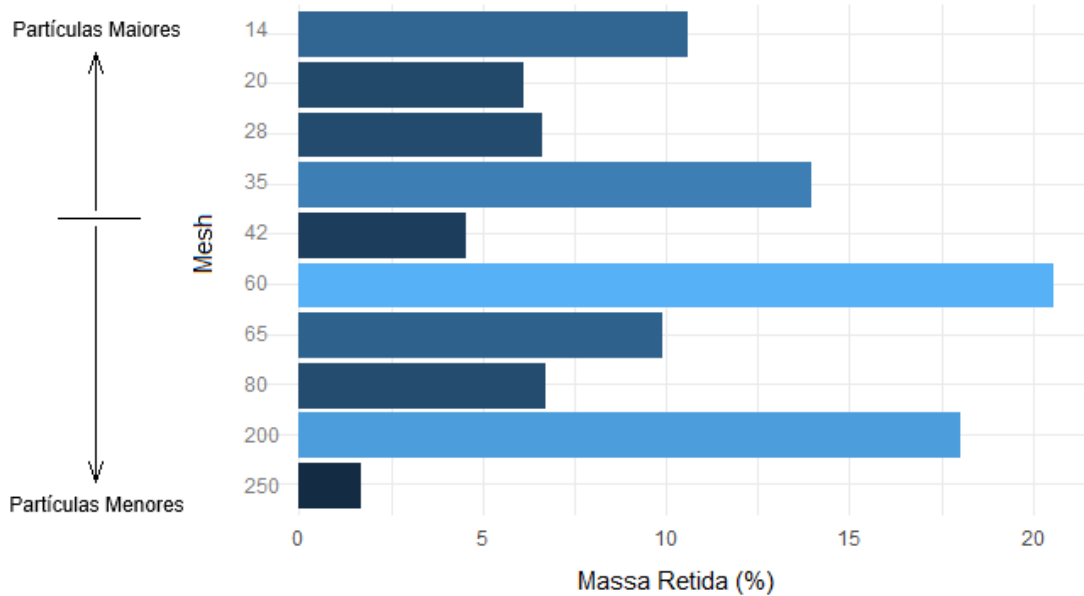
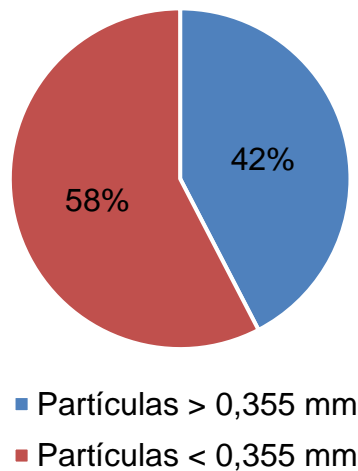


Figura 10 – Proporção de Fibra de Coco.

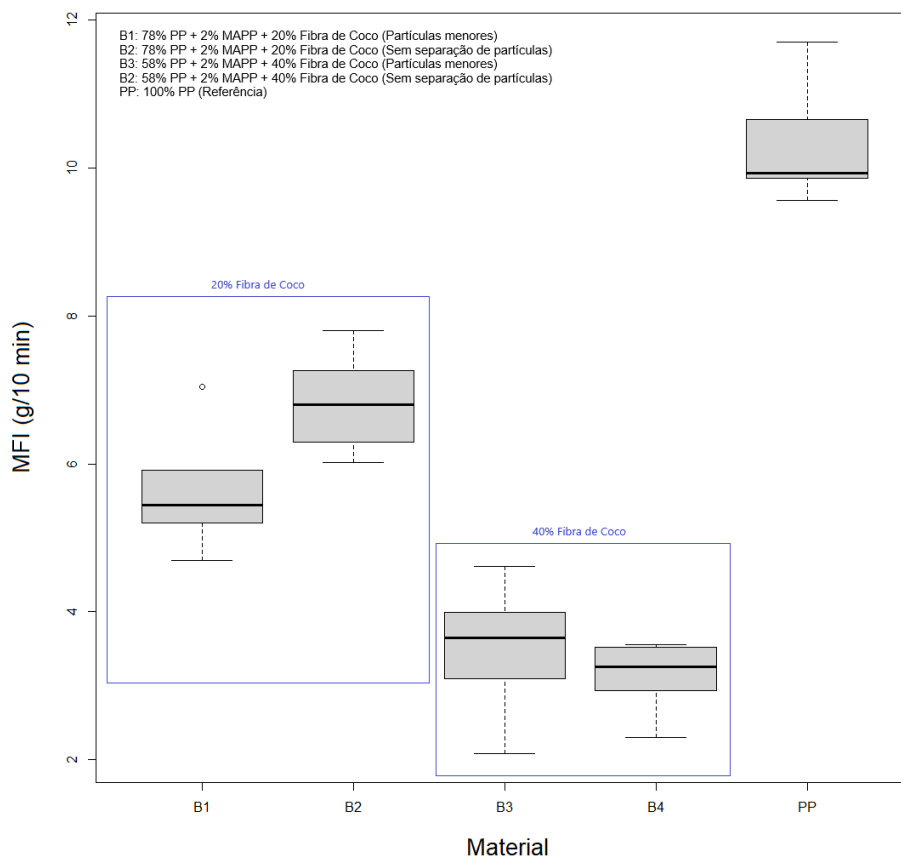


O teor de umidade médio para cada tratamento foi de 4,45% para B1, 4,12% para B2, 5,45% para B3 e 3,39% para B4. O teor de umidade somente da fibra de coco, sem separação de partículas, foi de 13,39%. A estrutura das fibras de coco favorece a absorção de umidade, e devido a estrutura dos seus poros, as fibras têm boa permeabilidade com o ar (Meng, Guo, & Han, 2012). Já o polipropileno possui propriedades bem definidas e baixa absorção de umidade (Zhou, Rangari, Mahfuz,

Jeelani e Mallick, 2005). Os valores obtidos foram importantes para verificar se há uma correlação entre esta variável e as propriedades finais dos compósitos.

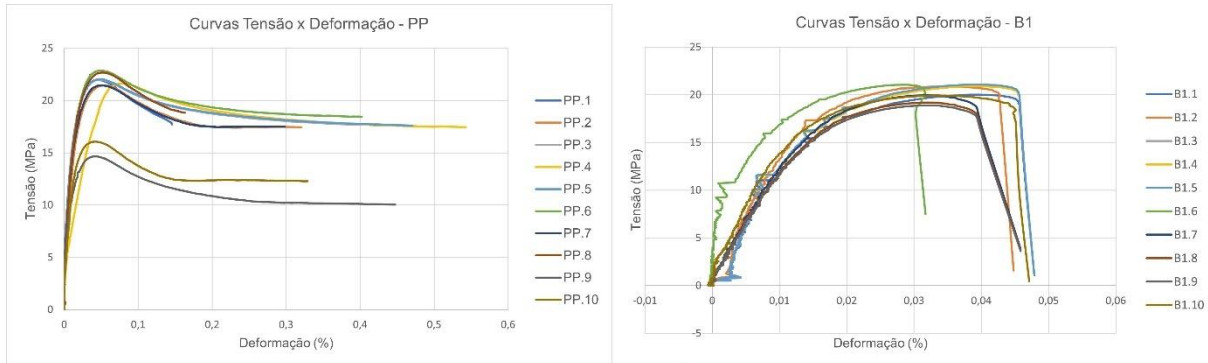
Para avaliar a viscosidade, é obtido o índice de fluidez ou MFI (*melt flow index*), e quanto maior a fluidez, mais material flui nas condições de teste. Esse índice mostra as condições de processabilidade do material, podendo influenciar a qualidade das peças quando utilizado o processo de injeção. Os valores de MFI para cada tratamento são mostrados na Figura 11.

Figura 11 – MFI para os diferentes tratamentos.



Já o comportamento de tensão-deformação para um material plástico, nos testes de tração, apresenta uma deformação inicial elástica, seguida por escoamento e uma região de deformação plástica (Callister, 2018). Para exemplificar, algumas das curvas geradas durante os testes a partir da máquina de testes Emic DL-3000 podem ser observadas na Figura 12. A partir dos pontos que compõe o gráfico foram avaliados os módulos de resistência de cada material, igualmente para os demais tratamentos.

Figura 12 – Curvas de Tensão x Deformação para materiais feitos com PP (100%) e tratamento B1.



O módulo de elasticidade, ou módulo de tração, está ligado ao limite de resistência à tração; quanto maior o módulo, mais rígido é o material, e conseqüentemente menor a ductilidade (capacidade de um componente em sofrer deformações, sem apresentar trincas, rachaduras e outras formas de ruptura). Os valores médios do módulo de elasticidade dos testes de tração foram de 1056,08 MPa para o PP, 1453,91 MPa para B1, 1437,43 MPa para B2, 1637,44 MPa para B3 e 1914,84 MPa para B4, conforme Figura 13. Os valores de tensão máxima para os testes de tração podem ser observados na Figura 14.

Figura 13 – Módulo de Elasticidade para os testes de Tração.

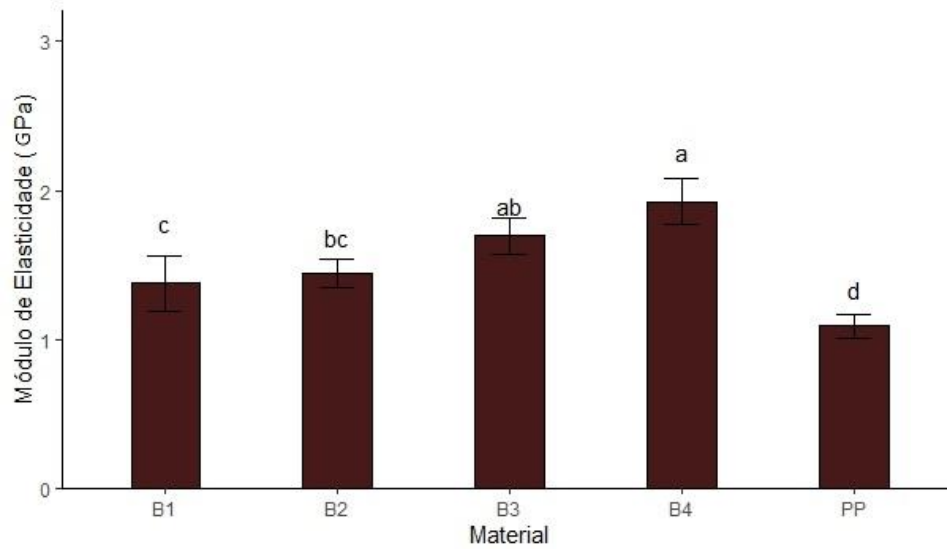
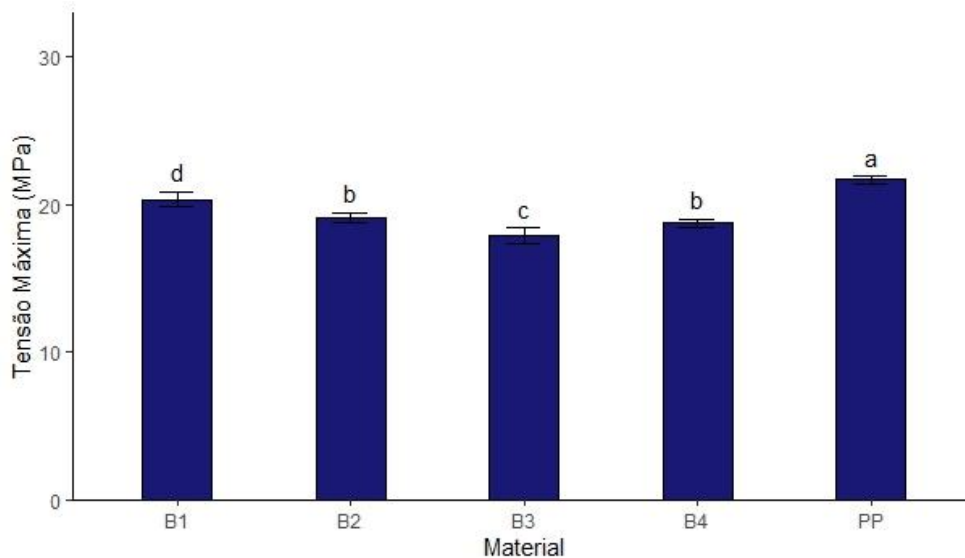
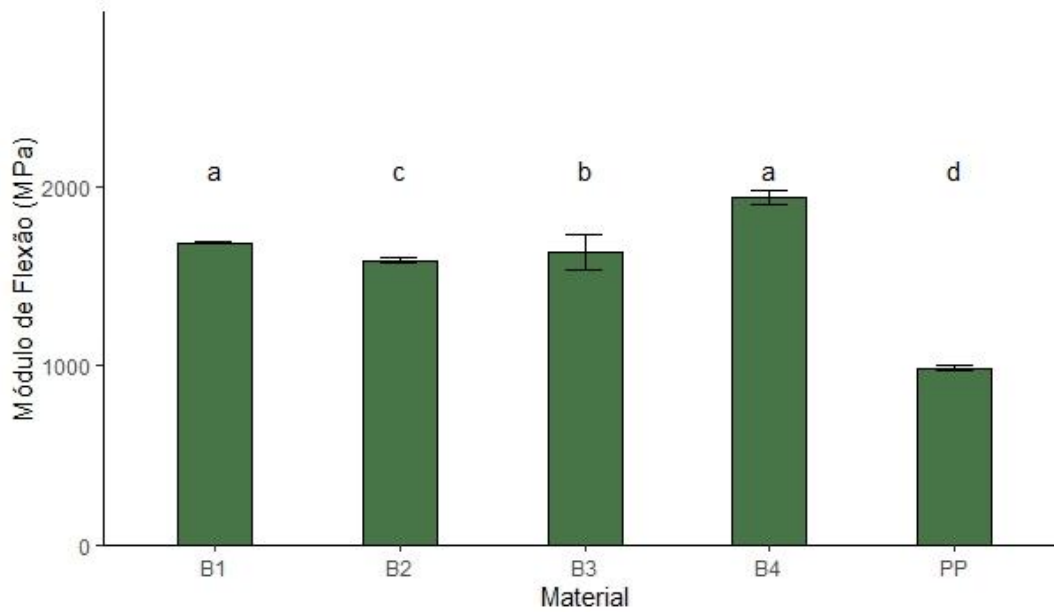
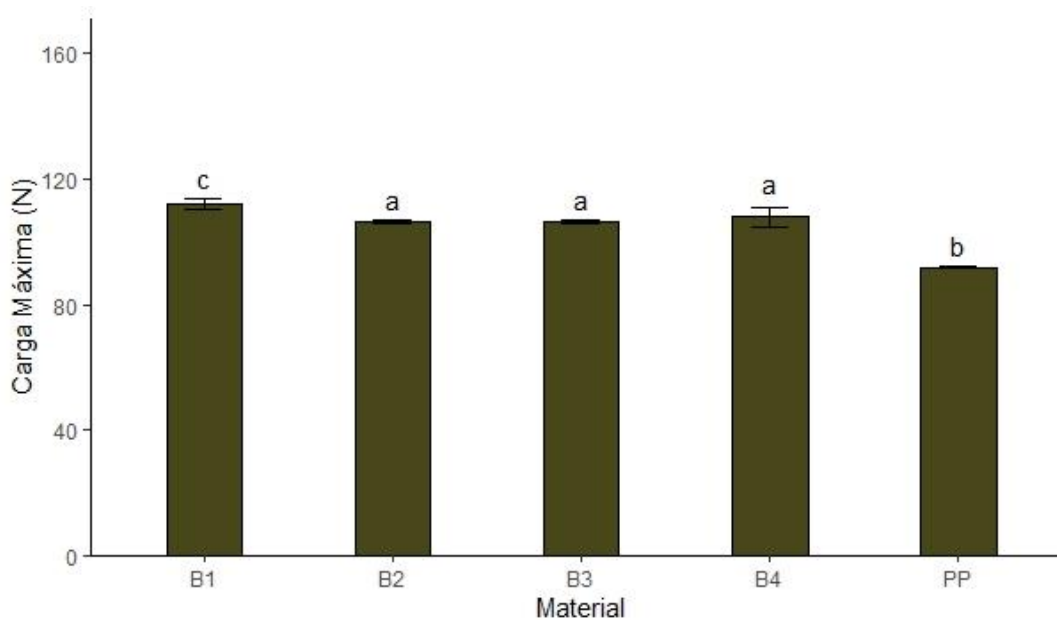


Figura 14 – Tensão Máxima: Tração.



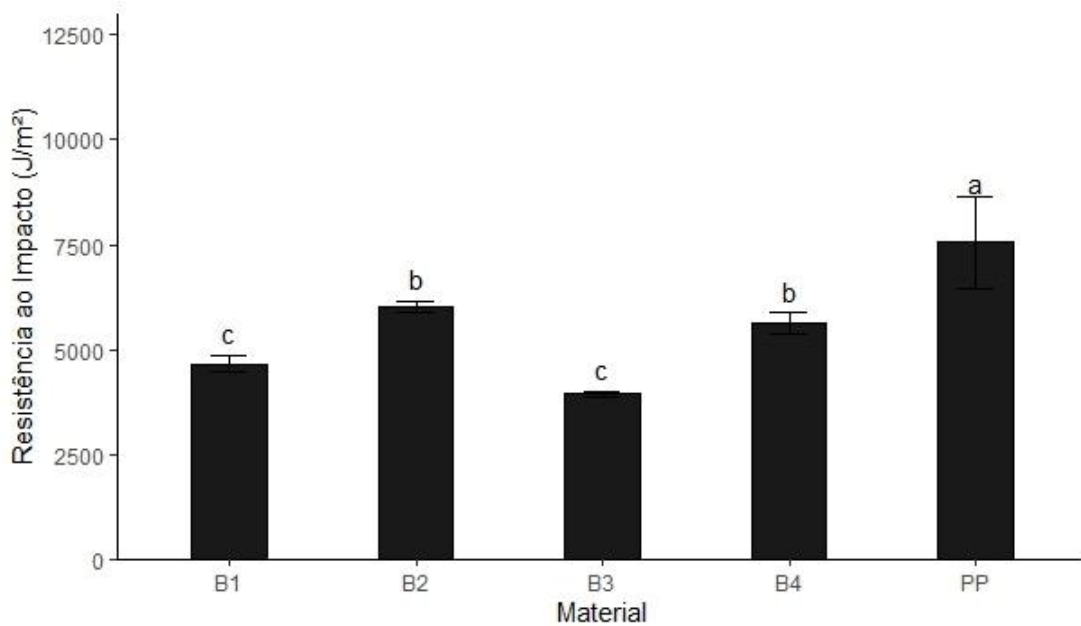
O teste de flexão ajuda na determinação da resistência e comportamento dos materiais em resposta a uma força aplicada em sua superfície, gerando uma flexão ou curvatura. Os valores médios do módulo de flexão foram de 990,85 MPa para o PP, 1665,83 MPa para B1, 1581,54 MPa para B2, 1641,32 MPa para B3 e 1975,02 MPa para B4, conforme Figura 15. Os valores de carga máxima suportada pelo material podem ser observados na Figura 16.

Figura 15 - Módulo de Flexão.**Figura 16 – Carga Máxima: Flexão.**

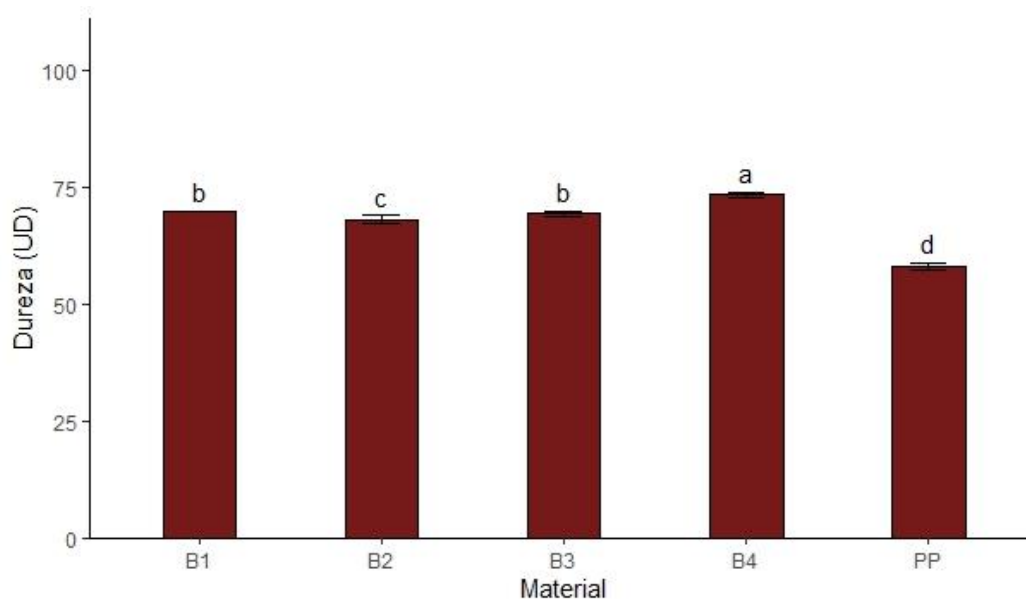
O grau de resistência a uma carga de impacto de um material pode ser importante dependendo de sua aplicação. Essa característica pode ser relevante quando a utilização do material deve resistir a uma carga específica, como a utilização de compósitos em componentes veiculares, por exemplo. No teste de impacto é obtida a

energia de quebra; os valores resultantes foram 6769,77 J/m² para o PP, 4688,96 J/m² para B1, 5951,19 J/m² para B2, 4066,85 J/m² e 5462,19 J/m² para B4, conforme Figura 17.

Figura 17 - Energia de Quebra obtida nos testes de Impacto.

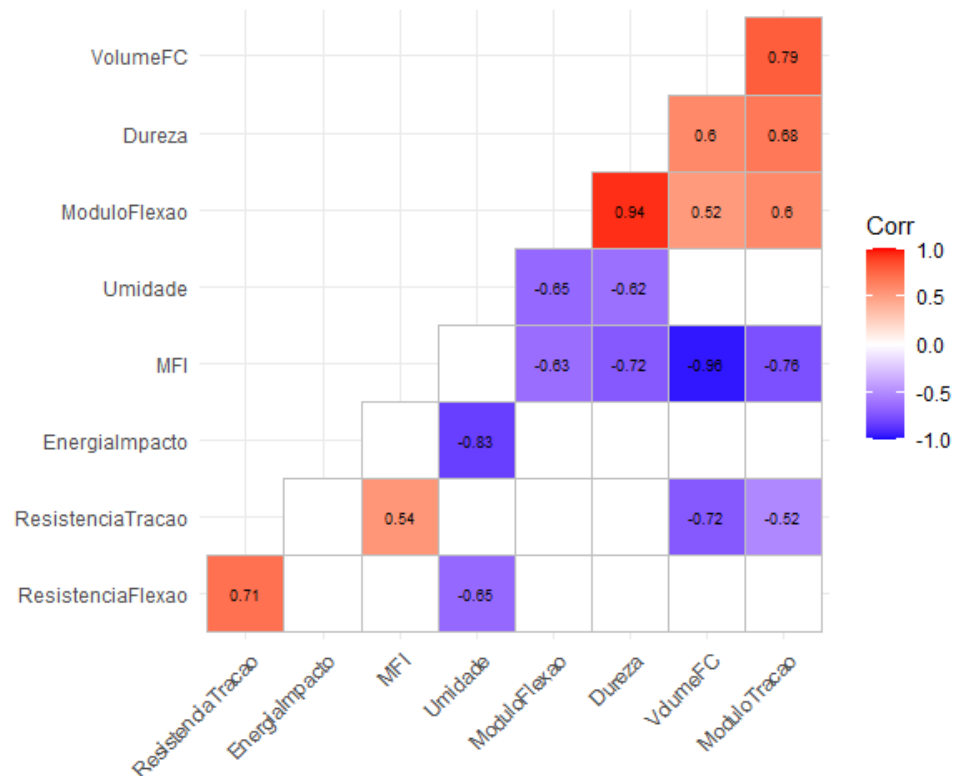


Uma outra propriedade mecânica que influencia no desempenho dos materiais para uma aplicação particular é a resistência à dureza. O teste de dureza Shore oferece diferentes escalas para medir a solidez de diferentes materiais. Os valores médios atingidos na escala do teste, em unidades de dureza (UD) foram de 62 UD para o PP, 72 UD para B1, 70 UD para B2, 72 UD para B3 e 75 UD para B4 conforme Figura 18.

Figura 18 - Teste de Dureza Shore D.

Adicionalmente aos resultados dos testes mecânicos, foi feita uma matriz de correlação, que é uma tabela que indica os coeficientes de conexão entre fatores, ou seja, mede o grau de relação linear entre cada par de variáveis. A matriz de correlação apresentada na Figura 19 é uma análise dos tratamentos B1, B2, B3 e B4. Para se avaliar a significância estatística entre as variáveis, obteve-se o p-valor, de modo que se consideraram como significantes valores abaixo de 0,05. Os espaços em branco no gráfico da Figura 19 representam relações em que o p-valor ficou acima do nível de significância.

Figura 19 - Matriz de correlação de Pearson.



4.3 Testes mecânicos das chapas de Fibra de Coco

Para avaliar a tensão máxima aplicada nas chapas, foi realizado o teste de flexão. Os resultados das variáveis em cada tratamento para o módulo de elasticidade e resistência à flexão, podem ser observadas nas Figuras 20 e 21. A amostra DT representa a chapa fabricada na empresa Dexco SA.

Figura 20 - Módulo de Elasticidade das chapas.

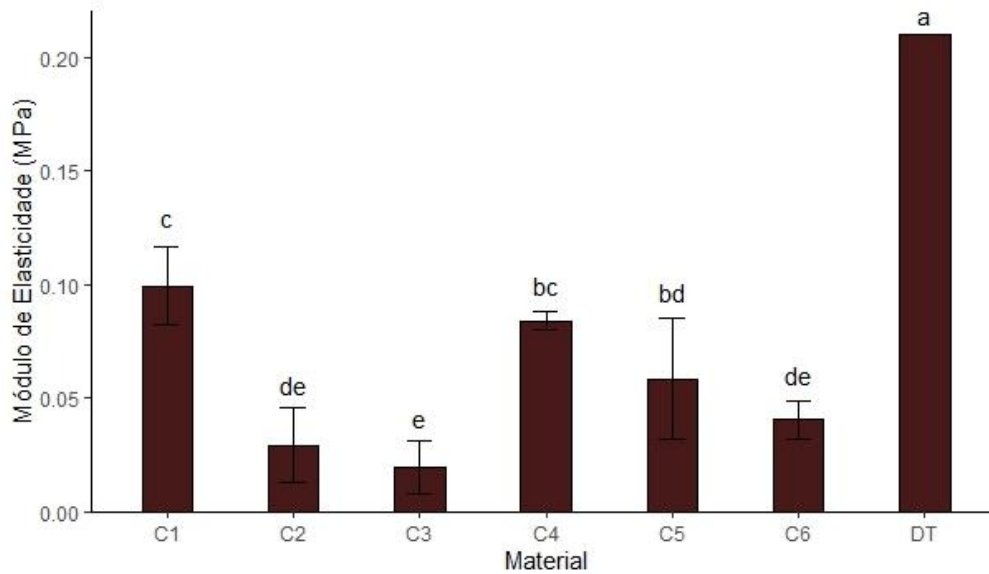
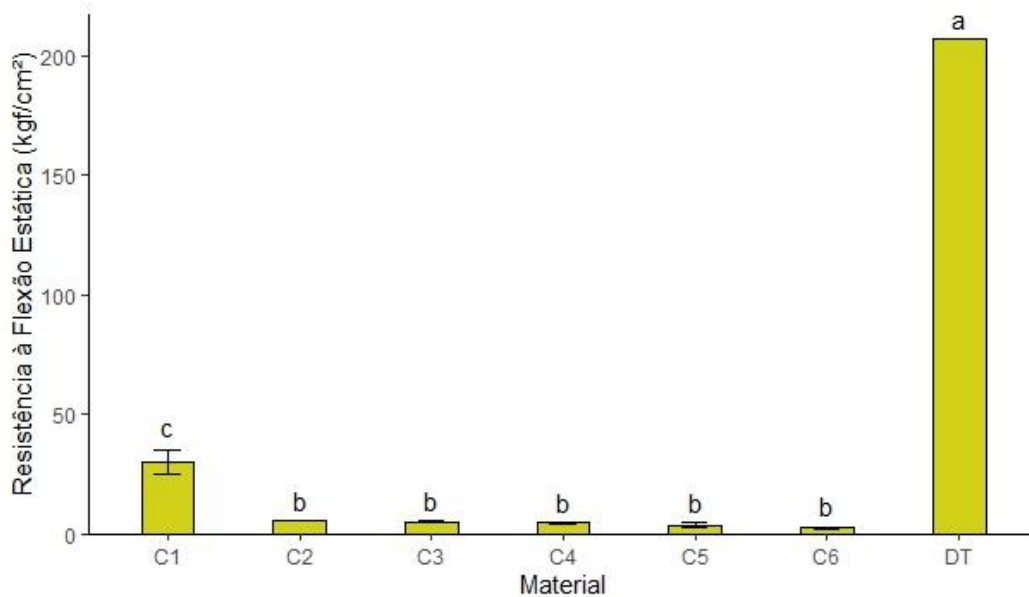


Figura 21 – Resistência à Flexão das chapas.



Avaliar a absorção de água e o inchamento das chapas pode ser importante para entender o comportamento da peça quando em contato com a água. O comportamento de retenção de umidade pelas chapas mesmo após a prensagem das fibras é importante pois a absorção de água pode ocasionar perda das propriedades

mecânicas das chapas, diminuindo sua resistência e usabilidade. Os valores obtidos, em percentual, da absorção de água e inchamento das chapas, estão mostrados na Tabela 7 e nas Figuras 22 e 23.

Tabela 7 – Absorção de água e inchamento das placas após 2h de imersão.

	Inchamento (%)	Absorção de Água (%)
C1	115	213
C2	94	179
C3	99	242
C4	75	220
C5	87	237
C6	64	247
DT	31	52

Figura 22 – Absorção de água pelas chapas após 2h de imersão.

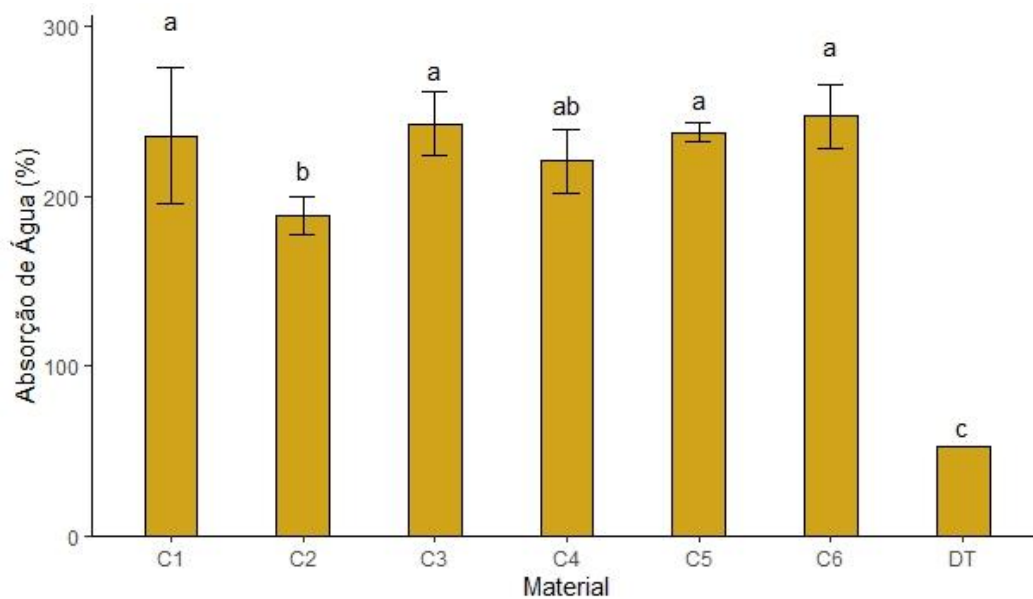
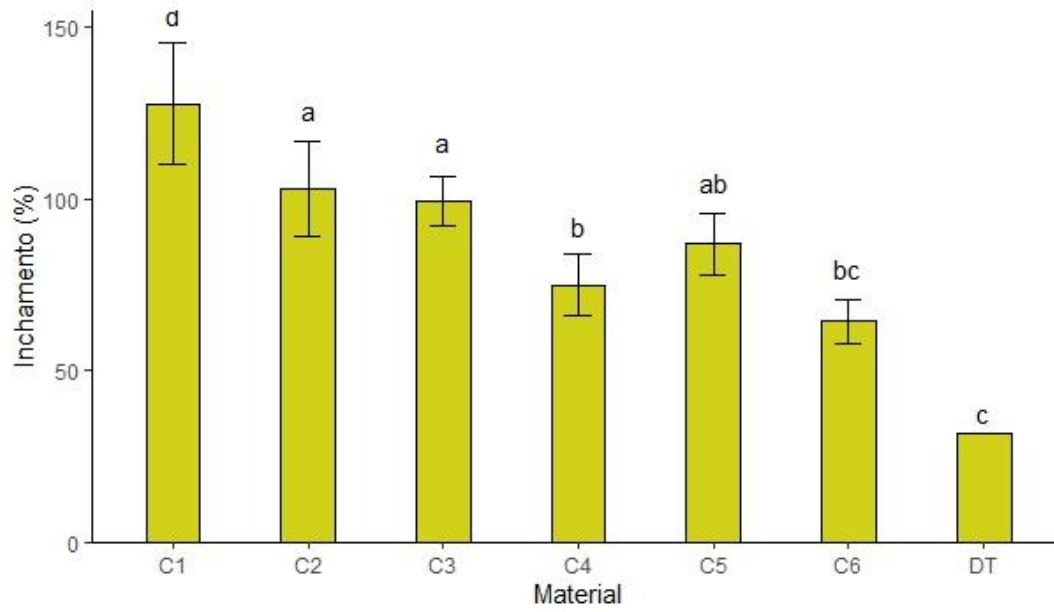


Figura 23 – Inchamento das chapas após 2h de imersão.

5 DISCUSSÃO

5.1 Poder Calorífico

A quantidade de energia contida na fibra de coco foi analisada pois devido ao potencial de utilização desta na geração de energia, deve-se priorizar os processos que gerem maior valor ao insumo e sejam viáveis do ponto de vista econômico e ambiental. A partir da Tabela 6, temos que o Poder Calorífico Útil médio é de 3093,20 cal/g ou 12,94 MJ/Kg para a fibra de coco.

Alguns autores já demonstraram potencial energético maior avaliando-se a fibra de coco na forma de briquetes (bloco denso e compacto de materiais), chegando a 19,47 MJ/Kg (Esteves; Abud; Barcellos, 2015). Resíduos orgânicos em geral são avaliados quanto a este potencial de geração de energia, a casca de arroz por exemplo possui poder calorífico de 16,35 MJ/Kg, já o caroço de pêsego apresentou 15,06 MJ/Kg. O resíduo de biomassa de eucalipto possui poder calorífico de 17,34 MJ/Kg sendo este um material frequentemente utilizado na geração de vapor e calor através da queima nas indústrias.

Pode-se afirmar que a fibra de coco tem potencial na geração de energia, porém seu potencial energético fica abaixo de outros materiais que já possuem uma rota de aproveitamento de seus resíduos consolidada. A escolha da melhor forma de utilização e emprego da fibra de coco vai depender dos recursos disponíveis, da possibilidade de substituição a outros materiais e do não aproveitamento da fibra por outras vias comerciais.

5.2 Testes mecânicos dos compósitos

O conhecimento sobre a estrutura física das fibras tem crucial importância na escolha de uma aplicação em potencial. A relação de comprimento e largura pode fornecer informações que podem prever o comportamento do material e sua resistência, porém em muitos casos, essa relação é bastante variada e depende da morfologia do fruto, idade da planta, umidade da fibra, dentre outros fatores (Leao & Rowell, 2000).

Sabe-se que as fibras de coco possuem em sua composição agrupamentos químicos (hidroxilas) que dão a ela caráter hidrofílico, ou seja, com afinidade a água,

enquanto a grande maioria dos polímeros comercializados são hidrofóbicos. Essa diferença de característica pode resultar em baixa adesão entre as fibras e a matriz, pois uma má dispersão entre as partículas pode ocasionar perda da capacidade de reforço do material (Gama *et al.*, 2022).

Na formação dos compósitos, a matriz envolve a fibra, porém abaixo do comprimento mínimo (*critical length*), essas fibras não atuam como reforço e sim como carga, ou enchimento, e não influenciam as propriedades mecânicas do material como esperado. O efeito sinérgico que ocorre em um sistema matriz-reforço é uma mistura melhorada das propriedades de cada um de seus componentes (Leão, Carvalho e Frollini, 1997).

Na amostra avaliada, como observado na Figura 10, 58% das fibras possuem comprimento acima de 0,355 mm, e apesar dessa observação da quantidade de fibras longas e curtas, pode-se dizer que há uma boa dispersão entre tamanhos de fibra ao longo da amostra. Na prática, isso é influenciado pelo tipo de tratamento dado ao resíduo do coco, como o processo de desfibramento para utilização posterior das fibras.

5.2.1 Índice de Fluidez (MFI)

Enquanto o PP apresentou um MFI de 10,34 g/10min, os valores para B1 e B2 (com 20% de fibra) foram 5,66 g/10min e 6,83 g/10min respectivamente. Para os tratamentos com 40% de fibra, B3 e B4 os índices foram 3,49 g/10min e 3,11 g/10min respectivamente, como pode ser observado na Figura 11.

Essa mudança na fluidez do material é fortemente afetada pelo volume de fibra no compósito. Foi observado que, para os tratamentos com 20% de fibra em sua composição, houve resultados satisfatórios em relação a fluidez, que diminuiu com a adição de um volume maior de fibra (40%). Em todos os casos houve redução dessa fluidez se comparada com o material fabricado de PP puro.

Apesar de uma pequena diferença entre as médias dos tratamentos B1 e B2 (com 20% de fibra), não houve diferença significativa para MFI entre esses tratamentos em relação as dimensões das fibras. Pode-se dizer que o volume de fibra no material é um fator relevante em relação a sua fluidez, porém o tamanho das fibras não exerce forte influência neste caso.

Na prática, materiais que possuem MFI abaixo de 4 g/10min somente podem ser utilizados em processos de extrusão de perfil, não servindo para processos de injeção que necessitam de material com boa fluidez. Isso é esperado e está ligado ao peso molecular do PP durante o processo de extrusão, que tem tendência a diminuir devido a cisão (rompimento de uma ligação química) em cadeia (Naldony, Flores-Sahagun e Satyanarayana, 2016). Isso reflete diretamente na processabilidade dos materiais, pois quanto menor o índice de fluidez, mais difícil desse material fluir. A redução do índice de fluidez já foi observada por outros autores, que avaliaram que um tratamento químico das fibras antes da sua utilização pode modificar sua compatibilidade com a matriz, melhorando assim sua processabilidade, assim como o uso de aditivos podem ser amplamente empregados (Gama *et al.*, 2022).

5.2.2 Teste de Tração

O módulo de elasticidade foi influenciado principalmente pelo volume de fibra utilizado no material, sendo maior nos tratamentos com 40% de fibra, conforme Figuras 13 e 14. Esse aumento significativo da rigidez do material compósito em relação ao PP, reduz a capacidade do material em deformar elasticamente sem sofrer rupturas.

A curva tensão-deformação em tração para um material deixa evidente os limites de escoamento do material, os quais são seguidos por uma região aproximadamente horizontal, no caso do material feito apenas com polipropileno (Figura 12). Durante o teste, um pequeno pescoço se forma na seção útil do corpo de prova, e é nesse momento que as cadeias ficam orientadas (os eixos da cadeia ficam alinhados paralelamente à direção do alongamento). Há nesse ponto uma resistência à continuidade da deformação, e o alongamento do corpo de prova prossegue pela propagação do pescoço ao longo do comprimento útil; o fenômeno de orientação das cadeias acompanha essa extensão do pescoço (Callister, 2018). O limite de resistência à tração dos tratamentos que mostraram aumento do módulo de elasticidade (B3 e B4) foi reduzido, o que confirma que conforme há aumento do volume de fibra no material, menor é sua resistência às forças de tração aplicadas ao corpo de prova, em outras palavras, esse material fica menos elástico e rompe com maior facilidade.

Isso também pode ser explicado devido ao contato fibra-fibra, que são propensas a aglomerar, reduzindo a adesão entre fibra-matriz, facilitando o arrancamento das fibras, resultando em más características mecânicas (Dong *et al.*, 2014; Sudhakara *et al.*, 2013). Esse aumento da rigidez e consequente fragilidade dos compósitos é um comportamento comumente observado para materiais de polipropileno e fibra de coco; a utilização de compatibilizantes também podem aumentar a adesão entre a interface fibra-matriz, alterando assim, seu desempenho final (Techawinyutham, Frick e Siengchin, 2016). O tamanho de partícula não provocou grandes variações entre os tratamentos.

Os compósitos de fibra de coco e polipropileno apresentaram resultados de resistência acima do encontrado na literatura para outras fibras, como os compósitos feitos com a mesma matriz de polipropileno e fibra de juta, onde a resistência máxima à tração ficou abaixo de 1GPa (Rokbi *et al.*, 2020). Os resultados encontrados nos testes de tração mostram que o material fabricado apenas com fibra de coco e polipropileno apresentam resultados iguais ou superiores à materiais que levam aditivos minerais em sua composição, o que é benéfico do ponto de vista ambiental e econômico, pois reduz a utilização de aditivos químicos e mantém uma fração de biodegradabilidade no componente final (Passatore; Leão; Dos Santos Rosa, 2016).

5.2.3 Teste de Flexão

Os resultados do teste de flexão também demonstraram uma diferença significativa entre o PP e os tratamentos com fibra de coco, devido ao aumento da rigidez dos materiais influenciados pela fibra, conforme Figuras 15 e 16. Observou-se um aumento da rigidez no tratamento B4 (com 40% de fibra de coco e sem separação de partículas). O aumento da rigidez com o aumento do volume de fibra também foi observado em trabalhos anteriores (Obasi, Mark e Mark, 2021; Singh *et al.*, 2020).

Diferente dos resultados obtidos nos testes de tração, observa-se que as variáveis avaliadas tiveram menor influência, ou seja, independentemente da variação do volume de fibra e do tamanho das partículas, o material teve desempenho semelhante no teste de flexão e ainda que haja diferenças estatísticas nos tratamentos, uma mesma faixa de resistência à flexão foi observada para todos os casos. Ainda assim, os resultados dos testes de flexão mostraram-se superiores ao

encontrado na literatura, onde houve uma mistura de fibra de coco, cânhamo e resina epóxi, o que demonstra que somente a fibra de coco ao incorporar as matrizes pode gerar um material de maior resistência (Suriyaprakash *et al.*, 2023).

Compósitos com fibras descontínuas e orientadas aleatoriamente tem a característica de apresentarem módulo de elasticidade maior conforme o aumento da fração volumétrica de fibra. A eficiência do reforço em resistir as forças aplicadas é diretamente afetada pelo alinhamento das fibras, podendo chegar a um quinto da eficiência na direção longitudinal de um compósito com fibras alinhadas, por exemplo, o que pode explicar um comportamento semelhante nos diferentes tratamentos (Callister, 2018).

Adicionalmente, é observado durante o teste que o arrancamento das fibras é visível na superfície do corpo de prova, mostrando vazios na forma de gás aprisionado, já observado em trabalhos anteriores. Fibras curtas podem favorecer esse arrancamento reduzindo a resistências à flexão desses compósitos (Akhyar *et al.*, 2024). O uso de compatibilizantes e pré-tratamento das fibras podem melhorar o desempenho desses materiais (Techawinyutham, Frick e Siengchin, 2016).

5.2.4 Teste de Impacto

O comportamento mecânico dos compósitos tem relação com as propriedades das fibras e sua ligação interface-matriz, e conseqüentemente a forma com que as cargas aplicadas são transmitidas da matriz para a fibra. A redução da energia de quebra entre o PP e todos os materiais compósitos pode estar relacionada a fraca adesão entre as partículas de lignina e do PP; a lignina é pouco deformada elasticamente (Dias, 2016).

As dimensões das partículas influenciaram na quantidade de energia absorvida durante o teste, B1 e B3 com partículas menores, tiveram energia de quebra inferior aos materiais B2 e B4, amostras com partículas de tamanhos variados, ou seja, partículas menores fazem com que o material resista menos a forças de impacto. A razão de aspecto (relação entre largura e espessura) atua diretamente na transferência de tensões para a matriz, as fibras mais longas possuem maior razão de aspecto e maior propagação de energia no material, o que explica os valores

superiores de energia absorvida das amostras com fibras mais longas em relação as menores de 0,355 mm, conforme observado na Figura 17 (Oliveira *et al.*, 2019).

5.2.5 Teste de Dureza Shore D

Foi observada diferença significativa apenas entre o PP e os materiais com fibra, para todos os tratamentos, conforme Figura 18. Essa medida da solidez do material indica que compósitos de fibra de coco são mais “duros” em comparação com materiais fabricados apenas com PP. Esse comportamento já foi observado em trabalhos anteriores (Chagas *et al.*, 2022; Kumar, Shamprasad, Varadarajan e Sangamesha, 2021).

5.2.6 Matriz de Correlação

Foi observada uma forte correlação negativa entre o MFI (índice de fluidez) e o volume de fibra no material, de 96%, conforme Figura 19. Isso indica que o material fica menos fluido conforme se aumenta o teor de fibra. Essa redução da fluidez que está ligada ao cisalhamento da cadeia do PP, e pode ser decorrente da oxidação que ocorre durante o processamento (Passatore, Leão e Dos Santos Rosa, 2016). Essa característica é importante durante a fabricação do material, por extrusão e injeção, por exemplo. Uma menor fluidez vai afetar a qualidade do componente que será formado, pois está diretamente ligada a homogeneidade do material a ser fabricado e conseqüentemente suas propriedades mecânicas finais (Bledzki, Faruk, 2005).

O tratamento químico das fibras de coco tem sido avaliado sob diferentes perspectivas, com a utilização de substâncias químicas industriais ou naturais, e em todos os casos busca-se uma melhoria da ligação entre matriz e reforço. Essa melhoria influencia diretamente na processabilidade do material e em suas propriedades mecânicas (Islam *et al.*, 2010; Torres-Giner *et al.*, 2018). Cabe delimitar qual o objetivo da fabricação do material final e as características desejadas em relação a biodegradabilidade, disponibilidade de insumos e de objetivos de sustentabilidade.

A Energia de Quebra apresentou uma correlação negativa de 83% com o teor de umidade, ou seja, a energia absorvida pelo material foi maior quando o teor de

umidade foi menor. Isso pode ser um indicativo de que, a umidade da amostra afeta na dispersão de energia no material quando submetido ao teste de impacto. A adesão interfacial é responsável pela eficiência da transferência de energia entre a matriz e o reforço, e a exposição à água, diminui a efetividade dessa resistência interfacial (Lenda, Mridha, 2011). Para o parâmetro de Energia de Quebra, o teor de umidade foi o fator de maior relevância, e isso também está ligado a estrutura da fibra, especificamente às microfibrilas (cadeias de celulose que formam a parede celular da fibra). Essas microfibrilas escoam com o aumento da umidade, e as pontes de hidrogênio que a compõe também começam a escoar, reduzindo assim a resistência das fibras (Richely *et al.*, 2022). No longo prazo, a umidade contida no material pode favorecer a ação microbiológica que degrada as fibras do material deixando-o menos resistente ao impacto, característica importante quando se avalia o comportamento do compósito ao longo do tempo. Uma forma de modificar essa característica é adicionar uma etapa de secagem do material durante seu processamento.

A correlação entre o módulo de flexão e dureza, foi positiva e de 94%, o que já era esperado, já que tanto o módulo quanto a escala de dureza indicam a rigidez do material. Esse aumento da rigidez com a adição de fibra já foi observado em outros trabalhos, mostrando que, compósitos de fibra de coco apresentam propriedades mecânicas como maior dureza e resistência à flexão (S P *et al.*, 2023).

De forma geral, o volume de fibra de coco foi o fator de maior influência nas propriedades avaliadas no teste de tração dos compósitos. Observa-se uma correlação positiva de 79% com o módulo de tração, e negativa de 72% em relação à medida de resistência à tração, corroborando com o que foi observado anteriormente de que, conforme aumenta-se o volume de fibra, mais rígido fica esse material e conseqüentemente menos elástico, resistindo menos às forças de tração até o rompimento.

5.3 Testes mecânicos das Chapas de Fibra de Coco

Ao avaliar os resultados dos testes de flexão das chapas de fibra observa-se que não é possível definir o parâmetro de maior influência na resistência das chapas quando avaliado em escala laboratorial, sendo que o tempo de prensagem ou a densidade não geraram bons indicativos nas propriedades finais das chapas fabricadas, como observado nas Figuras 20 e 21. A menor densidade é característica

de chapas mais finas, o que pode ter influenciado na resistência à tração e a carga máxima recebida durante os testes. A diferença entre a chapa fabricada em prensa piloto e as que foram feitas em escala laboratorial é evidente, o que indica que a pressão utilizada em laboratório é insuficiente para a prensagem da fibra de coco de forma eficiente.

Ao comparar os resultados com o documento técnico *Coir Based Building and Packaging Materials*, observa-se que os resultados dos testes de flexão mostraram performance superior aos do trabalho atual, com módulo de flexão e resistência maiores e na faixa de 5 GPa para o módulo e 50 MPa para resistência. Isso pode estar diretamente relacionado à variável de pressão já que os demais parâmetros foram igualmente utilizados; no documento técnico a pressão utilizada foi de 150 bar (aproximadamente 153 kgf/cm²) e no trabalho atual de 20 kgf/cm², sendo assim, neste trabalho foi aplicada uma pressão abaixo de 15% do total que foi aplicado no projeto piloto (Snijder, 2005). A Tabela 8 mostra as diferenças no módulo de elasticidade das chapas e as pressões utilizadas em cada processo, evidenciando que esta variável é relevante na fabricação destes materiais.

Tabela 8: Módulo de Elasticidade e Pressões máximas utilizadas.

Chapas	Pressão Máxima aplicada (kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidade Máximo obtido (MPa)	Resistência à Flexão Máximo obtido (kgf/cm ²)
Escala Laboratorial (Residuall)	20	0,9	30
Prensa Piloto (Dexco SA)	104,01	2130	207
Documento <i>Coir Based Building and Packaging Materials</i>	153	5000	509

Ainda assim, considera-se que as de fibras de coco mostraram potencial de plastificação sem adição de aglutinante, ou seja, de forma prática, as fibras foram transformadas em chapas apenas devido a quantidade de lignina presente naturalmente nas fibras. Isso é relevante do ponto de vista ambiental devido ao

potencial de biodegradabilidade das chapas, quanto na eficiência do aproveitamento dos resíduos de coco.

5.3.1 Testes de Absorção de Água e Inchamento

No teste de absorção de água, a taxa de absorção em escala laboratorial foi superior a 100%, ou seja, houve saturação de água em todas as amostras, conforme Figuras 22 e 23. A fibra de coco é hidrofílica e pode reter de 8 a 10 vezes o seu peso em água devido a sua alta porosidade, o que explica a alta absorção de água em todos os testes (Nunes, 2021). Para a chapa fabricada em escala piloto, a absorção de água foi de 52%, demonstrando que com a pressão suficiente para ocorrer a plastificação da lignina, houve uma taxa de absorção menor.

No teste de inchamento, observa-se que as chapas de menor densidade mostraram menor expansão em relação as chapas com maior volume de partículas. Isso pode estar ligado a menor absorção de água devido a menor quantidade de fibras, porém na maioria dos casos também foi observada a saturação do material. A chapa fabricada em planta piloto demonstrou inchamento de 31% mostrando que a pressão é o fator de maior relevância no processo de fabricação das chapas.

Chapas saturadas podem ter perda significativa de suas propriedades mecânicas finais, sendo assim, a capacidade de resistir a água é um ponto importante na viabilidade das chapas. Devido à quantidade de pressão aplicada no experimento laboratorial, pode-se inferir que as chapas não tiveram um processo de prensagem eficiente, sendo assim, essa variável deve ser considerada criticamente importante.

5.4 Resíduos de coco e a Economia Circular

É interessante ao setor empresarial adotar compromissos públicos relacionados a metas de sustentabilidade, por exemplo a iniciativa Science Based Targets (SBTi), um pacto entre empresas conduzido pela Organização das Nações Unidas (ONU) que tem como objetivo orientá-las na adoção das metas que estejam alinhadas a estratégia global de redução de gases de efeito estufa (GEE) impulsionando a transição rumo a uma economia de emissões líquidas zero. A observância das metas SBTi pode ajudar na tomada de decisão sobre a utilização dos

resíduos de coco, priorizando a inserção do resíduo em processos produtivos que sejam viáveis economicamente e ao mesmo tempo estejam alinhados a uma estratégia climática global positiva.

Com a reinserção dos resíduos como insumos em uma nova cadeia produtiva, tem-se a possibilidade de utilizar um material que seria diretamente descartado. No entanto, é preciso conhecer todos os elos dessa nova cadeia de forma que o impacto ambiental gerado com a economia circular seja o menor possível. Essa contabilização da magnitude do impacto pode ser observada quando se faz uma comparação entre as possibilidades de utilização do resíduo, priorizando modelos de negócio que possam extrair o maior valor agregado possível.

6 CONCLUSÕES

- Compósitos de fibra de coco apresentam características mecânicas finais satisfatórias, avaliando-se diferentes volumes de fibra. O componente final possui boas características mecânicas, e pode ser viável ambientalmente, sendo estas algumas das vantagens desse material. A fluidez do material com maior volume de fibra (40%) foi reduzida, indicando limitação no uso de processos de injeção na fabricação dos componentes.
- Compósitos de fibra de coco apresentam características mecânicas finais satisfatórias, avaliando-se diferentes tamanhos de partículas de fibra. A escolha de partículas menores está relacionada ao aspecto visual do componente, porém não houve influência significativa do tamanho das partículas nas propriedades mecânicas finais.
- Devido a suas propriedades e quantidade de lignina, a fibra de coco apresenta a possibilidade de ser empregada na fabricação de materiais de forma única, podendo ser transformada em chapas sem a adição de aglutinantes.
- A adoção de práticas de aproveitamento dos resíduos de coco promove a economia circular e a possibilidade de toda a cadeia de produção do fruto de adotar compromissos de sustentabilidade e gerar impactos positivos.
- A pressão é um fator limitante para a qualidade das chapas fabricadas, sendo a variável de maior influência.

Por fim, este trabalho limitou-se a avaliar as propriedades mecânicas finais e a viabilidade da adoção de práticas sustentáveis no gerenciamento de resíduos de coco, porém não houve aprofundamento dos parâmetros de reciclabilidade ou de impactos do ciclo de vida do coco e de biocompósitos de coco, principalmente após seu descarte, sendo esta uma recomendação para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. N., ISHAK, M. R., MOHAMMAD TAHA, M., MUSTAPHA, F., & LEMAN, Z. **A Review of Natural Fiber-Based Filaments for 3D Printing: Filament Fabrication and Characterization**. *Materials*, Vol. 16. MDPI. 2023, June 1. <https://doi.org/10.3390/ma16114052>
- AKHYAR; GANI, A.; IBRAHIM, M.; ULMI, F.; FARHAN, A. The influence of different fiber sizes on the flexural strength of natural fiber-reinforced polymer composites. **Results in Materials**, [s. l.], v. 21, n. 7, 2024.
- ALMACO – Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos. **Indicadores de desempenho do mercado de compósitos 2023/2024**. São Paulo, p. 3-4. 2023. Disponível em: <https://almaco.org.br/dados-mercadologicos/>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- ARCHANA BABU, S.; NARAYANANKUTTY, S. K. Investigation on the thermal-flammability and mechanical performance of coir fiber reinforced biocomposites. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 51, p. 2569–2572, 2022.
- BAKKALOGLU, S.; COOPER, J.; HAWKES, A. Life cycle environmental impact assessment of methane emissions from the biowaste management strategy of the United Kingdom: Towards net zero emissions. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 376, n. April 2022, p. 1–13, 2022.
- BEVERIDGE, F. C.; KALAI Pandian, S.; YANG, C.; ADKINS, S. W. **Fruit Biology of Coconut (Cocos nucifera L.)**, MDPI, 2022.
- BLEDZKI, A. K.; FARUK, O. Effects of the chemical foaming agents, injection parameters, and melt-flow index on the microstructure and mechanical properties of microcellular injection-molded wood-fiber/polypropylene composites. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 97, n. 3, p. 1090–1096, 2005.
- BLEDZKI, A. K.; FARUK, O. Effects of the chemical foaming agents, injection parameters, and melt-flow index on the microstructure and mechanical properties of microcellular injection-molded wood-fiber/polypropylene composites. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 97, n. 3, p. 1090–1096, 2005.
- BRAINER, M. S. C. P. **PRODUÇÃO DE COCO-SOERGUMENTO DAS ÁREAS TRADICIONAIS DO NORDESTE**. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4296541/61_coco. Acesso em: 24 abr. 2023.
- CALLISTER JR, William D, RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais – uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. p 676. 2018.

CHAGAS, G. N.; BARROS, M. M.; DE LEÃO, A. G.; DE LA CARIDAD OM TAPANES, N.; DA CONCEIÇÃO RIBEIRO, R. C.; BASTOS, D. C. A hybrid green composite for automotive industry. **Polimeros**, [s. l.], v. 32, n. 2, 2022.

COIR BOARD. **Fibre**: Coconut Fibre. India: Government of India, 2023. Disponível em: < http://coirboard.gov.in/?page_id=60 > . Acesso em: 14 set. 2023.

CORRADINI, E.; ROSA, M. de F.; MACEDO, B. P. De; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. C. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 837–846, 2009.

CUENCA, M. A. G. Importância econômica da cocoicultura no Brasil. **A Cultura do Coqueiro**, v. 2, edição, 2016. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7703&p_r_p_-996514994_topicold=7829>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CVM - COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS. **Resolução CVM nº 193, de 20 de outubro de 2023**. Dispõe sobre a elaboração e divulgação do relatório de informações financeiras relacionadas à sustentabilidade, com base no padrão internacional emitido pelo International Sustainability Standards Board - ISSB. Disponível em: <https://conteudo.cvm.gov.br/legislacao/resolucoes/resol193.html>. Acesso em: 07 ago. 2024.

DE SOUZA, M. C.; MOROZ, I.; CESARINO, I.; LEÃO, A. L.; JAWAID, M.; DIAS, O. A. T. **A Review of Natural Fibers Reinforced Composites for Railroad Applications**, Academic Enhancement Department, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2022.

DEL PERO, F., BERZI, L., ANTONACCI, A., & DELOGU, M. **Automotive lightweight design: Simulation modeling of mass-related consumption for electric vehicles**. *Machines*, 8(3). 2020. <https://doi.org/10.3390/machines8030051>

DEMIRDAĞ, C.; NODEHI, M.; BIDECCI, A.; BIDECCI, Ö. S.; TUNCER, M.; GENÇEL, O.; OZBAKKALOĞLU, T. The use of natural (coconut) and artificial (glass) fibers in cement – polymer composites: An experimental study. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 412, n. January, p. 2–9, 2024.

DIAS, O. A. T. **Desenvolvimento de compósitos de engenharia baseados em polipropileno reforçado com lignina** [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. 2016.

DIAS, O. A. T.; NEGRÃO, D. R.; SILVA, R. C.; FUNARI, C. S.; CESARINO, I.; LEAO, A. L. Studies of lignin as reinforcement for plastics composites. **Molecular Crystals and Liquid Crystals**, [s. l.], v. 628, n. 1, p. 72–78, 2016.

DIVYA, P. M.; ROOPA, B. S.; MANUSHA, C.; BALANNARA, P. **A concise review on oil extraction methods, nutritional and therapeutic role of coconut products**, Springer, 2023.

DOCA, V. P. D. O.; BARBOSA, M. L. D. A.; KUBOTA, F. I. Análise Matemática Da Fibra De Coco Em Painéis De Absorção Acústica Visando Aplicações Industriais. [s. l.], 2023.

DONG, Y.; GHATAURA, A.; TAKAGI, H.; HAROOSH, H. J.; NAKAGAITO, A. N.; LAU, K. T. Polylactic acid (PLA) biocomposites reinforced with coir fibres: Evaluation of mechanical performance and multifunctional properties. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [s. l.], v. 63, p. 76–84, 2014.

EJAZ, M. F.; ASLAM, M.; AZIZ, W.; KHALIL, M. J.; ALI, M. J.; RAHEEL, M.; AHMED, A. Coconut shell waste as an alternative lightweight aggregate in concrete-A review. **Advances in Materials Research (South Korea)**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 299–330, 2022.

ESTEVEZ, M. R. L.; ABUD, A. K. S.; BARCELLOS, K. M. Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. **Scientia plena**, [s. l.], v. 11, n. 03, p. 1–8, 2015. Disponível em: <<https://scientiaplenu.org.br/sp/article/download/2230/1151/9595>>

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS – FAO DATABASE. **Crops and livestock products**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 26 abr. 2023.

FAVRE, B. **Introduction to Sustainable Transports**, 2014.

FERREIRA, B. S.; DE CAMPOS, C. I.; RANGEL, E. C. Effect of heat treatment on the bonding quality of wood veneers to plywood production. **Ciencia Florestal**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 274–282, 2018.

FERREIRA, D. C. **Avaliação da qualidade do mesocarpo de Cocos nucifera L. para a produção de polpas kraft para papel e para dissolução**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. (Ed.). **A cultura do coco**. [s.l.] : Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

GAMA, N.; MAGINA, S.; BARROS-TIMMONS, A.; FERREIRA, A. Enhanced compatibility between coconut fibers/PP via chemical modification for 3D printing. **Progress in Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 213–223, 2022.

GAMA, N.; MAGINA, S.; BARROS-TIMMONS, A.; FERREIRA, A. Enhanced compatibility between coconut fibers/PP via chemical modification for 3D printing. **Progress in Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 213–223, 2022.

GANESHKUMAR B; GOPALA KRISHNA GVT. Spatial assessment of climate variability effects on coconut crops in Tamil Nadu State — a case study. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 148, n. 1–2, p. 121–129, 2022.

GIRALDELLI, M. A.; ALVES PEREIRA, O.; DOS SANTOS, S. F.; AGUIAR BRASIL, M.; TEODORO PINHEIRO, S. K. Propriedade da Fibra de Coco: Uma Revisão Sistemática. **Uniciências**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 34–38, 2021.

GUNASEKARAN, K.; ANNADURAI, R.; KUMAR, P. S. Long term study on compressive and bond strength of coconut shell aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 208–215, 2012.

GUNN, B. F.; BAUDOUIN, L.; OLSEN, K. M. Independent origins of cultivated coconut (*Cocos nucifera* L.) in the old world tropics. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 6, n. 6, 2011.

HARIMURTI, S.; PRIMASARI SUKAMDI, D.; KRISRIDWANY, A.; WIDADA, H.; NADHIFA, N.; RIZKI FEBRIANTI, F.; INTAN PRAMANA, F.; RISKA WAHITA, S.; AMID, A. **Green Technology on the Virgin Coconut Oil Production Using Enzyme from Pineapple Waste** RESEARCH ARTICLE 412 Indonesian Journal of Pharmacy Indonesian J Pharm. [s.l: s.n.].

HOCHER, V.; VERDEIL, J. L.; MALAURIE, B. *Cocos nucifera* coconut. . **Biotechnology of fruit and nut crops**, [s. l.], n. April, p. 90–112, 2005.

HU, L., STEVANOVIC, T., & RODRIGUE, D. **Compatibilization of kraft lignin-polyethylene composites using unreactive compatibilizers**. Journal of Applied Polymer Science, 131(21). <https://doi.org/10.1002/app.41040>. 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de Coco-da-baía**. [s.l.]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br>> Acesso em: 20 de mar. 2023.

IBGE, **Produção Agrícola Municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023

IGNACIO, I. F., & MIGUEL, T. S. **Research opportunities on the coconut (*Cocos nucifera* L.) using new technologies**. South African Journal of Botany, Vol. 141, pp. 414–420. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.030>. 2021.

ISLAM, M. N.; RAHMAN, M. R.; HAQUE, M. M.; HUQUE, M. M. Physico-mechanical properties of chemically treated coir reinforced polypropylene composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 192–198, 2010.

JAYAKUMAR, J.; JANAPRIYA, J.; SURENDRAN, S. Effect of drip fertigation and polythene mulching on growth and productivity of coconut (*Cocos nucifera* L.), water, nutrient use efficiency and economic benefits. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 182, p. 87–93, 2017.

KARAMANLIOGLU, M.; YESILKIR-BAYDAR, S. Production and characterization of a coconut oil incorporated gelatin-based film and its potential biomedical application. **Biomedical Materials (Bristol)**, [s. l.], v. 17, n. 4, 2022.

KUMAR PATEL, N.; MISHRA, V.; CHOUDHARY, T. Fabrication and characterization of epoxy composites reinforced with jute fibers and coconut fibers: A mechanical study. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 67, p. 495–500, 2022.

KUMAR, S. S.; RAJA, V. M. Processing and determination of mechanical properties of Prosopis juliflora bark, banana and coconut fiber reinforced hybrid bio composites for an engineering field. **Composites Science and Technology**, [s. l.], v. 208, n. May 2020, p. 108695, 2021. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108695>>

KUMAR, S.; SHAMPRASAD, M. S.; VARADARAJAN, Y. S.; SANGAMESHA, M. A. Coconut coir fiber reinforced polypropylene composites: Investigation on fracture toughness and mechanical properties. In: MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS 2021, Anais... : Elsevier Ltd, 2021.

LAN, G., YANG, J., YE, R. P., BOYJOO, Y., LIANG, J., LIU, X., ... QIAN, K. **Sustainable Carbon Materials toward Emerging Applications**. Small Methods, Vol. 5. John Wiley and Sons Inc. 2021, May 1.
<https://doi.org/10.1002/smt.202001250>

LEAO, A.; ROWELL, R. M. **Characterization and Factors Effecting Fiber Properties**. [s.l: s.n.]. Disponível em:
<<https://www.researchgate.net/publication/237255433>>.

LEÃO, A.L., CARVALHO, F.X., FROLLINI, E. Lignocellulose-Plastics Composites, plastic composite. **Periódico, USP & UNESP**, p. 118 - 132, 1997.

LEESING, R.; SOMDEE, T.; SIWINA, S.; NGERNYEN, Y.; FIALA, K. Production of 2G and 3G biodiesel, yeast oil, and sulfonated carbon catalyst from waste coconut meal: An integrated cascade biorefinery approach. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 199, p. 1093–1104, 2022.

LEFEUVRE, A., GARNIER, S., JACQUEMIN, L., PILLAIN, B., & SONNEMANN, G. **Anticipating in-use stocks of carbon fiber reinforced polymers and related waste flows generated by the commercial aeronautical sector until 2050**. Resources, Conservation and Recycling, 125, 264–272. 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.023>

LENDI, T. A.; MRIDHA, S. Influence of moisture absorption on impact strength and failure behavior of hybrid jute-carbon/ epoxy composite. In: ADVANCED MATERIALS RESEARCH 2011, **Anais...** [s.l: s.n.]

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R.; CASTAÑEDA-AYARZA, J. A. Municipal solid waste treatment in Brazil: A comprehensive review. **Energy Nexus**, [s. l.], v. 11, n. March, 2023.

LOIOLA, C. M. **Diversidade genética em coqueiro-gigante (*Cocos nucifera* L.) Por meio de marcadores microssatélites e características morfoagronômicas**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

LUCCHINO, E. C.; GENNARO, G.; FAVOINO, F.; GOIA, F. Jo ur na l P r f. **Building and Environment**, [s. l.], p. 109704, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109704>>

MARINA, A. M.; CHE MAN, Y. B.; AMIN, I. **Virgin coconut oil: emerging functional food oil**, 2009.

MENG, J., GUO, M., & HAN, Y. **Studies on properties of the coconut carbon fiber and yarn**. *Advanced Materials Research*, 503–504, 1137–1141. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.503-504.1137>

MIOLA, B.; FROTA, M. M. M.; OLIVEIRA, A. G. De; UCHÔA, K. M.; LEANDRO FILHO, F. de A. Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 627–634, 2020.

NADZRI, S. N. I. H. A.; SULTAN, M. T. H.; SHAH, A. U. M.; SAFRI, S. N. A.; TALIB, A. R. A.; JAWAID, M.; BASRI, A. A. A comprehensive review of coconut shell powder composites: Preparation, processing, and characterization. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, [s. l.], v. 35, n. 12, p. 2641–2664, 2022.

NALDONY, P.; FLORES-SAHAGUN, T. H. S.; SATYANARAYANA, K. G. Effect of the type of fiber (coconut, eucalyptus, or pine) and compatibilizer on the properties of extruded composites of recycled high density polyethylene. **Journal of Composite Materials**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 45–56, 2016.

NARENDAR, R., & PRIYA DASAN, K. **Chemical treatments of coir pith: Morphology, chemical composition, thermal and water retention behavior**. *Composites Part B: Engineering*, 56, 770–779. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.09.028>

NUNES, M. U. C. Pó da Casca do Coco. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pos-producao/coprodutos/casca-fibras-e-po-/po-da-casca-do-coco>. Acesso em: 24 mar. 2024./

OBASI, H. C.; MARK, U. C.; MARK, U. Improving the mechanical properties of polypropylene composites with coconut shell particles. *Composites and Advanced Materials*, [s. l.], v. 30, p. 263498332110074, 2021.

- OLIVEIRA, A. S., VILLELA, L. S., VELOSO, M. C. R. A., SILVA, D. W., MENDES, L. M., & GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Compósitos com matriz de gesso reforçada com fibras de madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, 48(127), e3260. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.23>. 2020.
- OSTERMANN, M., GRENZ, J., TRIEBUS, M., CERDAS, F., MARTEN, T., TRÖSTER, T., & HERRMANN, C. **Integrating Prospective Scenarios in Life Cycle Engineering: Case Study of Lightweight Structures**. *Energies*, 16(8). 2023. <https://doi.org/10.3390/en16083371>
- PASSATORE, C. R.; LEÃO, A. L.; DOS SANTOS ROSA, D. Preparation of polypropylene composites with high levels of coir short fiber for use in products by injection. In: KEY ENGINEERING MATERIALS 2016, **Anais...** : Trans Tech Publications Ltd, 2016.
- PATHMESWARAN, C.; LOKUPITIYA, E.; WAIDYARATHNE, K. P.; LOKUPITIYA, R. S. Impact of extreme weather events on coconut productivity in three climatic zones of Sri Lanka. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 96, p. 47–53, 2018.
- PRAKASH MARIMUTHU, K.; MOHAN KUMAR, S.; RAVI KUMAR, V.; GOVINDARAJU, H. K. Characterization of mechanical properties of epoxy reinforced with glass fiber and coconut fiber. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 16, p. 661–667, 2019.
- R Core Team (2023). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>. (Accessed on July 04, 2023).
- RIBEIRO, C. B.; DE CARVALHO, W. H. P.; MENDES, R. S. **Análise Da Viabilidade Financeira Da Utilização Da Fibra De Coco Como Reforço Em Compósito**, 2021.
- RICHELY, E.; NUEZ, L.; PÉREZ, J.; RIVARD, C.; BALEY, C.; BOURMAUD, A.; GUESSASMA, S.; BEAUGRAND, J. Influence of defects on the tensile behaviour of flax fibres: Cellulose microfibrils evolution by synchrotron X-ray diffraction and finite element modelling. **Composites Part C: Open Access**, [s. l.], v. 9, n. July, 2022.
- ROKBI, M.; KHALDOUNE, A.; SANJAY, M. R.; SENTHAMARAIKANNAN, P.; ATI, A.; SIENGCHIN, S. Effect of processing parameters on tensile properties of recycled polypropylene based composites reinforced with jute fabrics. **International Journal of Lightweight Materials and Manufacture**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 144–149, 2020.
- S P, J.; A, S. J.; C, R.; M, A. K. Development of hybrid composite with natural fillers for mechanical property and machinability study. **Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology**, [s. l.], 2023.
- SAGBANSUA, L., & BALO, F. **A novel simulation model for development of renewable materials with waste-natural substance in sustainable buildings**.

Journal of Cleaner Production, 158, 245–260. 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.107>

SAMPAIO, A. P. C.; SILVA, A. K. P.; DE AMORIM, J. R. A.; SANTIAGO, A. D.; DE MIRANDA, F. R.; BARROS, V. S.; SALES, M. C. L.; DE FIGUEIRÊDO, M. C. B. Reducing the carbon and water footprints of Brazilian green coconut. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 707–723, 2021.

SARTOR, M. B., PROSDOCINI, H. M., GONDAK, M. O., BRONZATO, G. R. F., LEÃO, A. L. **Produção e caracterização mecânica do compósito de polipropileno e casca de eucalipto**. Energia na Agricultura, vol. 32, n. 4, p. 342-348, 2017.

SERRA-PARAREDA, F.; TARRÉS, Q.; ESPINACH, F. X.; VILASECA, F.; MUTJÉ, P.; DELGADO-AGUILAR, M. Influence of lignin content on the intrinsic modulus of natural fibers and on the stiffness of composite materials. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 155, p. 81–90, 2020.

SINGH, C. P.; PATEL, R. V.; HASAN, M. F.; YADAV, A.; KUMAR, V.; KUMAR, A. Fabrication and evaluation of physical and mechanical properties of jute and coconut coir reinforced polymer matrix composite. In: MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS 2020, **Anais...** : Elsevier Ltd, 2020.

SNIJDER, M. H. B. **Coir based building and packaging materials : final report of Project CFC/FIGHF/11**. [s.l.: 2005].

SOUSA SANTOS, M. M.; LACERDA, C. F.; ROCHA NEVES, A. L.; DE SOUSA, C. H. C.; DE ALBUQUERQUE RIBEIRO, A.; ALVES BEZERRA, M.; DA SILVA ARAÚJO, I. C.; GHEYI, H. R. Ecophysiology of the tall coconut growing under different coastal areas of northeastern Brazil. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 232, 2020.

SOUZA, A. G.; DE LIMA, G. F.; RODRIGUES, R. C. L. B.; CESARINO, I.; LEÃO, A. L.; ROSA, D. S. A New Approach for Conversion of Eucalyptus Lignocellulosic Biomass into Cellulose Nanostructures: A Method that Can Be Applied in Industry. **Journal of Natural Fibers**, [s. l.], v. 18, n. 10, p. 1501–1511, 2021.

STELTE, W.; REDDY, N.; BARSBERG, S.; SANADI, A. R. Coir from coconut processing waste as a raw material for applications beyond traditional uses. **BioResources**, 18(1), 2187-2212, 2023.

SUDHAKARA, P.; JAGADEESH, D.; WANG, Y.; VENKATA PRASAD, C.; DEVI, A. P. K.; BALAKRISHNAN, G.; KIM, B. S.; SONG, J. I. Fabrication of Borassus fruit lignocellulose fiber/PP composites and comparison with jute, sisal and coir fibers. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 98, n. 1, p. 1002–1010, 2013.

SURIYAPRAKASH, M.; NALLUSAMY, M.; SHRI RAM SHANJAI, K.; AKASH, N.; ROHITH, V. Experimental investigation on mechanical properties of Ramie, Hemp fiber and coconut shell particle hybrid composites with reinforced epoxy resin.

Materials Today: Proceedings, [s. l.], v. 72, p. 2952–2956, 2023.

TECHAWINYUTHAM, L.; FRICK, A.; SIENGCHIN, S. Polypropylene/Maleic Anhydride Grafted Polypropylene (MAgPP)/Coconut Fiber Composites. *Advances in Mechanical Engineering*, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 1–9, 2016.

TEIXEIRA, A. H. de C.; DE MIRANDA, F. R.; LEIVAS, J. F.; PACHECO, E. P.; GARÇON, E. A. M. Water productivity assessments for dwarf coconut by using Landsat 8 images and agrometeorological data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 155, p. 150–158, 2019.

THAKUR, V. K., THAKUR, M. K., RAGHAVAN, P., & KESSLER, M. R. **Progress in green polymer composites from lignin for multifunctional applications: A review**. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2(5), 1072–1092. 2014. <https://doi.org/10.1021/sc500087z>

TOLINGGI, W. K.; SALMAN, D.; RAHMADANI; ISWOYO, H. Farmer regeneration and knowledge co-creation in the sustainability of coconut agribusiness in Gorontalo, Indonesia. **Open Agriculture**, [s. l.], v. 8, n. 1, 2023.

TORRES-GINER, S.; HILLIOU, L.; MELENDEZ-RODRIGUEZ, B.; FIGUEROA-LOPEZ, K. J.; MADALENA, D.; CABEDO, L.; COVAS, J. A.; VICENTE, A. A.; LAGARON, J. M. Melt processability, characterization, and antibacterial activity of compression-molded green composite sheets made of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) reinforced with coconut fibers impregnated with oregano essential oil. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 17, n. May, p. 39–49, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.05.002>>

UNIT – Centro Universitário Tiradentes. 2023. **Qual a diferença entre coco verde e coco seco?** Disponível em: <https://pe.unit.br/blog/noticias/qual-a-diferenca-entre-coco-verde-e-coco-seco/>. Acesso em: 17 set. 2024.

URBIA. **Parque Ibirapuera**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.urbiaparques.com.br/parques/sobre/ibirapuera>. Acesso em: 06 ago. 2024.

WANG, Y., LI, A. Y., ZHANG, S. H., GUO, B. B., & NIU, D. T. **A review on new methods of recycling waste carbon fiber and its application in construction and industry**. *Construction and Building Materials*, Vol. 367. Elsevier Ltd. 2023, February 27. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130301>

ZHOU, Y., RANGARI, V., MAHFUZ, H., JEELANI, S., & MALLICK, P. K. **Experimental study on thermal and mechanical behavior of polypropylene, talc/polypropylene and polypropylene/clay nanocomposites**. *Materials Science and Engineering A*, 402(1–2), 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.04.014>