


## Desenvolvimento e caracterização de um compósito polimérico a partir do endocarpo de murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) e poliolefinas recicladas

Development and characterization of a polymeric composite from the endocarp of murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) and recycled polyolefins

William Arthur dos Santos de Lima<sup>1</sup>, Ana Carolina de Assis Sousa<sup>2</sup>, David Rodrigues Brabo<sup>2</sup> , Jucélio Lima Lopes Junior<sup>2</sup>, Carmen Gilda Barroso Tavares Dias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Rua Augusto Corrêa, 01, 66075-110, Belém, PA, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rua Augusto Corrêa, 01, 66075-110, Belém, PA, Brasil.

e-mail: carolina\_sousa3@yahoo.com.br, davidbrabo2014@yahoo.com.br, juceliolopesjr@gmail.com, cgbtd@ufpa.br, williarthur@yahoo.com.br

### RESUMO

A intensa atividade industrial na região Amazônica gera grande quantidade de resíduos, entre eles, os resíduos lignocelulósicos não madeireiros. O presente estudo avaliou a utilização do tegumento de murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) na produção de um compósito de madeira plástica, em que se utilizou a proporção 70/30 de polipropileno e tegumento de murumuru e 2% de anidrido maleico. Os compósitos de madeira plástica foram moldados por compressão em uma prensa termo hidráulica. O tegumento de murumuru foi caracterizado quanto ao seu teor de lignina e celulose e quanto a sua morfologia através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os compósitos foram avaliados quanto a sua morfologia por meio do MEV e quanto as suas propriedades mecânicas por meio do ensaio de resistência a flexão, onde as placas de PP puro apresentaram desempenho mecânico 21,7% superior ao compósito com 30% de resíduo, para valores de significância ( $P < 0,05$ ) não houve diferença estática entre as placas. Os padrões de espectrometria de infravermelho indicaram que a composição da carga vegetal se caracteriza de constituintes como lignina, celulose e hemicelulose. Os resultados obtidos indicaram bom desempenho da madeira plástica, desta forma, o objetivo deste trabalho foi alcançado.

**Palavras-chave:** Cadeia Produtiva; Compósitos; Comercialização de Recicláveis; Economia circular.

### ABSTRACT

The intense industrial activity in the Amazon region generates a large amount of waste, including non-wood lignocellulosic waste. The present study evaluated the use of murumuru tegument (*Astrocaryum murumuru* Mart.) in the production of a plastic wood composite, in which a 70/30 proportion of polypropylene and murumuru tegument and 2% maleic anhydride were used. The wood-plastic composites were compression molded in a thermo-hydraulic press. The murumuru tegument was characterized as to its lignin and cellulose content and as to its morphology through Scanning Electron Microscopy (SEM). The composites were evaluated for their morphology through SEM and for their mechanical properties through the flexural strength test, where the pure PP plates showed a mechanical performance 21.7% higher than the composite with 30% residue, for Significance values ( $P < 0.05$ ) there was no static difference between the plates. The infrared spectrometry patterns

indicated that the composition of the vegetal filler is characterized by constituents such as lignin, cellulose and hemicellulose. The results obtained indicated good performance of plastic wood, thus, the objective of this work was achieved.

**Keywords:** Production Chain; Composites; Commercialization of Recyclables; Circular Economy.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento desenfreado no consumo de produtos industrializados vem de encontro ao crescimento na produção de resíduos sólidos que está diretamente ligado a criação de novos materiais, produtos sintéticos ou naturais gerados ao decorrer dos anos, acarretando assim, diversos problemas de cunho econômico, ambiental e social [1].

A geração de resíduos plásticos gera prejuízos ambientais, pois enormes quantidades são descartadas indiscriminadamente em praticamente todo o planeta, onde apenas uma parcela desse passivo tem destinação ambientalmente correta. Em alguns países propostas tecnológicas foram criadas para mudança desse cenário com viés de reaproveitamento [2, 3] e também implementações de estratégias para reciclagem inteligente [4].

Grande parte dos materiais descartados em lixões são polímeros sintéticos e naturais modificados, esses materiais por sua vez, apresentam um tempo de degradação relativamente longo, causando sérios problemas em detrimento do seu acúmulo. A implementação de tecnologia de plásticos biodegradáveis [5] e revalorização de polímeros é uma delas, já que a ideia visa a reinserção do material de forma sustentável.

Outra problemática está no setor madeireiro, com a alta demanda na utilização de matéria prima de origem vegetal, que gera quantidades expressivas de resíduos proveniente do beneficiamento da matéria-prima, sendo assim um dos grandes problemas na sociedade [6]. Estes resíduos por sua vez, podem ser minimizados através de medidas ambientalmente favoráveis com o reaproveitamento de madeira recuperada [7] ou de resíduos [8], utilização de flocos de madeira (material lignocelulósico) para produção de painéis compósitos [9] incentivando a diminuição desses impactos [10].

Atualmente devido ao crescente pensamento em relação à preservação ambiental e desenvolvimento sustentável, buscaram-se alternativas que reduzam ao máximo a demanda por matéria prima florestal e favoreçam tecnologias de baixo impacto, como a produção de WPC oriundo de madeira e polímero reciclado [7], contribuindo para a economia circular e a valorização de resíduos para desenvolvimento de novos produtos [11]. Além disso, os WPC possuem propriedades únicas que podem diferir dos materiais originais.

Neste sentido, os materiais vegetais podem fornecer suporte físico à matriz termoplástica e aumentar sua resistência mecânica [12, 13]. Além de que a matriz termoplástica pode encapsular as fibras vegetais conferindo resistência à absorção de água, umidade e inchamento [14]. As matérias primas vegetais como fibras e cargas por exemplo, são derivadas de resíduos agrícolas, florestais ou de processamento de produtos de madeira, bambu, fibras liberianas, palhas de culturas entre outras, que podem servir como solução adequada para novos produtos [15].

Polipropileno (PP) e Polietileno (PE) são as matrizes que apresentam um grande consumo em decorrência da vasta aplicabilidade no setor de embalagens [16]. Esses termoplásticos também são os mais utilizadas para WPCs por serem remoldáveis, ao contrário dos termofixos, que permitem o uso mais eficiente de matérias-primas por meio da revalorização. Além disso, o PP possui a vantagem de ser reprocessado pelo menos até seis vezes, mantendo a maioria das propriedades essenciais do material [12].

Compósitos de madeira plástica são materiais ecologicamente corretos desenvolvidos a partir da interação entre a indústria florestal e a indústria de materiais plásticos [11]. Matrizes poliméricas termoplásticas e constituintes lignocelulósicos são matérias primas base que compõe os compósitos de madeira plástica (WPCs). A produção desse material está diretamente relacionada ao desenvolvimento sustentável por trabalhar com bases oriundas de pós produção e consumo [17]. O consumo desenfreado e as crescentes preocupações ambientais foram as principais forças motrizes para o lançamento de WPCs como alternativa a utilização de madeira, afim de minimizar a necessidade desta.

Um compósito de madeira plástica pode ser fabricado a partir de diversos tipos de moldagem, por exemplo: injeção, compressão e extrusão [18, 19]. Esses métodos e suas variáveis de processamento podem influenciar a morfologia e as propriedades dos compósitos [20].

Neste cenário, apresentam-se os resíduos gerados nas agroindústrias de Belém, mais especificamente as indústrias de produção de óleos amazônicos, que neste trabalho será representada pela Beraca Ingredientes Naturais Ltda. e entre esses resíduos há o tegumento do murumuru, que atualmente é encaminhado para queima em caldeiras, por se tratar de um material altamente lenhoso. Este trabalho discutirá a viabilidade do processo de produção de um compósito de madeira plástica – WPC, utilizando-se como matéria-prima um polímero reciclado e o tegumento lenhoso da espécie vegetal *Astrocaryum murumuru*.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram o tegumento de murumurugerado pelo processo de extração da manteiga na Beraca e a poliolefina proveniente de recipientes plásticos utilizados para envasar óleos e manteigas de outras espécies vegetais produzidas em cooperativas fornecedoras da Beraca.

### 2.1. Processamento do tegumento de murumuru

O processo teve início com o recebimento das sementes de murumuru úmidas na empresa Beraca, estas são provenientes das cooperativas parceiras da empresa. A polpa do fruto foi retirada de forma manual. Em um secador industrial rotativo com capacidade para 10 ton (Figura 1), foi realizada a secagem da semente, que apresentava umidade inicial em torno de 30%. O equipamento foi aquecido por fornalha de biomassa e exaustor de ar quente, o processo ocorreu sob temperatura entre 70 a 80°C por um período de 36 horas.

A: tegumento de murumuru; B: tegumento triturado

O tegumento (Figura 2A) foi triturado em moinho de martelo na fábrica utilizando-se tela de 3 mm. Em seguida o material moído foi peneirado obtendo o pó com granulometria abaixo de 42 mesh (Figura 2B).

O fluxograma abaixo (Figura 3) mostra as etapas do beneficiamento do fruto até a obtenção do tegumento de murumuru.

O teor de umidade do pó foi determinado conforme a norma ABNT NBR 14929, em que a amostra foi aquecida em uma estufa (marca QUIMIS, modelo Q314M) a  $110 \pm 3^\circ\text{C}$  por 5 h até o peso do material estabilizar. O resultado foi de 2,45%.

A verificação do teor de lignina e celulose do endocarpo do murumuru foram realizados no Laboratório ISI BIOMASSA do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).



Figura 1: Secador rotativo industrial.



Figura 2: Tegumento de murumuru (A); tegumento triturado (B).

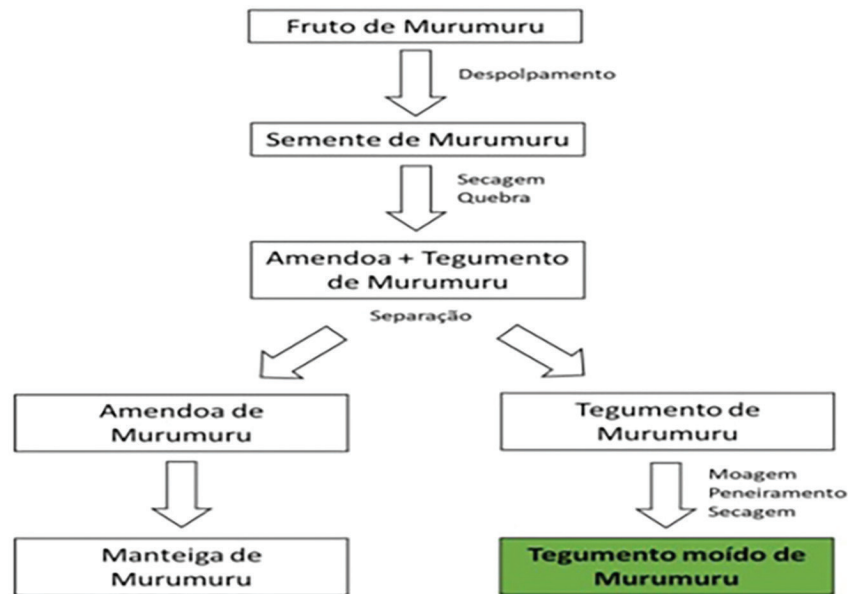


Figura 3: Fluxo de obtenção do tegumento moído de murumuru.

Tabela 1: Formulação dos compósitos.

POLIOLEFINA	TEGUMENTO DE MURUMURU	MALEATO
%	70	2
Massa (g)	315,7	9,02

## 2.2. Produção dos compósitos

A proporção da mistura foi determinada de acordo a metodologia apresentada por BASALP *et al.* [11] e BÜTÜN *et al.* [7]. Sendo assim, estabeleceu-se a proporção 70/30 de poliolefina e tegumento, respectivamente, com 2% de anidrido maleico em relação ao peso total da mistura. As proporções e massas dos componentes do compósito estão detalhadas na Tabela 1 abaixo.

Os componentes foram submetidos ao processo de tamboreamento, em recipiente de alumínio fechado, para encrustamento do material lignocelulósico à superfície do polímero sob rotação e aquecimento de 180°C a 200°C durante 2 horas.

Após o tamboreamento (Figura 4A) os biocompósitos foram adicionados em uma extrusora monorosca para realização da mistura Figura 4B. As temperaturas das 3 zonas de aquecimento da extrusora foram reguladas em 180°C a uma rotação de 100rpm. As amostras extrudadas foram resfriadas em água em temperatura ambiente, secas em estufa a 70°C por 48 h e moídas utilizando moinho de facas Figura 4C, onde foram obtidos grânulos que apresentaram tamanho médio de 1,5 mm.

Os grânulos foram despejados em um molde de aço inoxidável com dimensões de 24 centímetros de comprimento por 16 de largura para moldagem das placas compósitas via compressão em prensa termo hidráulica a 180°C, sob pressão de 20 Mpa, durante 10 minutos Figura 4D.

## 2.3. Caracterização dos compósitos

Após obtenção da placa, foram confeccionados os corpos de-prova via usinagem mecânica para obtenção das dimensões em conformidade com os padrões da ASTM.

## 2.4. FTIR

Amostras foram preparadas para análise contendo polipropileno puro, fração de 30% de carga na matriz de polipropileno e 2% de agente acoplante PP-g-MAH. Em seguida foram moídos e secos em estufa à 70°C durante 24 horas para diminuição de umidade.

Os padrões de espectrometria no infravermelho foram realizadas no Instituto de Geociências (Laboratório de Caracterização Mineral - UFPA) com um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier da



**Figura 4:** Processamento para produção de do composto: tamboreamento (A); extrusão (B); peletização (C); termo prensagem (D).

marca Thermo Fisher Scientific, modelo Nicolet iS50 FTIR operando no modo de reflexão total atenuada (ATR). Cada espectro foi obtido usando 30 varreduras que variam de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  com uma resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

## 2.5. Ensaio de flexão

As propriedades mecânicas de flexão dos compósitos de polipropileno e murumuru foram avaliadas por método de flexão em 3 pontos a fim de determinar os parâmetros referentes a resistência à flexão e módulo.

As propriedades de flexão dos compósitos de madeira e plástico foram determinadas de acordo com as especificações ASTM D 790-90 17 com uma máquina de ensaio universal EMIC D500 no Laboratório de Eco-compósitos do Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará. A velocidade de ensaio foi ajustada para 5 mm/min.

## 2.6. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia da carga (MM) e dos compósitos de madeira plástica (PP\_MM) foram examinadas via microscópio eletrônico de varredura.

Para esta análise o equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura modelo VEGA3 da TESCAN acoplado ao equipamento de microanálise de energia dispersiva (EDS) operando a uma tensão de 15Kv no Laboratório de Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Pará, Campus – Belém.

## 2.7. Análise estatística

Um teste de análise de variância unidirecional (ANOVA) foi realizado para avaliar qualquer diferença significativa entre as médias entre os diferentes ensaios mecânicos de flexão para o PP e PLACA 30 de carga de vegetal. A diferença de médias foi considerada significativa em  $P \ll 0,05$ .

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Teor de lignina e celulose

O teor de lignina e celulose do endocarpo do murumuru foi de 28,59% e 35,68% respectivamente, encontrando-se dentro da faixa de valores para os teores de lignina e celulose de outras biomassas encontradas na literatura, conforme a Tabela 2.

As misturas de celulose, hemicelulose, lignina e seus derivados podem compensar as fragilidades de um monocomponente, graças ao seu grande potencial de biocompatibilidade e complementaridade de desempenho [23]. E ainda o fracionamento completo destes componentes pode maximizar o valor dos resíduos agrícolas [24].

#### 3.2. Ensaio de flexão

O ensaio determinou a propriedade de resistência deste material, com a adição de 30% no valor de carga do material lignocelulósico na matriz polimérica de polipropileno, tal acréscimo não foi capaz de modificar significativamente os valores de resistência à flexão nos compósitos de madeira plástica.

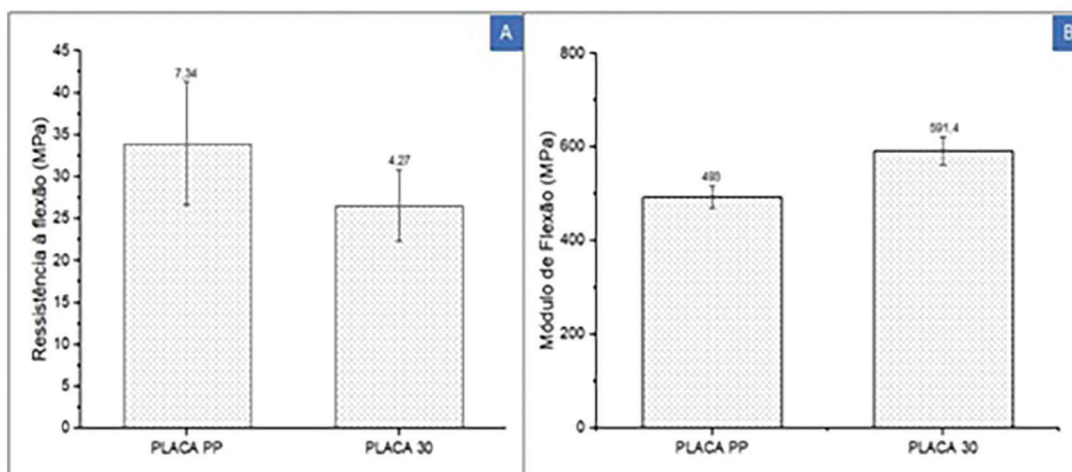
As placas de PP e 30% de carga apresentam os valores 34MPa e 26,6MPa para resistência à flexão respectivamente como demonstrado na Figura 5A. Para valores de significância de ( $P < 0,05$ ) não houve diferença estática entre a placa de polipropileno pura e o compósito com 30%. A condição pode ser justificada em decorrência de poucos pontos de ancoragem entre a matriz e carga, inviabilizando a transferência de tensões na estrutura do polímero. Matrizes com baixo teor de carga particulada, geralmente reduzem a resistência à flexão [25]. No entanto, a adição de agente acoplante como PP-g-MAH ajuda a minimizar a queda de resistência [26].

Os resultados de módulo apresentaram os valores em de 493MPa e 591,4MPa respectivamente como apresentado na Figura 5B. Para valores de significância de ( $P < 0,05$ ) não houve diferença estáticas entre a placa de polipropileno pura e o compósito com 30%.

No geral, a presença de carga não promove mudanças significativas em resistência e módulo quando comparado a matriz de polipropileno. De modo que a adição da carga funcione como material de preenchimento, semelhante ao descrito por CATTO *et al.* [27].

**Tabela 2:** Comparativo do teor de lignina e celulose em diferentes compósitos.

ESPÉCIES	CELULOSE (%)	LIGNINA (%)	REFERÊNCIA
Pinho	40	27,7	EFFAH <i>et al.</i> [21]
Eucalipto	45	27,7	EFFAH <i>et al.</i> [21]
Acacia Negra	35,67	13,67	EFFAH <i>et al.</i> [21]
Casuarina	38,11	25,6	EFFAH <i>et al.</i> [21]
Fibra de batata	42,6	44,13	PATIL <i>et al.</i> [22]



**Figura 5:** Análise de flexão: resistência à flexão (A); módulo de flexão (B).

### 3.3. FTIR

A composição da carga vegetal de murumuru se caracteriza em decorrência de constituintes como lignina, celulose e hemicelulose presente.

O espectro confirmam claramente a intensidade de banda referente ao estiramento do C=O do grupo acetil presente na estrutura da hemicelulose em comprimento de onda na faixa de  $1735\text{ cm}^{-1}$ , semelhante ao relatado por HUNG *et al.* [28].

As bandas de polipropileno da matriz pura e dos compósitos são nitidamente notadas (Figura 6), vibrações simétricas de CH<sub>2</sub> na faixa de  $2920$  e  $2960\text{ cm}^{-1}$  e vibrações assimétricas e simétricas de CH em  $1375$  e  $1452\text{ cm}^{-1}$ , alongamento de ligações CC em  $1167\text{ cm}^{-1}$  e deformação angular de CH em  $890\text{ cm}^{-1}$ , estando de acordo com a literatura consultada (Tabela 3). Nenhum pico referente a outros polímeros foi notado, caracterizando apenas como matriz pura e não blenda polimérica.

As hidroxilas livres na superfície da carga vegetal podem interagir com anidrido maleico através de ligações covalente e hidrogênio, funcionando como agente acoplante em compósitos de madeira plástica. As bandas referentes ao grupo -OH presente na carga vegetal de murumuru foi observada em  $3352\text{ cm}^{-1}$  com o processamento dos compostos para produção de WPC ligações de hidrogênio foram geradas e consequentemente deslocamento na banda para  $3340\text{ cm}^{-1}$  [32].

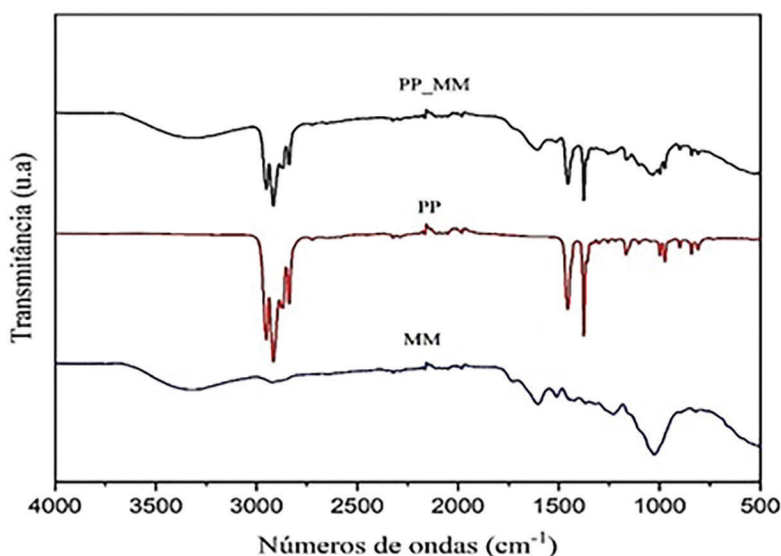
Ligações éster também pode ser geradas com a reação de anidrido e grupos hidroxila para fins de acoplamento em torno de  $1704\text{ cm}^{-1}$ . Porém a presença dos grupos acetil na hemicelulose e carbonil aldeído na lignina presente na carga em torno de  $1738\text{ cm}^{-1}$ , dificulta a visualização da banda, a mesma condição foi verificado por LIN *et al.* [29].

### 3.4. Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV)

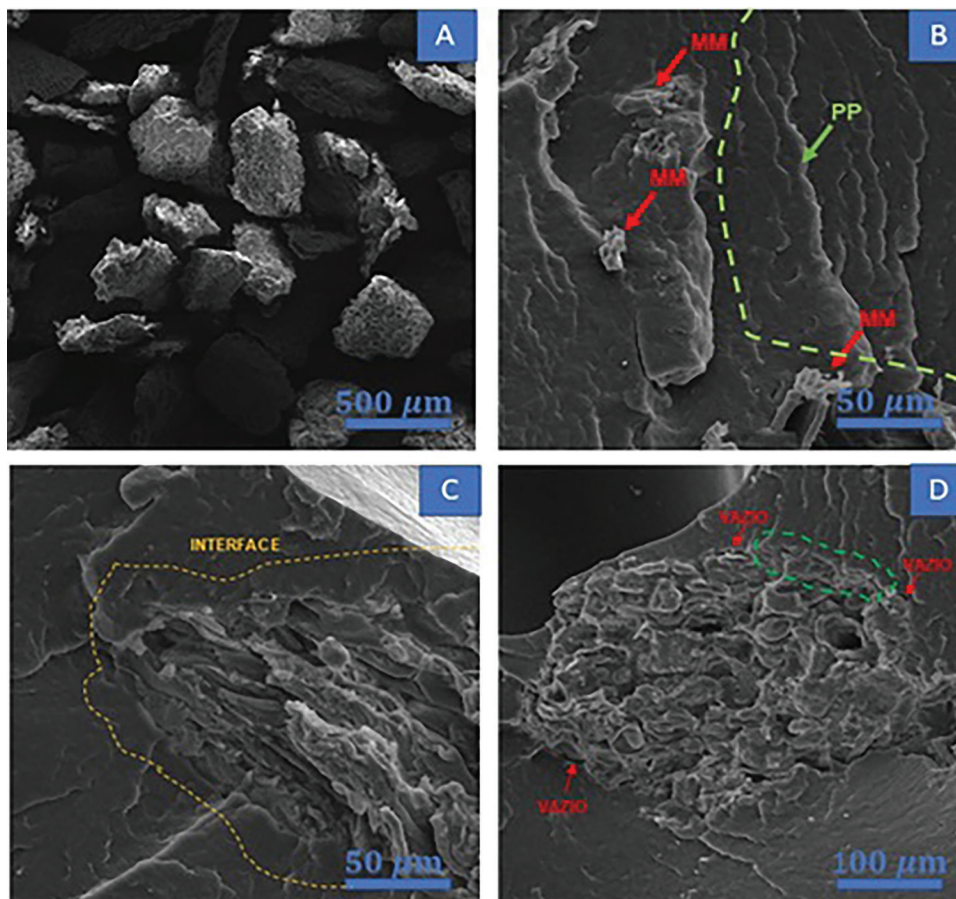
A análise em microscopia de varredura eletrônica da carga vegetal de murumuru pode ser observada na Figura 7A. Foi possível verificar que a morfologia de carga regular é rugosa na superfície em decorrência

**Tabela 3:** Estudos que indicam comprimento de onda para PP e carga vegetal.

REFERÊNCIA	CARACTERÍSTICA	NÚMERO DE ONDA $\text{cm}^{-1}$
LIN <i>et al.</i> [29]	Alongamento C – H	2952, 2918 e 2838
KARIMPOUR-MOTLAGH <i>et al.</i> [30]	Flexão CH e alongamento CH <sub>3</sub>	2720
CATTO <i>et al.</i> [27], STEFANI <i>et al.</i> [31]	CH deformação assimétrica	1456
CATTO <i>et al.</i> [27], STEFANI <i>et al.</i> [31]	CH <sub>3</sub> deformação simétrica	1376
CATTO <i>et al.</i> [27]	Vibração de curvatura do carbono terciário	1165
KARIMPOUR-MOTLAGH <i>et al.</i> [30]	Deformação C – H fora do plano	974, 841 e 808



**Figura 6:** Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier das amostras de murumuru, polipropileno e compósito.



**Figura 7:** Microscopia de varredura eletrônica de varredura: murumuru (A); constituintes do compósito (B); interface matriz/carga (C); regiões de vazios e acoplamentos (D).

de material amorfo na estrutura vegetal. É possível observar também tamanho em partículas com tamanho médio em torno de 300 μm.

A morfologia dos compósitos analisados em 300x e 600x demonstraram várias condições em relação a distribuição de carga, efeito de acoplamento, vazios, interface matriz/carga e direção da fratura. Ao analisar a Figura 7B é possível notar na região da fratura uma menor presença de carga na matriz, condição essa que pode estar relacionada a uma baixa mistura durante o processamento do compósito. Os componentes são claramente observados e indicados nas setas bem como a região de baixa distribuição.

Os polímeros e estruturas vegetais tem baixa ação de adesão em decorrência das condições moleculares criando vazios entre as interfaces matriz/carga. Porém a adição do agente acoplante favorece a adesão destes constituintes. A Figura 7C apresenta a interface do compósito PP\_MM com duas regiões bem definidas, uma região mais lisa com pequenas estrias características do polipropileno e outra bastante rugosa proveniente da carga vegetal de murumuru [27].

Na Figura 7D é possível observar pontos de vazios em decorrência da baixa adesão entre carga e matriz e outras regiões com a fraca ligação interfacial [33]. Essa situação pode ser justificada por uma menor distribuição do compatibilizante no compósito, criando zonas de baixo acoplamento. Essas condições podem interferir diretamente em uma escala macro desse material.

#### 4. CONCLUSÕES

O biocompósito à base de polipropileno e resíduo de murumuru foi produzido com sucesso com teor de tegumento de 30% em peso. Os resultados dos testes mecânicos foram satisfatórios, e são competitivos com outros produtos de diferentes matérias primas vegetais madeireiros e não-madeireiros. Os resultados de força e resistência das placas produzidas tornam este produto com grande potencial para confecção de vários tipos de filmes, embalagens primárias e secundárias, revestimentos e pisos, por exemplo. A disponibilidade das matérias primas que está aumentando a partir da maior produção de manteiga de murumuru poderá alavancar esta produção e contribuir para a economia circular deste processo.



## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal do Pará pela cessão da sua estrutura e equipamentos para o desenvolvimento desta pesquisa, e ao seu corpo técnico pelo auxílio nas atividades práticas da pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] LEAL FILHO, W.L.; HAVEA, P.H.; BALOGUN, A.L., *et al.*, “Plastic debris on Pacific Islands : Ecological and health implications.”, *The Science of the Total Environment*, v. 670, pp. 181–187, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.181>. PubMed PMID: 31018438.
- [2] HAHLADAKIS, J.N.; IACOVIDOU, E., “An overview of the challenges and trade-offs in closing the loop of post-consumer plastic waste (PCPW): Focus on recycling”, *Journal of Hazardous Materials*, v. 380, pp. 120887, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120887>. PubMed PMID: 31330387.
- [3] PALETTA, A.; LEAL FILHO, W.; BALOGUN, A.-L., *et al.*, “Barriers and challenges to plastics valorisation in the context of a circular economy: case studies from Italy”, *Journal of Cleaner Production*, v. 241, pp. 118149, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118149>.
- [4] WAGNER, F.; PEETERS, J.R.; DE KEYZER, J., *et al.*, “Towards a more circular economy for WEEE plastics – part A: development of innovative recycling strategies”, *Waste Management*, v. 100, pp. 269–277, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.026>. PubMed PMID: 31563840.
- [5] GARDAS, B.B.; RAUT, R.D.; NARKHEDE, B., “Identifying critical success factors to facilitate reusable plastic packaging towards sustainable supply chain management.”, *Journal of Environmental Management*, v. 236, pp. 81–92, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.113>. PubMed PMID: 30716694.
- [6] LIIKANEN, M., *et al.*, “Construction and Demolition Waste as a Raw Material for Wood Polymer Composites – Assessment of Environmental Impacts.”, *Journal of Cleaner Production*, v. 225, pp. 716–27, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.348>.
- [7] BÜTÜN, F.Y.; SAUERBIER, P.; MILITZ, H., *et al.*, “The effect of fibreboard (MDF) disintegration technique on wood polymer composites (WPC) produced with recovered wood particles.”, *Composites. Part A, Applied Science and Manufacturing*, v. 118, pp. 312–316, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.01.006>.
- [8] BARBIRATO, G.; FIORELLI, J.; MEJIA, J., *et al.*, “Quasi-static and dynamic response of oriented strand boards based on balsa wood waste.”, *Composite Structures*, v. 219, pp. 83–89, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.062>.
- [9] TAO, Y.; LI, P.; CAI, L., *et al.*, “Flammability and mechanical properties of composites fabricated with CaCO<sub>3</sub>-filled pine flakes and Phenol Formaldehyde resin.”, *Composites. Part B, Engineering*, v. 167, pp. 1–6, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.005>.
- [10] BEIGBEDER, J.; SOCCALINGAME, L.; PERRIN, D., *et al.*, “How to Manage Biocomposites Wastes End of Life? A Life Cycle Assessment Approach (LCA) Focused on Polypropylene (PP)/Wood Flour and Polylactic Acid (PLA)/Flax Fibres Biocomposites”, *Waste Management*, v. 83, pp. 184–93, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.012>.
- [11] BASALP, D.; TIHMINLIOGLU, F.; SOFUOGLU, S.C., *et al.*, “Utilization of municipal plastic and wood waste in industrial manufacturing of wood plastic composites”, *Waste and Biomass Valorization*, v. 11, n. 10, pp. 5419–5430, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-020-00986-7>.
- [12] JUBINVILLE, D.; ESMIZADEH, E.; TZOGANAKIS, C., *et al.*, “Thermo-mechanical recycling of polypropylene for the facile and scalable fabrication of highly loaded wood plastic composites”, *Composites. Part B, Engineering*, v. 219, pp. 108873, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108873>.
- [13] TARRÉS, Q.; VILASECA, F.; HERRERA-FRANCO, P.J., *et al.*, “Interface and micromechanical characterization of tensile strength of bio-based composites from polypropylene and henequen strands”, *Industrial Crops and Products*, v. 132, pp. 319–326, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.010>.
- [14] LIU, X.; ZHENG, G.; LUO, Q., *et al.*, “Fatigue behavior of carbon fibre reinforced plastic and aluminum single-lap adhesive joints after the transverse pre-impact”, *International Journal of Fatigue*, v. 144, pp. 105973, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105973>.
- [15] KHADEMIESLAM, H.; KHATIBI, R.; POUR, A.F., “Investigation on physical and mechanical properties of WPC from corn stalk (lignocellulosic fiber) and HDPE”, *Macromolecular Symposia*, v. 320, n. 1, pp. 70–74, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/masy.201251009>.
- [16] ERIKSEN, M.K.; ASTRUP, T.F., “Characterisation of source-separated, rigid plastic waste and evaluation of recycling initiatives: Effects of product design and source-separation system”, *Waste Management*

- (New York, N.Y.), v. 87, pp. 161–172, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.006>. PubMed PMID: 31109515.
- [17] ZHOU, H.; LI, W.; HAO, X., *et al.*, “Recycling end-of-life WPC products into ultra-high-filled, high-performance wood fiber/polyethylene composites: a sustainable strategy for clean and cyclic processing in the WPC industry”, *Journal of Materials Research and Technology*, v. 18, pp. 1–14, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.02.091>.
- [18] RAJ, S.S.; KANNAN, T.K.; KATHIRESAN, M., *et al.*, “Why not stir casting for polymer composites? Investigations on poly lactic acid based wood plastic composite”, *Materials Today: Proceedings*, v. 45, pp. 862–868, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.926>.
- [19] RAMESH, R.S.; SADASHIVAPPA, K.; SHARANAPRABHU, L., “Physical and mechanical properties: Hot pressed phenol formaldehyde based wood plastic composite”, *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 11, pp. 25331–25340, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.336>.
- [20] LOPEZ, Y.M.; GONÇALVES, F.G.; PAES, J.B., *et al.*, “Comparative study of different technological processes on the physical-mechanical properties and flammability of wood plastic composite”, *Journal of Building Engineering*, v. 52, pp. 104391, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104391>.
- [21] EFFAH, B.; VAN REENEN, A.; MEINCKEN, M., “Mechanical properties of wood-plastic composites made from various wood species with different compatibilisers.”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, v. 76, n. 1, pp. 57–68, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-017-1186-7>.
- [22] PATIL, A.Y.; BANAPURMATH, N.R.; YARADODDI, J.S., *et al.*, “Experimental and simulation studies on waste vegetable peels as bio-composite fillers for light duty applications.”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 44, n. 9, pp. 7895–7907, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s13369-019-03951-2>.
- [23] YANG, J.; AN, X.; LIU, L., *et al.*, “Cellulose, hemicellulose, lignin, and their derivatives as multi-components of bio-based feedstocks for 3D printing”, *Carbohydrate Polymers*, v. 250, n. 29, pp. 116881, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116881>. PubMed PMID: 33049824.
- [24] ZHONG, X.; YUAN, R.; ZHANG, B., *et al.*, “Full fractionation of cellulose, hemicellulose, and lignin in pith-leaf containing corn stover by one-step treatment using aqueous formic acid”, *Industrial Crops and Products*, v. 172, pp. 113962, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113962>.
- [25] MASHKOUR, M.; RANJBAR, Y., “Superparamagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ wood flour/polypropylene nanocomposites: physical and mechanical properties”, *Industrial Crops and Products*, v. 111, pp. 47–54, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.068>.
- [26] CHATTERJEE, A.; SINGH, H., “Development and characterization of peanut shell flour-polypropylene composite”, *Journal of The Institution of Engineers*, v. 100, n. 2, pp. 147–153, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s40033-019-00200-6>.
- [27] CATTO, A.L.; DAHLEM JÚNIOR, M.A.; HANSEN, B., *et al.*, “Characterization of polypropylene composites using yerba mate fibers as reinforcing filler”, *Composites. Part B, Engineering*, v. 174, pp. 106935, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106935>.
- [28] HUNG, K.C.; CHANG, W.C.; XU, J.W., *et al.*, “Comparison of the physico-mechanical and weathering properties of wood–plastic composites made of wood fibers from discarded parts of pomelo trees and polypropylene”, *Polymers*, v. 13, n. 16, pp. 2681, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/polym13162681>. PubMed PMID: 34451222.
- [29] LIN, J.H.; HUANG, C.-L.; LIN, Z.-I., *et al.*, “Far-infrared emissive polypropylene/wood flour wood plastic composites: Manufacturing technique and property evaluations.”, *Journal of Composite Materials*, v. 50, n. 15, pp. 2099–2109, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0021998315602137>.
- [30] KARIMPOUR-MOTLAGH, N., *et al.*, “Influence of Polypropylene and Nanoclay on Thermal and Thermo-Oxidative Degradation of Poly(Lactide Acid): TG-FTIR, TG-DSC Studies and Kinetic Analysis.”, *Thermochimica Acta*, v. 691, pp. 178709, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178709>.
- [31] STEFANI, D.; DAHLEM JÚNIOR, M.A.; FRANCISQUETTI, E.L., *et al.*, “Influence of coupling agent on post-consumption polypropylene composites reinforced with malt bagasse fibers”, *Journal of Composite Materials*, v. 55, n. 29, pp. 4333–4346, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/00219983211037044>.
- [32] VÖLTZ, L.R.; DI GUISEPPE, I.; GENG, S., *et al.*, “The effect of recycling on wood-fiber thermoplastic composites”, *Polymers*, v. 12, n. 8, pp. 1750, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/polym12081750>. PubMed PMID: 32764421.
- [33] YI, S.; XU, S.; LI, Y., *et al.*, “Synergistic toughening effects of grafting modification and elastomer-olefin block copolymer addition on the fracture resistance of wood particle/polypropylene/elastomer composites”, *Materials & Design*, v. 181, pp. 107918, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107918>.