Vol. 23, n.° 1, enero-junio de 2025
ISSN impreso: 1657-6527 • ISSN en línea: 2145-8502

FUENTES
EL REVENTÓN ENERGÉTICO

# Comparação entre resistência à tração de compósitos de poliéster com adição de aerosil e resíduo de madeira

# Comparación entre resistencia a la tracción de compuestos de poliéster con adición de aerosil y residuo de madera

# Comparison between tensile strength of polyester composites with aerosil and wood residue

**Larissa dos Santos Borges[1]*, Roberto Yuri Costa Dias[2], Jerson Rogério Pinheiro Vaz[1], Roberto Tetsuo Fujiyama[1]**

[1]Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará
[2]Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade federal do Pará

*E-mail: larissa.borges@ananindeua.ufpa.br *

Recebido: 17 de setembro de 2024. Aceito: 30 de maio de 2025.

**Resumo**

Diante de um consumo exacerbado das matérias-primas disponíveis no planeta e da crescente demanda por novos produtos e recursos, a combinação de materiais torna-se uma alternativa, visando atender necessidades existentes. Nesse sentido, a classe de materiais denominados de compósitos se enquadra nesta perspectiva, estes são compreendidos como misturas, gerando materiais multifásicos que apresentam uma relação de propriedades provenientes das referidas fases que o constituem, geralmente, tem-se a presença de duas fases, denominadas de matriz e reforço. Portanto, esta pesquisa verifica a resistência à tração de compósitos poliméricos com reforço de aerosil e carga de resíduos de madeira (Jatobá), ambos na forma de partículas, visando estabelecer o contraste entre a utilização de partículas de origem sintética e natural. Para isso foram confeccionados corpos de prova a partir de moldes de silicone dimensionados de acordo com a norma ASTM D638. A fase matriz selecionada foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, juntamente com o catalisador MEK V388. O resíduo de madeira foi homogeneizado utilizando peneira granulométrica de malha 14, que equivale a 1,4 mm. Para a obtenção das propriedades mecânicas foram realizados ensaios de resistência à tração. Os compósitos com adição de aerosil e de resíduos de madeira apresentaram valores médios de tensão máxima de 32,26 (± 4,37) MPa e 11,76 (± 1,70) MPa, respectivamente. Em relação à matriz pura, o uso de aerosil resultou em aumento de 19,73%, enquanto o resíduo de madeira levou a uma redução de 56,34%. Além disso, a resistência à tração do compósito com carga natural foi aproximadamente 63,55% inferior àquela observada no compósito com carga sintética.

**Palavras-chave:** compósitos poliméricos, propriedades mecânicas, carga natural, reforço sintético.

**Forma de citar:** Borges, L. S., Dias, R. Y. C., Martin, C. A. G., Vaz, G. R. P., & Fujiyama, R. T. (2025). Comparação entre resistência à tração de compósitos de poliéster com adição de aerosil e resíduo de madeira. *Revista Fuentes, el Reventón Energético*. 23(1), 95-104. doi:https://doi.org/10.18273/revfue.v23n1-2025007.

**Resumen**

Ante un consumo exacerbado de las materias primas disponibles en el planeta y la creciente demanda de nuevos productos y recursos, la combinación de materiales se convierte en una alternativa, con el fin de satisfacer necesidades existentes. En este sentido, la clase de materiales denominados compuestos se enmarca en esta perspectiva, éstos son entendidos como mezclas, generando materiales multifásicos que presentan una relación de propiedades procedentes de las fases mencionadas que lo constituyen, por lo general, se tiene la presencia de dos fases, denominadas matriz y refuerzo. Por lo tanto, esta investigación verifica la resistencia a la tracción de compuestos poliméricos con refuerzo de aerosil y carga de residuos de madera (Jatoba), ambos en forma de partículas, con el fin de establecer el contraste entre el uso de partículas de origen sintético y natural. Para ello se fabricaron probetas a partir de moldes de silicona dimensionados según la norma ASTM D638. La fase matriz seleccionada fue la resina de poliéster tereftálico insaturada y pre-acelerada, junto con el catalizador MEK V388. El residuo de madera fue homogéneneizado utilizando tamiz granulométrico de malla 14, que equivale a 1,4 mm. Para la obtención de las propiedades mecánicas se realizaron ensayos de resistencia a la tracción. Los materiales compuestos con aerosil añadido y residuos de madera presentaron unos valores medios de tensión máxima de 32,26 (± 4,37) MPa y 11,76 (± 1,70) MPa, respectivamente. En comparación con la matriz pura, el uso de aerosil produjo un aumento del 19,73%, mientras que los residuos de madera dieron lugar a una reducción del 56,34%. Además, la resistencia a la tracción del material con relleno natural fue aproximadamente un 63,55% inferior a la observada en el material con relleno sintético.

**Palabras clave:** compuestos poliméricos, propiedades mecánicas, carga natural, refuerzo sintético.

**Abstract**

Faced with an exacerbated consumption of the raw materials available on the planet and the growing demand for new products and resources, the combination of materials becomes an alternative to meet existing needs. In this sense, the class of materials called composites fits into this perspective, these are understood as mixtures, generating multiphase materials that present a relationship of properties from the phases that constitute it, generally, there are two phases, called matrix and reinforcement. Therefore, this research verifies the tensile strength of polymeric composites with aerosil reinforcement and wood waste (Jatoba) loading, both in the form of particles, aiming to establish the contrast between the use of synthetic and natural origin particles. For this purpose, specimens were made from silicone molds dimensioned according to ASTM D638. The selected matrix phase was unsaturated and pre-accelerated terephthalic polyester resin, together with MEK V388 catalyst. The wood residue was homogenized using sieve mesh 14, which is equivalent to 1.4 mm. To obtain the mechanical properties were performed tensile strength tests. The composite materials with added aerosil and wood waste had average maximum tensile strength values of 32.26 (± 4.37) MPa and 11.76 (± 1.70) MPa, respectively. Compared to the pure matrix, the use of aerosil resulted in an increase of 19.73%, while wood waste led to a reduction of 56.34%. In addition, the tensile strength of the material with natural filler was approximately 63.55% lower than that observed in the material with synthetic filler.

**Keywords:** polymer composites, mechanical properties, natural load, synthetic reinforcement.

## 1. Introdução

A produção de compósitos biodegradáveis, incorporando resíduos como reforço, tem ganhado destaque como alternativa sustentável para a substituição de materiais convencionais (Fernandes et al., 2023). Essa classe de materiais, são compreendidos como misturas, resultando em materiais multifásicos que apresentam uma relação de propriedades provenientes das referidas fases que o constituem, geralmente, tem-se a presença de duas fases, denominadas de matriz e reforço (Ragondet, 2005; Rodrigues & Fujiyama, 2010).

Aerosil, também designado como microesferas de vidro, possui dimensões submicroscópicas e consiste em um pó amorfo, inodoro e insípido, de cor branca. Denominado quimicamente de sílica coloidal, ou dióxido de silício coloidal, consiste em uma carga tixotrópica, a pequena dimensão das partículas de aerosil bem como sua grande superfície de contato permitem boas características de fluxo ao material (Ribeiro, 2015). Dentre as principais funções deste material, tem-se a alteração de propriedades reológicas de sistemas líquidos a partir da produção de uma rede de agregados de SiO (Óxido de Slício), adequando fluidez e condições de trabalho almejadas (Hard, 2013).

A madeira é um recurso de suma importância para a sociedade atual, inúmeros objetos são confeccionados a partir desta matéria-prima, por exemplo, setores como construção civil e utilizam este como material estrutural (Pereira et al., 2011). Entretanto, verifica-se uma alta produção de resíduos por parte das indústrias que processam a madeira, nesse sentido,

tem-se a importância do reaproveitamento de tais resíduos produzidos, almejando reduzir os seus impactos do descarte destes substratos (Pinto et al., 2016; Mendonça et al., 2024). O Jatobá (Hymenaea courbaril), é uma árvore de grande porte, sua presença é verificada principalmente em florestas de terra firme e alta várzea, costumeiramente presente em solos argilosos, destaca-se por alcançar elevadas altura e diâmetro. Está árvore é encontrada do México ao sul do Brasil e o principal produto oriundo dela é a madeira, utilizada e construções e móveis, além disso, indígenas a utilizam para a produção de canoas (Hopkins, 2004).

A utilização de materiais naturais incorporados a matrizes poliméricas propõe a substituição de materiais sintéticos nos mais variados setores da indústria, como exemplo destes materiais, tem-se vidro, carbono, aramida e aerosil (Lima et al., 2013; Cardoso et al., 2023; Dias et al., 2024; Soares et al., 2024; Daly et al., 2024). Pesquisadores têm evidenciado o potencial desses materiais, na melhoria das propriedades mecânicas de compósitos, inclusive em aplicações estruturais e industriais (Fujiyama et al., 2013; Teixeira et al., 2022; Cardoso et al., 2024).

O presente estudo avalia o comportamento mecânico em tração de compósitos poliméricos com adição de aerosil e resíduo de madeira conhecida como Jatobá, ambos na forma de partículas, visando estabelecer o contraste entre a utilização de materiais de origem sintética e natural.

## 2. Metodologia

Os materiais utilizados como reforço e carga nos compósitos foram fornecidos pelo Laboratório de Materiais Compósitos (LABCOM) da Universidade Federal do Pará (UFPA), tanto o aerosil quanto o resíduo de madeira foram obtidos na forma de partículas. O resíduo de Jatobá foi submetido a peneiramento utilizando uma peneira granulométrica de malha 14, equivalente a aberturas de 1,4 mm. O aerosil foi utilizado em sua forma bruta. A Figura 1a ilustra as partículas de aerosil (microesferas de vidro), enquanto a Figura 1b expõe o resultado no peneiramento do resíduo de Jatobá e a peneira granulométrica utilizada é mostrada na Figura 1c.

(a)

(b)

(c)

**Figura 1**. Materiais particulados e equipamento utilizado no peneiramento: a) Aerosil; b) Resíduo de madeira Jatobá; c) Peneira granulométrica

Para a realização dos testes de resistência à tração foram confeccionados corpos de prova utilizando moldes de silicone com geometria estipulada pela norma ASTM D368. A Figura 2 ilustra detalhes das características dimensionais dos corpos de prova fabricados para os testes de resistência à tração. A região central do corpo de prova delimitada pela cota de 60 mm é designada como comprimento útil. Para que os ensaios sejam válidos, a falha dos corpos de prova deve ocorrer nesta região.

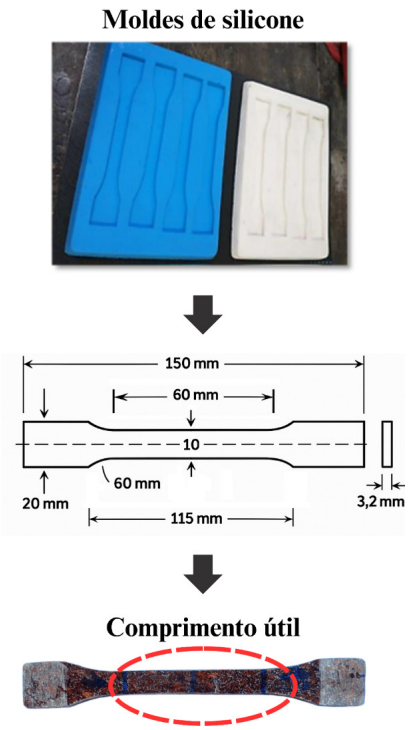



**Figura 2**. Geometria e especificações dos corpos de prova conforme com a norma ASTM D638

A fase matriz selecionada para os compósitos foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada. Devido ao processo de cura da matriz ser demorado foi utilizado o agente de cura MEK V388. O tempo de cura com auxílio do catalisador foi de 24 horas. Posteriormente houve uma pós-cura em estufa à temperatura de aproximadamente 60 oC por 5 horas. A proporção utilizada foi 0,5% de acelerador, isto é, 0,3 g em relação a 61,5 g de resina, massa necessária para o preenchimento total dos moldes. A resina e o agente de cura utilizados estão apresentados na Figura 3.

**Figura 3.** Resina poliéster tereftálica e agente de cura MEK V388 (peróxido de metiletilcetona)

Para estimar a quantidade de material necessária à fabricação dos corpos de prova, as quatro cavidades dos moldes de silicone foram completamente preenchidas, e o volume total do material resultante foi determinado por pesagem em balança de precisão. A Tabela 1 apresenta os valores de massa obtidos, assim como a fração mássica (F. Mássica) correspondente em relação à quantidade de matriz polimérica utilizada.

**Tabela 2**. Propriedades mecânicas dos compósitos materiais

| Material | Massa (g) | F. Mássica (%) |
|---|---|---|
| Aerosil | 1,33 | 2,16 |
| Resíduo de madeira | 7,90 | 12,84 |

*Frações em relação a 61,5 g de resina poliéster.

As etapas metodológicas conduzidas nesta pesquisa estão sequenciadas no fluxograma apresentado na Figura 4. O critério de seleção dos particulados envolveu a análise do estado dos materiais, sendo classificados como homogêneos ou não homogêneos. O aerosil, por apresentar aspecto mais homogêneo, foi utilizado em sua forma bruta. Enquanto o resíduo de Jatobá precisou passar por peneiramento.

Após a preparação dos materiais particulados, deu-se início à etapa de moldagem dos corpos de prova. Para isso, empregou-se matriz polimérica à base de resina poliéster insaturada, na qual foram incorporados os particulados em duas formulações distintas contendo: 61,5 g de poliéster e 1,33 g de aerossil; 61,5 g de poliéster e 7,9 g de resíduo de Jatobá. Em ambas as formulações, foi adicionado 0,3 g de catalisador (peróxido de metil-etil-cetona) para acelerar a cura da resina. Os corpos de prova obtidos apresentaram rigidez e integridade geométrica adequadas para os ensaios mecânicos, conforme ilustrado na Figura 5.

Foram produzidos, ao todo, oito corpos de prova, sendo quatro de cada formulação. Para a caracterização do comportamento mecânico dos compósitos, foram realizados ensaios de tração uniaxial em máquina universal de ensaios EMIC modelo DL 10000. O equipamento foi operado com célula de carga de 5 kN e velocidade de deslocamento do cabeçote fixada em 5 mm/min, conforme especificações estabelecidas pela norma técnica ASTM D638.

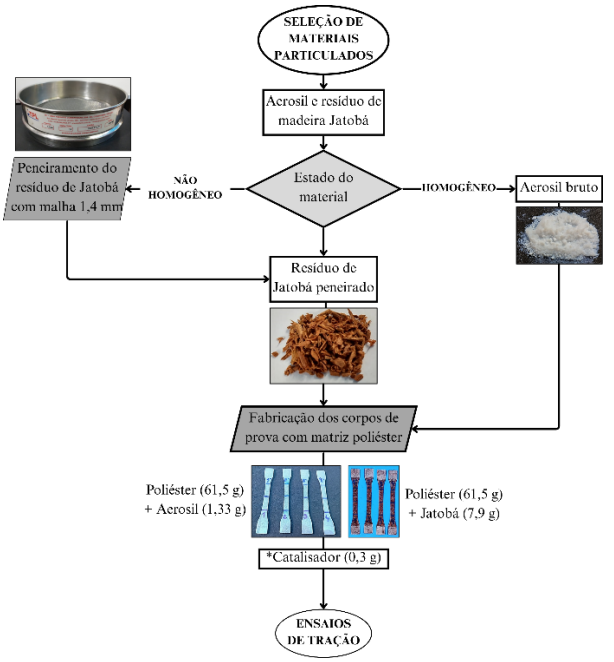
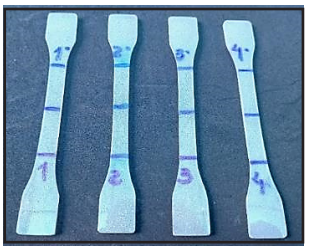
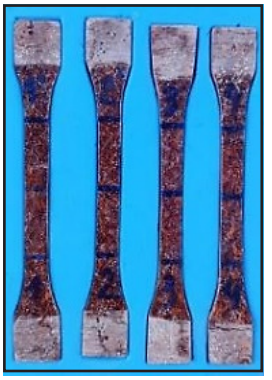



**Figura 4.** Etapas gerais envolvidas no processo de fabricação dos compósitos poliméricos



(a)



(b)

**Figura 5**. Corpos de prova aptos para os ensaios de resistência à tração: a) Compósito de poliéster + Aerosil; b) Compósito de poliéster + Madeira (Jatobá)

A aquisição dos dados de força e deslocamento foi realizada por meio do software nativo da máquina, o qual forneceu parâmetros para plotagem das curvas tensão-deformação e outras variáveis de interesse, como módulo de elasticidade, tensão máxima e alongamento na ruptura. Esses dados foram posteriormente tratados e analisados estatisticamente para interpretação dos resultados. A Figura 6 mostra a máquina de ensaios mecânicos e o equipamento de microscópio digital Vedo 1000x USB LED, utilizado para a aquisição de imagens.

(a)

(b)

**Figura 6.** Instrumentação utilizada para caracterização experimental dos materiais: a) Máquina universal de ensaios mecânicos; b) Microscópio portátil

## 3. Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta as propriedades obtidas pelos ensaios de tração para os compósitos particulados, comparando seu desempenho com o da matriz pura. As propriedades listadas incluem força máxima (F [N]), tensão máxima (σMáx. [MPa]), deformação máxima (εMáx. [mm/mm]) e módulo de elasticidade (E [MPa]).

**Tabela 2**. Propriedades mecânicas dos compósitos particulados e da matriz pura

| Material | $F$ (N) | $\sigma_{Máx.}$ (MPa) | $\varepsilon_{Máx.}$ (mm/mm) | $E$ (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| Aerosil | 1172,5 (±169,9) | 32,3 (±4,4) | 0,09 (± 0,02) | 988,2 (± 120,0) |
| Resíduo de Jatobá | 487,9 (± 54,9) | 11,8 (± 1,7) | 0,034 (± 0,005) | 480,7 (± 38,9) |
| Matriz pura | - | 26,9 (±4,6) | 0,016 (± 0,003) | 1893,1 (± 151,8) |

Observou-se que o compósito polimérico reforçado com aerosil apresentou valores de tensão máxima de tração e deformação superiores em mais de duas vezes em relação aos verificados no compósito reforçado com resíduo de madeira de Jatobá. A Figura 7 apresenta o gráfico Tensão x Deformação dos compósitos fabricados, as curvas são representativas, sendo uma média dos valores de cada corpo de prova.

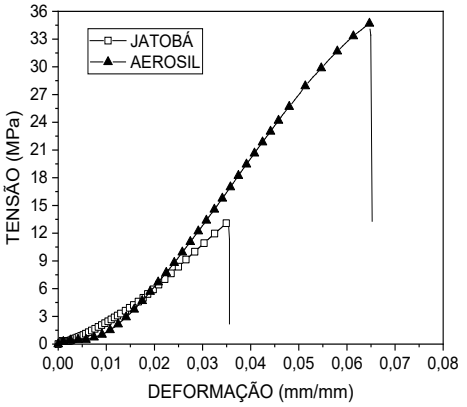



**Figura 7**. Comportamento Tensão x Deformação dos compósitos fabricados

A análise das curvas supracitadas evidencia comportamento mais dúctil e menos frágil no compósito reforçado com aerosil, se comparado ao comportamento apresentado pelo compósito com carga de madeira (Jatobá). O módulo de Young obtido para o compósito com aerosil foi inferior ao da matriz pura, indicando aumento na ductilidade e redução da rigidez. O compósito com resíduo de jatobá apresentou o menor módulo, refletindo a baixa rigidez e a limitada interação entre a matriz e as partículas adicionadas.

A resistência à tração dos materiais fabricados nesta pesquisa está em concordância dados obtidos da literatura acadêmica que aborda compósitos com reforços particulados, conforme similaridades exibidas na Tabela 3, na qual são exibidas informações acerca da fração mássica (F. Mássica [%]), tensão máxima (σMáx. [MPa]), bem como a variação percentual (acréscimo ou decréscimo) nas propriedades em comparação com os valores obtidos neste estudo (Var. [%]).

O compósito reforçado com aerosil desenvolvido nesta pesquisa, apresentou desempenho superior ao de compósitos reforçados com partículas sintéticas (PHB/MV e PHB/PP-g MA/MV), que exibiram resistência à tração entre 19,0 e 26,2 MPa (Moreno, 2018). As exceções são os compósitos contendo 2,4% em massa de aerosil descrito por Ribeiro (2015), que apresentou resistência de 42,51 MPa e aqueles contendo PA-6/vidro (Massaro et al., 2013). Possivelmente, esses contrastes no desempenho são devidos a fatores como contrastes nos processos de fabricação e na composição dos materiais, dispersão na matriz ou granulometria do reforço utilizado.

**Tabela 3**. Similaridade entre os resultados de resistência à tração deste estudo e os de compósitos afins descritos na literatura

| Material | Fração Mássica (%) | $\sigma_{Máx.}$ (MPa) | Var. (%) | Ref.. |
|---|---|---|---|---|
| Poliéster/ Pó de aerosil | 2,4 | 42,5 (± 1,9) | -24,0 | Ribeiro, 2015 |
| PHB/MV | 1,0 | 19,0 (± 0,9) | +70,0 | Moreno, 2018 |
| PHB/MV | 3,0 | 25,1 (± 1,5) | +28,7 | Moreno, 2018 |
| PHB/PP-g MA/ MV | 1,0 | 26,2 (± 1,5) | +23,3 | Moreno, 2018 |
| PHB/PP-g MA/ MV | 3,0 | 23,7 (± 2,0) | +36,3 | Moreno, 2018 |
| PA-6/vidro150 | - | 52 (± 1) | -37,9 | Massaro *et al*., 2013 |
| PA-6/vidro 270 | - | 56 (± 1) | -42,3 | Massaro *et al*., 2013 |
| Poliéster / Pó de maçaram-duba | 9,6 | 14,9 (± 1,1) | -20,8 | Rodrigues, 2008 |
| Poliéster/ Lascas de Maracatiara | 12,7 | 9,2 (± 1,5) | +28,3 | Dos Santos *et al*., 2018 |
| Poliéster/ Lascas de Marupá | 12,7 | 9,4 (± 1,7) | +25,5 | Dos Santos *et al*., 2018 |
| Poliéster / Pó de Marupá | 5,6 | 20,8 (± 0,8) | -43,3 | Ribeiro, 2015 |
| Poliéster / Pó de Quarubá | 5,9 | 20,9 (± 1,4) | -43,5 | Ribeiro, 2015 |
| Poliéster/ Lascas de Angelim Pedra | 12,7 | 8,8 (± 0,9) | +34,1 | Dos Santos *et al*., 2018 |
| Poliéster/ resíduo de pau amarelo | - | 12,5 (± 1,1) | -5,6 | Figueredo *et al*., 2016 |
| Poliéster/ resíduo de pau amarelo | 26,4 | 23,0 (± 0,1) | -48,7 | Figueredo *et al*., 2016 |
| Poliéster + Aerosil | 2,2 | 32,3 (±4,4) | - | Esta pesquisa |
| Poliéster + Resíduo de madeira | 12,8 | 11,8 (± 1,7) | - | Esta pesquisa |

*PHB: Poli(hidroxibutirato)/ * PP-g-MA: Poli(propileno-graftizado-anidrido maleico)/ * MV: Microesferas de vidro/* PA-6/vidro150: Poliamida – 6 com partículas de vidro menores do que 106 µm/* PA-6/ vidro 270: Poliamida – 6 com partículas de vidro menores do que 53 µm

Enquanto o compósito de poliéster com carga de Jatobá superou os valores registrados para compósitos contendo lascas de madeira, como Maracatiara, Marupá e Angelim Pedra (Dos Santos et al., 2018), cujas resistências variaram entre 8,8 e 9,4 MPa. No entanto, seu desempenho foi inferior ao observado em compósitos formulados com partículas finas, como pó de Marupá e Quarubá (Ribeiro, 2015), que alcançaram resistências superiores a 20 MPa. Esses resultados evidenciam que a forma, a granulometria e o teor do material incorporado à matriz polimérica exercem influência significativa sobre o comportamento mecânico final do material.

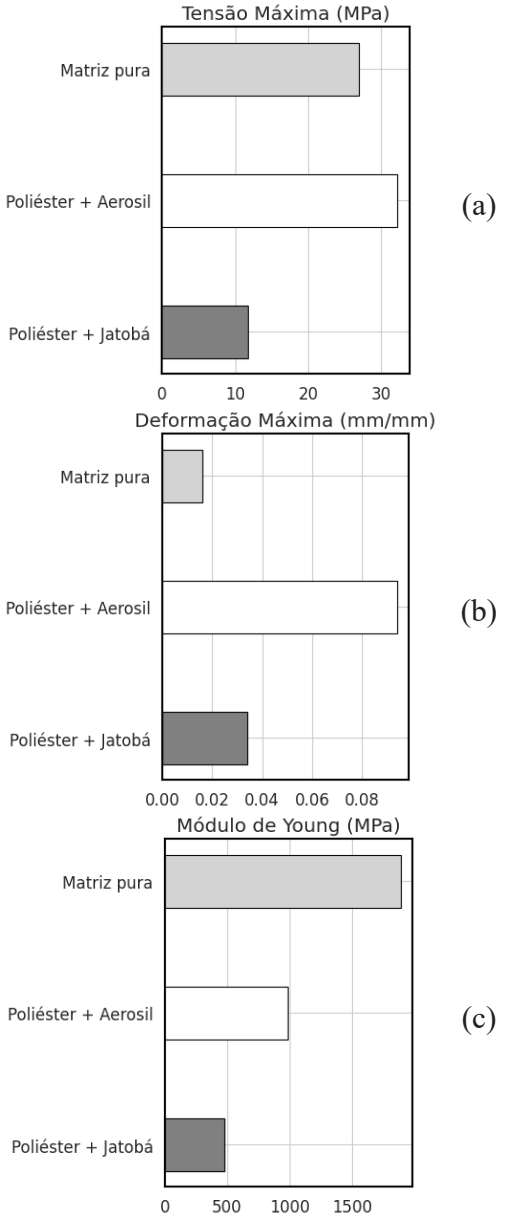
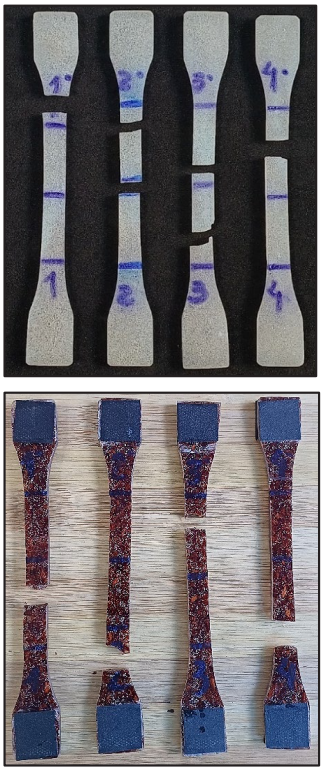



**Figura 8**. Propriedades mecânicas dos compósitos fabricados: a) Tensão máxima; b) Deformação na carga máxima; c) Módulo de Young

A Figura 8 apresenta, gráficos comparativos das propriedades de tensão máxima, deformação e Módulo de Young dos compósitos fabricados em relação à matriz pura.

Verificam-se maiores resistência mecânica e deformação na carga máxima para o compósito polimérico reforçado por partículas de aerosil. A matriz pura apresenta menor deformação, porém, possui maior rigidez, atestada pelo maior valor de módulo de Young. O compósito polimérico com carga de resíduo de madeira jatobá apresentou valores intermediários de deformação e rigidez, porém o menor valor de tensão máxima. A Figura 9 mostra os corpos de prova fraturados após o ensaio de tração.

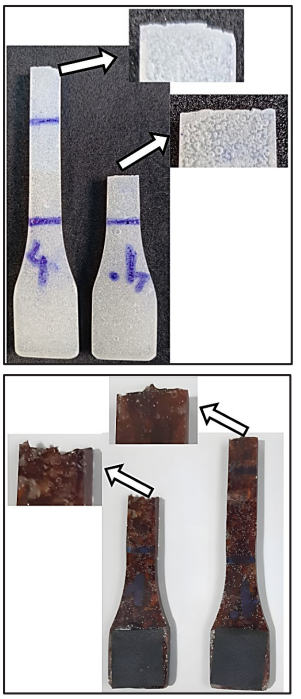


(a)

(b)

**Figura 9**. Corpos de prova fraturados após ensaios de resistência à tração: a) Compósito Poliéster + Aerosil; b) Compósito Poliéster + Madeira (Jatobá)

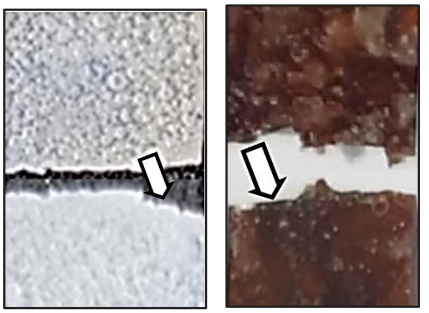
A Figura 10 apresenta, detalhes dos compósitos com adição de aerosil e resíduo de Jatobá após a falha, bem como a ampliação da região de fratura dos materiais. Enquanto a Figura 11 reflete a diferença entre as superfícies de fratura dos corpos de prova apresentados, sendo verificadas irregularidades quanto ao encaixe das duas partes dos corpos de prova, tal circunstância pode justificada pela pulverização de certa parcela de material após a falha.



(a)

(b)

**Figura 10**. Detalhes da fratura dos materiais fabricados: a) Compósito Poliéster + Aerosil; b) Compósito Poliéster + Madeira (Jatobá)



(a) (b)

**Figura 11**. Irregularidades nos encaixes das duas extremidades das amostras de teste: a) Compósito Poliéster + Aerosil; b) Compósito Poliéster + Madeira (Jatobá)

## 4. Conclusão

As análises realizadas permitiram estabelecer um contraste claro entre o desempenho mecânico de compósitos poliméricos reforçados com partículas de origem sintética (aerosil) e natural (resíduo de madeira de Jatobá). Observou-se que a adição de aerosil promoveu um incremento significativo na resistência à tração e na deformação máxima em relação à matriz pura, demonstrando a eficácia desse material na melhoria das propriedades mecânicas. Esse resultado sugere que partículas sintéticas, quando bem dispersas e compatíveis com a matriz, podem atuar como reforços eficientes, ampliando a gama de aplicações dos compósitos.

Em contrapartida, a utilização do resíduo de madeira de Jatobá como carga particulada resultou em um decréscimo das propriedades mecânicas, evidenciando limitações associadas à interação interfacial e à morfologia do material particulado natural. Sabe-se que o uso de resíduos lignocelulósicos em compósitos poliméricos contribui para a valorização de materiais de baixo custo e a redução de impactos ambientais negativos. Contudo, os desafios relacionados à compatibilidade interfacial e à heterogeneidade dos materiais naturais reforçam a necessidade de maior atenção nos processos de fabricação envolvidos. Além disso, a melhor adequação do tamanho e da distribuição granulométrica das partículas pode favorecer uma melhor compactação e distribuição na matriz, reduzindo a presença de porosidades e zonas de tensão.

Logo, este estudo destaca o potencial e as limitações associados a cada tipo de particulado proposto. Evidencia-se que, embora materiais sintéticos como o aerosil ofereçam vantagens imediatas em termos de desempenho, a busca por soluções mais sustentáveis passa necessariamente pelo aprimoramento de tecnologias que viabilizem a utilização eficiente de recursos renováveis, alinhando avanços técnicos às demandas ambientais contemporâneas.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PROPESP/UFPA pelo Programa de Bolsas de Iniciação Científica Institucional (PIBIC) e pelas bolsas concedidas aos estudantes de graduação. Também agradecem à CAPES, CNPq e ao Laboratório de Materiais Compósitos da Universidade Federal do Pará pelos experimentos realizados neste trabalho. Os autores reconhecem com gratidão o apoio do FEM/ITEC/UFPA e do PPGEM/ITEC/UFPA. Também é manifestada a gratidão pelo apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP.

## Financiamento

Os autores expressam autofinanciamento para realizar esta obra.

## Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

**Contribuição dos autores**

Revisão da literatura: RYCD, LSB; Ensaios mecânicos: RYCD, RTF; Registro de imagens: LSB, CAGM; Análise de dados: RYCD, LSB, RTF, JRPV; Revisão do artigo: RTF, JRPV, CAGM.

**Referências**

Cardoso, R. L. B., da Silva Rodrigues, J., Ramos, R. P. B., de Castro Correa, A., Leão Filha, E. M., Monteiro, S. N., da Silva, A. C. R., Fujiyama, R. T., & Candido, V. S. (2023). Use of Yarn and Carded Jute as Epoxy Matrix Reinforcement for the Production of Composite Materials for Application in the Wind Sector: A Preliminary Analysis for the Manufacture of Blades for Low-Intensity Winds. *Polymers*: 15(18), 3682. https://doi.org/10.3390/polym15183682.

Cardoso, R. L. B., Ramos, R. P. B., Leão Filha, E. M., Ribeiro, M. M., Candido, V. S., Rodrigues, J. da S., Silva, D. S., Junio, R. F. P., Monteiro, S. N., & Fujiyama, R. T. (2024). Modelling and analysis of jute fiber reinforced epoxy composite in the development of wind blade for low intensity winds. *Journal of Materials Research and Technology*: 28, 3619–3630. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.151.

Daly, M., Chihi, M., Bouraoui, C., & Tarfaoui, M. (2024). Avanço em materiais compósitos: Explorando propriedades termomecânicas de compósitos de aerosil/policarbonato por meio de manufatura aditiva. *Revista de Processos de Fabricação*: 131, 1770–1783. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.10.003.

Dias, R. Y. C., Soares, R. V., Maia, P. V. M., Santos, J. E. M., Miranda, I. R. S., Paschoal, W., & Fujiyama, R. T. (2024). Preliminary indication approach of jute fiber fabric with polyester for bumpers of passenger cars. *SAE Technical Papers*, 1, 1. https://doi.org/10.4271/2024-36-0149.

Dos Santos, R. R., Ribeiro, M. M., Fujiyama, R. T., & Branco, C. T. N. M. (2018). Placas laminadas de compósito poliéster, tecido de juta e resíduos de madeira. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*: 12(2), 68–77. https://doi.org/10.4013/ete.2018.122.04.

Fernandes, F. A. da S., Valdés Serra, J. C., Costa, D. do S. de O., & Guerrero Martin, C. A. (2023). Production of biodegradable polymeric composites with the addition of waste. *Materials*: 16(18), 6305. https://doi.org/10.3390/ma16186305.

Figueiredo, G. S., Miranda, G. F., Silva, S. C., Nascimento, G. M., Branco, C. T. N. M., Fernandes, E. A., & Fujiyama, R. T. (2016). Uso de resíduo de madeira de baixa densidade como carga em compósitos de matriz poliéster. In *Anais da 68ª Reunião Anual da SBPC* (Vol. 1). Porto Seguro, BA: SBPC.

Figueiredo, J. M. S., Nascimento, G. M., Silva, S. C., Mendes Junior, D. S. T., Costa, T. N., Almeida, L. M., Branco, C. T. N. M., & Fujiyama, R. T. (2016). Avaliação da resistência à tração de compósito poliéster com a adição de resíduo de madeira de baixa densidade na forma de pó. In *Anais da 68ª Reunião Anual da SBPC* (Vol. 1). Porto Seguro, BA: SBPC.

Fujiyama, R., Darwish, F., & Pereira, M. (2013). Mechanical characterization of sisal fiber reinforced cement mortar. In *Proceedings of the 13th International Conference on Fracture (ICF 2013)* (Vol. 1, pp. 401–407). https://doi.org/10.1063/2.1406102.

HARD Comércio de Fixadores e Resinas Ltda. (2013). *Boletim técnico*. Disponível em: http://www.hard.com.br/xpcontent/uploads/2013/02/1043_BOLETIM_TCNICO__AEROSIL_200.pdf.

Hopkins, M. J. G. (2004). Espécies arbóreas da Amazônia. 8. Jatobá, Hymenaea courbaril. *Embrapa Amazônia Oriental*. Recuperado de https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/36153.

Lima, L. S., Branco, C. T. N. M., Santos, R. M. C., Lima, F. V. M., da Costa, D. S., El Banna, W. R., & Fujiyama, R. T. (2013). Laminated composite of sisal and curaua fibers to different settings for use in bumper cars. *SAE Technical Papers*, 36, 0603. https://doi.org/10.4271/2013-36-0603.

Massaro, N., Morais, D., Toffoli, S. M., & Valera, T. S. (2013). Uso de partículas de vidro provenientes da recuperação dos componentes de telas de LCD como carga para poliamida-6. In *Anais*. São Paulo, ABC, 2013. São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica.

Mendonça, A. G. S., Dias, R. Y. C., Soares, R. V., Borges, L. S., Maia, P. V. M., & Fujiyama, R. T. (2024). Polyester composite and waste of natural materials recyclable fracture aspect after tensile test.

*Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18, 1–14. https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n5-180.

Moreno, L. M. A. (2018). *Obtenção e caracterização de compósitos de poli(hidroxibutirato) e microesferas de vidro: Propriedades térmicas, morfológicas, mecânicas e biodegradação* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Piauí.

Pereira, L. C. de O., Takahashi, R., Vilhena, R. V., Oliveira, D. R. de, & Fujiyama, R. T. (2011). Caracterização de resíduos de madeira e fibras de sisal para fabricação de materiais compósitos de matriz poliéster. In *XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia* (v. 1). Blumenau. https://doi.org/10.37423/210904731.

Pinto, L. S. D., Matos, C. C., & da Silva, M. L. F. (2016). Resíduos sólidos de madeira: Aplicabilidade de resíduo de serragem de MDF no design de ambientes. *Blucher Design Proceedings*: 2(9), 4253–4262. https://doi.org/10.5151/despro-ped2016-0365.

Ragondet, A. (2005). *Experimental characterization of the vacuum infusion process* (Tese de doutorado em Engenharia Mecânica). University of Nottingham.

Ribeiro, M. M. (2015). *Comportamento mecânico em tração/flexão e aspecto fractográfico de matriz poliéster com pó de Aerosil e de madeira com a inclusão de fibras curtas de sisal e juta* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Pará.

Rodrigues, J. S., & Fujiyama, R. T. (2010). Mechanical behavior of polyester and sisal fibers. *SAE Technical Papers*, 1, 0409–0417. https://doi.org/10.4271/2010-36-0409.

Soares, R., Dias, R., de Mendonça Maia, P., Junior, W., & Fujiyama, R. T. (2024). Presentation of biocomposites for proposal for use in car bumpers. *SAE Technical Papers*, 2024-36-0148. https://doi.org/10.4271/2024-36-0148.

Sousa, W. T. de. (1990). *Demanda dos principais metais e novos materiais: análise de tendências* (Dissertação de mestrado) Universidade Estadual de Campinas.

Teixeira, F. P., Lima, V. N., Moutinho, D. J. C., & Fujiyama, R. T. (2022). Mechanical properties and fractography of cement-based composites reinforced by natural piassava and jute fibers. *Cerâmica*, 68, 60–66. https://doi.org/10.1590/0366-69132022683853174.