

ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA NA FORMA DE PÓ EM COMPÓSITO DE POLIÉSTER E FIBRAS DE JUTA

Gabriel Melo Nascimento, gabrielufpa13@gmail.com¹
Geisiane Freitas Miranda, geisiane.f.v@gmail.com¹
César Tadeu Nasser Medeiros Branco, cesartadeub@hotmail.com¹
Samuel de Castro Silva, samuelcastro.ufpa@gmail.com¹
Deibson Silva da Costa, deibsonsc@yahoo.com.br¹
Edwillson Oliveira Filho, edwillson19@hotmail.com¹
Fábio Santos Sousa, fabio.eng.materiais@gmail.com¹
Jair Francisco Souza Magalhães, jairfsm@ufpa.br¹
Luciano Monteiro Almeida, lm_almeida@yahoo.com.br¹
Igor dos Santos Gomes, igor.gomes@itec.ufpa.br¹
Roberto Tetsuo Fujiyama, fujiyama.ufpa@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Pará – UFPA, Faculdade de Eng. Mecânica, Rua Augusto Corrêa – Guamá 66075-110- Belém – Pará.

Resumo: O crescimento da indústria madeira vem acarretando sérios impactos ambientais devido ao descarte inadequado de resíduo de madeira. Diante deste cenário, a fabricação de materiais compósitos possibilita a utilização deste resíduo como alternativa de aplicação na engenharia. Este trabalho visa avaliar as propriedades mecânicas de compósitos com diferentes resíduos de madeiras em tecidos de fibras de juta. Os resíduos de madeira foram: Mogno (*Swietenia macrophylla*), Jatobá (*Hymenaea spp*) e Piquiá (*Caryocar villosum*). Para a fabricação do compósito híbrido de Juta, utilizou-se resíduos de madeira de Jatobá, mogno e piquiá, além da resina poliéster tereftálica insaturada junto com o agente de cura de peróxido de metil etil cetona (PMEK). Foram utilizados dois tecidos de juta, ambos para a camada externa do compósito e os resíduos de granulometria fina de madeira. Após a fabricação obteve-se placas retangulares de 300 mm x 300 mm de onde foram retirados os corpos de prova de acordo com a norma ASTM D3039. Os corpos de prova foram ensaiados em uma máquina de ensaio universal para avaliação das propriedades mecânicas de tração. Os resultados mostram que o compósito com maior resistência à tração foi com adição de resíduo de madeira Piquiá.

Palavras-chave: Compósito polimérico, Tecido de Juta, Resíduo de madeira.

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente busca pelo desenvolvimento sustentável e a redução do impacto ambiental, a busca por materiais ecologicamente corretos tem aumentado e os compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais tem se apresentado como uma solução. Estes compósitos têm grande aplicabilidade, podendo substituir outros materiais em diversos ramos, como na construção civil, servindo de revestimento de piso e paredes, por exemplo.

As fibras naturais são uma boa alternativa para a produção de materiais ambientalmente corretos, sobretudo quando se comparadas a fibras sintéticas, derivadas do petróleo e maléficas ao meio ambiente. A utilização e desenvolvimento de compósitos de origem natural para aplicações estruturais e semiestruturais tem se encaixado na nova visão de desenvolvimento sustentável, os mesmos garantem a sustentabilidade na produção e trazem benefícios econômicos, sociais e ambientais.

O descarte de resíduos de madeira é comum nas microrregiões no estado do Pará. Esses resíduos podem ser encontrados na forma de lascas e de finos que assumem estas formas em função do tipo de equipamento usado no corte. Esses materiais ficam armazenados a céu aberto até serem degradados ou são usados como material de biomassa. Pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de reaproveitar estes resíduos para aplicação que não sejam para biomassa. Entre essas pesquisas tem-se a aplicação na fabricação de novos materiais, entre os quais os materiais compósitos.

Em geral, a inclusão de resíduo de madeira prejudica as propriedades do compósito. Mas a fibra de Juta atua como reforço, de modo que há uma compensação, e por vezes melhoramento das propriedades comparado com a matriz pura. O compósito resultante possui menor densidade, e com a adição do resíduo de madeira, além dar destino ao rejeito da indústria madeireira, torna o material mais rentável.

Inicialmente, o intuito do trabalho se limita a avaliar o comportamento do compósito sanduíche com a inclusão do resíduo de madeira como carga. O tecido de Juta age efetivamente como reforço. Para trabalhos futuros, pretende-se analisar o efeito sobre compressão e impacto.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1. Materiais Compósitos

Diversos trabalhos (Materiais compósitos são materiais que agregam propriedades desejáveis em um único material, sendo que estas encontram-se isoladas em materiais distintos. Esta junção de materiais ou propriedades acontece através da união macroscópica dos materiais, que possuem a característica desejada. Eles se dividem basicamente em dois componentes: a matriz e o reforço. A matriz pode ser cerâmica, metálica ou polimérica, ela é responsável por proteger o reforço e distribuir a carga aplicada ao compósito igualmente entre ele. O reforço é responsável por conferir ao material propriedades mecânicas como tenacidade, rigidez, etc. Ele pode ser fibroso, particulado ou em folha, dentre os tipos de reforços, o reforço fibroso merece bastante atenção, pois além de ser muito utilizado, o trabalho com fibras naturais vem sendo bastante estudado, produzindo-se, dessa forma, materiais ecologicamente corretos, isto é, biodegradáveis.

2.2. Matriz Polimérica

Diversos trabalhos (Silva, 2014; Rodrigues, 2008) classificam os poliméricos podem ser termoplásticos ou termorrígidos, a principal diferença entre estes dois tipos está no comportamento quando submetidos a um significativo aumento de temperatura. Os termoplásticos possuem a capacidade de ser moldáveis na presença de calor, isto é, eles podem se deformar elevando-se sua temperatura sem alteração da estrutura, por isso são recicláveis. Já os termorrígidos possuem mais tolerância ao aumento de temperatura, no entanto não são moldáveis, o que dificulta sua reciclagem. Pode-se citar como exemplo de matrizes de termoplástico: polietileno, poliestireno e polipropileno; e de termorrígido epóxi, poliéster e poliuretano. A resina poliéster, por ser versátil, de baixo custo, durável, leve e conseguir uma boa interação com as fibras naturais, é largamente utilizada como matriz em compósitos ecológicos, o que justifica a sua utilização neste trabalho.

2.3. Resina Poliéster

Silva (2014) definiu resinas poliésteres como constituintes de uma família de polímeros termofixos de alto peso molecular, resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo especificamente dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular. Quando parte dos ácidos são substituídos por ácido tereftálico, a resina formada é a resina tereftálica. A resina tereftálica é um polímero de alto peso molecular, o que confere boa resistência térmica e boa resistência a impacto. Porém, possui baixa resistência a raio ultravioleta.

2.4. Fibras Naturais

Rodrigues (2008) classificou as fibras vegetais são classificadas de acordo com a sua origem e podem ser agrupadas em fibras de semente, fibras de caule, fibras folhas, fibras de fruto, e fibras de raiz. As fibras oriundas do caule, como no caso da fibra de Juta, ou das folhas são chamadas fibras duras e são mais empregadas na produção de compósitos de matriz polimérica. Dentre as vantagens de sua utilização, as fibras apresentam baixa massa específica, não são tóxicas, são biodegradáveis, de baixo custo, têm baixa abrasividade além de gerar renda para pequenos produtores rurais. Faruk *et al.* (2000-2010) observou que entre as desvantagens estão: alta variabilidade das propriedades mecânicas, sensibilidade a efeitos ambientais, tais como variações de temperatura e umidade. Outro fator negativo, é a falta de uniformidade das propriedades que são função da origem das fibras, isto é, da região de plantio.

2.5. Resíduos de Madeira

Wiecheteck (2009) constatou que a atividade industrial madeireira no Brasil é altamente geradora de resíduos de madeira e que tal fato é um problema na medida em que apenas uma parcela do volume de resíduos de madeira gerados tem atualmente algum aproveitamento econômico, social e/ou ambiental. No entanto, os resíduos de madeira gerados no processamento que não são utilizados podem deixar de ser um passivo ambiental, sendo processados como matéria-prima para diversos fins e gerar lucro para a iniciativa privada e reduzir problemas ambientais de interesse da sociedade. Dessa forma, estudos de materiais alternativos com insumos da indústria madeireira são viáveis, uma vez que o reaproveitamento é benéfico para o meio ambiente, além de gerar renda e baratear os produtos finais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1 Matriz Polimérica

A matriz utilizada, foi a resina poliéster tereftálica insaturada, pré-acelerada com catalisador de cobalto, CONAP, iniciado com o agente de cura de peróxido de metil-etil-cetona (PMEK).

3.1.2. Fibras de Juta

Utilizou-se tecido juta comercial obtido no comércio de Belém. Faruk *et al.* (2012) demonstrou o largo estudo que é desenvolvido na aplicação de fibras de Juta em compósitos estruturais. A fibra de juta utilizada neste estudo em forma de tecido fora obtida no comércio local aos arredores de Belém, conhecido como Ver-o-Peso, para fim de fabricação de cortes menores com dimensão de 28 cm x 32.

3.1.3. Resíduos de Madeira

Os resíduos empregados como carga foram Mogno, Jatobá e Piquiá. Vários sites (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2017; Mogno brasileiro, 2017) oferecem informações sobre os resíduos empregados. Mogno é o nome comercial utilizado para designar as madeiras de origem tropical com coloração castanho-avermelhada, grão fino, grande dureza e densidade relativamente alta ($0,63 \text{ g/cm}^3$) provenientes de árvores da família das Meliaceae. O Mogno ou mogno-brasileiro (*Swietenia macrophylla*) é uma árvore nativa da Amazônia, mais comum no sul do Pará. O Jatobá (*Hymenaea spp*), originária da Amazônia, apresenta aspecto que varia do castanho-amarelado ao castanho-avermelhado, é dura ao corte e possui densidade elevada ($0,96 \text{ g/cm}^3$). O Piquiá também de ocorrência amazônica, é caracterizada por uma textura grossa, de alta densidade ($0,93 \text{ g/cm}^3$), pode se apresentar no aspecto amarelado ou pardo-claro-amarelado.

Estas madeiras são fáceis de trabalhar, duradouras e muito resistentes à compressão e torção, características que as tornam muito procuradas para marcenaria, entalhes, decoração e para acabamentos de interior de imóveis. Os processos de transformação destas madeiras em produtos acabados geram quantidades de resíduos consideráveis, descartados muitas vezes indevidamente, a adição desses rejeitos em materiais é uma alternativa para um destino correto desses insumos, além de diminuir o valor agregado ao produto final.

3.2. Metodologia Experimental

3.2.1. Metodologia de Fabricação dos Materiais Compósitos

O processo de fabricação do compósito ocorreu em seguida com o vazamento e espalhamento da resina sobre o alinhado, caracterizado pelo processo de *hand lay up*. Esse compósito foi cortado em dimensões especificadas pela norma ASTM D3039 e o valor da resistência a tração foi obtido por meio de ensaio mecânico.

Foram utilizados dois tecidos de juta, ambos para a camada externa do compósito e os resíduos de granulometria fina: Jatobá, Mogno e Piquiá, para o preenchimento interno do compósito sanduíche.

O processo de laminação manual ou *hand lay up*, iniciou-se despejando a matriz sobre os tecidos de juta separadamente com indicado na Fig. (1a). Pregos são colocados em um dos lados para resultar na espessura desejada após a aplicação de pressão por prensa hidráulica. No final da laminação, as camadas de tecido de juta foram submetidas a um período de pré-cura por 24h, seguido da adição da mistura resina-resíduo pela técnica de espalhamento duplo, que consiste em despejar uniformemente o recheio sobre as duas camadas de tecido de juta pré-impregnadas de resina. Os processos de pré-cura e de espalhamento duplo foram desenvolvidos com base em experimentações, onde foi observado que dessa forma o particulado se distribui de modo mais homogêneo, minimizando vazios, descontinuidades e, portanto, concentradores de tensões Fig. (1b), diferentemente do que se observava, a resina impregnada no tecido de Juta, devido a aplicação de pressão, tendia a “expulsar” o recheio, criando zonas de matriz pura somente, portanto, descontinuas de recheio.



Figura 1 – Técnica de laminação manual. Em **a**, o início do processo de laminação ocorrendo por meio do despejo da resina sobre o tecido de juta. Em **b**, está representado a técnica de espalhamento duplo.

Fonte: Autoria própria, 2016.

As quantidades de resíduo empregada na fabricação dos compósitos foram obtidas de forma experimental, como sendo a máxima quantidade de resíduo que absorva a quantidade de 240,5g de resina poliéster, tal que todo o resíduo permanecesse impregnado com a resina formando uma mistura homogênea (Tabela 1).

Tabela 1 – Frações mássicas dos resíduos empregadas no recheio.

	Jatobá	Mogno	Piquiá
Fração mássica (%)	24,86%	22,00%	21,80%

Fonte: Autoria própria, 2016

Os resíduos passaram por processo de secagem em forno elétrico antes de impregnarem a matriz, para evitar a forma adversa com que a umidade reage com a resina, prejudicando a cura. Em seguida, as placas de laminado foram sobrepostas para formar o compósito sanduíche, Fig. (2). Após isso, o compósito foi submetido a pressão por prensa hidráulica para a compactação do material.

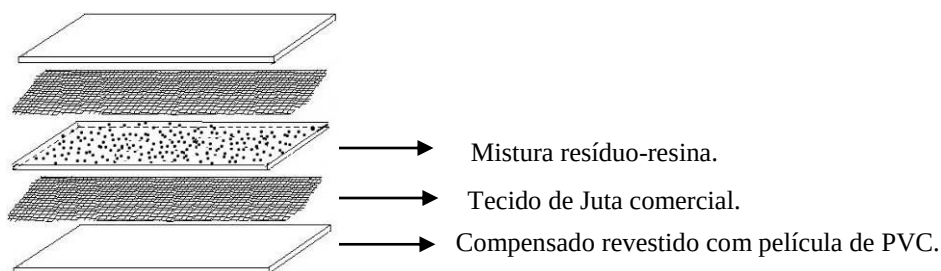


Figura 2 – Esquema do arranjo do compósito sanduíche formado.

Fonte: Autoria própria, 2017.

Depois de sete dias de cura, o material foi normatizado conforme as dimensões de 175x25x2mm de acordo com a norma ASTM D 3039 como indicado na Fig. (3).

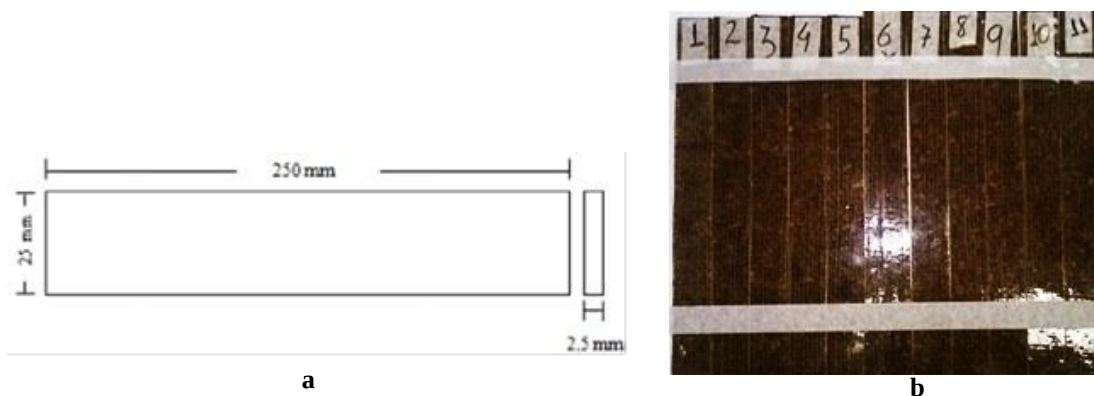


Figura 3 – (a) Dimensões do corpo de prova segundo a norma ASTM D 3039. Em b, Corpos de prova obtidos.

Fonte: Miranda, 2016.

O mesmo processo de fabricação foi utilizado para os três materiais fabricados, a única diferença foi a quantidade de resíduo empregada no recheio. Apesar da mesma quantidade de resina ser usada para os três tipos de recheio, os resíduos apresentaram capacidades de absorção diferentes.

3.2.2. Ensaios Mecânicos

A princípio foi realizado o ensaio mecânico dos compósitos híbridos, baseando-se em normas pré-estabelecidas. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração por meio de máquina de ensaio universal KRATOS, Fig. (4).



Figura 4 – Máquina universal KRATOS utilizada nos ensaios tração.

Fonte: Autoria própria, 2016.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os compósitos carregados com resíduo de Jatobá e de Piquiá apresentaram excelentes resultados comparados à matriz pura, tendo potencial em aplicações em materiais compósitos (Tabelas 2 e 3). No entanto, a adição do resíduo de mogno surtiu um efeito negativo nas propriedades do compósito.

Tabela 2 – Resultados obtidos com o ensaio de tração do compósito carregado com resíduo de Jatobá.

Tipo de material	Propriedades mecânicas				
	-	Força (N)	Tensão de ruptura (Mpa)	Deslocamento (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)
Matriz pura	-	1238	38,69	6,24	508,10
Poliéster e Resíduo de Jatobá	Média	2541,2	40,66	5,48	1010,63
	Desvio Padrão	29,47	0,47	0,25	13,65

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 3 - Resultados obtidos com o ensaio de tração do compósito carregado com resíduo de Piquiá.

Força (N)	Tensão de ruptura (MPa)	Deslocamento (mm)	Módulo de elasticidade (Mpa)
2595,13	41,52	6,58	884,89

Fonte: Autoria própria, 2016.

Já para o compósito carregado com resíduo de Mogno, pode ser observado a tensão de ruptura e o deslocamento foram inferiores ao compósito de matriz pura (Tabela 4). Uma explicação para a baixa tensão de ruptura é a presença de regiões com pouco resíduo e muita resina, o que cria pontos de tensão de acaba contribuindo para a diminuição da resistência do material.

Tabela 4 - Resultados obtidos com o ensaio de tração do compósito carregado com resíduo de Mogno em comparação com a matriz pura.

Tipo de Material	Propriedades mecânicas				
	-	Força (N)	Tensão de ruptura (MPa)	Deslocamento (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)
Matriz pura	-	1238	38,69	6,24	508,10
Poliéster e Resíduo de Mogno	Média	1695,4	27,13	3,85	920,10
	Desvio padrão	577,29	9,24	1,25	158,0

Fonte: Autoria própria, 2016.

5. CONCLUSÕES

O comportamento do material foi influenciado pela presença de resíduo de madeira. Conforme observado por RODIGUES (2008), os efeitos negativos decorrentes da adição de particulados em matriz polimérica são compatíveis com a literatura, uma vez que o resíduo de madeira tende a diminuir a resistência do material devido a fragilização do material compósito. A fratura do material foi perpendicular à carga aplicada na maioria dos ensaios. Os módulos de elasticidade aumentaram nos três compósitos fabricados devido as descontinuidades que os particulados geram na matriz poliéster. Essas micro descontinuidades na matriz criam concentradores de tensões e são uma barreira à deformação, resultando nas fraturas perpendiculares.

Para as partículas na forma de pó do mogno, houve pouca aderência das mesmas com a matriz, provocando poucas regiões homogêneas. Verificou-se a presença de vazios durante a fabricação do compósito, uma vez que o processo de laminação manual não permite um bom acabamento superficial do material após o fim da operação.

O tecido de Juta, compensou na maioria das vezes, as perdas de resistência devido a adição dos particulados. Mesmo com a melhora da homogeneidade do recheio, pequenas falhas ainda persistiram, contudo, resultados satisfatórios foram observados, demonstrando a viabilidade da fabricação dos compósitos, com base nos ensaios tração.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as Pró-Reitorias PROPESP e PROEX da Universidade Federal do Pará.

7. REFERÊNCIAS

- ASTM-D3039-D3039M-08 2008 “Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials”, West Conshohocken, PA, 2008.
- FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, H.P.; SAIN, M. “*Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010*. Progress in Polymer Science”, n. 37, p. 1552 - 1596, 2012.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. “Informações sobre madeira”. Disponível: <<http://www.ipt.br>>. Acesso em: 9 Fev. 2017.
- MOGNO BRASILEIRO. “Principais características do mogno”. Disponível em: <www.mognobrasileiro.com.br>. Acesso em: 9 Fev. 2017.
- RODRIGUES, J. S. “Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira”. Dissertação: Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.
- SILVA, I. L. A. “Propriedades e estruturas de materiais poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta”. 2014. 110p. Tese - Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2014.
- WIECHETECK, Marcelo. 2009. “Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos”. 2009. 40p. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às políticas públicas na área de gestão e controle ambiental - Ministério do Meio Ambiente. Curitiba, 2009.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores se responsabilizam pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

ADDITION OF WOOD POWDER IN POLYESTER COMPOSITE REINFORCED WITH JUTE FIBERS

Gabriel Melo Nascimento, gabrielufpa13@gmail.com¹
Geisiane Freitas Miranda, geisiane.f.v@gmail.com¹
César Tadeu Nasser Medeiros Branco, cesartadeub@hotmail.com¹
Samuel de Castro Silva, samuelcastro.ufpa@gmail.com¹
Deibson Silva da Costa, deibsonsc@yahoo.com.br¹
Edwillson Oliveira Filho, edwillson19@hotmail.com¹
Fábio Santos Sousa, fabio.eng.materiais@gmail.com¹
Jair Francisco Souza Magalhães, jairfsm@ufpa.br¹
Luciano Monteiro Almeida, lm_almeida@yahoo.com.br¹
Igor dos Santos Gomes, igor.gomes@itec.ufpa.br¹
Roberto Tetsuo Fujiyama, fujiyama.ufpa@gmail.com¹

¹University Federal of Pará – UFPA, Department of Mechanical Engineering, Augusto Corrêa Street – Guamá 66075-110- Belém – Pará.

Abstract: The growth of industry wood comes causing serious ambient impacts due to inadequate discarding of wooden residue. Ahead of this scene, the manufacture of composite materials makes possible the use of this residue as alternative of application in engineering. This work aims at to evaluate the mechanical properties of composites with different wood residues in Jute fiber fabrics. The residues wooden had been: Mahogany (*Swietenia macrophylla*), Jatobá (*Hymenaea spp*) and Piquiá (*Caryocar villosum*). For the manufacture of the hybrid composite of Jute, has been used residues wooden of Jatobá, Mahogany and Piquiá, beyond the terephthalic polyester resin unsaturated together with the agent of peroxide cure of methyl ethyl ketone (MEKP). Two Jute fabrics, both for external layer of the composite and residue of wooden fine granulometry had been used. After the manufacture got rectangular plates of 300mm x 300mm of were the test bodies had been removed in accordance with norm ASTM D3039. The tests bodies had been assayed in machine of universal assay for evaluation of the mechanical properties tractive. The results show that the composite with bigger tensile strength was with wooden addition of residue Piquiá.

Palavras-chave: Polymer Composite, Jute Fibers, Wooden residue.