



## Comparação das resistências mecânicas do compósito resina poliéster/fibra de coco e madeiras brasileiras de usos estruturais

### Comparison of mechanical resistances of composite polyester resin/ coconut fiber and brazilian woods of structural uses

Janilson Alves Ferreira<sup>1</sup>

Antônio Italcly de Oliveira Júnior<sup>2</sup>

José Raelson Pereira de Souza<sup>3</sup>

**Resumo:** A utilização da madeira como material estrutural apresentam comportamentos mecânicos distintos, resultando em diferentes graus de anisotropia. Este fator somado à disponibilidade e ao custo envolvido na execução de projetos que as utilizam como matéria-prima foi o estímulo para o desenvolvimento desta pesquisa, que comparou dados das resistências à flexão e à compressão da resina poliéster pura e após a modificação com 4 e 10% de fibras de coco natural. Foi possível observar aumentos em ambas as resistências à medida que o teor de fibra foi aumentado, sendo a fração de fibra igual a 10% o que apresentou maiores valores de resistência e, portanto, foi tomado como referencial para avaliação comparativa com as madeiras. No ensaio de flexão das onze madeiras selecionadas, todas apresentaram valores inferiores ao valor obtido no compósito. Entretanto, no ensaio de compressão, nove tipos de madeiras apresentaram valores inferiores.

**Palavras-chave:** Resina Poliéster; Fibra de Coco; Compósito; Madeira estrutural.

**Abstract:** The use of wood as structural material presents different mechanical behavior, resulting in different degrees of anisotropy. This factor added to the availability and cost involved in the execution of projects that use them as raw material was the stimulus for the development of this research, which compared data of the resistance to bending and compression of the pure polyester resin and after the

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco: janilsonengmat@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco: antonioitalcly@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal do Cariri: raelsonsouza@hotmail.com

modification with 4 and 10% natural coconut fibers. It was possible to observe increases in both strengths as the fiber content was increased, with the 10% content having the highest resistance values and, therefore, was taken as a benchmark for comparative evaluation with the wood. In the flexural test of the eleven woods selected, all presented values lower than the value obtained in the composite. However, in the compression test only nine types of wood presented lower values.

**Keywords:** Polyester resin; Coconut fiber; Composite; Structural wood.

---

## 1. Introdução

No Brasil e em vários países, diversas finalidades são observadas, envolvendo utilidades provisórias e permanentes das madeiras como material da construção civil, devido à suas propriedades e disponibilidade. Em usos provisórios podem ser citados os cimbramentos, escoras, tapumes, fôrmas para concreto armado, dentre outros. Por outro lado, em usos permanentes podem ser citados as construções de estruturas de telhados (caibros, ripas, terças e tesouras), elementos estruturais de edificações (vigas e pilares), esquadrias, etc.

O alto índice de resistência específica, trabalhabilidade, baixo consumo de energia no seu processamento, absorção e fixação de CO<sub>2</sub> são citadas por Zenid (2011) como as principais vantagens das madeiras na construção civil. Entretanto, o autor indica que há uma problemática no que se refere a origem desse material quando o mesmo é proveniente de exploração não racional e a ausência de elucidação de suas características básicas, tendo em vista que as madeiras são materiais anisotrópicos, hidrocópicos, de alta variabilidade e susceptíveis a deterioração biológica e ao fogo.

Todas essas peculiaridades afetam diretamente o desempenho mecânico de elementos estruturais. Diante desse cenário surge a necessidade de desenvolver novos materiais que possam ser alternativos e ter um desempenho igual ou superior aos materiais tradicionais. Nesse contexto surgem os materiais compósitos para atender essas demandas.

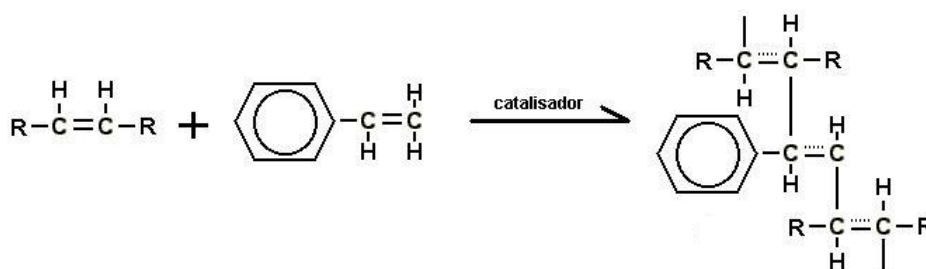
Os materiais compósitos são formados por dois ou mais materiais diferentemente combinados em uma unidade organizacional macroscópica, a partir das três classes de materiais convencionalmente conhecidos: polímeros, cerâmicas e metais. A estrutura da unidade organizacional dos compósitos é constituída por duas fases, uma matriz e outra fase dispersa na matriz denominada de reforço (GIBSON, 1994; CALLISTER, 2012).

A matriz de um compósito pode ter origem polimérica, metálica ou cerâmica e sua principal função é manter agregados os reforços mantendo assim a estrutura do conjunto organizada. No que se refere ao desempenho mecânico é função da matriz absorver as solicitações dos carregamentos e transmitir os mesmos para o reforço, fazendo que os materiais desenvolvam a resistência de forma associada.

Em geral, as matrizes de origem poliméricas apresentam resistência à absorção de umidade. Isso favorece a adesão com reforços do tipo fibras lignocelulósicas oriundas de resíduos vegetais que possuem em sua natureza tendências higroscópicas e hidrofílica. As matrizes poliméricas à base de resina poliéster vem ganhando destaque no cenário atual, principalmente em estudos de compósitos que associam a mesma com fibras vegetais, tais como, juta, sisal, coco e abacaxi (JOSEPH, MEDEIROS e CARVALHO, 1999; SANCHEZ *et al.* 2010).

As resinas poliéster são uma família de polímeros formados a partir da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos e glicóis, que após a reação, dão origem a moléculas de cadeia longas e lineares. O poliéster é sintetizado em uma reação de polimerização por condensação em etapas, dessa forma, a reação de um álcool com um ácido, resulta em uma reação de esterificação, formando um éster e água (LEVY e PARDINI, 2006).

Promovendo uma reação entre um ácido insaturado, um ácido saturado e um diol, é possível originar um polímero termorrígido, assim são obtidas as resinas poliésteres insaturadas, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas, entre os átomos de carbono. Inicialmente encontra-se no estado líquido e após a adição de agentes de cura, solidifica caracterizando uma estrutura termorrígida irreversível. Após a etapa de cura, apresentam boas propriedades elétricas, mecânicas, resistência à corrosão e ataques químicos (CAVALCANTI, LIMA e CARVALHO, 2010). Este tipo de resina, por ser termorrígida, possui vantagens como baixo custo, estabilidade térmica e dimensional, resistência química a altas temperaturas e facilidade de se moldar peças com grandes dimensões, porém há desvantagem da resina possuir uma baixa resistência à fratura sendo ideal utilizar um reforço que ao ser combinado com essa resina possa suprimir essa deficiência (SANCHEZ *et al.*, 2010).



**Figura 1** - Processo de cura da resina poliéster insaturada

Fonte: Rodrigues (2008)

Os reforços atuam em forma de fibras ou partículas, podendo ser dispostas de diferentes maneiras, tamanhos e orientações. Os reforços em forma de fibra podem ser contínuas ou curtas, e dentro dessa divisão as fibras podem ser dispostas orientadas ou aleatórias no compósito (LEVY e PARDINI, 2006).

O Brasil é um grande produtor e consumidor de coco verde, entre os produtos que derivam da fruta, o principal é a água de coco, bastante consumida em todo o país, sendo também extraído da fruta o óleo de coco. Esse alto consumo, resulta na geração de grandes quantidades de resíduos de cascas de coco, provocando um sério problema ambiental nos grandes centros urbanos, devido à dificuldade de descartes destes resíduos (PINO *et al.*, 2006).

Em virtude da questão ecológica, a busca por materiais com melhores propriedades mecânicas tais como, módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência à flexão, e de fonte renovável tem se tornado preocupante nos últimos anos. O desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais alia as propriedades mecânicas desejadas em um compósito à questão ambiental, social e econômica. As principais características das fibras

naturais são o baixo custo, baixa densidade, fonte renovável, biodegradabilidade, o fato de serem atóxicas e não abrasivas, possuem boas propriedades térmicas e alto módulo específico (BLEDZKI e GASSAN, 1999).

Portanto, este trabalho visa analisar o efeito da adição de fibra de coco em resina poliéster e posteriormente realizar um comparativo de propriedades mecânicas entre as madeiras brasileiras utilizadas como elemento estrutural na construção civil.

## 2. Materiais e Métodos

O sistema polimérico que compõe a fase matriz utilizada na síntese do material compósito consiste na resina poliéster insaturada do tipo ortoftálica pré-acelerada e o iniciador peróxido de Metil-Etil-Cetona (P-MEK) em concentração de 1% em relação ao peso da resina. Para a fase reforço foram utilizadas fibras de coco em sua forma natural, gentilmente cedidas pela Embrapa Agroindustrial Tropical de Fortaleza (CE).

As fibras utilizadas foram submetidas a um processo de limpeza superficial (mergulhadas em água destilada e secas em estufa a uma temperatura de 60 °C por 1 hora), de modo a favorecer a adesão fibra/matriz, e no momento da execução desta pesquisa não foram feitas mais nenhuma alteração no comprimento, mantendo assim sua razão de aspecto. Optou-se por usá-las de forma contínuas e randômicas em teores de 4 e 10% em relação ao peso da resina. Esses valores correspondem ao mínimo de fração de fibra requerido para esta síntese e o máximo de fração de fibra sem que haja variações expressivas no seu peso específico, respectivamente (MALLICK, 2007).

Depois de estabelecidas as proporções das fases, tanto matriz quanto reforço, iniciaram-se a conformação e síntese do compósito. As fibras foram acomodadas primeiramente no molde de aço que serviu para confecção de placas do material desejado, e pressionadas em prensa hidráulica por uma carga de 4 toneladas durante 30 minutos para garantir total compactação. Em seguida foram retiradas e recobertas as paredes internas do molde com cera para ajudar na desmoldagem da placa. As fibras foram então reacomodadas no molde e empreguinadas pelo sistema polimérico antes formado. Foram ainda, moldadas placas sem adição do material reforço para comparar o efeito da adição de fibra.

O molde foi fechado e pressionado com uma carga de 8 toneladas por um período de 10 horas a temperatura ambiente. Após o período de cura a placa foi desmoldada, cerrada e lixada em dimensões padrões, segundo a norma ASTM D695, possibilitando a produção de 12 corpos de prova para cada fração de fibra e para cada tipo de ensaio, submetidos a ensaios mecânicos de compressão e flexão. É importante salientar que as estruturas em geral, incluindo às de madeiras, são solicitadas a comprimir e flexionar.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Cariri. Ensaio de compressão foram realizados em máquina de ensaio universal modelo WDW-300 EIII, com célula de carga de 2kN a uma velocidade de 1 mm/min e à temperatura ambiente, segundo especificações da norma ASTM D-3039. Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados em máquina de modelo Flexi 1000 LX com velocidade de deslocamento de 1,3 mm/min, com distância entre pontos de apoio de 50 mm e à temperatura ambiente. As curvas foram obtidas por meio do software Origin.

Neste trabalho foi aplicado o método comparativo entre os resultados obtidos pelo material sintetizado e valores de resistências mecânicas das principais madeiras brasileiras empregadas em funções estruturais na engenharia, reportados na literatura (ZENIDE, 2011. PFEIL, 2012). Foram selecionadas onze madeiras de diferentes regiões do Brasil que são utilizadas na construção civil para finalidades estruturais no catálogo desenvolvido pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (NAHUZ *et al.*, 2013). Cada tipo de madeira foi convenientemente identificada, conforme mostrado a seguir:

**Tabela 1:** Madeiras selecionadas para comparação

ID	MADEIRA	NOME CIENTÍFICO	OCORRÊNCIA NO BRASIL
A	Angelim Amargoso	<i>Vatairea sp.</i>	Norte e Centro-Oeste
B	Angelim Pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i> <i>Ducke</i>	Norte e Centro-Oeste
C	Angelim Vermelho	<i>Dinizia excelsa</i> <i>Ducke</i>	Norte
D	Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> <i>(Aubl.) Wild.</i>	Norte e Centro-Oeste
E	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> <i>Aubl.</i>	Norte e Centro-Oeste
F	Curupixá	<i>Micropholis venulosa</i> <i>(Mart. &amp; Eichler) Pierre</i>	Norte, Nordeste e Centro-Oeste
G	Mandioqueira	<i>Ruizterania albiflora</i> <i>(Warm.) Marc.-Berti</i>	Norte e Centro-Oeste
H	Oiticica Amarela	<i>Clarisia racemosa</i> <i>Ruiz &amp; Pav.</i>	Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste
I	Quaruba	<i>Vochysia maxima</i>	Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste
J	Tachi	<i>Tachigali myrmecophilla</i> <i>Ducke</i>	Norte e Centro-Oeste
K	Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i>	Norte e Centro-Oeste

Fonte: Nahuz (2013)

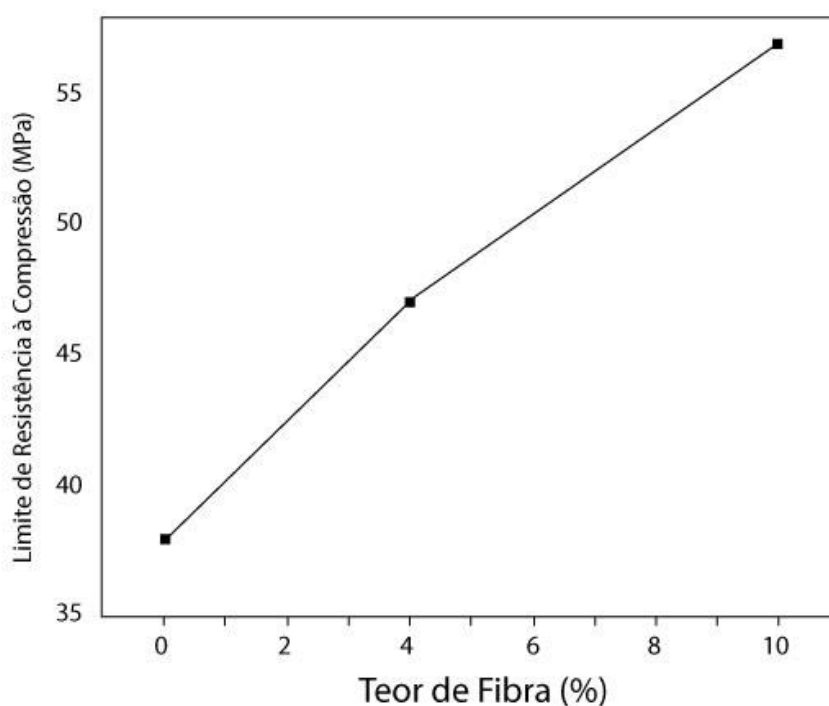
## Resultados e Discussões

Comparando somente os valores de resistência à compressão e à flexão da resina não modificada com a resina reforçada com teores de fibra iguais a 4 e 10% é possível perceber um aumento significativo em ambas as resistências, como mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Valores de resistência a compressão e flexão

Teor de fibra	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
0%	38,2	40,0
4%	46,6	72,5
10%	57,1	124,3

A resistência a compressão é nitidamente melhorada quando adicionado 4% de fibra de coco. Esse aumento se torna proporcional ao aumento do teor de fibra quando são adicionadas uma porcentagem de 10% (Figura 2). Tais valores permitem ressaltar a importância do comportamento da fibra presente no material, já que estas passam a atuar como barreiras nos pontos preferenciais à propagação de trincas. Deve também ser considerado o fato que a carga foi aplicada em sentido transversal ao que as fibras estavam dispostas, pois mesmo estas tendo sido depositadas randomicamente, a compactação permitiu que estas tomassem um sentido quase uniforme, favorecendo o aumento da resistência final.



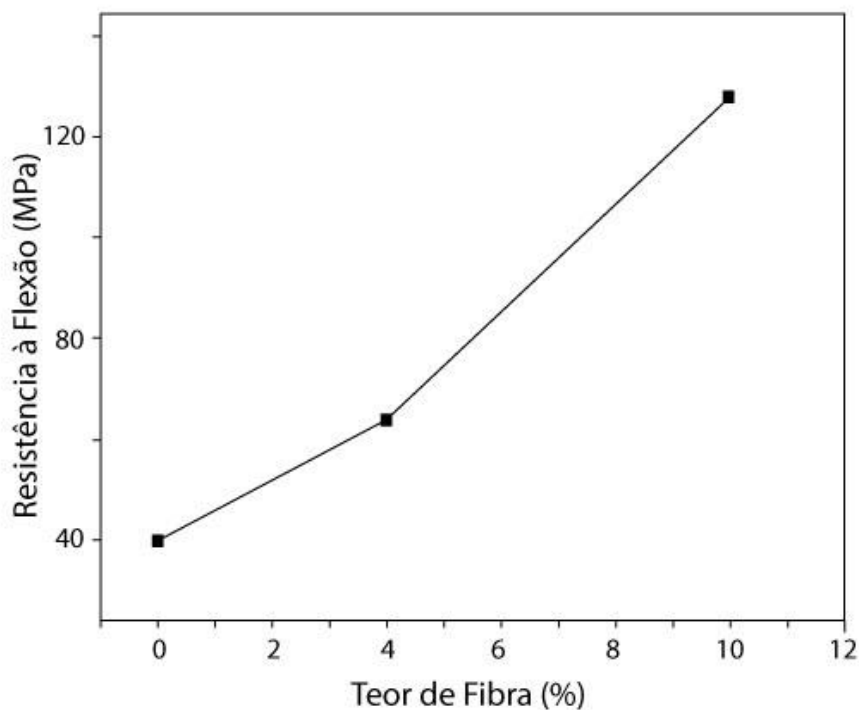
**Figura 2** – Resistência à compressão da resina pura, resina+fibra (4%) e resina+fibra (10%)

De modo similar, a resistência a flexão aumentou com o aumento dos teores de fibra (Figura 3). Estes surpreendentemente maiores que o valor da resina não modificada. É possível atribuir este significativo aumento à eficácia da interface fibra/matriz, considerando que, estando as duas fases bem aderidas, a transferência de energia da resina para as fibras foi possível, além do mais, ao aumentar a carga de 4 para 10%, o valor da resistência triplicou. Em seu trabalho, Monteiro *et al.* (2006) ressaltam a aderência fibra de coco/resina poliéster, atribuindo o aumento da resistência mecânica do compósito à rugosidade e saliências apresentadas pela superfície das fibras de coco, sendo suficiente o emprego das fibras no compósito sem artifícios de adesão.

No trabalho de Sanches *et al.* (2010) que estudou o uso da resina poliéster insaturada reforçada com o bagaço da cana de açúcar, obtiveram aumentos expressivos na resistência à flexão à medida que se aumentava o volume da fase reforço. Porém este acréscimo no valor da resistência foi em virtude do tratamento superficial feito no bagaço, estimulando assim uma maior aderência ao polímero termorrígido.

De acordo com Joseph, Medeiros e Carvalho (1999), ao adicionar valores distintos de fibra de sisal em matriz poliéster e analisar o efeito da adição nas propriedades mecânica, perceberam que há uma diminuição na resistência a tração, porém o material analisado sofreu pouca deformação em relação ao polímero puro, permitindo assim que seu módulo de elasticidade apresentasse um aumento. O decréscimo da resistência à tração se deve aos pontos de concentração de tensão presentes nas microscópicas saliências das fibras de sisal. Em contrapartida, a pouca deformação em função da carga que este material conseguiu resistir, fez com que seu módulo de elasticidade aumentasse.

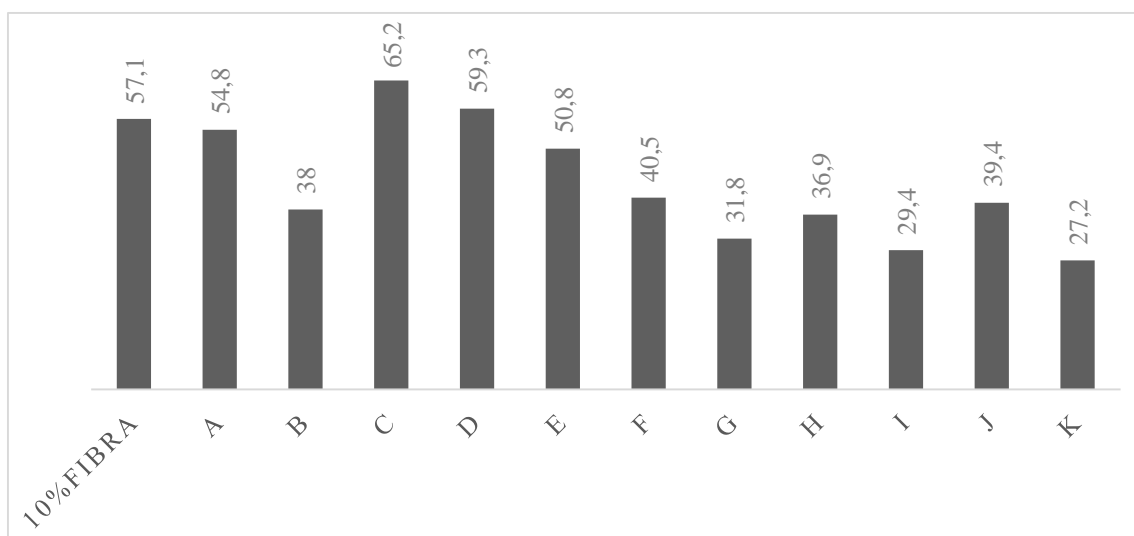




**Figura 3** - Resistência à flexão da resina pura, resina+fibra (4%) e resina+fibra (10%)

Após a análise comparativa dos valores de resistência à compressão e flexão da resina pura e modificadas, foi evidenciado que a matriz modificada com o teor de 10% de fibra apresentou melhor desempenho. Por tanto, determinou-se que essa composição seria tomada como referência para a avaliação comparativa com as resistências mecânicas das amostras de madeiras.

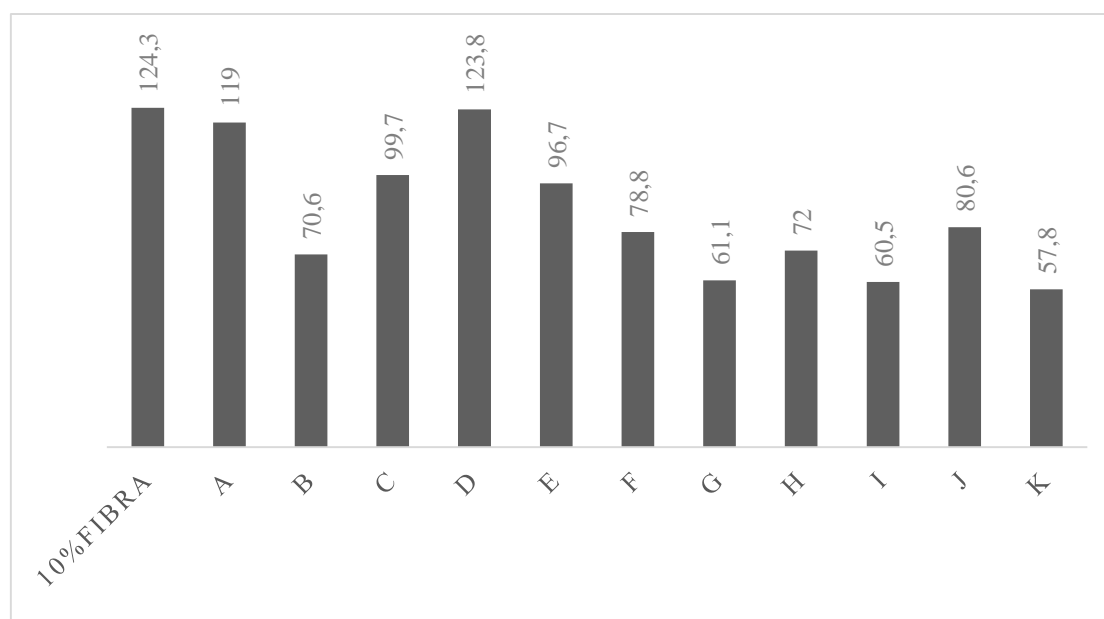
Na Figura 4 são apresentados os resultados de resistência à compressão do compósito com 10% de reforço e das madeiras selecionadas para comparação. De modo geral, nota-se que as madeiras A (Angelim Amargoso - *Vatairea sp.*) e D (Cumarú - *Dipteryx odorata Aublet. Wild.*) apresentaram resistência à compressão próxima ao valor obtido para o compósito reforçado com 10% de fibra, sendo que a madeira A resiste 4% a menos e a madeira D resiste 4% a mais quando comparado com o compósito.



**Figura 4** - Comparativo da resistência à compressão da resina+fibra (10%) e madeiras brasileiras usadas na construção civil

Além da madeira D, notou-se que apenas a madeira C (Angelim Vermelho - *Dinizia excelsa Ducke*) também apresentou o valor de resistência à compressão superior em relação ao compósito, com uma diferença da ordem de 12% entre os valores. Por outro lado, as madeiras G (Mandioqueira - *Ruizterania albiflora Warm. Marc.-Berti*), I (Quaruba - *Vochysia máxima*) e K (Tauari - *Couratari oblongifolia*) possuem valores bastante inferiores de resistência à compressão em relação ao observado no compósito, 44%, 49% e 52% respectivamente de diferença entre os valores. Já as madeiras B (Angelim Pedra - *Hymenolobium petraeum Ducke*), E (Cupiúba - *Goupia glabra Aubl.*), F (Curupixá - *Micropholis venulosa Mart.& Eichler Pierre*), H (Oiticica Amarela - *Clarisia racemosa Ruiz & Pav.*) e J (Tachi - *Tachigali myrmecophilla Ducke*) também apresentam valores inferiores de compressão comparado ao compósito.

No que se refere a resistência à flexão, foi observado dentre as madeiras selecionadas neste trabalho que nenhuma delas apresentou resistência superior ao compósito reforçado com



10% de fibra (Figura 5), porém apenas a madeira D (Cumaru - *Dipteryx odorata Aublet. Wild.*) possuem valores muito próximos ao valor obtido pelo compósito, aproximadamente 0,4% de diferença.

**Figura 5** - Comparativo da resistência à flexão da resina+fibra (10%) e madeiras brasileiras usadas na construção civil

Vale ressaltar ainda que o compósito reforçado com 4 % de fibra também apresentou valor ligeiramente superior quando comparado com as madeiras B e H. Já o compósito com o mesmo teor de fibra quando comparado com as madeiras G, I e K apresenta valor bastante superior. Estes resultados possibilitam verificar que mesmo com um baixo teor de fibra

reforçando o compósito, o material apresentou um desempenho mecânica aceitável para solicitações fletoras em finalidades estruturais da construção civil que utilizam essas madeiras.

A construção civil é o setor que mais consome madeira tropical no país, sendo que a maioria das reservas desses materiais são originárias da região Norte, isso de certa forma vem contribuindo para o desmatamento florestal, sobretudo da Floresta Amazônica, principal recurso natural do Brasil (ZENID, 2011; GAMA *et al.*, 2016). A utilização do compósito sintetizado nesta pesquisa pode ser uma alternativa às madeiras, pois contribui para a redução do consumo de materiais que não sejam de reflorestamento. É importante enfatizar que o desenvolvimento desse compósito utiliza resíduos do coco, isso colabora para sustentabilidade dos materiais utilizados nesse setor e favorece com a redução de impactos ambientais.

### 3. Conclusão

A adição das fibras de coco na matriz de poliéster favorece ao desempenho das propriedades de resistência do compósito. Tanto a resistência à compressão e flexão aumentaram com o acréscimo do teor de fibras em relação a resina pura.

A resina reforçada com 10 % de fibra apresentou valores de resistência à compressão superiores a nove, dos onze tipos de madeiras brasileiras analisadas nesta pesquisa.

O mesmo tipo de composição também apresentou valores de resistência à flexão superiores a todos os valores de resistência das madeiras selecionadas para comparação neste trabalho.

### 4. Referências

ASTM D695 - Compressive Properties of Rigid Plastics

ASTM D3039 - Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composite Reinforced with Celulose Based Fibers. *Prog. Polym. Sci.*, Elsevier, v.24, p.200-272, 1999.

CALLISTER JR., W. D. *Material Science and engineering: An introduction*. 8th. John Wiley & Sons, USA, 2012.

CAVALCANTI, W. S.; LIMA, A. G. B.; CARVALHO, L. H. Sorção de água em compósitos de poliéster insaturado reforçados com tecidos de juta e juta/vidro: Modelagem, simulação e experimentação. *Polímeros (São Carlos. Impresso)*, v. 20, p. 78-83, 2010.

GAMA, D. C.; JESUS, J. B. de.; BONFIM, J. S.; MENEZES, M. S.; DEUS, D. A. de. Madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional do município de Ribeira do Pombal – BA. *Agroforestalis News*, v. 1, n. 2, p. 15-23, 2016.

GIBSON, R. F.; *Principles of composite material mechanics*. 1 ed. McGraw-Hill, 1994.

JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 9, n. 4, p. 136-140, 1999.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C.; *Ciência e tecnologia: Compósitos estruturais*. Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

MALLICK, P. K. *Fiber-Reinforced Composites*. 3<sup>rd</sup> ed., USA, CRC Press, 2007.

MONTEIRO, S. N.; TERRONES, L. A. H.; CARVALHO, E. A. de; D'ALMEIDA, J. R. M. Efeito da interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. *Revista Matéria*, v. 11, n. 4, p. 395-402, 2006.

NAHUZ, A. R.; MIRANDA, M. J. de A. C.; LELO, P. K. Y.; PIGOZZO, R. J. B.; YOJO, T. *Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil*. IPT–Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2013.

PFEIL, W.;PFEIL, M. *Estruturas de madeira*. 6<sup>a</sup> edição. São Paulo: LTC, 2012.

PINO, G. A. H.; MESQUITTA, L. M. S.; TOREM, M.L.; PINTO, G. A. S. Biosorption of heavy metals by powder of green coconut shell. ***Separation Science and Technology***, v. 41, p. 3141-3153, 2006.

RODRIGUES, J. S.; *Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira*. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – **Universidade Federal do Pará**. Belém, 2008.

SANCHEZ, E. M. S.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. ***Polímeros***, v. 20, n. 3, p. 194-200, 2010.

ZENID, J.G. *Madeira na construção civil*. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo**, 2011.