



PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MECÂNICA DE COMPÓSITOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE MADEIRA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E RESINAS EPÓXI DE ÓLEOS VEGETAIS

Washington Moreira Cavalcanti (*), Leandro Soares de Oliveira, Lais Brito Cangussu, Rômulo Maziero, Bruno Dorneles de Castro

* UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais – washington.cavalcanti@hotmail.com

RESUMO

Desde a última década, os cientistas e desenvolvedores das áreas de engenharia de materiais estão muito preocupados com questões de sustentabilidade e proteção ambiental. Isso se aplica, especificamente a uma nova vertente que é a utilização de óleos vegetais epoxidados e sua aplicação como insumo na fabricação de compósitos de madeira e resinas epóxi, onde a carga orgânica é obtida de madeira de Resíduos de Construção Civil - RCC. Devido aos questionamentos quanto ao meio ambiente, à biodegradabilidade e à sustentabilidade, os compósitos de fibras e partículas naturais têm tido a preferência quando comparados aos compósitos convencionais de fibra sintética e de fontes fósseis. Para este estudo, o compósito madeira-epóxi foi preparado usando a técnica de termo-cura. Para este propósito, um molde aberto, padrão norma ASTM D638, preparado em silicone industrial foi usado na confecção dos corpos de prova. Foi revelado que o compósito madeira-epóxi apresentou ótimos índices de resistência à tração e à compressão. A resistência à tração e compressão aumenta com o reforço de partículas lignocelulósicas. Porém, a força de pacote de partículas diminui com o aumento no número de material orgânico na proporção do compósito. Neste artigo, a metodologia de pesquisa adotada abarca os métodos bibliográfico, além de levantamento, organização e análise experimental. Os resultados apurados desta análise e compreensão iniciais responderam positivamente a questionamentos sobre a possível utilização de resinas epóxi, proveniente da produção de óleos vegetais associado a madeira de RCC na produção e aplicabilidade de compósitos madeira-epóxi.

PALAVRAS-CHAVE: Resinas epóxi, óleo epoxidado, compósito madeira-epóxi, resíduos de óleo vegetal.

ABSTRACT

Since the last decade, scientists and developers in the field of materials engineering have been very concerned with issues of sustainability and environmental protection. This applies, specifically to a new aspect, which is the use of epoxidized vegetable oils and their application as input in the manufacture of wood composites and epoxy resins, in which case the organic load is obtained from Civil Construction Waste - RCC. Due to questions about the environment, biodegradability and sustainability, composites of natural fibers and particles have been preferred when compared to conventional composites of synthetic fiber and fossil sources. For this study, the wood-epoxy composite was prepared using the thermo-curing technique. For this purpose, an open mold, standard ASTM D638, made of industrial silicone was used in the preparation of the specimens. It is revealed that the wood-epoxy composite showed excellent rates of resistance to traction and compression. The tensile and compressive strength increases with reinforcement of lignocellulosic particles. However, the particle pack strength decreases with the increase in the number of organic material in proportion to the composite. In this article, the research methodology adopted includes bibliographic methods, in addition to survey, organization and experimental analysis. The results obtained from this initial analysis and understanding responded positively to questions about the possible use of epoxy resins, derived from the production of vegetable oils in the production and applicability of wood-epoxy composites.

KEYWORDS: Epoxy Resins; epoxidized oil, wood-epoxy composite, waste vegetable oil.

INTRODUÇÃO

Em grande destaque no mundo de hoje, materiais ecológicos, naturais, reciclados ou biodegradáveis estão atraindo o interesse de cientistas e engenheiros que trabalham no campo de materiais que estão muito preocupados com questões de sustentabilidade e proteção ambiental. Isso se aplica, especificamente, a uma nova vertente para a utilização de óleos vegetais epoxidados, como insumo na fabricação de compósitos de resinas epóxi e madeira. Neste estudo a carga orgânica foi obtida de madeira de Resíduos de Construção Civil - RCC. Assim, devido a questões ambientais, à biodegradabilidade e à sustentabilidade, os compósitos de fibras naturais têm apresentado vantagens quando comparados aos compósitos convencionais de fibra sintética e de fontes fósseis.



Os materiais compósitos, conforme preconizada pela norma ASTM D3039, são definidos como um sistema formado por duas ou mais fases constituintes de composições e estruturas distintas. Além disso, são insolúveis entre as partes e são separados por uma interface com propriedades superiores que não se encontram em cada um dos materiais isoladamente. Materiais compósitos, segundo Lopes (2017), são definidos como materiais formados de dois ou mais constituintes identificados como matriz, reforço ou cargas, com distintas composições de estruturas e/ou propriedades, separados por uma interface.

O Brasil é um dos maiores produtores de resíduos agroindustriais e florestais do mundo. Segundo Alvarez e Dorado (2011) a construção civil é uma fonte de grandes volumes de resíduos de madeira, após a sua utilização nas etapas de fundação, estrutura e acabamento, principalmente com o descarte de embalagens e paletes. No Brasil, o uso de madeira na construção é utilizado em etapas distintas da obra e pode representar uma grande porcentagem de resíduos de construção. Este resíduo é descartado sem a devida reutilização ou reciclagem mínima. A construção civil, no País, é responsável pelo consumo de 66% de toda madeira extraída das florestas e gera 40% de todos os resíduos sólidos nas regiões urbanas e grandes centros. A reciclagem dos resíduos gerados nas obras de construção e sua posterior comercialização trazem benefícios expressivos para a população e para o meio ambiente (MIRANDA et al., 2009; KERN, 2018).

Outro resíduo agroindustrial produzido em grande escala são os resíduos de óleos vegetais pós-consumo. A produção e comercialização de óleos vegetais, no Brasil, seja para a indústria de alimentos ou de energia (Biodiesel), se mostra muito elevada devido à grande disponibilidade de matéria-prima para a produção destes insumos (OLIVEIRA, 2005). Essa elevada produção e processamento acarretam grandes prejuízos ao meio ambiente em decorrência do descarte inadequado ou da falta de processamento pós-consumo.

Diante do contexto apresentado, surge a seguinte problematização: “Qual a viabilidade para produção de painéis compósitos produzidos a partir de resíduos de madeira de construção civil e resinas epóxi derivadas de óleos vegetais?”. Diante deste questionamento, este trabalho de pesquisa se justifica e tem relevância por contribuir com o desenvolvimento de novos materiais produzidos a partir de resíduos de madeira de construção civil e resinas epóxi derivadas de óleos vegetais. Este compósito após elaborado, se apresenta como uma possível solução para os atuais malefícios provocados pelo descarte destes materiais de forma indiscriminada no meio ambiente.

Para a produção de compósitos poliméricos com reforço lignocelulósicos, exige-se conhecimento nas áreas de misturas poliméricas, de processamento de polímeros, e que, para sua fabricação industrial, deverá avaliar toda a cadeia industrial da reciclagem de polímeros termoplásticos e termorrígidos, que engloba a coleta, identificação de plásticos, moagem, lavagem, processamento e comercialização. Diversos tipos de plástico podem ser utilizados para obtenção da madeira plástica, como: PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PET Poli(tereftalato de etila), PVC Poli(cloreto de vinila), PP (Polipropilento) e Resinas Epóxi (CAVALCANTI e FERNANDES, 2015).

As resinas epóxi fazem parte do grupo de polímeros termorrígidos, estes despertam grande interesse da indústria por sua versatilidade e suas propriedades. Mallick (2008) descreve que o polímero termorrígido apresenta como característica moléculas unidas entre si quimicamente por ligações cruzadas (*cross-links*), formando uma estrutura tridimensional e rígida. Uma vez que essas ligações cruzadas são formadas durante a reação de polimerização, também chamada de reação de reticulação ou cura, o polímero termofixo não pode ser fundido pela aplicação de calor e pressão. Os polímeros pertencentes às matrizes termorrígidas, segundo Callister e Retwisch (2015) são resinas mais duras, mais fortes e mais frágeis do que as matrizes termoplásticas, além de apresentar melhor estabilidade dimensional.

Quanto as fibras naturais, quando aplicadas de forma correta permitem várias vantagens tecnológicas, econômicas e ecológicas. A principal desvantagem é sua alta absorção de umidade e baixa estabilidade dimensional, o que representa restrições de seu uso em aplicações de longo prazo. Sua suscetibilidade à absorção de umidade é a principal causa de suas baixas propriedades mecânicas, porém, isso pode ser tratado com alguns recursos químicos. As propriedades mecânicas dos materiais compósitos lignocelulósicos dependem de muitos fatores, como comprimento, forma, tamanho, composição, orientação e distribuição das fibras e partículas, bem como fração volumétrica (SILVA et al, 2011; PINTO, 2007). A produção de compósitos madeira-epóxi em escala industrial pode ser uma ótima solução sustentável para os resíduos descritos acima. Quanto mais for produzida, menor será o volume de resíduos de óleos vegetais e de madeira a poluir o meio ambiente (SILVA et al., 2011).



OBJETIVOS

A presente proposta tem como objetivos geral e específicos, apresentar a viabilidade de produção e caracterização de materiais compósitos produzidos a partir de resíduos de madeira de construção civil – RCC e resinas epóxi derivadas de resíduos de óleo de soja. Descrever suas características químicas, bem como suas propriedades físicas e mecânicas, as quais facilitam a sua aplicabilidade.

METODOLOGIA

Neste experimento foi utilizada uma matriz epóxi produzida a partir do óleo de soja. O método utilizado na epoxidação do óleo foi com base no método proposto por Lage (2015), em que a epoxidação se processa por meio de um reator encamisado, equipado de um condensador de refluxo acoplado a um banho termostato e um agitador mecânico.

O processo de preparação dos compósitos reforçados com percentuais (%) de madeira de RCC tiveram como direcionamento operacional o procedimento descrito por Prabhakar et al. (2015). Os corpos de prova foram preparados de acordo com as seguintes orientações:

- I. A quantidade definida de madeira de RCC foi de 0%, 20% e 30% aplicada a resina epóxi para cada um dos corpos de prova (CP). Foram misturadas em um recipiente sob agitação constante em um agitador mecânico durante 20 minutos;
- II. As etapas de pré e pós-cura foram realizadas em duas etapas subsequentes: os corpos de prova foram colocados na estufa convectiva por 2 horas a 100 °C, em seguida, e sem retirar da estufa, os corpos de prova foram submetidos a temperatura de 150 °C por 7 horas.

Os corpos de prova com utilização da resina epóxi foram preparados de acordo com a norma ASTM D638. Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos, operando com uma célula de carga de 2000 kgf e uma velocidade de 5 mm/min, segundo a norma ASTM D3039.

Para este experimento a resina epóxi do tipo DGEBA utilizada foi a Araldite® GY 260, fabricada pela Hunstman Química do Brasil Ltda. Sua apresentação é na forma de resina líquida formulada à base de Bisfenol e não modificada, de alta viscosidade e densidade líquida. Os dados de caracterização com a análise físico/química da resina epóxi são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise física/química da resina epóxi do tipo DGEBA ARALDITE® GY-260.
Fonte: Hunstman, 2011.

Propriedades	Unidade	Resultados
Estado físico	---	Líquido
Viscosidade a 25 °C (DIN 53015)	mPas	12.000 – 16.000
Equivalente epóxi	g/Eq	185 - 196
Teor epóxi	Eq/kg	5,10 – 5,40
Cor	Gardner	≥ 3
Massa específica a 20 °C	g/cm ³	1,20

Para os procedimentos experimentais adotados neste estudo, foi definido o planejamento e condições para a elaboração dos corpos de prova, sendo a composição dos materiais definidas da seguinte forma: óleo de soja epoxidado 100%; mistura de resina epóxi 50% e óleo epoxidado a 50% e dos diferentes percentuais de 20% e 30% de madeira de RCC aplicada a resina, produzidos de acordo com as condições experimentais apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Planejamento e condições experimentais para elaboração dos corpos de prova.
Fonte: Autores do trabalho.

Corpo de prova	Composição	Percentual óleo epoxidado-resina epóxi	% de madeira de RCC	Granulometria
CP1	Óleo epoxidado	100% - 0%	0%	-
CP2	Resina epóxi e óleo epoxidado	50% - 50%	0%	-
CP3	Resina epóxi e óleo epoxidado	50% - 50%	20%	mesh 18
CP4	Resina epóxi e óleo epoxidado	50% - 50%	30%	mesh 18
CP5	Resina epóxi e óleo epoxidado	50% - 50%	20%	mesh 35
CP6	Resina epóxi e óleo epoxidado	50% - 50%	30%	mesh 35

Obs: 1- As amostras CP1 foram preparadas apenas com óleo epoxidado (100%). 2- As amostras CP2 a CP6 foram preparadas com resina epóxi (50%) e óleo epoxidado (50%).

Os materiais para formação dos compósitos foram adicionados e misturados por agitação vigorosa durante cinco minutos. Os teores de 20% e 30% de partículas de RCC foram definidos como níveis experimentais para a quantidade de reforço a ser acrescentada à resina epóxi. Frações inferiores a 20% de partículas de RCC não apresentaram uma boa homogeneização da resina epóxi/partícula, neste caso observou-se uma leve decantação das partículas antes do processo de cura, não permitindo padronização dos elementos, o que inviabiliza os ensaios mecânicos. Os corpos de prova preparados na fase anterior ao processo de cura e posterior as etapas pré e pós-cura são mostradas na Figura 1:

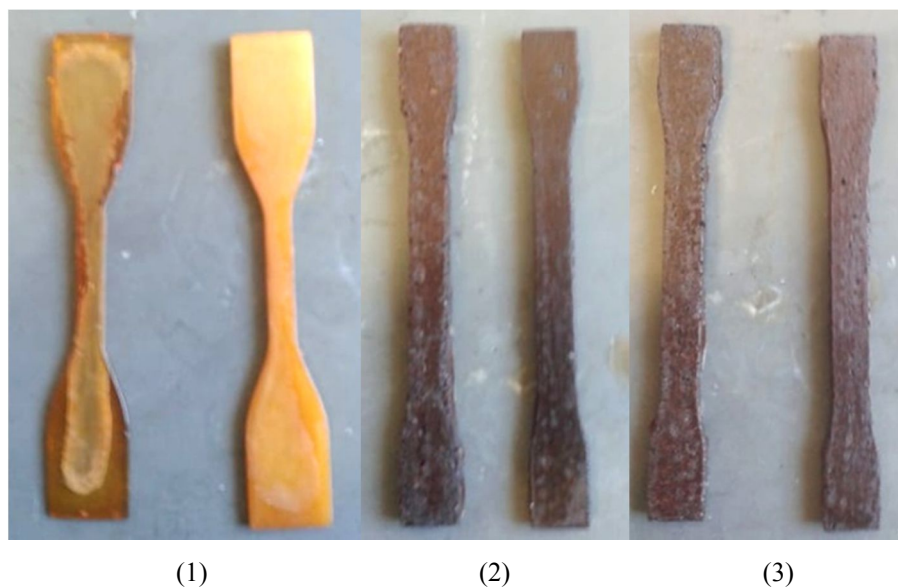


Figura 1: Corpos de prova matriz: (1) Epóxi pura; (2) Epóxi-madeira 20%; (3) Epóxi-madeira 30%.
Fonte: Autores do trabalho.

Para o processamento de cura, a operação foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, os corpos de prova foram encaminhados a uma estufa convectiva por 2 horas a 100 °C, na segunda etapa os corpos de prova foram submetidos a 150 °C. Após 48 horas, as peças foram removidas do molde permanecendo em repouso à temperatura ambiente por sete dias, para cumprir com o período de pós-cura. Em seguida, os corpos de prova com as dimensões requeridas foram levados a ensaios mecânicos.

Para os ensaios mecânicos foram preparadas ao todo seis amostras para as análises. A caracterização dos compósitos madeira-epóxi foi realizada mediante caracterização química, densidade aparente e mecânica que serão mostradas a seguir. A análise química foi feita pela técnica de Espectroscopia FTIR, que se mostra adequada para descrever o processo de epoxidação de óleos vegetais, pois mostra a formação do grupo epóxi e identifica reações colaterais como a abertura do anel epóxi (TARAZONA, 2017). Os corpos de prova (CP1 a CP6) foram submetidos à carga de tensão até o rompimento, e uma tabela de carga x deformação foi elaborado para cada CP submetido ao ensaio. A medição do alongamento dos corpos de prova foi efetuada pelo próprio equipamento no momento do ensaio de tração. Para determinar a densidade dos corpos de prova, foi utilizado um densímetro conforme descrito na norma ASTM D792. Este processo foi efetuado em triplicata para cada composição.

A operacionalização do procedimento experimental e a definição das frações volumétricas, de modo a identificar os teores da matriz e do reforço orgânico, bem como o tamanho e a padronização das partículas, foram embasadas em estudos já realizados sobre compósitos poliméricos com resinas termorrígidas e carga orgânica vegetal.

RESULTADOS

Pela análise por FTIR do óleo de soja é identificado pico correspondente à ligação dupla (c=c) na faixa de 3005 cm^{-1} . Isto não ocorre na análise do óleo de soja epoxidado, que pode estar relacionado ao tratamento térmico a que foi submetido o óleo de soja virgem, degradando assim os ácidos graxos poli-insaturados. Outra constatação na análise do óleo de soja epoxidado, refere-se à ligação (c-o-c) dos grupos epóxidos que aparece de forma destacada no estiramento do pico na faixa de 817 cm^{-1} (TARAZONA, 2017), Figura 2.

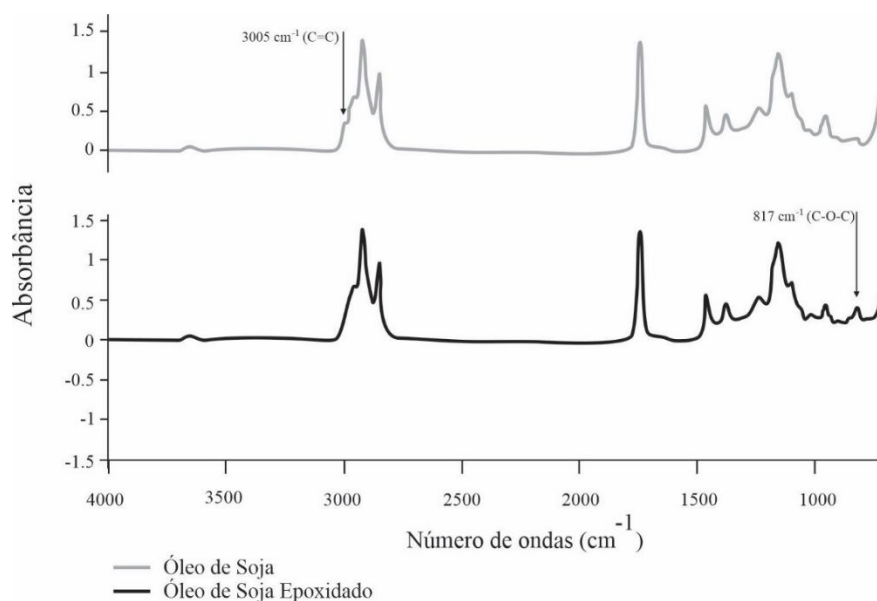


Figura 2: Análise por FTIR do óleo de soja e óleo de soja epoxidado.
Fonte: Tarazona, 2017.

Também foram analisadas as amostras de compósitos madeira-epóxi que foram trituradas e peneiradas a 35 e 60 *mesh*. Essas informações foram comparadas com diversos trabalhos já publicados para identificar o posicionamento em diferentes comprimentos de onda de componentes das referidas amostras. Segundo Tarazona (2017), a estrutura de amostras vegetais é composta principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. Os resultados obtidos pela técnica de Espectroscopia FTIR das amostras de madeira-epóxi apresentam os comprimentos de onda selecionados de 700 a 3200 cm^{-1} , os quais descrevem as regiões de sinais de importância significativa para o estudo e correspondem às faixas das absorções dos grupos funcionais presentes na composição química da madeira analisada. A região de absorção da estrutura amorfa da celulose está indicada na faixa de 1423 cm^{-1} . Na faixa de 1475 e 1580 cm^{-1} , primeiro harmônico de OH, são apresentadas as regiões de absorções da estrutura semicristalina e cristalina da celulose. Os picos de comprimentos de onda situados entre 2280 e 2330 cm^{-1} , descrevem a região de ocorrência das absorções de CH+CH, CH₃. (TSUCHIKAWA; SIESLER, 2003).

A análise por FTIR dos compósitos madeira-epóxi é marcada pela presença do grupo epóxi em bandas específicas desse grupo no espectro de infravermelho. O grupo epóxi apresenta três faixas características identificadas nas regiões 1250 cm^{-1} , $950\text{-}860\text{ cm}^{-1}$, e na de $865\text{-}785\text{ cm}^{-1}$. A primeira banda, situada em aproximadamente 1250 cm^{-1} corresponde à deformação axial simétrica dos anéis epóxi (TARAZONA, 2017). Na Figura 3 é apresentada os dados da análise por FTIR dos compósitos madeira-epóxi.

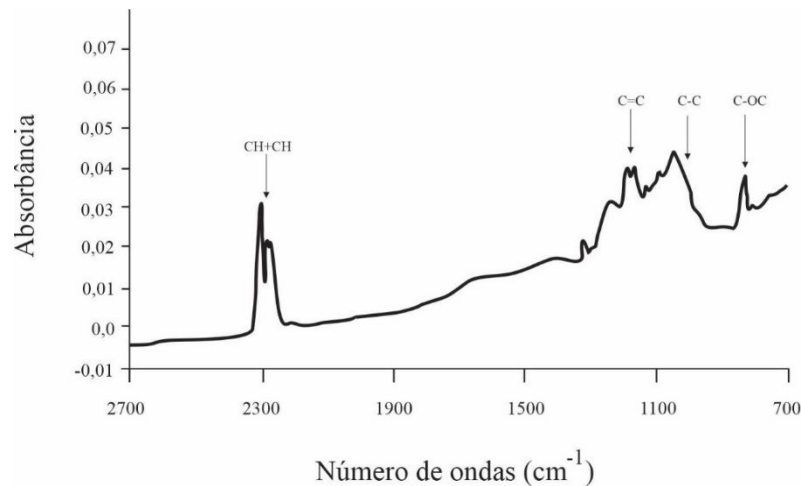


Figura 3: Análise por FTIR das amostras compósitos madeira-epóxi.
Fonte: Autores do trabalho.

Os resultados quanto a densidade dos corpos de prova demonstrou variações significativas para os compósitos com reforços lignocelulósicos, sendo que os valores limites apresentaram a densidade mínima em $0,113\text{ g/cm}^3$ e máxima de $0,138\text{ g/cm}^3$. O desvio padrão das medições apuradas descrevem valores de densidade bastante semelhantes para as concentrações de 20% e, sequencialmente, para as concentrações de 30% de carga orgânica. Um ponto em destaque foi a redução da densidade nas amostras CP4 e CP6 que apresentaram resultados inferiores que as demais. Isso pode ocorrer em função da menor concentração de carga orgânica das amostras. Porém, vale ressaltar que as amostras sem reforço apresentaram densidades próximas às com reforço de carga orgânica reduzida (Figura 4).

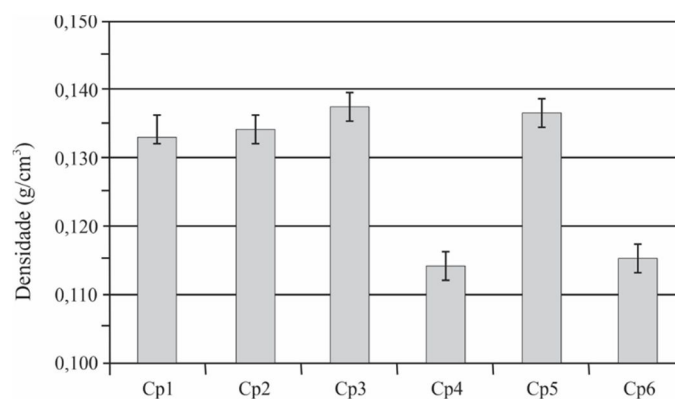


Figura 4: Análise da densidade dos corpos de prova.
Fonte: Autores do trabalho.

Nos ensaios de resistência mecânica, apesar de apresentarem a característica de elevada dureza, ao se analisar os valores obtidos nos ensaios de tração, foi constatado que as propriedades mecânicas dos compósitos epóxi-madeira de RCC com os percentuais de 20% e 30% de carga orgânica, apresentam uma linha de oscilação de 0,44% a 0,77% de deslocamento até a ruptura, o que demonstra a viabilidade de sua utilização como reforço em matrizes poliméricas para obtenção de compósitos lignocelulósicos. Os dados apurados para os ensaios mecânicos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Medidas do ensaio de tração e alongamento percentual conforme norma ASTM D638.
Fonte: Autores do trabalho.

Medida (mm)	CP1		CP2		CP3		CP4		CP5		CP6	
	L ₀	L ₁	L ₀	L ₁	L ₀	L ₁	L ₀	L ₁	L ₀	L ₁	L ₀	L ₁
Comprimento	115	134	115	115	166	166	166	166	166	166	166	166
Distância Garras	65	84,66	65	66,74	115	116,28	115	115,74	115	116,66	115	116,03
A ¹ (%)	17,245%		2,13%		0,77%		0,44%		0,73%		0,62%	
Média %	-		-		0,64%							

A análise dos valores de tensão máxima do ensaio de tração permaneceu bem próximos para os materiais compósitos CP3 e CP5, sendo 18,415 MPa e 18,274 MPa respectivamente. Os valores dos módulos de resistência à elasticidade - MOE e dos módulos de resistência à tração - MOR são apresentados por cada CP na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de tensão dos módulos MOE e MOR.
Fonte: Autores do trabalho.

MPa	CP1		CP2		CP3		CP4		CP5		CP6	
	Nom	Verd	Nom	Verd	Nom	Verd	Nom	Verd	Nom	Verd	Nom	Verd
MOE	16,76	16,92	1750,84	1770,9	2069,9	2083,3	2058,1	2071,4	2121,4	2135,1	2092,6	2106,2
MOR	1,31	1,87	39,39	40,45	18,41	18,62	12,94	13,02	25,0	25,4	18,27	18,43

Outro resultado interessante foi a baixa resistência à elasticidade apresentado pelo CP1, com apenas MOE 16,76 em comparação a resina do CP2 com MOE 1750,84 ou CP5 com o maior valor MOE 2121,4. Um dos resultados significativos foi identificar a elevação nos módulos de elasticidade e resistência à tração com a adição de fibras lignocelulósicas de RCC a matriz referência. Entretanto, com o percentual de 20% das fibras de madeira de RCC, houve efeito positivo na tensão e flexão com melhoria na interação interfacial matriz-reforço, decorrente do maior volume de resina. O aumento do módulo de elasticidade com a incorporação de carga orgânica adicionados a matriz polimérica já era esperado, devido à maior limitação à deformação do polímero.

Com estes resultados, foi apurado que tais características permitem substituir de forma similar a madeira natural em aplicações nas áreas de arquitetura, construção civil, embalagens, logística e em diversos outros setores. A geração de resíduos de construção civil, é responsável por produzir um volume de resíduos de madeira de construção que deve ser aproveitado de forma adequada, agregando valor a este resíduo, especialmente na forma de painéis compósitos a base de resinas epóxi de óleos vegetais.

CONCLUSÕES

A utilização de compósitos oriundos de resíduos de madeira e resinas poliméricas termorrígidas ainda percorrerão um longo caminho até sua aplicabilidade efetiva. A falta de informação da população acaba sendo um dos grandes impedimentos para um crescimento ainda mais acelerado destes materiais. Uma das principais alternativas para o aproveitamento dos resíduos de madeira de RCC é sua transformação física em um produto de maior valor agregado para o mercado consumidor.

Os levantamentos apurados e a caracterização dos materiais demonstram que o objetivo proposto neste estudo foi alcançado, constata-se que o compósito epóxi-madeira apresentou boa resistência mecânica apurado nos ensaios mecânicos. A temperatura/tempo de cura aplicada não alterou, neste caso, significativamente na densidade aparente e na rigidez dos compósitos produzidos com 20% ou 30% de carga. Foi possível verificar que as propriedades físicas e mecânicas do material compósito facilitam a sua aplicabilidade com pouca manutenção e maior resistência e durabilidade. Os resultados levam a concluir que é viável, em um futuro breve, ter uma outra opção na destinação de resíduos de madeira e óleos vegetais, além de demonstrar a possibilidade de agregação de valor aos resíduos utilizados como matéria-prima neste estudo. Como sugestão para novos experimentos, pode-se realizar ensaios mecânicos mais específicos em condições extremas de temperatura (alta/baixa) para verificar melhor o comportamento deste material compósito.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ, D.; DORADO, M. **Tecnología de la madera**. Argentina: Universidad de Córdoba, 2011.
2. CALLISTER, W. D. J.; RETHWISCH, D. G. **Materials science and engineering: an introduction**, 8 ed. 2015.
3. CAVALCANTI, W. M. FERNANDES, M. A. **Técnicas de uso dos resíduos sólidos de café como agregado para briquetes/péletes e compósitos de madeira**. XII CONVIBRA, Brasil. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/34XFIUf>>. Acesso em: 20 de março de 2020.
4. HUNTSMAN CORPORATION. **Selector Guide Indd - Advanced Materials High Performance Components**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.huntsman.com/porta/page/porta/D47E2E526C8773F8E040EBCD2B6B0311>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.
5. KERN, A. P.; AMOR, L. V.; ANGULO, S. C.; MONTELONGO, A. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. **Waste management**, v. 78, n. 1, p. 446-455, 2018.
6. LAGE, F. C. **Produção e caracterização química, térmica e mecânica de resinas epóxi a base de óleos vegetais para aplicação em soldagem a arco com eletrodos revestidos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
7. LOPES, B. L. S. **Polímeros reforçados por fibras vegetais: um resumo sobre esses compósitos**. Ed. Blucher: São Paulo, 2017.
8. MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.
9. MALLICK, P. K. **Fiber-Reinforced Composites**. Materials, Manufacturing and Design, 3 ed. CRC Press, 2008.
10. OLIVEIRA, S. M. M. **Meio Ambiente, Reciclagem e Tratamento de Resíduos**. TECPAR, 2005. Disponível em: <<http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt409.pdf?PHPSESSID=6aa56910df57f5c60f1bee9de0deaf0>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.
11. PINTO, M. **Exclusivo: madeira plástica tem praticamente todas as aplicações do natural, e vantagens**. Ambiente Brasil, 2007. Disponível em: <http://groups.msn.com/Armazem/noticias.msnw?action=get_message&mview=0&ID Message=1382>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.
12. PRABHAKAR, M. N.; SHAH, A. U. R.; RAO, K. C.; SONG, J.-I. Mechanical and thermal properties of epoxy composites reinforced with waste peanut shell powder as a bio-filler. **Fibers and Polymers**, v. 16, n. 1, p. 1119-1124, 2015.
13. TARAZONA, E. R. T. **Aproveitamento da fibra de borra de café como material de reforço em compósitos com matriz de resina epóxi preparada a partir de óleo de cozinha usado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
14. TSUCHIKAWA, S.; SIESLER, H. W. Near-infrared spectroscopic monitoring of the diffusion process of deuterium-labeled molecules in wood. Part II: hard wood. **Appl Spectrosc**, v. 57, n. 6, p. 667-674, 2003.
15. SILVA, V. J.; MUÑOZ, L. M.; PUCHE, J. D.; COGOLLO, M.; CRUZ, J. E. **Desarrollo de elementos estructurales y no estructurales em plástico reciclado para su aplicación em proyectos de viviendas de emergencia**. 2011. Disponível em: <<http://www.buenastareas.com/ensayos/Tableros-De-Madera-Plastica/1729264.html2011>>. Acesso em: 12 de outubro de 2019.