

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE MADEIRA PLÁSTICA EXTRUDADA A PARTIR DE PEAD RECICLADO E FIBRA DE BABAÇU

Rômulo Diêgo Marinho Siqueira

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Instituto Federal do Maranhão, Av. Getúlio Vargas, 04, Campus Monte Castelo, São Luís/MA.

Univ. Federal de Uberlândia, Lab. de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Av. João Naves de Ávila, 2121, bloco 1O, Uberlândia/MG.

romulodiegoms@hotmail.com ; leo.rrs@gmail.com

Felipe dos Anjos Rodrigues Campos

Univ. Federal de Uberlândia, Lab. de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Av. João Naves de Ávila, 2121, bloco 1O, Uberlândia/MG.

filipin_anjos@hotmail.com

José Ricardo Ferreira Oliveira

Univ. Federal de Uberlândia, LTCME, Av. João Naves de Ávila, 2121, bloco 1M, Uberlândia/MG.

jose.ricardo@ufu.br

Resumo. O desenvolvimento social, aliado ao progresso econômico e a preservação dos recursos naturais formam a base do conceito de sustentabilidade. Nesse sentido, os processos produtivos devem ser planejados para priorizar o aproveitamento das matérias primas e integrar as comunidades locais na cadeia de valor. Um modelo produtivo baseado nessa estratégia foi estabelecido como alternativa ao uso de madeira florestal na indústria moveleira, a partir da extrusão de barras de compósito de madeira plástica (CMP) usando PEAD reciclado e fibras das cascas do coco babaçu. Fluxogramas das matérias primas foram desenvolvidos para comparação qualitativa com os métodos de produção usuais, e ensaios mecânicos foram conduzidos no polímero puro, madeira pura e compósito para avaliar a viabilidade de substituição da madeira. A adição das fibras deu ao CMP características intermediárias de resistência e ductilidade entre o Angelim e o PEAD, favorecendo o uso em processos de conformação. Os produtos extrudados apresentaram porosidade interna e aglomeração das fibras, gerando propriedades não homogêneas e concentração de tensão nos testes. O modelo proposto favorece a economia circular ao reutilizar matéria prima reciclada e reaproveitar subprodutos da economia extrativista do babaçu, tradicional do interior do Maranhão, promovendo também a integração social.

Palavras chave: sustentabilidade, compósito de madeira plástica, fibra de babaçu, extrusão, PEAD

1. INTRODUÇÃO

A Agenda 2030, um compromisso internacional assinado pelos membros da ONU, estabelece 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável visando a erradicação da pobreza e proteção do planeta. Dentre eles, se destaca a sustentabilidade como requisito fundamental para a estrutura da produção, seja nas cidades, indústrias ou no campo. De acordo com Seliger et. al. (2011), esse conceito está relacionado não só com a conservação dos recursos naturais, mas também com a prosperidade financeira e o bem-estar da sociedade, preocupações estas que formam o tripé da sustentabilidade, comumente denominado *triple bottom line*.

Nesse sentido, o planejamento da produção deve ser pensado desde o início da cadeia produtiva até o fim do ciclo de vida dos produtos, priorizando fluxos circulares na cadeia econômica, com objetivo de maximizar a reciclagem e o reaproveitamento das matérias primas (Seliger, 2012). Também, a reutilização de subprodutos dos processos produtivos se torna um elemento imprescindível para minimizar os descartes no meio ambiente. Assim, quando uma empresa estabelece nos seus processos de fabricação a associação desses fatores de forma lucrativa e integrada com as comunidades locais, é possível alcançar o desenvolvimento socioeconômico junto com a preservação do meio ambiente.

A produção dos compósitos de madeira plástica (CMP) se aproxima desse cenário, ao utilizar fibras naturais amplamente disponíveis nos subprodutos da indústria de papel e celulose em mistura com polímeros tradicionais. As fibras, que são componentes renováveis, além de substituírem os polímeros derivados do petróleo em percentuais mássicos de 1 a 40 % nesses produtos, também melhoram substancialmente as propriedades mecânicas como resistência a tração, flexão e a impactos. Esse tipo de aplicação recebeu atenção principalmente a partir da década de 1970 com desenvolvimento de tecnologias para preparação das fibras, mistura e fabricação dos compósitos por laminação, extrusão ou outros métodos. Atualmente a produção anual chega a 2,6 milhões de toneladas (Kieling et. al., 2019), e os principais

produtos são as placas laminadas usadas no revestimento de paredes e pisos, embora bens de consumo diversos também têm sido fabricados. Além das boas propriedades mecânicas e do apelo estético, os produtos recebem aditivos que garantem boa resistência a intempéries químicas e biológicas (oxidação, mofo, cupins) e baixa flamabilidade.

Pensando-se nesse contexto, nesse trabalho foi avaliado a utilização da fibra do coco babaçu como componente celulósico em compósitos de madeira plástica. Além dos tradicionais atrativos dessa tecnologia, priorizou-se a sua integração com a comunidade local pelo aproveitamento de subprodutos da tradicional economia de extrativismo do coco babaçu no interior do Maranhão. Dentre as várias aplicações da palmeira e das diferentes partes do fruto, a extração das castanhas e fabricação de óleos comestíveis ocorrem de forma artesanal e consistem na principal forma de sustento de mais de 40000 famílias do interior do estado (Porro, 2019), significando grande quantidade de subprodutos na forma de cascas. Segundo Martins et. al. (2011), apesar de corresponder a apenas 11 % da massa do fruto, o epicarpo, se aproveitado totalmente, possibilitaria uma produção anual de 1,5 milhão de toneladas de fibras.

Além disso, o principal foco foi avaliar a aplicação dessas fibras em materiais capazes de substituir a madeira usada na indústria moveleira nas cidades maranhenses, muitas vezes proveniente de áreas de floresta derrubadas. Ressalta-se o intenso desmatamento nas matas nativas dessa região nos últimos anos (Kalamandeen et. al., 2018). Adicionalmente, em linha com a ideia de sustentabilidade, os compósitos de madeira plástica foram estudados pensando-se na reciclagem de termoplásticos como forma de obtenção da matriz polimérica. Dessa forma, contribui-se para a preservação ecológica e também para a competitividade do setor ao promover-se o reaproveitamento de um material muitas vezes tratado como lixo, e quer por isso, pode ser obtido a preços mais baixos.

Para verificar a adequabilidade desse modelo de produção, perfis de seção retangular foram extrudados em PEAD e em CMP, dos quais amostras foram recortadas para caracterização da resistência mecânica. Corpos de prova em madeira natural também foram avaliados. A temperatura da extrusora foi um importante fator na qualidade das barras produzidas, enquanto a distribuição não homogênea das fibras foi decisiva para os modos de fratura observadas nos ensaios. De forma geral, a incorporação das fibras melhorou as propriedades em comparação com o polímero puro, com algumas vantagens também sobre as características da madeira pura. Esses fatores indicam a possibilidade de reutilização das cascas do babaçu junto com os polímeros reciclados como estratégia para o desenvolvimento sustentável da região, num modelo de negócio que integra a tradição regional e preserva o meio ambiente.

2. METODOLOGIA

2.1. Avaliação da sustentabilidade

Os métodos de avaliação de ciclo de vida do produto (comumente denominados *life cycle assessments* ou LCA) são as ferramentas mais utilizadas na indústria para avaliar os impactos ecológicos de um produto, e são detalhadamente estabelecidas no conjunto de normas ISO 14000. Segundo a ISO 14040 (2006), cujo esquema é apresentado na Fig. 1, essa análise começa com a definição do escopo, que inclui a delimitação do sistema, estabelecimento dos possíveis fluxos de matéria e energia na cadeia, escolha das unidades de medida, determinação dos objetivos da análise, entre outros. Posteriormente, é feito o inventário do ciclo de vida, com a coleta de dados e estudo das características do sistema produtivo específico da empresa, determinando a pegada ecológica de cada material e equipamentos envolvidos nas diferentes etapas produtivas. Assim, pode-se finalmente contabilizar os impactos, alguns dos quais são quantitativos tais como o consumo energético equivalente e a emissão de CO₂ equivalente, as duas unidades mais comuns. Outros são difíceis de contabilizar devido à natureza subjetiva ou a escassez de informações e modelos, tais como a contribuição para a perda de biodiversidade e extinção de espécies.



Figura 1. Esquema das etapas da avaliação de ciclo de vida segundo a norma ISO 14040.

Apesar dessas normas representarem um passo importante na avaliação de impacto ambiental, o impacto social é menos abordado. Neste caso, a série ISO 26000 fornece diretrizes em relação a responsabilidade social das organizações, mas tem o caráter apenas comendativo, pela dificuldade de generalizar decisões em relação a integração social na cadeia econômica nos diferentes países e cenários produtivos. Assim, o modelo de produto e fabricação discutidos neste trabalho foram avaliados quanto à sustentabilidade de forma comparativa e qualitativa, contrastando os diferentes impactos sociais

e ambientais decorrentes de cada estratégia econômica. Para isso, fluxogramas simplificados das matérias primas foram estabelecidos.

2.2. Extrusão da madeira plástica e caracterização mecânica

A extrusão foi feita em extrusora convencional de parafuso sem-fim, apresentada na Fig. 2, instalada no Departamento de Engenharia Mecânica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA). As matérias-primas são adicionadas ao silo (1) onde são pré-aquecidas e misturadas em velocidade e temperatura controláveis. A extrusora (2) permite controle preciso da velocidade do motor (3) e puxador (4) através de inversores de frequência, e é dividida em três zonas cujas temperaturas podem ser ajustadas de maneira independente no painel (5). O sistema de refrigeração faz a água circular na extrusora, na matriz e na calha de refrigeração (6), com controle por válvulas.

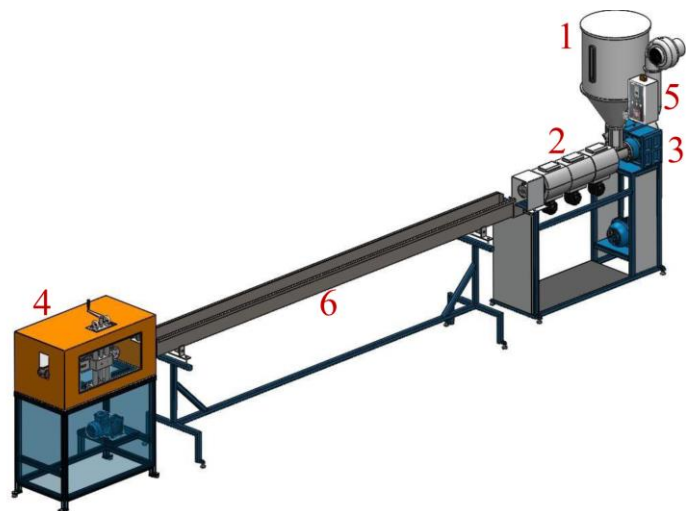


Figura 2. Modelo CAD do sistema de extrusão e seus componentes principais.

As temperaturas e velocidade da extrusora foram avaliadas em 3 níveis com pellets de PEAD reciclado, obtido pela trituração de pallets da indústria alimentícia e cedido por empresa local. Esse material foi desumidificado em estufa a 70 °C por 60 min. Os dados estão presentes na Tab. 1 e a Fig. 3 mostra o aspecto das peças produzidas. Graças ao melhor acabamento e menor porosidade obtidos no teste C, as condições desse teste foram utilizadas para extrusão da madeira plástica. As cascas do coco babaçu foram obtidas com produtores locais e trituradas em liquidificador industrial. As fibras foram então desumidificadas a 100 °C por 60 min e classificadas em peneira de tela #80. Sua adição ao PEAD foi feita no silo, na proporção de 20 % em massa de fibras.

Tabela 1. Parâmetros de extrusão dos testes.

Testes	Temperatura (°C)					Velocidade da rosca (rpm)
	Silo	Extrusora			Matriz	
		Zona 1	Zona 2	Zona 3		
A	50	140	140	160	160	35
B	70	150	150	165	165	20
C	70	170	170	180	180	23



(A)



(B)



(C)

Figura 3. Amostras de PEAD extrudado em diferentes condições de velocidade e temperatura.

As barras de PEAD e CMP foram cortadas e lixadas com lixa #80 até #1200 para produção dos corpos de prova para os ensaios mecânicos. Madeira de Angelim também foi utilizada para comparação das características de resistência, produzindo as amostras na direção das fibras. Os testes de tração foram realizados numa bancada Filizola modelo BME 10 kN, com corpos de prova modelo 1BA da norma ISO 527 (2012), mostrados na Fig. 4(a), e velocidade de deformação de 1 mm/minuto. Os testes de compressão foram feitos numa bancada Shimadzu modelo AGS-X, com corpos de prova modelo A da norma ISO 604 (2002), mostrados na Fig. 4(b), e na mesma velocidade. Ensaios de dureza Shore D foram feitos segundo a norma ISO 7619 (2010) com um durômetro Woltest modelo MP-2 e carga de 5 kg aplicada por 10 min.

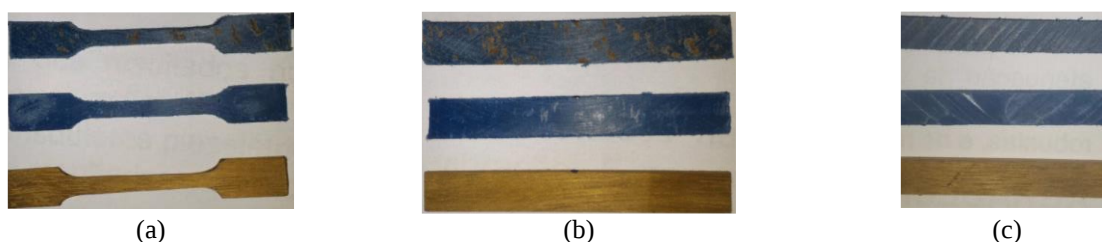


Figura 4. Corpos de prova dos ensaios de (a) tração, (b) compressão e (c) dureza.

Em cada ensaio, 3 testes foram feitos para cada um dos 3 tipos de materiais, e a variância foi indicada nos gráficos pelo intervalo $\pm s$, onde s representa o desvio padrão amostral. Adicionalmente, o teste de comparação entre médias do tipo t-Student foi feito no Statistica 12, tal como ilustrado na Fig. 5, para comparar os materiais dois a dois, a fim de avaliar as variâncias e verificar se as diferenças entre os tratamentos são estatisticamente significativas (Dean et. al., 2017). Adotando nível de significância de 5 % e confiabilidade de 95 %, os valores de p (p-values) menores do que 0,05 indicam que as propriedades mecânicas dos materiais são significativamente distintas. Dessa forma, caso o CMP apresente $p < 0,05$ na comparação com os outros materiais, fica comprovada estatisticamente a obtenção de propriedades intermediárias graças a mistura das fibras com o PEAD.

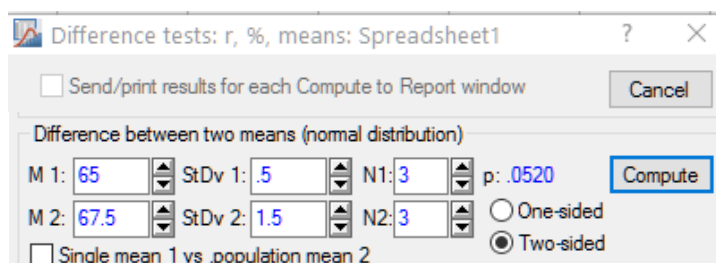


Figura 5. Teste t-Student para comparar médias e variância de duas amostras no Statistica 12.

3. RESULTADOS

3.1. Integração social e preservação ecológica

O modelo produtivo circular para fabricação de móveis a partir de CMP pode ser expresso conforme o fluxograma da Fig. 6b, enquanto o modelo tradicional aparece na Fig. 6a. Como exemplificado por Zhou et. al. (2019), a eco-eficiência do produto pode ser relacionada pela razão entre lucro e impactos ambientais. Embora o lucro dependa de condições operacionais e os impactos quantitativos, tal como a emissão de CO₂ equivalente, possam variar entre as etapas dos modelos, ficam evidentes as seguintes vantagens do ponto de vista da sustentabilidade:

- A adoção da madeira plástica diminui a possibilidade de desmatamento ilegal como fonte de matéria-prima, contribuindo para preservação das florestas e manutenção da biodiversidade;
- Promove-se a integração social do ciclo de produção do CMP com a economia extrativista tradicional do interior do estado, de forma que a população local poderia aumentar sua renda ao vender um componente normalmente não aproveitado;
- Incentiva-se a reciclagem do PEAD, reduzindo o volume descartado em lixões, aterros, rios e mares, aproveitando melhor um recurso intensivo em energia desde a extração e transformação do petróleo;
- Enquanto os móveis fabricados em madeira são normalmente descartados após fim da vida, os fabricados por CMP podem ser reciclados para fabricação de novos componentes extrudados ou laminados (Petchwattana et. al., 2012), possíveis de utilizar em novos móveis.

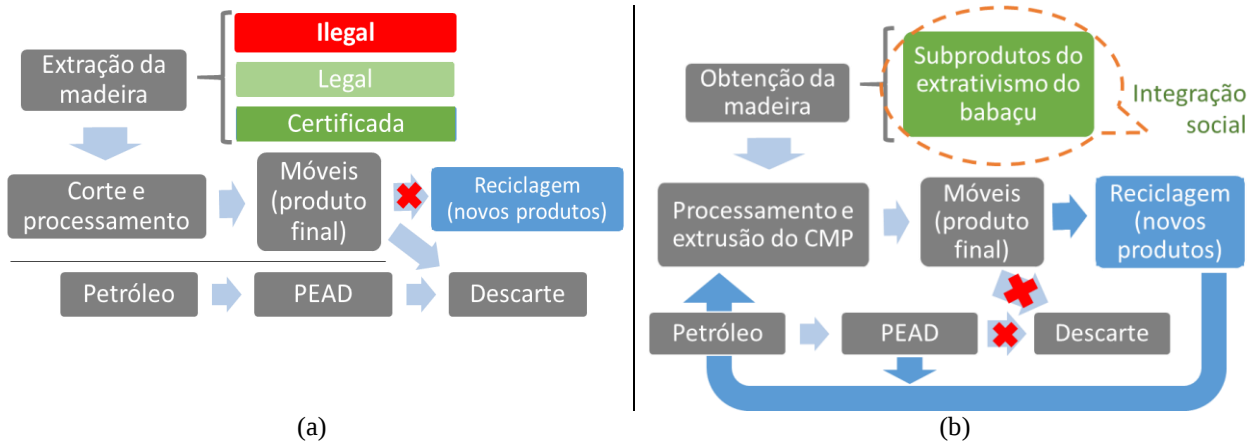


Figura 6. Modelo para produção de móveis da maneira (a) tradicional e (b) proposto, com reaproveitamento dos subprodutos da cadeia do babaçu e reciclagem do PEAD.

3.2. Comparação das propriedades mecânicas

A máxima resistência à tração e deformação máxima dos diferentes materiais são apresentadas na Fig. 7(a). A madeira possui a maior resistência, graças a organização e orientação das fibras de celulose na direção da tensão. A menor capacidade de movimentação dessas fibras interligadas também explica a menor ductilidade. Por outro lado, essa propriedade é máxima no PEAD, dado o alto grau de emaranhamento das cadeias, que podem assim deformar extensamente durante seu alinhamento e estiramento. Segundo os p-values da Fig. 7(c), no CMP obtém-se propriedades intermediárias, que podem ser úteis na fabricação de peças mais complexas por processos de conformação.

Nota-se também que a variabilidade para os materiais extrudados é maior, o que é explicado pela maior quantidade de defeitos, como visto na Fig. 7b. Pequenas bolhas aparecem no PEAD, enquanto no CMP ocorre aglomeração das fibras vegetais, defeitos que podem aumentar a concentração de tensão e diminuir a resistência máxima. Para efeitos de comparação, Lemos et. al. (2017) realizaram ensaios de tração com CMP extrudado contendo 40 % de fibras de babaçu numa matriz de polipropileno (PP), obtendo resistência de 30 MPa comparada aos 17 MPa deste estudo. No entanto, além da resistência superior do PP em relação ao PEAD, a moldagem por injeção sob alta pressão neste outro caso reduz a porosidade. Isso indica que a resistência pode ser melhorada com o ajuste do método de fabricação mecânica. Além disso, Andrade e Nóbrega (2009) mostraram que o aumento da resistência do CMP não cresce linearmente com a quantidade de fibras, havendo, portanto, um percentual ideal que produz a maior resistência. Assim, o teor de fibras é outro fator de ajuste para melhoria das propriedades do compósito extrudado.

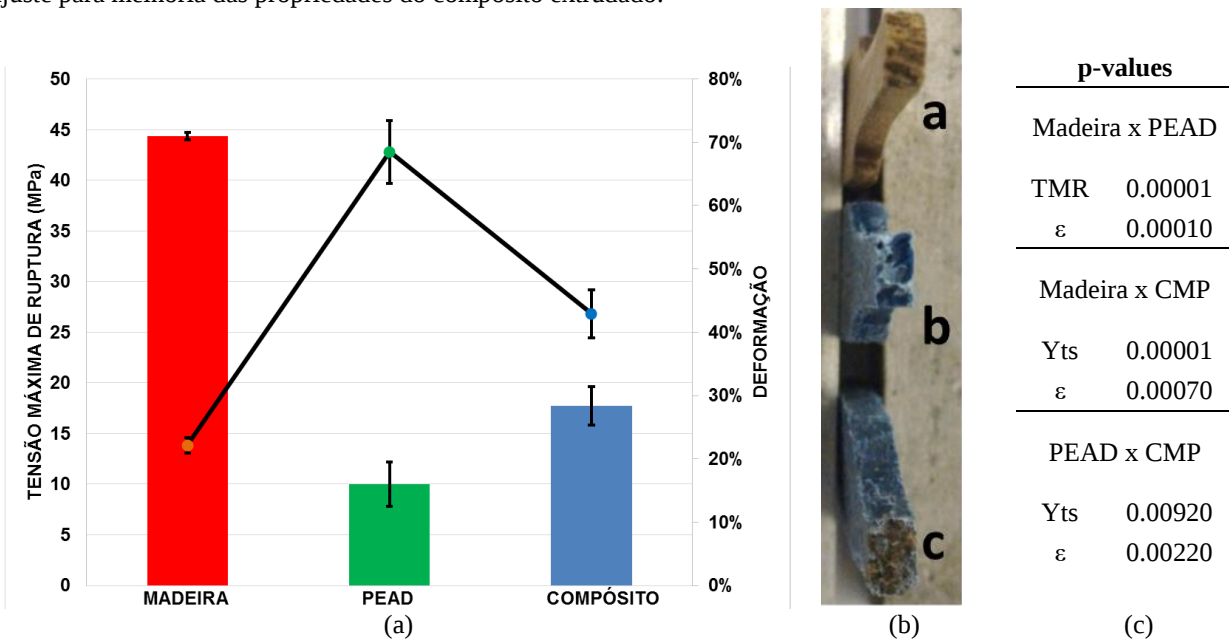


Figura 7. (a) Resistência e deformação máximas no ensaio de tração. (b) Aspecto da região fraturada. (c) p-values obtidos no teste de comparação de médias e variâncias para ensaio de tração.

A resistência à compressão e deformação podem ser constatadas na Fig. 8(a), em que se observa novamente o aumento da resistência do CMP. A adição das fibras como fase secundária auxilia o intertravamento das cadeias poliméricas do PEAD, elevando a tensão de escoamento do compósito. A razão da resistência do compósito em relação à madeira foi de aproximadamente 70 % na compressão, em comparação com a razão de 39 % nos testes de tração. Assim, os defeitos microestruturais são muito mais prejudiciais durante a tração, devido ao maior efeito de concentração de tensão favorecido por este tipo de carregamento (Askeland e Wright, 2015). No entanto, espera-se que esses efeitos diminuam ao ajustar o processo de extrusão e reduzir a porosidade e aglomeração das fibras.

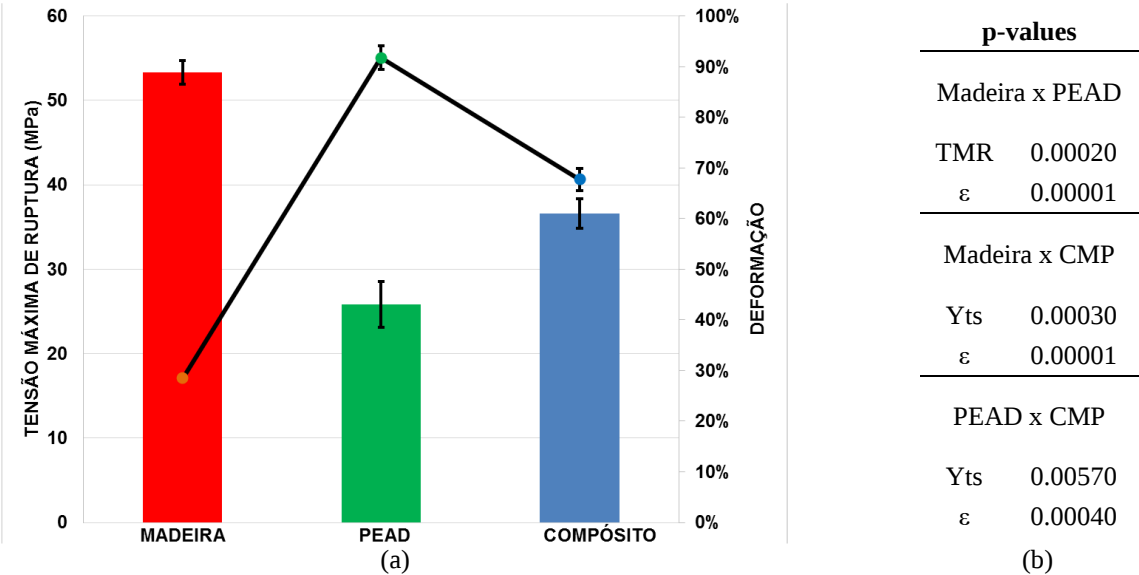


Figura 8. (a) Resistência e deformação máximas no ensaio de compressão. (b) p-values obtidos no teste de comparação de médias e variâncias para ensaio de compressão.

Por fim, a dureza Shore D dos diferentes materiais está exibida na Fig. 9(a), onde constata-se que a madeira apresenta-se menos dura que o próprio PEAD. Neste tipo de teste, um peso morto é colocado sobre um penetrador de aço endurecido e mede-se o deslocamento por relógio comparador. Assim, embora os ensaios de tração e compressão indiquem maior resistência da madeira, neste caso o menor valor está relacionado a diferente orientação das fibras em relação à direção da carga, perpendicular neste caso. No compósito, devido a orientação aleatória das fibras na matriz polimérica, obtém-se um material menos anisotrópico que a madeira, o que pode ser bastante vantajoso dependendo da aplicação. Outro ponto interessante é que o desvio padrão é bem maior no compósito do que nos outros dois materiais. Isso se deve a distribuição não homogênea das fibras, que elevam a dureza do material nas regiões em que estão mais aglomeradas.

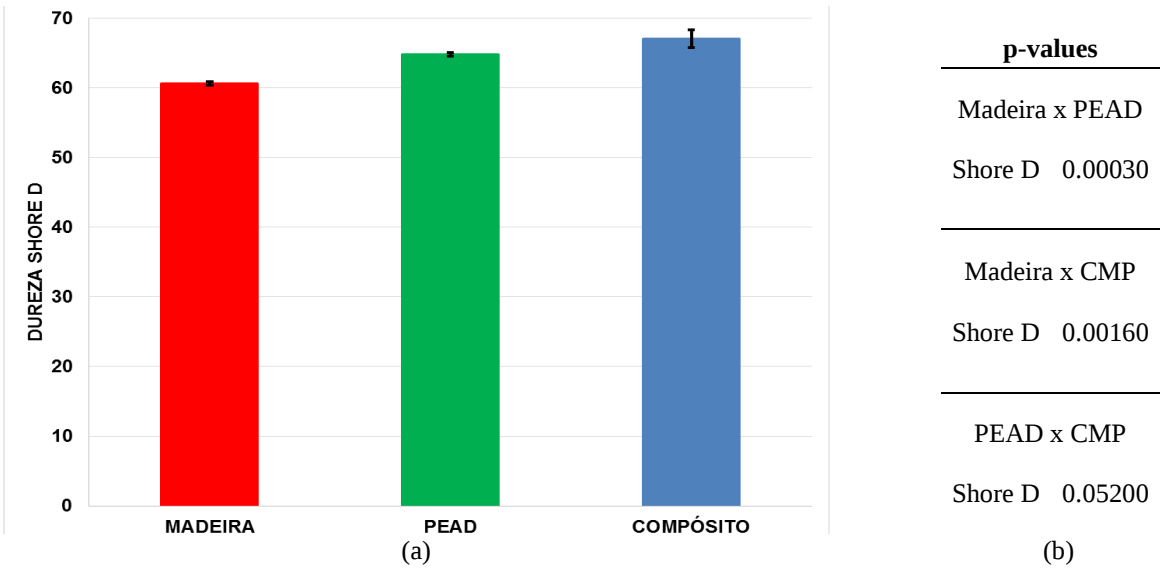


Figura 9. (a) Dureza Shore D para madeira de Angelim, PEAD e compósito de PEAD com fibra de babaçu. (b) p-values obtidos no teste de comparação de médias e variâncias para ensaio de dureza.

Ao comparar o CMP com o PEAD no ensaio de dureza, observa-se que o valor de p da Fig. 9(b) é ligeiramente maior do que o nível de significância, indicando que não há diferença estatisticamente significativa na dureza destes dois materiais. De fato, neste tipo de teste a dureza é inversamente proporcional a deformação da amostra num pequeno volume de material próximo ao contato com o penetrador. Assim, a influência das fibras é menor, já que o movimento das cadeias poliméricas pode acomodar as baixas deformações, sem que ocorra intertravamento pelas fibras do babaçu. Entretanto, os valores de $p < 0,05$ mostrados nas Fig. 7(c) e Fig. 8(b) para os testes de tração e compressão revelam que a influência das fibras se torna importante nas maiores deformações, ao reduzir a mobilidade das cadeias e sua capacidade de estiramento, além de resistir ativamente aos esforços longitudinais.

4. CONCLUSÕES

A necessidade urgente de conservação dos recursos naturais junto com o desenvolvimento socioeconômico pressiona por novas metodologias de produção. Diante desse cenário, foi proposto um modelo de produção de barras extrudadas de compósito de madeira plástica para aplicação na indústria moveleira em substituição à extração de madeira a fim de reduzir a necessidade de desmatamento. Adotou-se o uso de PEAD reciclado junto com fibras da casaca do babaçu provenientes da economia extrativista tradicional do interior do Maranhão, com objetivo de incentivar um fluxo circular de valor e matéria, minimizando o descarte e mal aproveitamento dos recursos. Embora vários trabalhos anteriores tenham avaliado a utilização das fibras do babaçu com diferentes resinas para produção de painéis laminados (Azevedo e Paiva, 2014; Lima et al., 2006), poucos consideraram a extrusão de barras de CMP com este objetivo.

Adicionalmente, ensaios mecânicos foram conduzidos para caracterização da resistência do compósito frente a madeira pura e ao PEAD puro, para verificar a viabilidade de sua aplicação para fabricação de móveis. A partir do estabelecimento de fluxogramas para comparação qualitativa dos cenários produtivos, e dos resultados dos ensaios de tração, compressão e dureza, as seguintes conclusões foram possíveis:

- O ciclo de fabricação proposto para a madeira plástica reduz a necessidade de madeira florestal, e pode assim contribuir para diminuição do desmatamento e da perda de biodiversidade;
- O aproveitamento das cascas do babaçu apoia a economia extrativista tradicional pela valorização de um subproduto, contemplando a comunidade local na geração de valor;
- A reutilização de PEAD e da própria madeira plástica incentiva a indústria de reciclagem e reduz o descarte desses materiais no meio ambiente após o fim da vida útil, uma importante vantagem da economia circular;
- A incorporação das fibras na matriz polimérica gera um material com propriedades intermediárias, combinando resistência mecânica e ductilidade adequadas para manufatura por conformação mecânica;
- As barras extrudadas apresentaram porosidade interna e regiões de aglomeração das fibras, constituindo pontos de concentração de tensão que causaram ganho de resistência à tração menor do que à compressão;
- A tensão máxima suportada pelo material pode aumentar com o ajuste dos parâmetros de processo e da proporção mássica de fibras na mistura;
- As características mecânicas são adequadas a produção de barras e perfis para utilização na indústria moveleira, desde que os parâmetros de extrusão sejam melhor ajustados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão pelo apoio na realização dos ensaios e às empresas de reciclagem de São Luís pela cessão dos pellets de PEAD reciclados.

6. REFERÊNCIAS

- Andrade, E. C. e Nóbrega, M. M., 2009. "Compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de babaçu (*orrbignya speciosa*): caracterização mecânica". *Anais do X Congresso Brasileiro de Polímeros - CBPol-2009*, Foz do Iguaçu, PR.
- Askeland, D. R. e Wright, W. J., 2015. *Ciência e Engenharia dos Materiais*, Cengage Learning, São Paulo, 3ª edição.
- Azevedo, L. F. S. e Paiva, R. A. E. M., 2014. "Desenvolvimento de painéis MDF utilizando a fibra do coco babaçu e eucalipto". *Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECIMAT*, Cuiabá, MT.
- Dean, A., Voss, D. e Draguljić, D., 2017. *Design and Analysis of Experiments*. Springer, Cham, 2ª ed.
- ISO 14040, 2006. "Environmental Management - Life Cycle Assessment: Principles and Framework", *International Organization for Standardization*.
- ISO 527, 2012. "Plastics - Determination of tensile properties", *International Organization for Standardization*.
- ISO 604, 2002. "Plastics - Determination of compressive properties", *International Organization for Standardization*.
- ISO 7619, 2010. "Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of indentation hardness", *International Organization for Standardization*.

- Kalamandeen, M., Gloor, E., Mitchard, E., Quincey, D., Ziv, G., Spracklen, D., Spracklen, B., Adami, M., Aragão, L., e Galbraith, D., 2018. "Pervasive rise of small-scale deforestation in Amazonia". *Nature - Scientific reports*, Vol. 8, No. 1, p. 1-10.
- Kieling, A., Pereira, S. e dos Santos, M. C., 2019. "Compósitos de madeira plástica: considerações gerais". *Scientia Amazonia*, Vol. 8, No. 1, p. 1-14.
- Lemos, A. L. D., Pires, P. G. P., Albuquerque, M. L. D., Botaro, V. R., Paiva, J. M. F. D. e Domingues Junior, N. S., 2017. "Biocomposites reinforced with natural fibers: thermal, morphological and mechanical characterization". *Revista Matéria*, Vol. 22, No. 2.
- Lima, A. M., Vidaurre, G. B., Lima, R. D. M. e Brito, E. O., 2006. "Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada". *Revista Árvore*, Vol. 30, No. 4, p. 645-650.
- Martins, M. A., Morelli, C. L., Marinelli, A. L., Marconcini, J. M. e Bretas, R. E. S., 2011. "Caracterização das fibras amazônicas de pupunha, babaçu e balsa através de DRX, TG e RMN". *Anais do XI Congresso Brasileiro de Polímeros - CBPol-2011*, Campos do Jordão, SP.
- Petchwattana, N., Covavisaruch, S. e Sanetuntikul, J., 2012. "Recycling of wood-plastic composites prepared from poly (vinyl chloride) and wood flour". *Construction and Building Materials*, Vol. 28, No. 1, p. 557-560.
- Porro, R., 2019. "A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas". *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Humanas*, Vol. 14, No. 1, p. 169-188.
- Seliger, G., 2012. *Sustainable manufacturing*. Springer Science, Berlin, 1ª ed.
- Seliger, G., Khraisheh, M. M. e Jawahir, I. S., 2011. *Advances in sustainable manufacturing*. Springer, Berlin, 1ª ed.
- Zhou, Y., Stanchev, P., Katsou, E., Awad, S. e Fan, M., 2019. "A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: recycling and eco-efficiency assessment". *Waste Management*, Vol. 99, p. 42-48.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

SUSTAINABLE PRODUCTION AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF WOOD PLASTIC COMPOSITE EXTRUDED FROM RECYCLED PEAD AND BABASSU FIBER

Rômulo Diêgo Marinho Siqueira

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Maranhão Federal Institute, 04, Getúlio Vargas av., Monte Castelo Campus, São Luís/MA/Brazil.

Federal University of Uberlândia, Lab. for Teach and Research in Machining, 2121, João Naves de Ávila av., 10, Uberlândia/MG.
romulodiegoms@hotmail.com ; leo.rrs@gmail.com

Felipe dos Anjos Rodrigues Campos

Federal University of Uberlândia, Lab. for Teach and Research in Machining, 2121, João Naves de Ávila av., 10, Uberlândia/MG.
filipin_anjos@hotmail.com

José Ricardo Ferreira Oliveira

Federal University of Uberlândia, LTCME, 2121, João Naves de Ávila av., 1M block, Uberlândia/MG.
jose.ricardo@ufu.br

Abstract. Social development, economic progress and preservation of natural resources are the triple bottom line of sustainability. Thus, production must be planned to prioritize recovery of raw material and integrate the community in the value chain. In this work, a model was proposed as an alternative to forest wood for use in furniture manufacturing. It is based on extrusion of plastic wood composite bars using recycled HDPE and fibers from babassu coconut. Flowcharts were used to qualitatively compare this method to the usual one, and mechanical testing was conducted in pure wood, HDPE and composite to verify viability for wood substitution. Fiber addition gave intermediate tensile resistance and ductility to the composite compared to pure plastic and Angelim wood, favoring its use in conformation processes. Products presented porosity and fiber agglomeration, which yielded non-homogeneous properties and stress concentration. The proposed model favors circular economy by using recycled material and byproducts from the babassu extraction economy, traditional in the interior of Maranhão, while also promoting social integration.

Keywords: sustainability, wood plastic composite, babaçu fiber, extrusion moulding, HDPE

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.