

Obtenção e caracterização de materiais compósitos constituídos de fibra de dendê (*Elaeis guineensis*)¹

Julianne Cutrim Nazareno²

Juan Carlos Valdés Serra³

Diego Neves de Sousa⁴

Resumo

O presente trabalho descreve a obtenção de material compósito, a partir da fibra do mesocarpo do dendê (*Elaeis guineensis*) e da resina à base de ureia formaldeído, com a finalidade de atuar como painel de madeira. Foram constituídos materiais com diferentes proporções de fibra/resina (70/30 e 60/40) e realizados testes, utilizando como propriedades físicas e mecânicas: densidade, umidade, absorção de água, inchamento em espessura, compressão e flexão estática. Foi utilizada a Norma NBR 14810/3 para a realização dos ensaios físicos e mecânicos. Os planos de amostragem e procedimentos na inspeção de variáveis foram estabelecidos pela ABNT NBR 5429. Os compósitos são de partículas de alta densidade. O material que apresentou melhores propriedades foi o corpo de prova com 60% de fibra e 40% de resina, mostrando-se como alternativa atraente para o aproveitamento dos resíduos.

Palavras-chave: Dendê. Resíduos. Compósitos.

Abstract

*The present work describes the acquisition of composite material from the mesocarp fiber of palm oil (*Elaeis guineensis*) and the resin based on urea formaldehyde in order to act as a panel of wood. Materials with different fiber / resin ratios (70/30 and 60/40) were made and tested using as physical and mechanical properties: density, humidity, water absorption, swelling in thickness, compression and static bending. Standard NBR 14810/3 was used for physical and mechanical tests. The sampling plans and procedures in the inspection of variables were established by ABNT NBR 5429. The composites are of high density particles. The material that presented the best properties was the test specimen with 60% of fiber and 40% of resin, proving to be an attractive alternative for the use of residues.*

Keywords: Palm oil. Wastes. Composites.

¹ Resumo de dissertação do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, orientado por Juan Carlos Valdés Serra, na Universidade Federal de Tocantins (UFT), Palmas, TO, Brasil, defendido em 05.05.2017.

² Mestre em Agroenergia pela UFT. E-mail: juliannenazareno@gmail.com

³ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campina (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil. Professor da UFT. E-mail: juancs@uft.edu.br

⁴ Doutorando em Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. Analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO. E-mail: diego.sousa@embrapa.br

Artigo recebido em 02.07.2018 e aceito em 10.10.2018.

1 Introdução

As questões ambientais e a demanda energética mundial atualmente têm intensificado o interesse por energias renováveis e a busca por materiais de fontes naturais. São reportados, na literatura, estudos sobre o desenvolvimento de compósitos (a combinação de dois ou mais materiais para formar um terceiro material com propriedades específicas) que podem utilizar polímeros ou fibras naturais (JIA; GONG; HOGG, 2014; THAKUR; THAKUR; GUPTA, 2014; TOUCHALEAUME *et al.*, 2016).

As fibras lignocelulósicas são excelentes matérias-primas para a produção dos compósitos, constatadas pelas patentes e produções científicas internacionais, além da grande quantidade de produtos já comercializados (CATTO *et al.*, 2014; CHIANELLI JÚNIOR *et al.*, 2013; GELFUSO *et al.*, 2014; BORBA; TEDESCO; LENZ, 2014; NUNES *et al.*, 2017).

Dentre os diversos resíduos fibrosos gerados recentemente, as fibras de prensagem do mesocarpo do dendê têm recebido elevada atenção, devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade, essenciais para viabilizar seu uso em larga escala (NEHER *et al.*, 2014; AL-OQLA; SAPUAN, 2014). Essas fibras são compostas por lignocelulose e sua utilização em novos materiais podem agregar valor na cadeia produtiva e contribuir para redução de impactos ambientais negativos (SOUZA *et al.*, 2015; THEN *et al.*, 2015). Com isso, pesquisadores estudam o aproveitamento desses resíduos, gerados durante o processo de extração do óleo de palma (dendê), para poder aplicar na produção de novos materiais (KHALIL *et al.*, 2009).

Em relação aos fatores supracitados, é necessária a busca por soluções sustentáveis para a disposição final da fibra do mesocarpo do dendê. Este trabalho tem por finalidade produzir materiais compósitos,

tendo como reforço a fibra do dendê, gerada no processamento da mesma. Também foi selecionada uma matriz apropriada para a fibra (a escolha da resina possui, não só relevância técnica, como também econômica, pois a mesma influencia no custo da produção), e os compósitos foram caracterizados, utilizando como propriedades físicas e mecânicas a densidade, a umidade, a absorção de água, inchamento em espessura, resistência à compressão e à flexão.

2 Desenvolvimento

2.1 Materiais

Os materiais necessários para a produção do material compósito foram a fibra do dendê, utilizada como reforço e a resina à base de ureia formaldeído (UF), utilizada como matriz polimérica. A fibra do dendê foi adquirida da Empresa AGROPALMA, localizada em Belém (PA). A resina utilizada é disponível no mercado brasileiro e é utilizada na indústria madeireira. O catalisador empregado é de sulfato de amônio.

2.2 Métodos

Para preparar a fibra do dendê, foi necessário emergir a fibra no álcool para remover fungos que apresentavam na amostra e para reduzir a oleosidade do material. Também foi realizada a separação dos cocos secos do dendê de forma manual.

Os cocos secos foram removidos, otimizando o peneiramento das fibras e o tritramento das mesmas. Eles também impediam o tritramento no moinho de facas, travando a máquina. Na figura 1, a ilustração à esquerda retrata a fibra, após ser emergida no álcool, no centro, a fibra antes de ser emergida no álcool e, à direita, os cocos removidos.

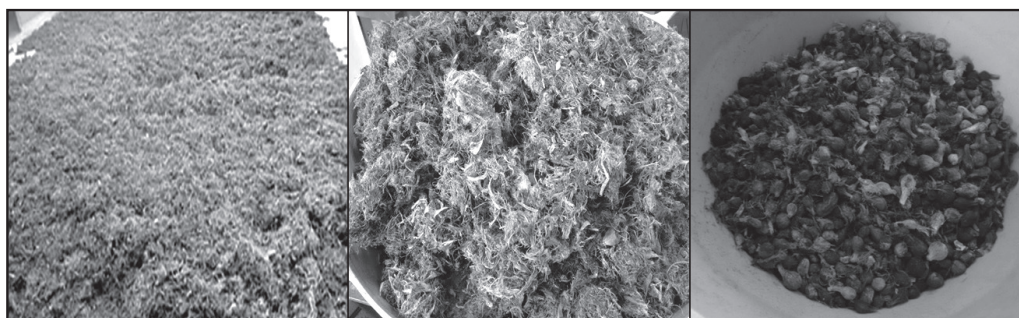


Figura 1 - Fibra e cocos do dendê separados
Fonte: Os autores (2017).

Esperou-se o álcool evaporar, para assim triturar a fibra no moinho de facas da marca Solab, modelo SL-031. Em seguida, foi peneirada com espessura de 10 mesh. Dessa forma, o experimento contou com a

granulometria da fibra do dendê em 10 mesh.

Para atender à condição de que a resina utilizada deveria possuir baixo custo em relação às demais, ser facilmente disponível no mercado e utilizada na

indústria madeireira, foi adotada a base de ureia formaldeído (UF). Assim, a escolha dessa resina possui, não só relevância técnica, como também econômica, pois a mesma influencia no custo da produção.

No mercado, existem várias resinas à base de UF. Neste trabalho, foi empregado o Redemite, sendo ele adesivo líquido, de cor branca, à base de resina ureia formaldeído.

A resina foi aplicada, incorporando-se água, a farinha de trigo e o catalisador, em proporções (partes por peso). A resina foi preparada, conforme a orientação do boletim técnico do fabricante. A água possibilitou o ajuste da consistência. O

extensor teve como finalidade aumentar a viscosidade da resina e também atuar como elemento plastificante. Já o catalisador teve como função acelerar a reação, como catalisador pode se citar o uso de cloreto de amônio, ácido fórmico, ácido oxálico, ácido fosfórico, sulfato de amônio e sais ácidos. Ela pode ser curada tanto a frio como a quente. Para o uso do Redemite, o catalisador utilizado foi o conhecido como “endurecedor G”.

A resina atua como matriz do compósito e o reforço é a fibra. Na figura 2, tem-se o diagrama representando o processo descritivo para a obtenção e caracterização do material compósito.

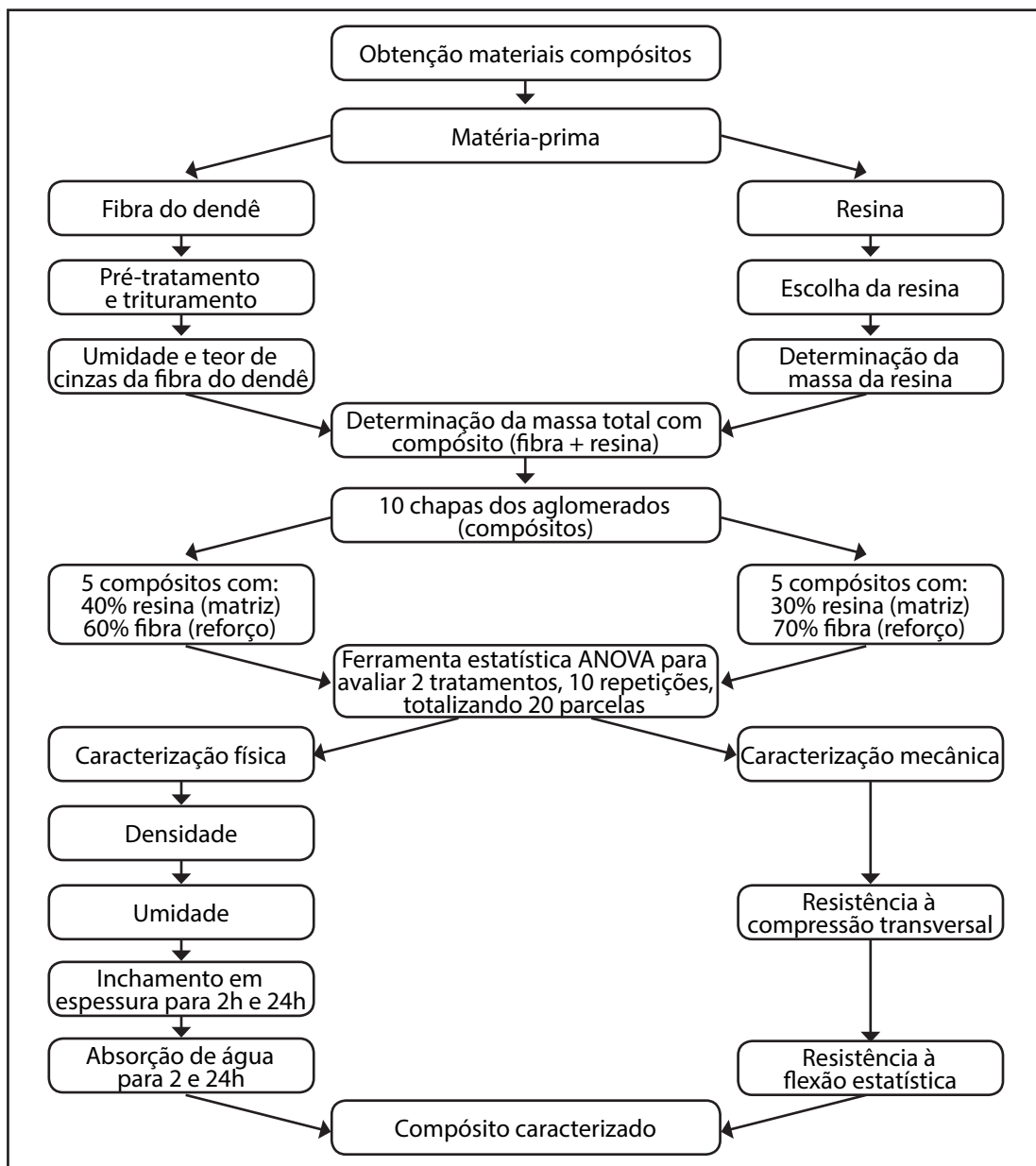


Figura 2 - Diagrama para obtenção e caracterização do material compósito
Fonte: Os autores (2017).

Depois da determinação do delineamento experimental, foram definidas a umidade do resíduo, a massa da resina, a massa da fibra e, por fim, foi realizada a mistura dos componentes com equipamentos adaptados do laboratório, a fim de produzir o material compósito.

A massa das chapas foi o somatório da massa da fibra e da massa da resina. Assim, foram definidas a umidade do resíduo, conforme orienta a NBR 8112 e a massa da resina e da fibra, com base no cálculo utilizado por Covolato (2007). Após a mistura da fibra com a resina em uma bateadeira, foi realizada a prensagem desse material que foi inserido em um molde com dimensões de 200 mm x 200 mm x 25 mm. A prensa hidráulica da marca Nowak foi utilizada e, a partir desse processo, foram produzidas as chapas dos aglomerados.

Foram produzidas dez (10) chapas, igualmente divididas em duas (2) porcentagens de resina (30% e 40%) definidas, a partir de testes iniciais. A nomenclatura para os compósitos foi definida da seguinte forma: CP para corpo de prova e 30 ou 40 representam o percentual da matriz (resina). Um exemplo de denominação de compósito, confeccionado com 30% de resina, é CP_30.

Com intuito de obter produto análogo ao aglomerado, sendo que no experimento não houve a utilização de calor, foi desenvolvida, de forma significativa, a pressão aplicada. Após testes de cargas, no experimento, foi utilizada carga de duas (2) toneladas, durante cinco (5) minutos. Desse modo, verificou-se que cargas superiores a duas (2) toneladas faziam com que o material compósito se rompesse.

Foram produzidos 80 corpos de provas. De acordo com a norma NBR 14810-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006b), os corpos de prova devem ser armazenados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio, nas condições de (65 ± 5) % de umidade relativa, e temperatura de $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$. O material produzido foi acondicionado em uma sala, que ficou hermeticamente fechada, pelo período de 72 horas.

Verificam-se, na figura 3, as etapas de construção do material compósito que consistiu em preparação do molde, mistura dos materiais (resina, catalisador e fibra), prensa e formação das chapas dos aglomerados. Na figura 3, na imagem abaixo, à direita, estão localizados os painéis confeccionados, sendo que, à esquerda, são os CP_30 e, à direita, os CP_40.

Foi utilizada a Norma NBR 14810-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006b) para a realização dos ensaios físicos e mecânicos. Os planos de amostragem e

procedimentos na inspeção de variáveis foram estabelecidos pela NBR 5429 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

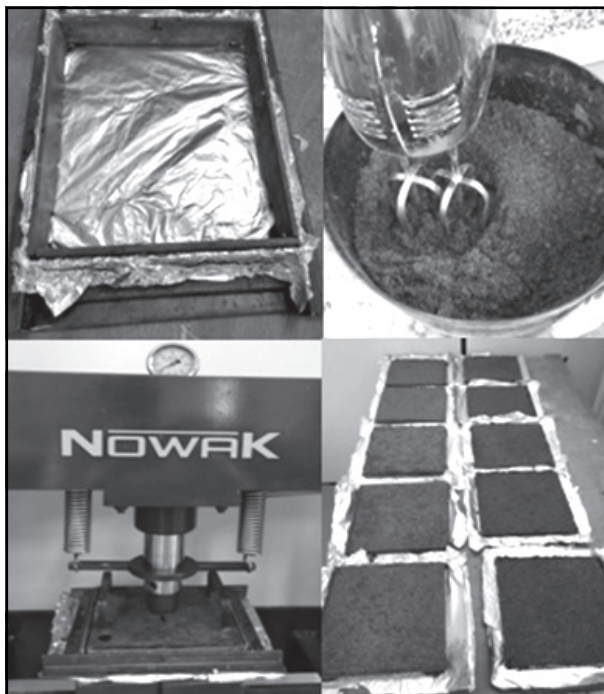


Figura 3 - Preparação e obtenção do material compósito
Fonte: Os autores (2017).

As propriedades físicas avaliadas nos novos materiais foram densidade, umidade, absorção de umidade e inchamento. Enquanto que as propriedades mecânicas avaliadas foram: a resistência à compressão transversal e a resistência à flexão.

2.2.1 Densidade do compósito

Para calcular a densidade, foi necessário determinar a largura, comprimento e espessura. A espessura foi medida em cinco pontos de cada amostra, com auxílio de um paquímetro, sendo uma medida no centro e os demais nas laterais superior e inferior. Posteriormente, foi feita a média aritmética dos valores. A largura e o comprimento foram medidos, através do paquímetro com precisão de 0,1 mm. Em seguida, os corpos de prova foram pesados em balança semianalítica de precisão 0,1 g.

2.2.2 Umidade do compósito

Para a determinação da umidade, os corpos de prova foram pesados individualmente em balança semianalítica de precisão 0,1 g, anotando os dados como massa úmida, posteriormente, eles foram levados à estufa a $(103 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, até obter uma massa

constante. Após o esfriamento, eles foram pesados individualmente e anotou-se a massa seca.

2.2.3 Inchamento e absorção de água do compósito

Para a obtenção dos valores de inchamento, espessura e absorção de água, foi medida a espessura dos corpos de prova com o auxílio de paquímetro em seis pontos distintos, obtendo-se a média dos pontos avaliados. Em seguida, os corpos de prova foram submersos em água destilada à temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, por um período de duas (2) h e 24 h. Após $2\text{h} \pm 3$ min, foram retirados os corpos de prova, removendo o excesso de água com papel absorvente. *A posteriori*, a espessura foi aferida novamente e o novo peso foi medido em balança semianalítica. Realizou-se o mesmo procedimento com um tempo de imersão de $24 \text{ h} \pm 3$ min.

2.2.4 Ensaio mecânicos de compressão

Para o ensaio de compressão, as dimensões da seção transversal dos corpos de provas foram medidas com resolução de 0,1 mm, além de ser posicionados os corpos de provas na máquina universal de ensaios mecânicos.

2.2.5 Ensaio mecânicos de flexão

Para o ensaio de flexão, os extremos do corpo de prova foram colocados sobre os dois (2) apoios da máquina universal de ensaios, sendo que o comprimento do vão foi de dez (10) vezes a dimensão da espessura, de modo que o dispositivo, para aplicar à carga fique no centro do corpo de prova.

O experimento foi realizado, utilizando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com dez (10) repetições e dois (2) tratamentos (compósitos CP_30 e CP_40), totalizando vinte (20) parcelas.

Os quadrados das médias e as médias foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software estatístico "ASSISTAT". Foi feita a análise de variância, para se comprovar o efeito de cada um dos tratamentos, em relação aos corpos de prova testados, após a prensagem e formação dos aglomerados e, em seguida, foram analisadas as diferenças entre os tratamentos.

A ferramenta estatística de Análise de Variância - ANOVA foi utilizada para determinar a diferença entre os resultados e compará-los entre as variáveis analisadas dos compósitos com percentuais de resinas diferenciados. O Coeficiente de Variação (CV) também foi verificado, estimando a precisão dos resultados que representa o desvio-padrão residual expresso como porcentagem da média geral do experimento. Quanto menor o coeficiente de variação, maior a precisão do experimento para determinada variável. O coeficiente de variação é considerado baixo, quando são inferiores a 10%; médios, de 10 a 20%; altos, de 20 a 30%; e muito altos, quando superiores a 30% (GOMES, 2000). Dessa forma, os materiais compósitos foram avaliados, conforme os resultados dos CV, avaliando a precisão do experimento.

3 Resultados

O compósito produzido é reforçado por fibras descontínuas orientadas aleatoriamente. As espessuras variaram entre 13 mm e 16 mm. A variação da espessura pode ser justificada, devido aos percentuais diferentes de reforço e matriz, obtendo respostas diferentes, quanto ao volume ocupado e, conseqüentemente, à densidade dos compósitos.

Para a análise da umidade da fibra do dendê, foram avaliadas as fibras *in natura* e com granulometria de 10 mesh. Verificam-se, na figura 4, os resultados.

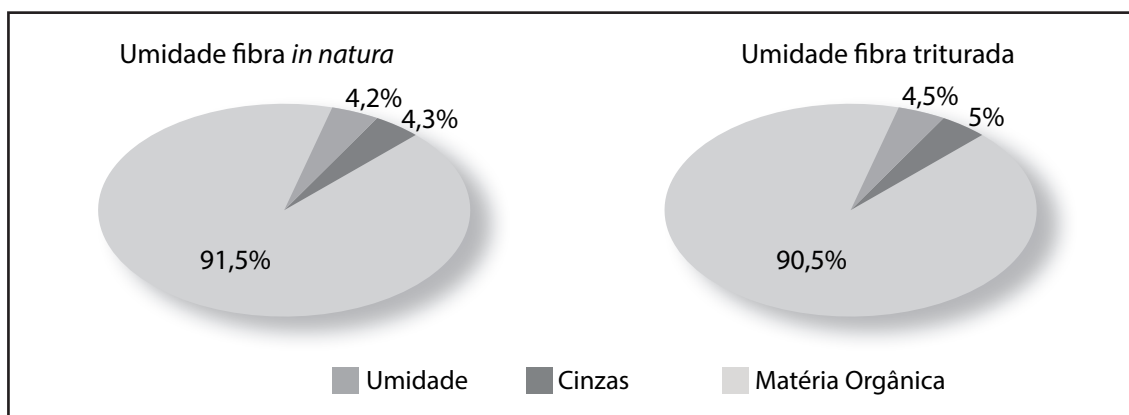


Figura 4 - Resultados da umidade da fibra do dendê
Fonte: Os autores (2017).

As médias do teor de umidade da fibra *in natura* e da fibra triturada foram 4,2% e 4,5%, respectivamente, com uma diferença de 5,6%. Nota-se que a umidade aumentou, após o trituração, e isso pode ter ocorrido por conta do resíduo *in natura* apresentar menor superfície de contato e, como consequência, o menor índice de perda de umidade.

A literatura recomenda que o teor de umidade para produção de chapas de madeira deve ser entre 3% e 12%, pois essa umidade permite adequada penetração de colagem da matriz. Autores afirmam ainda que partículas muito secas podem dificultar o manuseio e as chapas produzidas com os mesmos índices têm grande possibilidade de apresentar defeitos nas bordas (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; NASCIMENTO, 2003). Dessa forma, a média do teor de umidade do resíduo, utilizado na produção dos compósitos, está em conformidade com o recomendado.

Observa-se que 95,5% da matéria seca da fibra triturada, na qual 5% corresponde à matéria inorgânica (cinzas), e 90,5% corresponde à matéria orgânica. Para a matéria seca da fibra *in natura*, observa-se que de 95,6%, corresponde a 4,3% de cinzas e 91,5% de matéria orgânica. Assim, nota-se uma diferença de 12,6% das cinzas analisadas.

Pode-se observar que a quantidade de cinza da fibra triturada é inferior à da fibra *in natura*, o que confere relação com a área de superfície de contato do material, assim como mostrou a umidade. A fibra triturada apresenta maior superfície de contato, possui maior volatilização, em relação à fibra *in natura*, além de que a queima da matéria orgânica ocorre de forma mais rápida e em maior quantidade.

De acordo com Vale *et al.* (2011), o teor de cinzas está relacionado com a presença de minerais provenientes, em parte, da adubação química como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros. Assim, quanto maior for a adubação química do solo, proporcionará valor mais acentuado de cinzas.

Embora não seja correto afirmar que o percentual encontrado nas análises represente toda a substância inorgânica contida na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização no aquecimento aplicado.

Foram feitos a análise de variância para se comprovar o efeito de cada um dos tratamentos (compósitos CP_30 e CP_40), em relação aos corpos de prova testados, após a prensagem e formação dos aglomerados e, em seguida, testadas as diferenças entre os tratamentos. A tabela 1 mostra os resultados da interação entre os materiais compósitos produzidos.

Tabela 1 – ANOVA para a interação dos materiais compósitos produzidos

FV	GL	QM							
		Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Absorção de água 2h (%)	Absorção de água 24h (%)	Inchamento em espessura 2h (%)	Inchamento em espessura 24h (%)	MOR (MPa)	Tensão de Ruptura (MPa)
Int.30x40 resíduos total	18 19	0,036**	0,141**	1,846**	21,63**	6,238**	1,1576**	1,381**	9,4982**
CV (%)	--	3,43	1,32	2,68	3,51	3,68	2,54	1,95	1,89

QM=> Quadrado médio; FV=> Fonte de variação; GL=> Grau de liberdade; CV=> Coeficiente de variação

**significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Os autores (2017).

Os coeficientes de variação para as variáveis analisadas foram considerados baixos (SCAPIM; CARVALHO; CRUZ, 1995). O CV com valor baixo indica que houve precisão nas avaliações experimentais para as características.

Os quadrados médios, obtidos com os desdobramentos das interações significativas foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados foram transformados, utilizando a raiz quadrada de x, uma vez que foi observada instabilidade da resposta, no qual, com o aumento da proporcionalidade entre as médias dos grupos experimentais

e seus respectivos desvios padrões, configurou-se numa não conformidade com os pré-requisitos exigidos para a análise de variância.

Em relação à normalidade dos dados, somente a densidade apresentou normalidade e conformidade.

Conforme a tabela 1, os níveis de resina e os módulos analisados apresentaram efeito significativo (p<0,05) no comportamento do módulo de ruptura e na tensão de ruptura.

Verificam-se, na tabela 2, as médias dos resultados experimentais, possibilitando uma comparação entre os dois tipos de materiais compósitos construídos.

Tabela 2 – Médias dos tratamentos avaliadas dos materiais compósitos produzidos

Compósitos	Médias							
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Absorção de água 2h (%)	Absorção de água 24h (%)	Inchamento em espessura 2h (%)	Inchamento em espessura 24h (%)	MOR (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)
CP_40	1,04 a	11,34 a	25,35 a	34,1 a	2,56 a	6,30 a	1,42 a	12,54 a
CP_30	0,87 b	10,23 b	31,83 b	62,73 b	7,37 b	8,95 b	0,44 b	4,68 b

*As médias seguidas de mesma letra não se diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade
Fonte: Os autores (2017).

Ocorreram diferenças significativas ($p < 0.05$) entre as médias dos corpos de provas com 30% de resina e com 40% de resina, pois o “f calculado” é maior que o “f tabelado” ao nível de 5% de significância, existindo estatisticamente pelo menos uma média diferente das demais. As letras a e b que acompanham as variáveis analisadas indicam que os valores se diferem estatisticamente, assim os compósitos CP_30 e CP_40 para os testes de umidade, densidade, absorção de água, inchamento em espessura, Módulo de Ruptura (MOR) e tensão de ruptura se diferem estatisticamente.

Conforme explica Nazareno (2017), a umidade do aglomerado é influenciada pela umidade relativa do ar. Para umidades relativas de 30%, 60% e 90% o teor de umidade de equilíbrio do aglomerado deve variar de 3 a 6%, 8 a 11% e 15 a 18%, respectivamente. Geralmente, após a fabricação do colchão de partículas, adota-se temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade de $65 \pm 3\%$ para a sua estabilização. No período que o compósito foi fabricado, a umidade relativa do ar variou de 48% a 55%, demonstrando que o resultado esteve dentro do padrão da umidade de 30% a 60% com o valor de 10,23% a 11,34% de umidade do compósito.

Para a densidade, os compósitos variaram de $0,87 \text{ g/cm}^3$ a $1,04 \text{ g/cm}^3$, notando-se uma diferença de 16,35% entre as densidades.

A figura 5 mostra as médias das densidades dos materiais compósitos analisados.

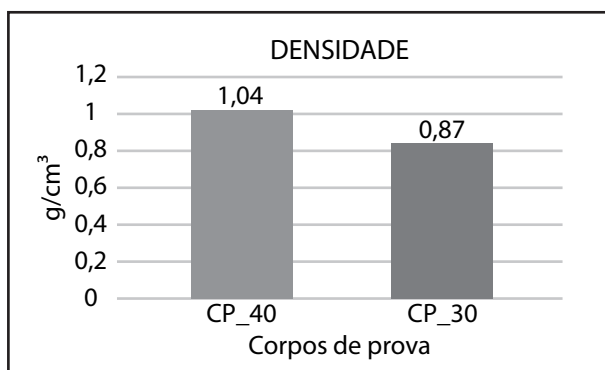


Figura 5 - Média da densidade dos compósitos
Fonte: Os autores (2017).

Os compósitos confeccionados com a porcentagem de 40% de resina apresentam maior densidade. Chapas de madeira, com essa faixa de densidade, são classificadas como chapas de partículas de alta densidade (CARNEIRO, 2002).

Para os valores obtidos do teor de umidade, os compósitos situaram-se entre 10,23% e 11,34%. Assim, nota-se a diferença de 9,79% entre as médias. Esses valores estão em conformidade com os recomendados pela literatura, que são de 8% a 18% de umidade para aglomerados. Eles também estão dentro da faixa de umidade encontrados na literatura.

A figura 6 mostra as médias das umidades dos materiais compósitos analisados.

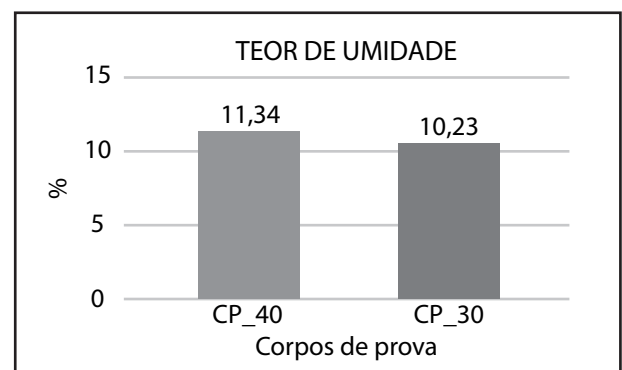


Figura 6 - Média do teor de umidade dos compósitos
Fonte: Os autores (2017).

Percebe-se, também, que o percentual de umidade tende a reduzir com o acréscimo de fibras nos compósitos, os corpos de provas CP_30 têm mais fibras e possuíram menor umidade em relação ao CP_40. A diferença das fibras entre os corpos de provas foi de 25%.

A norma NBR 14810-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006a) preconiza inchamento máximo em espessura de 8% para chapas aglomeradas com imersão em água no período de 2 horas. A tabela 2 ilustra que os resultados das médias estão dentro do recomendado pela norma, mas no período de 24h de imersão, o CP_30

esteve fora da normativa com o resultado de 8,95%. No tempo de imersão de 2h, os compósitos apresentaram diferença de 65,26% e no tempo de 24h de imersão, diferença de 29,60%. O compósito CP_30 absorveu mais água por possuir menor quantidade de resina, ao ocupar os espaços vazios. Para o tempo de 2h, houve diferença de 20,35% e, para o tempo de 24h, a diferença foi de 45,64%.

O inchamento em espessura pode ser afetado pela maioria das variáveis tais como: espécie da madeira, granulometria de partículas, nível de resina, eficiência da aplicação de cola e condições de prensagem (BRITO, 1984).

A figura 7 mostra as médias do teor de inchamento em espessura dos materiais compósitos analisados.

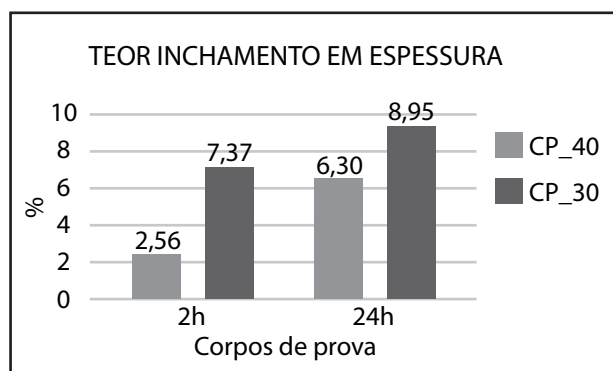


Figura 7 – Média do teor de inchamento em espessura dos compósitos
Fonte: Os autores (2017).

A quantidade de resina contribuiu para a maior resposta no inchamento em espessura. Assim, quanto maior o percentual de resina no corpo de prova, menor apresentou o inchamento em espessura, já que as granulometrias são as mesmas.

A média do resultado, obtido no ensaio de absorção para os compósitos CP_30, no período de 24h, encontra-se com o valor de 62,73%, estando acima do valor máximo recomendado pela norma NBR 14810-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006a), que é de 35%. O CP_40 está em conformidade no período de 2h e 24h.

A figura 8 apresenta as médias do teor de absorção dos materiais compósitos analisados.

Acredita-se que maior absorção de água em painéis de menor densidade tenha ocorrido por existir maior volume de espaços vazios que possam ser ocupados por água. Percebe-se que os valores para inchamento em espessura, para o compósito CP_30 e CP_40, tiveram alteração, em relação ao tempo. A proporção fibra/resina, apesar de

favorecer a absorção da água, não apresenta aumento no inchamento em espessura, justamente pela água ocupar esses espaços, o que justifica o inchamento em espessura do compósito CP_30 ser superior ao de CP_40.

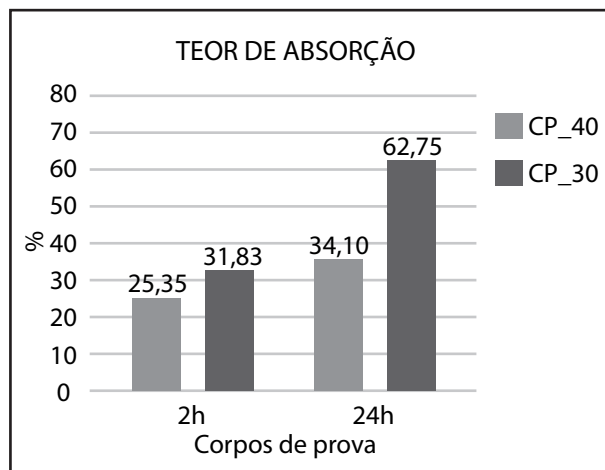


Figura 8 – Média do teor de absorção dos compósitos
Fonte: Os autores (2017).

A média da tensão de ruptura variou entre 4,68 MPa e 12,54 MPa, com uma diferença de 62,68% entre os resultados dos CP_30 e CP_40. O valor máximo, obtido para compressão transversal, foi de 12,83 MPa para o compósito CP_40, enquanto a máxima, para o CP_30, foi de 4,9 Mpa, apresentando resistência à compressão transversal maior para o corpo de prova CP_40.

A figura 9 mostra as médias da tensão de ruptura dos materiais compósitos analisados.

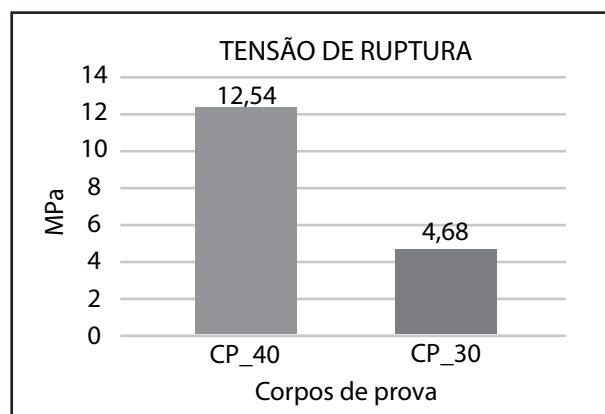


Figura 9 - Média da tensão de ruptura dos compósitos
Fonte: Os autores (2017).

A porcentagem de resina é um fator determinante para melhor resistência à compressão, apresentando acréscimo bastante significativo. Os materiais que apresentaram melhor desempenho nos

ensaios de resistência à compressão foram os compósitos CP_40.

O MOR variou entre 0,44 MPa a 1,42 MPa, com diferença de 68,81% entre eles. O CP_40 apresentou resistência à flexão estática maior que o CP_30, com o valor máximo encontrado de 1,48 MPa, e o compósito CP_30 apresentou como máxima o valor de 0,49 MPa.

A figura 10 mostra as médias do Módulo de Ruptura dos materiais compósitos analisados.

A norma brasileira NBR 14810-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) recomenda valor mínimo na flexão estática (MOR) de 16 Mpa, para chapas com espessura de 14mm a 20mm, assim as médias do módulo de ruptura estão fora da exigência normativa.

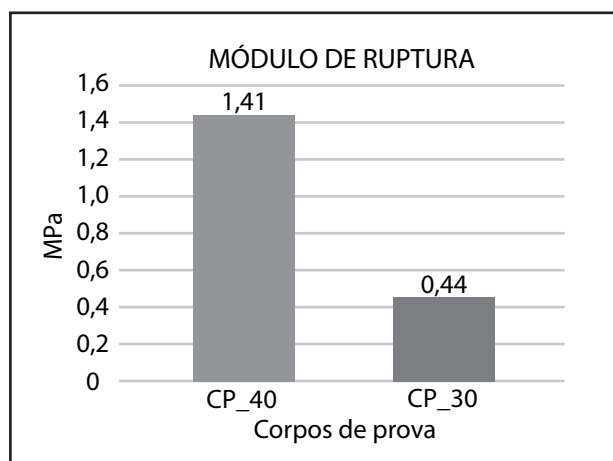


Figura 10 - Média do módulo de ruptura dos compósitos
Fonte: Os autores (2017).

Com o aumento da densidade, houve ligeiro acréscimo no MOR, fato que se torna mais evidente, quando se analisa o acréscimo na concentração da resina. Esse comportamento está em conformidade com a literatura, pois, segundo os autores, painéis com maior densidade apresentam propriedades físicas e mecânicas superiores (ALBUQUERQUE, 2002; MENDES *et al.*, 2006).

Os CPs produzidos apresentaram valores de módulo de ruptura menores que os recomendados pela norma, porém próximo aos intervalos encontrados por outros autores. Uma possível justificativa por esses valores baixos do MOR é devido à baixa homogeneidade dos painéis (manufatura artesanal), pois a ruptura está intimamente ligada aos defeitos localizados.

As recomendações para essa linha de trabalho são: investigar uma faixa maior de percentuais de reforço e pesquisar a interação desse resíduo com

outros tipos de matrizes, pois, assim, será possível verificar novas propriedades desses materiais compósitos.

4 Conclusão

Conforme as avaliações feitas, é possível afirmar que nas condições em que o trabalho foi realizado, a fibra na porcentagem de 40% interagiu melhor com a resina, permitindo com que os painéis com essa porcentagem apresentassem comportamento 32% em média melhor que o de 30% de matriz. Isso se justifica, devido à dinâmica que, com o aumento da resina, melhor será o material compósito.

Os painéis analisados tiveram bom desempenho físico, atendendo a quase todas as especificações técnicas estabelecidas pelas normas técnicas, já, em relação ao desempenho mecânico, os valores ficaram abaixo da norma técnica.

Os novos materiais foram classificados em chapas de partículas de alta densidade. A umidade permaneceu dentro da faixa recomendada pela literatura, nos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água, os CPs_30 para 24h apresentaram resultados maiores que a norma recomendada, comprometendo a estrutura do material. Como alternativa, pode ser utilizado o pré-tratamento da fibra e a aplicação de revestimento para funcionar como barreira física à penetração de água.

Os compósitos avaliados, por não atenderem as exigências necessárias em relação aos parâmetros mecânicos, para utilizá-los em móveis podem atender a necessidade de nichos específicos de mercados populares como o de decoração, ao viabilizar o uso de fibras vegetais, em razão da redução de custo do compósito final. Diante do exposto, pode-se afirmar que a fibra do dendê tem potencial e pode ser utilizada para a produção de compósitos nesses nichos.

Dessa forma, o compósito produzido, além de permitir redução de custos para os setores nesse ramo madeireiro, assegura os serviços ambientais proporcionados pelas florestas. A redução do desmatamento que proporciona a produção de painéis, também podem diminuir os impactos das emissões CO₂, minimizando, assim, o efeito estufa. Além disso, pode contribuir para preservar a biodiversidade do local, ao proporcionar o equilíbrio ecológico e ambiental.

Portanto, nota-se que o emprego dos compósitos, utilizando fibras vegetais contidas no resíduo agro energético, contribui de forma significativa para o crescimento da matriz energética mais limpa e competitiva.

Referências

- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- AL-OQLA, F. M.; SAPUAN, S. M. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 347-354, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5429**: planos de amostragem e procedimentos na inspeção por variáveis. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: chapas de madeira aglomerada: parte 2: requisitos. Rio de Janeiro, 2006a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006b.
- BORBA, P. M.; TEDESCO, A.; LENZ, D. M. Effect of reinforcement nanoparticles addition on mechanical properties of SBS/Curauá fiber composites. **Materials Research**, v. 17, p. 412-419, 2014.
- BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de pinus para a produção de chapas de composição estruturais "Waferboards"**. 1984. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.
- CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da sulfitação dos taninos de E. grandis e E. pellita para produção de chapas de flocos**. 2002. 91 f. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- CATTO, A. L. *et al.* Influence of coupling agent in compatibility of post-consumer HDPE in thermoplastic composites reinforced with eucalyptus fiber. **Materials Research**, v. 17, p. 203-209, 2014.
- CHIANELLI JÚNIOR, R. *et al.* Mechanical characterization of sisal fiber-reinforced recycled HDPE composites. **Materials Research**, v. 16, n. 6, p. 1393-1397, 2013.
- COVOLATO, R. A. **Desenvolvimento de compósito constituído de resíduos de madeira e resina uréia formaldeído com cura incentivada por microondas**. 2007. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia de Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2007.
- GELFUSO, M. V. *et al.* Vibrational analysis of coconut fiber-PP composites. **Materials Research**, v.17, n. 2, p. 367-372, 2014.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: Nobel, 2000. 451 p.
- JIA, W.; GONG, R. H.; HOGG, P. J. Poly (lactic acid) fibre reinforced biodegradable composite. **Composites: Part B: Engineering**, v. 62, p. 104-112, 2014.
- KHALIL, H. P. S. *et al.* Recycled polypropylene oil palm biomass: the effect on mechanical and physical properties. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 29, n. 8, p. 1117-1130, 2009.
- KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II: wood based materials**. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 1975. 703 p.
- MENDES, L. M. *et al.* Influência do teor de adesivo, temperatura e tempo de prensagem na umidade de equilíbrio de painéis de partículas de madeira. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 329-335, 2006.
- NASCIMENTO, M. F. **CPH - chapas de partículas homogêneas: madeiras do nordeste do Brasil**. 2003. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- NAZARENO, J. C. **Utilização e caracterização de resíduos agroenergéticos (*Elaeis guineensis*-Dendê) na obtenção sustentável de materiais compósitos**. 76 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2017.
- NEHER, B. *et al.* Study of Mechanical and Physical Properties of Palm Fiber Reinforced Acrylonitrile Butadiene Styrene Composite. **Materials Sciences and Applications**, v. 5, p. 39-45, 2014.
- NUNES, S. G. *et al.* Study of composites produced with recovered polypropylene and piassava fiber. **Materials Research**, v. 20, n. 1, p.144-150, 2017.
- SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.

SOUZA, N. F. *et al.* Influence of fiber content on properties of oil palm mesocarp fiber/poly (butylene succinate). **BioResources**, v. 10, n. 2, p. 2949-2968, 2015.

THEN, Y. Y. *et al.* Influence of fiber content on properties of oil palm mesocarp fiber/poly (butylene succinate) biocomposites. **BioResources**, v. 10, n. 2, p. 2949-2968, 2015.

THAKUR, V. K.; THAKUR, M. K.; GUPTA, R. K. Review: raw natural fibers based polymer composites.

International Journal of Polymer Analysis and Characterization, v. 19, p. 256-271, 2014.

TOUCHALEAUME, F. *et al.* Performance and environmental impact of biodegradable polymers as agricultural mulching films. **Chemosphere**, v. 144, p. 433-439, 2016.

VALE, A. T. *et al.* Potencial energético da biomassa e do carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

