Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Bioespuma do buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) para composição do núcleo de painéis estruturais de isolamento

Alessandra Silva Batista

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2022

Alessandra Silva Batista
Bacharel em Engenharia Florestal

Bioespuma do buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) para composição do núcleo de painéis estruturais de isolamento -
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Batista, Alessandra Silva

Bioespuma do buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) para composição do núcleo de painéis estruturais de isolamento / Alessandra Silva Batista. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

60 p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Pecíolo 2. Miriti 3. SIP 4. Isolamento térmico I. Título

*À **Profª. Eliana** (in memoriam),*

Por sempre acreditar no meu potencial e por ter me feito chegar mais longe.

Àqueles que se dedicaram ao máximo pela minha educação,

Me apoiando em cada etapa desta trajetória,

*Aos meus pais**, Servito** e **Cleide**,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Á Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo, especialmente ao Departamento de Ciências Florestais e ao Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, pela oportunidade e por todo o suporte.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Nivaldo Garcia por toda ciência e parceria nesta jornada. Mas, principalmente, agradeço por você ter acreditado no potencial do meu projeto, apoiando no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório de Engenharia da Madeira, pela disponibilização do espaço, para desenvolvimento do projeto e por todo conhecimento adquirido. Meu agradecimento ao nosso técnico Facco, por sua colaboração em todas as etapas laboratoriais do projeto.

Aos professores, técnicos de laboratório e aos funcionários, em especial aos Profs. Demóstenes e Vidal que me acolheram em momentos de necessidade.

Agradeço a Deus por todas as vezes que me deste forças nesta grande jornada, sempre me guiando e protegendo. Os desafios foram inúmeros, mas de fundamental importância para meu crescimento pessoal.

Meu agradecimento especial aos meus pais, Servito Luis da Costa Batista e Rosicleide Silva Batista, que foram o alicerce nesta caminhada, dando apoio incondicional na busca dos meus sonhos. Obrigada por todo exemplo, principalmente, pela construção do meu caráter, pela garra e pelo olhar ao próximo.

Agradeço à minha família querida por todo apoio, apesar da imensa distância física, isso nunca foi uma dificuldade. Aos parceiros que sempre acalmam meu coração: Amanda, Júnior, Guilherme, Regiane, Raimunda e Diene.

À Ana e Giovana (Gi), minha mais sincera gratidão. Vocês fizeram toda a diferença nesta minha trajetória, além de profissionais de extrema competência, são mulheres fortes, cheias de luz e foram meu suporte.

Ao meu parceiro Bruno Balboni, por acreditar que eu seria capaz, até nos momentos em que eu mais duvidei. Agradeço pelas valiosas dicas científicas e por todas as oportunidades.

Aos amigos da pós-graduação Eduardo, Caio, Denise, Marina, Bruno, Giovana, Thiago e Aline vocês fazem parte dessa história. Obrigada pelos conselhos, dicas, risadas, almoços no rucas e horas de cafezinho, foram momentos marcantes e que tornaram a vida de pós-granduação um pouco mais leve.

Agradeço às meninas mais incríveis que tive a chance de conhecer, cada uma com sua personalidade, mas que foram e são essenciais na minha trajetoria, minha família Piracicabana: Bruna Lopes, Isabella Martinez, Laís Diniz, Laís Maroubo e Thuane Barbosa. E às criaturinhas que deixaram meu coração mais leve Olga, Nilo e Mindi.

A todos que de alguma forma contribuiram para o êxito desta jornada:

Minha mais sincera gratidão!

“Na garra.

No perrengue.

Na audácia.

Na coragem.

A gente chega lá!”.

João Felipe Mendes

SUMÁRIO

RESUMO **6**
ABSTRACT **8**
LISTA DE FIGURAS **9**
LISTA DE TABELAS **10**
1. INTRODUÇÃO **11**
REFERÊNCIAS **12**
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **13**
2.1. *MAURITIA FLEXUOSA* 13
2.2. PAINÉIS ESTRUTURAIS DE ISOLAMENTO 15
REFERÊNCIAS **17**
3. CONCLUSÕES **21**
APÊNDICE **23**

RESUMO

Bioespuma do buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) para composição do núcleo de painéis estruturais de isolamento

Painéis Estruturais de Isolamento (Structural Insulated Panels - SIP) são elementos estruturais que vêm sendo adotados pelo setor da construção civil em países desenvolvidos, principalmente, devido à rapidez na montagem e seu baixo custo. Os SIPs são compostos por uma camada central espessa (núcleo), com função de isolamento térmico, revestida interna e externamente por uma camada fina com função estrutural. Como os materiais utilizados para composição da camada central são espumas sintéticas, há necessidade de se buscar alternativas mais sustentáveis. O material natural conhecido na Amazônia como miriti, devido à sua baixa densidade e alto teor de celulose apresenta-se como um potencial substituto para estes isolantes térmicos sintéticos. Objetivou-se com este trabalho avaliar o potencial do miriti para a composição de núcleos de SIP. Foram avaliadas algumas propriedades mecânicas selecionadas do *miriti* e *miriti* colado (denominado núcleo), sua absorção de água e comparadas à norma de SIP. Também foram avaliados a retratibilidade com a perda de umidade e o comportamento térmico do *miriti* quando exposto a diferentes temperaturas (70°C e 150°C) em comparação ao Poliestireno Expandido (EPS). O núcleo de *miriti* obteve resultados acima do exigido pela norma, para todas as propriedades avaliadas. A exceção foi a resistência à tração normal, onde o núcleo de *miriti* ficou abaixo do mínimo exigido, pois o início da ruptura se dá na porção de material menos resistente. A massa específica do *miriti* foi maior que o valor mínimo exigido pela norma e à absorção de água acima do máximo permitido. Na retratibilidade longitudinal (orientação das fibras), o *miriti* apresentou resultados similares aos reportados por diferentes espécies de madeira. No entanto, na direção transversal o material apresentou forte colapso, apesar da secagem lenta. O *miriti*, quando exposto à diferentes temperaturas, apresenta comportamento bastante distinto ao do EPS. Quando exposto a 150°C, o *miriti*, não ultrapassou os 90°C, já o EPS iniciou degradar a partir dos 80°C. Para o experimento a 70°C, os materiais apresentaram resultados similares, porém, a taxa de aquecimento do *miriti* foi inferior à do EPS. O *miriti*, portanto, quando exposto a temperatura acima de 90°C apresenta-se como um material superior em relação ao EPS. No entanto, mais estudos precisam ser realizados para sua melhor destinação, principalmente, quando exposto a diferentes climas e situações. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o *miriti*, além das vantagens frente a isolantes térmicos sintéticos (por ser um material natural), apresenta resultados satisfatórios para as propriedades mecânicas avaliadas, bem como em relação à absorção de água, além de uma boa resposta térmica quando exposto a diferentes temperaturas.

Palavras-chave: Miriti, SIP, Isolamento térmico, Sustentabilidade

ABSTRACT

Buriti (*Mauritia flexuosa*) biofoam for composing the core of structural insulation panels

Structural Insulation Panels (SIP) are structural elements that have been adopted by the civil construction sector in developed countries, mainly due to the speed of assembly and their low cost. SIPs are composed of a thick central layer (core), with the function of thermal insulation, coated internally and externally by a thinner layer with structural function. As the materials coomonly used to compose the central layer are synthetic foams, there is a need to seek for more sustainable alternatives. The natural material known in the Amazon as *miriti*, due to its low density and high cellulose content, is a potential substitute for these synthetic thermal insulators. The objective of this work was to evaluate the potential of miriti for the composition of SIP cores. Some selected mechanical properties of miriti and glued miriti (named core) and their water absorption were assessed and compared to the SIP standard. The shrinkage with loss of moisture was evaluated as well as the thermal behavior of miriti when exposed to different temperatures (70°C and 150°C) and compared to Expanded Polystyrene (EPS). The miriti core obtained results above those required by the standard, for all properties evaluated. The exception was the normal tensile strength, where the miriti core was below the minimum required since the beginning of the rupture occurs in the less resistant material portion. The specific mass of miriti was greater than the minimum value required by the standard and the water absorption was above the maximum allowed. In terms of longitudinal shrinkage (along fiber direction), miriti showed similar results to those reported by different wood species. However, in the transverse direction, the material showed strong collapse, despite slow drying. Miriti, when exposed to different temperatures, presents quite different behavior than EPS. When exposed to 150°C, miriti did not exceed 90°C, while the EPS started to degrade from 80°C. For the experiment at 70°C, the materials showed similar results, however, the heating rate of miriti was lower than that of EPS. Therefore, when exposed to temperatures above 90°C, miriti presents itself as a superior material to EPS. However, more studies need to be carried out for its better application, especially when exposed to different climates and situations. The results obtained in this study demonstrate that miriti, in addition to the advantages over synthetic thermal insulators (since it is a natural material), presents satisfactory results for the evaluated mechanical properties, as well as in relation to water absorption, in addition to a good thermal response when exposed to different temperatures.

Keywords: Miriti, SIP, Thermal insulation, Sustainable

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cortes histológicos da seção transversal do pecíolo de *Mauritia flexuosa*. Fonte: Viana et al. (2018)..... 14
Figura 2. Condutividade térmica de diferentes matérias naturais. Fonte: Volf, 2015..... 16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exigências mínimas da norma ANSI/APA PRS 610.1 para SIP's (unidades transformadas para o Sistema Internacional) 15

1. INTRODUÇÃO

O isolamento térmico de edifícios é atualmente realizado principalmente com o uso de materias sintéticos, como o Poliuretano e o Poliestireno Expandido (EPS). Por se tratarem de materiais com alto impacto ao meio ambiente pelo lento processo de degradação (GIL-JASSO et al., 2019), sua utilização é prejudicial e contrapõe o modelo de desenvolvimento sustentável que a sociedade almeja. Nos últimos anos, o setor da construção civil está procurando por soluções construtivas de baixo impacto e mais acessíveis economicamente (BURATTI et al., 2015). Novos materiais estão sendo estudados como possíveis substitutos para os isolantes térmicos sintéticos, chamados de materiais naturais não convencionais, pela sua origem natural (ALABDULKAREM et al., 2018a).

Um exemplo de material de origem natural de alto potencial para isolamento térmico é o pecíolo da folha do Buriti (*Mauritia flexuosa* L.), cuja baixa densidade, 0,06 g/ cm³ (SANTOS; BIANCHI, 2016), e alto teor de celulose, 69% (DE JESUS PEREIRA et al., 2003), o tornam apropriado para este uso. O núcleo do pecíolo do buriti é formado por uma camada fibrosa e rígida, a epiderme, e por um núcleo esponjoso conhecido popularmente por *miriti* (SANTOS et al., 2013).

O *miriti* é um material leve, macio e de fácil trabalhabilidade, e vem sendo bastante utilizado no artesanato local na região de Abaetetuba, estado do Pará (SILVA; CARVALHO, 2012). Basicamente, trata-se de uma matriz de parênquima que contém feixes de fibras orientados longitudinalmente ao eixo do pecíolo (VIANA et al., 2018). Estas fibras conferem maior resistência ao material em relação às outras espumas já encontradas no mercado (SANTOS; BIANCHI, 2016).

Além de vir da folha de uma palmeira, não necessitando, portanto, a derrubada do indivíduo, o miriti vem de uma espécie muito abundante na Floresta Amazônica. *M flexuosa* é uma das espécies mais abundantes na amazônia e considerada hiperdominante (Ter Steege et al., 2013), encontrando-se de forma adensada em regiões alagadas, apresentando grande quantidade de recursos a serem explorados. Além de poder contribuir para a renda da população local, a partir da produção de painéis para isolamento térmico em substituição aos isolantes sintéticos tradicionalmente utilizados na construção civil, este material é biodegradável e abundante na natureza, ou seja, apresenta-se como alternativa de sustentabilidade eco-social. Pelo fato do *miriti* ser proveniente da folha, o indivíduo não é eliminado no processo de obtenção da matéria prima, possibilitando uma fonte de renda contínua, além de um reduzido impacto ambiental.

O Painel de Estrutural de Isolamento, do inglês *Structural Insulation Panel* (SIP), consiste em um núcleo composto por material com propriedades de isolamento térmico, como o Poiuretano (PU) ou Poliestireno Extrudido (EPS), com chapas de compensado ou OSB (Oriented Strand Board), em cada uma de suas faces (MEDINA; KING; ZHANG, 2008). O fato destes painéis serem compostos por espumas sintéticas de baixa degradabilidade natural, traz a necessidade de se encontrar uma alternatival sustentável para atuar como isolante térmico. Normalmente, os isolantes térmicos naturais são soltos, como as fibras de celulose ou a lã animal (ASDRUBALI; D'ALESSANDRO; SCHIAVONI, 2015), o que inviabiliza sua adoção nos SIPs. O *miriti* surge como alternativa para esta função, por ser um material natural, sólido, apresentar baixa densidade e alto teor de celulose. No entanto, é importante se conhecer suas propriedades, especialmente tendo em que o material possui feixes de fibras direcionados e seu comportamento varia em função desta orientação. O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial do *miriti* como uma alternativa sustentável às espumas sintéticas para composição do núcleo de painéis estruturais de isolamento (SIP).

Referências

ALABDULKAREM, A. et al. Thermal analysis, microstructure and acoustic characteristics of some hybrid natural insulating materials. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 185–196, 2018.

ASDRUBALI, F.; D'ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, n. 2015, p. 1–17, 2015.

BURATTI, C. et al. Thermal and acoustic performance evaluation of new basalt fiber insulation panels for buildings. **Energy Procedia**, v. 78, p. 303–308, 2015.

DE JESUS PEREIRA, S. et al. Celulose de buriti (Mauritia vinifera Martius). **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 63, p. 202–213, 2003.

GIL-JASSO, N. D. et al. Dissolution and recovery of waste expanded polystyrene using alternative essential oils. **Fuel**, v. 239, n. March 2018, p. 611–616, 2019.

MEDINA, M. A.; KING, J. B.; ZHANG, M. On the heat transfer rate reduction of structural insulated panels (SIPs) outfitted with phase change materials (PCMs). v. 33, p. 667–678, 2008.

SANTOS, L. F. G. DOS; BIANCHI, R. F. Estudo sistemático do Miriti (Mauritia flexuosa) para o desenvolvimento de ECO-VANT. [s.l: s.n.].

SILVA, C. D. S. Q. DA; CARVALHO, N. C. A cultura e a educação amazônica na arte dos brinquedos de miriti. **EccoS – Revista Científica**, n. 27, p. 17–32, 2012.

TER STEEGE, H. et al. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, n. 6156, p. 325–334, 2013.

VIANA, R. V. R. et al. Engaging plant anatomy and local knowledge on the buriti palm (Mauritia flexuosa L.f.: Arecaceae): the microscopic world meets the golden grass artisan's perspective. **Cultural Studies of Science Education**, v. 13, n. 1, p. 253–265, 2018.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Mauritia flexuosa*

2.1.1. Características da espécie

As palmeiras, plantas da família botânica Arecaceae, pertencem a um dos grupos de plantas mais importantes para as comunidades tradicionais Amazônicas (PASSOS; DE MENDONÇA, 2006), com grande ocorrência na segunda maior formação vegetal da bacia amazônica, as florestas de áreas alagadas (QUEIROZ et al., 2007). Estes ambientes apresentam grandes quantidades de palmeiras por serem ambientes favoráveis ao seu desenvolvimento (BATISTA et al., 2011).

A espécie *Mauritia flexuosa* L. (Arecaceae), conhecida popularmente como Buriti, apresenta porte médio, podendo alcançar 40 m de altura e de 30 a 60 cm de diâmetro. É uma das palmeiras mais utilizadas na região Amazônica, com diversas aplicações pela utilização dos frutos, óleos, folhas e tronco (FILHO; LIMA, 2001). Ela também apresenta estipe cilíndrico e solitário, sendo que seu habitat ocorre predominantemente em concentrações às margens de rios, áreas alagadas e igarapés (OLIVEIRA et al., 2006). Suas folhas possuem de 3 a 5m de comprimento e de 2 a 3 m de largura, apresentam costas palmadas, estão situadas no alto do estipe e são divididas em bainha, pecíolo e palha(PASSOS; MENDONÇA, 2006). Os pecíolos possuem em média 4,5 m de comprimento e 8 cm de diâmetro, envolto por uma camada mais resistente conhecida popularmente como tala, muito utilizada no artesanato regional. A porção interna é composta por um material de aspecto esponjoso conhecida pelo nome de *miriti* (SANTOS et al., 2013).

No Brasil, a espécie ocorre predominantemente na região Norte nos estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia e Tocantins e Nordeste, principalmente nos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí, ocorrendo também em outros estados brasileiros e outros países, como Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Trinidad (FERREIRA, 2005; LEITMAN et al., 2014). *M. flexuosa* é uma das espécies mais abundantes da floresta amazônica e, devido à sua ampla ocorrência em maciços praticamente monoespecíficos, é considerada uma espécie hiperdominante (TER STEEGE et al., 2013).

2.1.2. Utilização

Segundo Sampaio e Carraza (2012), o Buriti possui importância social, econômica e cultural para as famílias do Cerrado, por ser utilizada no dia-a-dia do extrativista como alimento e fonte de renda. Esta espécie apresenta grande importância ecológica na região central de Goiás, sendo uma palmeira definidora do ambiente, servindo de fonte de alimento, abrigo e reprodução para a fauna nativa, ou seja, uma espécie chave para ecologia do local (RESENDE et al., 2012)

O Buriti, por sua grande ocorrência natural, é uma das palmeiras com grande potencial de uso. Praticamente todas as porções desta palmeira podem ser utilizadas, mas a parte que vem ganhando destaque econômico é o fruto por seu uso alimentício (MARTINS et al., 2016). Martins et al. (2012), ao estudarem a utilização do Buritizeiro por uma comunidade quilombola, verificaram que a mesma liderou como a espécie mais utilizada pelos comunitários, que

citaram o aproveitamento de todas as partes da palmeira, como as raízes, estipe, folhas, pecíolo, frutas e sementes, sendo utilizado desde o artesanato até para pequenas construções.

Atualmente, a espécie é utilizada de diversas formas, incluindo o seu pecíolo, que possui aspecto leve e fibroso. O pecíolo possui epiderme rígida e um interior composto por feixes fibrovasculares imersos em uma matriz parenquimática, formação típica do corpo primário vegetal (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2013). Viana et al. (2018) apresentam a microestrutura interna do miriti por cortes histológicos da seção transversal do material, como pode ser observado na Figura 1.

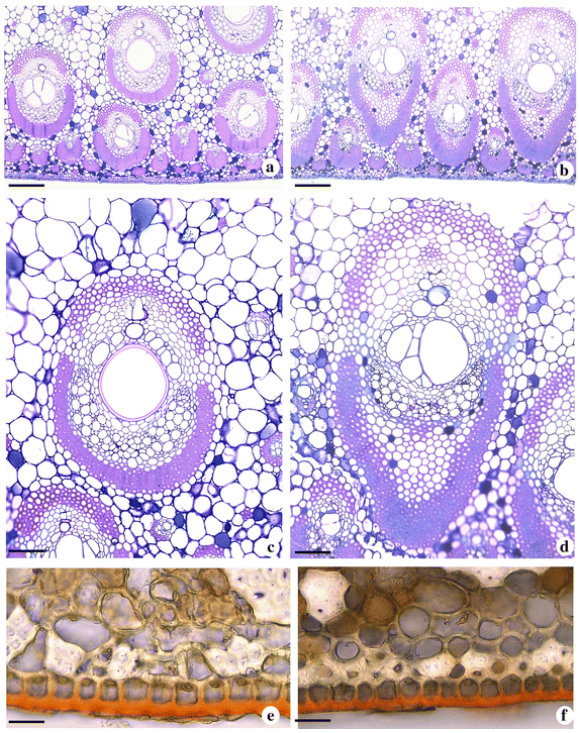

Figura 1. Cortes histológicos da seção transversal do pecíolo de *Mauritia flexuosa*. Fonte: Viana et al. (2018)

Por ser preenchido por um tecido esponjoso (parênquima), o miriti apresenta características semelhantes às espumas sintéticas, como o EPS, mas é coberto por uma camada dura e fibrosa. De acordo com Silveira e Santos (2010), a casca do pecíolo confere mais resistência ao material, no entanto, o pecíolo sem a casca é composto apenas por um tecido fibroso, com densidade extremamente baixa (0,058 $g.cm^{-3}$) quando comparada a outros materiais lignocelulósicos, indicando características desejáveis para utilização como um bom isolante térmico.

Da Costa et al. (2011) ao avaliarem a condutividade térmica (γ) do miriti pelo método fotoacústico, encontrou valor de 7.8 10^{-4} W/mk. O Poliestireno expandido (EPS) é um dos materiais mais utilizados para isolamento térmico, e apresenta condutividade térmica de 0.031 – 0.038 W/mk (Yucel et al., 2013), ou seja, os resultados apontam que o miriti é mais de 50 vezes melhor isolante do que o EPS. Através de estudos realizados por Rodrigues (2017), foi constatado que o miriti é um material extremamente leve, com densidade aparente de 0,0631 $g.cm^{-3}$ e que apresenta características mecânicas desejáveis para seu uso como substituto de espumas sintéticas como o Poliestireno Expandido (EPS).

Este material vem sendo estudado em alguns institutos de ensino e pesquisa brasileiros, incluindo o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa/MCTI), pioneiros na caracterização da espécie para produção de painéis para a construção civil (SOUZA, GHIDINI e ROCHA, 2016). Um painel com material provindo do pecíolo de uma

palmeira apresenta vantagens frente aos materiais sintéticos encontrados no mercado, como biodegradabilidade, menor flamabilidade e baixo impacto na sua extração, pois para utilização desse material não se elimina o indivíduo, já que, o material provém da folha da palmeira.

2.2. Painéis estruturais de isolamento

O Painel Estruturais de Isolamento, do inglês *Structural Insulation Panels* (SIP), consiste em um painel composto por um núcleo com propriedades de isolante térmico, ligadas com auxilio de adesivo a revestimentos estruturais de madeira (ANSI, 2018). A utilização dos SIP's na construção civil começou nos EUA na década de 30, com o conceito de painel leve composto por um núcleo isolante de espuma no centro do painel, com alta eficiência em termos energéticos (JING; RAONGJANT, 2013).

Segundo (CHEN; HAO, 2014), os SIPs vem ganhando o mercado por serem econômicos, ultraleves, de rápida instalação, pré-fabricados e por terem propriedades de isolamento térmico e acústico. Na produção dos SIP, basicamente é utilizada uma espuma de isolamento entre duas chapas, que tradicionalmente são chapas de OSB (FAJRIN, et al., 2017). Os painéis isolamento mais utilizados no setor da construção civil, de acordo com (ZHANG et al., 2019), são compostos por camadas externas de OSB e núcleo de Espumas Rígidas de Poliestireno (RPS) ou Poliuretano Rígido (RPU).

O material utilizado tradicionalmente para o núcleo de SIP apresenta limitações em relação aos impactos ambientais, tanto na fase de produção quanto no destinamento final do material (SASSONI et al., 2014). Os poliuretanos (PU) possuem aplicações diversas, em particular, como espumas de isolamento, com excelentes propriedades mecânicas e térmicas. No entanto, apesar de suas vantagens como um produto altamente promissor para construção civil, apresentam longos períodos de degradação, gerando grande dano ao meio ambiente (AMARAL et al., 2012a).

As exigências mínimas para o material que compõem o núcleo de um SIP (American National Standard Institute, 2018) foram convertidas para o sistema internacional de unidades e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Exigências mínimas da norma ANSI/APA PRS 610.1 para SIP's (unidades transformadas para o Sistema Internacional)

Propriedade	Norma	Exigência mínima	
Densidade aparente geral mínima do núcleo	ASTM D1622	0,0352	g/cm³
Densidade aparente mínima do núcleo	ASTM D1623	0,0288	g/cm³
Tensão de compressão no limite elástico ou a 10% de deformação (o que ocorrer primeiro)	ASTM D1621	0,1310	MPa
Resistência à flexão mínima	ASTM C203, Método B	0,2068	MPa
Resistência à tração mínima	ASTM D1623	0,2413	MPa
Resistência ao cisalhamento mínima	ASTMC273	0,1724	MPa
Permeabilidade máxima ao vapor em 2,54 cm de espessura	ASTM E96	$1,32 \times 10^{-10}$	kg/Pa/s/m²
Absorção máxima de água por imersão total	ASTM C272	4,3	% (do volume)
Alteração de dimensão máxima (7 dias a 70°C/100% de umidade e 7 dias a -28.89°C)	ASTM D2126	2	%

2.2.1. Novos materiais

É visível que a construção civil vem gerando impactos seja no meio ambiente, na economia ou na sociedade em geral (ZUO; ZHAO, 2014). Com isso, o setor está se moldando e cada vez mais está buscando novas soluções construtivas através da utilização de materiais de baixo custo e baixo impacto ambiental. Devido à crescente preocupação da sociedade com o meio ambiente, o setor da construção civil, começa a perceber os impactos diretos e indiretos ao meio ambiente (LI; FROESE; TERIM, 2018). Pesquisas voltadas para criação de produtos inovadores, que inclui conceito de sustentabilidade, vêm ganhando cada vez mais espaço. Um dos produtos que vêm ganhando o mercado, são os pré-fabricados, como os SIPs, devido economia de custo e de energia operacional, construídos a partir de um material rígido aderido a um material com propriedades térmicas como Poliuretano Expandido (EPS), Poliestireno Extrudido (XPS) ou Poliuretano (PU) (KAYELLO et al., 2017).

Apesar das excelentes propriedades térmicas, o uso de matérias à base petróleo para produção de núcleos de SIPs, geram preocupações devido às questões ambientais, como sua difícil degradação (AMARAL et al., 2012a). Recentemente, pesquisas voltadas para materiais não convencionais que apresentam características promissoras, como baixa densidade e baixa condutividade térmica, estão sendo desenvolvidas. Segundo (GOUNNI et al., 2019), esses novos materiais apresentam um bom desempenho como isolantes térmicos, possuem baixo custo de produção e, principalmente, o impacto ao meio ambiente é inferior em relação aos materiais do mercado.

(VOLF; DIVIŠ; HAVLÍK, 2015), ao estudarem diferentes materiais naturais para isolamento térmico, verificou que isolantes naturais apresentam propriedades térmicas similares aos isolantes tradicionais (Figura 2), apresentando-se como uma solução mais sustentável. Percebe-se que materiais naturais estão surgindo cada vez mais no mercado e vem ganhado espaço no campo da construção civil (BURATI, 2015).

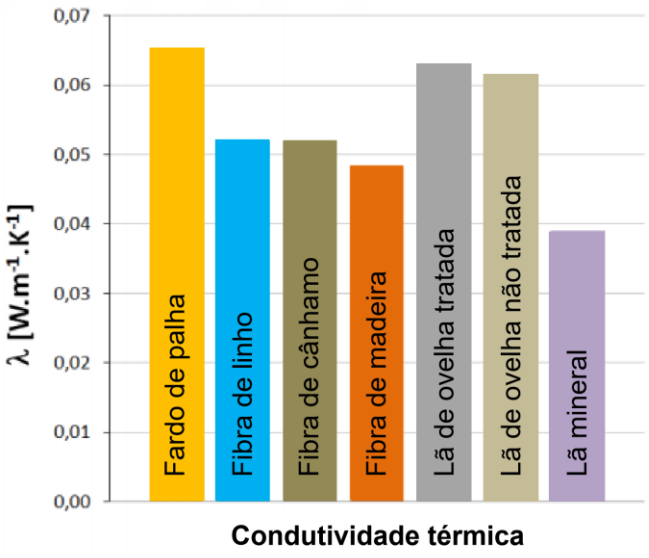

Figura 2. Condutividade térmica de diferentes matérias naturais. Fonte: Volf, 2015

Referências

AMARAL, J. S. et al. Fungal degradation of lignin-based rigid polyurethane foams. v. 97, p. 2069–2076, 2012.

ANSI/APA PRS 610.1 Standard for Performance Rated SIPs in Wall Applications. American National Standard Institute. p. 29, 2018.

ASTM. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber - D143. ASTM International, p. 31, 2014.

ASTM. Standard Test Methods for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics - D1622. ASTM International, p. 3, 2008.

ASTM. Standard Test Methods for Tensile and Tensile Adhesion Properties of Rigid Cellular Plastics- D1623. ASTM International, p. 6, 2003.

ASTM. Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation- C 203. ASTM International, p. 6, 1999.

ASTM. Standard Test Methods for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics– D1621. ASTM International, p. 4, 2000.

ASTM. Standard Test Methods for Shear Properties of Sandwich Core Materials – C273. ASTM International, p. 4, 2000.

ALABDULKAREM, A. et al. Thermal analyis, microstructure and acoustic characteristics of some hybrid natural insulating materials. **Construction and Buildging Materials**, v. 187, p. 185-196, 2018.

BATISTA, F. J.; JARDIM, M. A. G.; MEDEIROS, T. D. S.; LOPES, I. L. M. Comparação florística e estrutural de duas florestas de várzea no estuário amazônico, Pará, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 289-298, 2011.

BURATTI, C. et al. Thermal and Acoustic Performance Evaluation of New Basalt Fiber Insulation Panels for Buildings. **Energy Procedia**, v. 78, p. 303 – 308, 2015.

CHEN, W.; HAO, H. Experimental and numerical study of composite lightweight structural insulated panel with expanded polystyrene core against windborne debris impacts. **Journal of Materials & Design**, v. 60, p. 409–423, 2014.

DA SILVA, C. DO S. Q.; CARVALHO, N. C. A cultura e a educação amazônica na arte dos brinquedos de miriti Claudete do Socorro Quaresma da Silva. **EccoS Revista Científica**, v. 27, n. jan/abr, p. 17–32, 2012.

DA COSTA, L. L., MOTA, L., FILHO, M.B., DA SILVA, M. G., PORTELA, T. G. R., VARGAS, H., MONTEIRO, S. N. Photoacoustic Thermal Characterization Of A Natural Biofoam Extracted From The Buriti Palm Tree. EPD Congress 2011. Extraction & Processing Division (EPD) of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS).

FAJRIN, J. et al. The structural behavior of hybrid structural insulated panels under pure bending load. **International Journal of Technology**, v. 8, n. 5, p. 777–788, 2017.

FILHO, A. B. G.; LIMA, J. A. S. O buritizeiro (Mauritia flexuosa L.) e seu potencial de utilização. Documento, 27. EMBRAPA Amapá, 2001.

FREIRE, C. de S.; SILVA, D. W.; SCATOLINO, M. V.; CESAR, A. A. S.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M. Propriedades Físicas de Painéis Aglomerados Comerciais Confeccionados com Bagaço de Cana e Madeira. Revista **Floresta e Ambiente**, v.18, n.2, p. 178-185, 2014.

GIL-JASSO, N. D. et al. Dissolution and recovery of waste expanded polystyrene using alternative essential oils. **Fuel**, v. 239, p.611–616, 2019.

GOUNNI, A. et al. Thermal and economic evaluation of new insulation materials for building envelope based on textile waste. **Applied Thermal Engineering**, v. 149, n. August 2018, p. 475–483, 2019.

JING, M.; RAONGJANT, W. Using GFRP to develop the mechanical performance of structural insulated panels. **Adv. Mater. Res.** v. 674, p. 1941–1944, 2013.

KAYELLO, A. et al. Experimental study of thermal and airtightness performance of structural insulated panel joints in cold climates. **Building and Environment**, v. 115, p. 345–357, 2017.

LEITMAM, P.; HENDERSO, A.; NOBLICK, L.; MARTINS, R. C.; SOARES, K. Aracaceae in lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <htt://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15723>. Acesso em: 15 jul. 2019.

LI, P.; FROESE, T. M.; TERIM, B. Energy & Buildings Life cycle assessment of magnesium oxide structural insulated panels for a smart home in Vancouver. **Energy & Buildings**, v. 175, p. 78–86, 2018.

MARTINS, R. C.; COSTA, T. S. A.; SANTELLI, P.; FILGUEIRAS, T. S. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencia - Plantas para o futuro – Região Centro-Oeste. Ministério do Meio Ambiente, capítulo 5, 2016.

MARTINS, R. C.; FILGUEIRAS, T. S.; ALBUQUERQUE, U. P. Etnobotany of Mauritia flexuosa (Arecaceae) in a maroon community in central Brazil. **Economic Botany**, v. 66, n. 1, p. 91-98, 2012.

MEDINA, M. A.; KING, J. B.; ZHANG, M. On the heat transfer rate reduction of structural insulated panels (SIPs) outfitted with phase change materials (PCMs). **Energy**, v. 33, p. 667–678, 2008.

OLIVEIRA, J.; POTIGUARA, R. C. V.; LOBATO, L. C. B. Fibras vegetais utilizadas na pesca artesanal na microrregião do Salgado, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 1, n. 2, p. 113-127, 2006.

PASSOS, M. A. B.; MENDONÇA, M. S. Epiderme dos segmentos foliares de Mauritia flexuosa L. f. (Aracaceae) em três fases de desenvolvimento. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 431-436, 2006.

PEREIRA, S.J., MUÑIZ, G.I.B., KAMINSKI, M., KLOCK, U., NISGOSKI, S., FABROWSKI, F.J. Celulose de buriti (Mauritia vinifera Martius) Buriti (Mauritia vinífera Martius) pulp. Scientia Forestalis, 63 (202-213), 2003.

QUEIROZ, J. A. L.; MACHADO, S. A.; HOSOKAWA, R. T.; SILVA, I. C. Estrutura e dinâmica de floresta de várzea no estuário amazônico no estado do Amapá. **Floresta**, v. 37, n. 3, 2007.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Raven Biology of Plants. W.H. Freeman Publishers, 2013.

RESENDE, I. L. M.; SANTOS, F. P.; CHAVES, L. J.; NASCIMENTO, J. L. Estrutura etária de populações de Mauritia flexuosa L. F. (Arecaceae) de veredas da região central de Goiás, Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 103-112, 2012.

RODRIGUES, L. B. Propriedades físicas e mecânicas do pecíolo do buriti (Mauritia flexuosa L.). Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA. Santarém, 2017.

SAMPAIO, M. B.; CARRAZA, L. B. Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Buriti (Mauritia flexuosa). 76 p.; il. - (Série Manual Tecnológico). **Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN)**. Brasil, 2012.

SANTOS N. S.; SILVA, M. R.; DIAS, C.G.B.T. E ZAVAGLIA. C. A. C. Elaboração de compósito com fibra vegetal da Amazônia: opção pela sustentabilidade. In: Encontro Luso-Brasileiro de Engenharia de Compósitos/Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

SANTOS, L. F. G. DOS; BIANCHI, R. F. Estudo sistemático do Miriti (Mauritia flexuosa) para o desenvolvimento de ECO-VANT. [s.l: s.n.], 2016.

SASSONI, E. et al. Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry : Physical , thermal and mechanical characterization. **Energy & Buildings**, v. 77, p. 219–226, 2014.

SILVEIRA, A. L. R. C.; SANTOS, F. F. A utilização da palmeira buriti (Mauritia flexuosa) como isolante térmico em edificações. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela/RS, 2010.

TAMAMI KAWASAKI, MIN ZHANG, S. K. Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard. **Jornal Wood Society**, n. April 1996, p. 354–360, 1998.

TER STEEGE, H. et al. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. **Science**, v. 342, p. 325–334, 2013.

VIANA, R. V. R. et al. Engaging plant anatomy and local knowledge on the buriti palm (Mauritia flexuosa L . f .: Arecaceae): the microscopic world meets the golden grass artisan's perspective. **Cultural Studies of Science Education**, p. 1–113, 2018.

VOLF, M.; DIVIŠ, J.; HAVLÍK, F. Thermal , moisture and biological behaviour of natural insulating materials. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1599–1604, 2015.

ZHANG, X. et al. Industrial Crops & Products Lab-scale structural insulated panels with lignin-incorporated rigid polyurethane foams as core. **Industrial Crops & Products**, v. 132, p. 292–300, 2019.

ZUO, J.; ZHAO, Z. Y. Green building research-current status and future agenda: A review. Renewable and Sustainable **Energy Reviews**, v. 30, p. 271–281, 2014.

3. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste estudo, podemos concluir que o *miriti*, além das vantagens frente a isolantes térmicos sintéticos, principalmente, por ser um material natural, apresenta resultados satisfatórios para as propriedades mecânicas avaliadas, em relação à absorção de água, além de uma boa resposta térmica quando exposto a diferentes temperaturas. De forma mais específica, as conclusões obtidas são:

- O uso do *miriti* colado como núcleo de SIPs apresentou grande potencial tecnológico e uma alternativa para substituir os isolantes sintéticos comumente utilizados. Com adição de adesivo na confecção do núcleo de *miriti*, houve um ganho de resistência mecânica quando comparado ao *miriti* puro.
- A massa específica do *miriti* apresentou relação com as propriedades mecânicas apenas quando os ensaios foram realizados com a força sendo aplicada paralela a orientação das fibras, direção em que o *miriti* é mais resistente e rígido. No entanto, o uso do *miriti* com as fibras orientadas perpendicularmente ao eixo do painel acarreta em um menor desempenho mecânico, em que não há relação com a densidade. Uma alternativa para se obter um núcleo mais resistente na tração normal, única propriedade mecânica abaixo da sugerida pelas normas de SIP, será a produção do núcleo a partir de camadas com orientações intercaladas ou adição de diferentes tipos de fibras naturais durante a confecção do núcleo colado. O ideal, no entanto, é trabalhar com o material orientado de forma que as fibras forneçam maior resistência na direção de maior solicitação mecânica.
- O forte colapso ocorrido na direção transversal durante a secagem do *miriti* é um grande desafio a ser solucionado, devido à necessidade de compreender o comportamento do *miriti* frente a diferentes situações. Para isso, uma nova metodologia que seja adequada para avaliação deste material deve ser discutida e trabalhada.
- Apesar da alta absorção de água pelo *miriti,* isso ocorreu de forma mais acentuada pela seção transversal. Ainda que tenha absorvido altas porcentagens em relação à sua massa inicial, o *miriti* se comporta como uma madeira de baixa permeabilidade, sendo que as altas porcentagens se devem à massa inicial extremamente baixa que é característica do *miriti*. No entanto, isso não se torna uma limitação para sua utilização, uma vez que, técnicas de impermeabilização podem ser empregadas, incluindo formas naturais encontradas na própria floresta amazônica, como o látex de seringueira.
- O *miriti,* em temperaturas abaixo dos 90°C, possui comportamento similar ao EPS, mas com taxa de aquecimento levemente inferior. Já em temperaturas mais intensas, como nos 150°C avaliados, o *miriti* não sofreu modificações visíveis, enquanto o EPS derreteu quase que completamente. Esses fatos demostram o grande potencial do *miriti*, para sua utilização em forros e divisórias, principalmente, em regiões com altas temperaturas, trazendo um melhor conforto térmico ao ambiente.

Como podemos observar, são vários os benefícios na utilização do *miriti* como um isolante térmico sustentável para painéis estruturais. Trata-se de um material natural, encontrado com abundância na natureza e que somente é utilizado para produção de artesanato na região Amazônica. A partir dos resultados obtidos neste estudo, podemos evidenciar as potencialidades do *miriti* e identificar as áreas em que o *miriti* não se adequa totalmente às metodologias estabelecidas, mas cujas soluções não foram consideradas um impeditivo para o uso deste material como núcleo de Painéis Estruturais de Isolamento.

APÊNDICE

Patente RPI Nº. 2683 - PAINEL DE PECÍOLOS DE PALMEIRAS INTEIROS E O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAINEL

Resumo: A presente invenção se refere a um painel confeccionado com pecíolos de palmeiras inteiros, após a remoção de sua epiderme e ao processo de fabricação do painel. Os pecíolos são unidos lateralmente por elemento aglutinante, formando um painel. Dependendo do método de união, pode ser utilizada pressão para a justaposição dos pecíolos e melhor adesão entre eles. O painel proposto é de extrema leveza e tem inúmeras utilidades, como fechamento vertical de construções, embarcações, aeronaves, automóveis, etc, formação de forro, tratamento acústico, ou mesmo participação na composição de outros painéis, como, por exemplo, formação do núcleo de painéis sanduíche. Os painéis apresentados pertencem aos setores de Materiais, Materiais de Construção Civil, Materiais Construtivos não Convencionais e Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono.