

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Desenvolvimento de eco compósitos sanduíche, para aplicação em equipamentos
esportivos

Thiago Augusto de Sousa Moreira

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

Piracicaba
2023

Thiago Augusto de Sousa Moreira
Engenheiro de Materiais

Desenvolvimento de eco compósitos sanduíche, para aplicação em equipamentos
esportivos

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

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

Piracicaba
2023

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

Moreira, Thiago Augusto de Sousa

Desenvolvimento de eco compósitos sanduíches, para aplicação em equipamentos esportivos / Thiago Augusto de Sousa Moreira. - - Piracicaba, 2023.

61 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Miriti laminado colado 2. Raquete de beach tennis 3. Sustentabilidade
4. Eco-friendly I. Título

Àqueles que me deram força, torceram e torcem por mim todos os dias.

Aos meus pais, Admilson (In memoriam) e Conceição;

Meus irmãos, Priscila, Kelly e Tércio;

E meus sobrinhos, Theo, Felipe, Marco e Helena;

Aos meus Avós, Rosulmiro (In memoriam) e Doralice.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos que me conhecem intimamente, sabem que esta jornada foi difícil, alguns problemas pessoais me levaram a ter um grande bloqueio em me embrenhar nesta jornada do doutorado, os desafios foram grandes e como se não bastassem os problemas corriqueiros da rotina de um doutorando, veio uma pandemia e dificultou ainda mais esta trajetória. Por isso espero conseguir agradecer a todos que tornaram possível esta vitória.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, pois nos momentos de maior fragilidade eu senti sua presença em cada solução e força que vinham a mim quando eu achava que não podia mais nada.

Agradeço a minha família que me fortalece em todos os momentos, que torce por mim e faz o que pode para que eu obtenha êxito em minhas batalhas. Ao meu pai (in memoriam), que sempre me incentivou a buscar realizações de sonhos, independente da distância e dificuldades envolvidas no caminho, a minha mãe, que sempre foi exemplo de sensibilidade e força, que se sacrificou muito para que eu e meus irmãos pudessemos obter sucesso em nossas trajetórias, nada que eu possa vir a fazer, será suficiente para retribuir tudo isso. Obrigado a minha irmã Priscila, por estar sempre me apoiando, me ouvindo e compartilhando momentos de vida e família. Obrigado ao meu irmão Tércio, que além de irmão é meu melhor amigo, obrigado por cada conversa, cada conselho e cada momento de acolhimento e companhia nas últimas viagens e aventuras, que me ajudaram a manter a saúde mental em dia. A minha irmã Kelly, por compartilhar momentos de vida e família. Aos meus sobrinhos Theo, Felipe, Marco Antônio e Helena, que alegram minha vida.

Agradeço a meu orientador, Professor José Nivaldo Garcia, por ter aceitado esse desafio, por ter compartilhado tanto conhecimento científico quanto de vida e ter sempre exigido de mim, um pensamento cada vez mais fora do óbvio.

Agradeço ao técnico, Eduardo Facco, que além das soluções e trabalhos de altíssima qualidade, foi amigo e companheiro, me incentivando muito neste trabalho, nos momentos difíceis e me apresentando os Rocks de Piracicaba. Aos técnicos Cid, Biro, Alex e Aparecido que contribuíam com o necessário a realização deste trabalho.

Agradeço à Giovana, secretária do PPGRF, uma pessoa especial que sempre está a disposição para nos ajudar com as burocracias, e além disso, sempre disposta a ouvir e conversar sobre os mais diversos temas e problemas que enfrentamos no nosso dia a dia.

Aos amigos Bruno, Alê, JT, Victor, Maíra, Eduardo, Jéssica, Ju, Rafa e Juliana, pelos momentos de diversão e limpeza (as vezes sujeira rs) da mente, conversas nerds, churrascos, chopps, almoços e games que fizeram esta etapa mais leve e produtiva.

Aos amigos e colegas de trabalho do PCT - UFOPA, que me apoiaram e me incentivaram a entrar nesta Jornada.

Aos amigos desse último ano de piracicaba, Natan, Mateus, Sensei Jorge Ariento e amigos do jiu-jitsu, que alegraram meus dias e contribuíram muito para o meu crescimento pessoal nesse ano.

Agradeço ao Santiago pelas aulas e tênis que fizeram muita diferença neste ano.

Agradeço a UFOPA, por ter me liberado para fazer o doutorado e me possibilitar viver esta etapa da maneira mais proveitosa possível.]

Ao grupo GBioforest, na pessoa do Professor Victor Moutinho, pela Bolsa de Desenvolvimento tecnológico implementada neste último ano, em que ela foi tão necessária.

E a todos aqueles que por minha falha de memória eu possa ter esquecido de citar.

Meus mais sinceros agradecimentos!

“Arrasamos as selvas e implantamos selvas de cimento. Enfrentamos o sedentarismo com esteiras, a insônia com remédios. E pensamos que somos felizes ao deixar o humano”.

José (Pepe) Mujica

SUMÁRIO

	RESUMO.....	8
	ABSTRACT.....	9
1	INTRODUÇÃO.....	11
	Referências.....	12
2	ESTUDO DO POTENCIAL DE ABSORÇÃO DE ENERGIA DO MIRITI (<i>Mauritia flexuosa</i> L. f).....	17
	Resumo.....	17
	Abstract.....	17
2.1	Introdução.....	18
2.2	Materiais e Métodos.....	120
2.3	Resultados e discussões.....	23
2.4	Conclusões	25
	Referências.....	26
3	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PAINEL DE MIRITI LAMINADO CRUZADO (CLM)	29
	Resumo.....	29
	Abstract.....	29
3.1	Introdução.....	30
3.2	Materiais e Métodos.....	31
3.3	Resultados e discussões.....	36
3.4	Conclusões.....	41
	Referências.....	42
4	ECO COMPÓSITOS SANDUÍCHE COM FACES EM POLIURETANO DE MAMONA REFORÇADO POR FIBRAS DE JUTA E NÚCLEO CLM, PARA APLICAÇÃO EM EQUIPAMENTOS ESPORTIVOS.....	45
	Resumo.....	45
	Abstract.....	45
4.1	Introdução.....	46
4.2	Materiais e Métodos.....	48
4.3	Resultados e discussões.....	52
4.4	Conclusões.....	57

	Referências	58
5	Conclusões Gerais	61

RESUMO

Desenvolvimento de eco compósitos sanduíche, para aplicação em equipamentos esportivos

Com o reconhecimento dos aspectos ambientais envolvidos nos processos de produção e consumo, estes passaram a ganhar cada vez mais notoriedade, o que gerou intensas discussões e realizações de conferências e estudos sobre o meio ambiente no mundo todo, provocando o surgimento dos termos: eco desenvolvimento e desenvolvimento sustentável. A partir deste momento, a adequação dos processos produtivos e o uso de materiais ecologicamente corretos ou ecologicamente amigáveis (Eco-friendly) e/ou oriundos de fontes renováveis, tornaram-se alvos de diversos estudos, estando os ecocompósitos reforçados por fibras vegetais, entre os materiais de estudo de maior relevância. Assim, este estudo se propôs o desenvolvimento de um eco compósito sandwich polimérico reforçado por fibras vegetais, para aplicação em materiais e equipamentos esportivos, sendo importante do ponto de vista econômico e social quando, que pode representar uma alternativa de geração de renda a comunidades tradicionais e agregando valor as fibras naturais produzidas na região amazônica. Para isso, realizou estudos de absorção de energia mecânica e caracterização mecânica do miriti (*Mauritia flexuosa L. f*), material que após processo de obtenção do miriti laminado colado (CLM), compões o núcleo do Eco Compósito. Os painéis CLM também foram caracterizados mecanicamente por ensaios de flexão e cisalhamento. Os resultados foram comparados a resultados teóricos. Posteriormente foram produzidos eco compósitos sanduíche, com faces de poliuretano de mamona, reforçadas por fibras de juta, com núcleo de CLM. Esse compósitos foram caracterizados mecanicamente por flexão e comparados a resultados teóricos obtidos. O material desenvolvido apresentou resultados promissores do ponto de vista mecânico e sustentável.

Palavras-chave: Miriti laminado colado, Raquete de beach tênis, Sustentabilidade, Eco-friendly

ABSTRACT

Development of sandwich eco composites for application in sports equipment

With the recognition of the environmental aspects involved in the production and consumption processes, these began to gain more and more notoriety, which generated intense discussions and conferences and studies on the environment around the world, causing the emergence of the terms: ecodevelopment and sustainable development. From this moment on, the adequacy of production processes and the use of ecologically correct or ecologically friendly materials (Eco-friendly) and/or from renewable sources have become targets of several studies, with eco-composites reinforced by fibers vegetables, among the most relevant study materials. Thus, this study proposed the development of an eco-composite polymeric sandwich reinforced by vegetable fibers, for application in sports materials and equipment, being important from an economic and social point of view, as it can represent an alternative for generating income for traditional communities and adding value to natural fibers produced in the Amazon region. To this end, it carried out mechanical energy absorption studies and mechanical characterization of miriti (*Mauritia flexuosa* L. f), a material that, after the process of obtaining glued laminated miriti (CLM), makes up the core of the Eco Composite. The CLM panels were also mechanically characterized by bending and shear tests. The results were compared to theoretical results. Subsequently, eco-composite sandwiches were produced, with castor polyurethane faces, reinforced by jute fibers, with a CLM core. These composites were mechanically characterized by bending and compared to theoretical results obtained. The material developed showed promising results from a mechanical and sustainable point of view.

Keywords: cross laminated miriti, beach tennis racket, sustainable, eco-friendly

1. INTRODUÇÃO

Os materiais não convencionais têm despertado crescente interesse em comunidades de pesquisa e em estudos práticos de aplicação. Os materiais compósitos, já amplamente utilizados em vários setores industriais, estão cada vez mais se destacando em diversos segmentos. Isso se deve à capacidade desses materiais de promover uma sinergia eficaz entre as propriedades de seus componentes, resultando frequentemente na criação de novos materiais com benefícios superiores em comparação com seus componentes individuais.

O conceito de compósitos de estrutura sanduíche foi inicialmente proposto por Alphonse Duleau em 1820 e posteriormente desenvolvido por Robert Stephenson em 1830. No entanto, essas estruturas só ganharam significativa importância no avanço tecnológico e despertaram interesse comercial durante a Segunda Guerra Mundial, especialmente na fabricação dos bombardeiros Mosquito pela empresa de Havilland. Nessas aeronaves, uma parte substancial da fuselagem não estrutural era composta por um material compósito sanduíche, composto por faces de compensado e um núcleo de madeira balsa, conferindo à estrutura leveza e resistência. (Zenkert, 1997). Essa seleção ocorreu em razão da ausência de alternativas disponíveis e da escassez de materiais durante o período de guerra. (Nasseh, 2016).

Durante a corrida espacial, a tecnologia dos compósitos sanduíches foi se tornando ainda mais interessante, com sua aplicação no módulo lunar Apollo 11 no ano de 1969. A fuselagem do módulo era composta por faces de aço e núcleo de Honeycomb, o que o tornava leve e resistente durante o lançamento e alunagem. Isso foi um grande passo para o avanço dessa tecnologia e sua aplicação em diferentes áreas além da indústria aeroespacial, como civil, naval e automotiva (Mateus, 2014).

A estrutura do compósito do tipo sanduíches é constituída por duas faces externas de material com elevada resistência mecânica e de baixa espessura, por um núcleo de baixa densidade com maior espessura que irá separar as faces e um elemento adesivo que irá promover a união entre faces e núcleo.

A partir da década de 70 o reconhecimento dos aspectos ambientais envolvidos nos processos de produção e consumo, estes passaram a ganhar cada vez mais notoriedade, e ganham importância tal quanto os aspectos econômicos. Isso gerou intensas discussões e realizações de conferências e estudos sobre o meio ambiente no mundo todo, provocando o surgimento dos termos: eco desenvolvimento e desenvolvimento sustentável (MARTINS, 2004). Então a adequação dos processos produtivos e o uso de materiais ecologicamente corretos ou ecologicamente amigáveis (Eco-friendly) e/ou oriundos de fontes renováveis, tornaram se alvos

de diversos estudos, estando os eco compósitos reforçados por fibras vegetais, entre os materiais de estudo de maior relevância.

Assim, este estudo, propõe o desenvolvimento de um eco compósito sanduíche polimérico reforçado por fibras vegetais, para aplicação em materiais e equipamentos esportivos, sendo importante do ponto de vista econômico e social quando, que pode representar uma alternativa de geração de renda a comunidades tradicionais e agregando valor as fibras naturais produzidas na região amazônica.

Referências

Albuquerque Neto, J. R.; Carvalho, L. H. & Araújo, E. M. - Polímeros, 17, n.1, p.10 (2007). <http://dx.doi.org/10.1590/S010414282007000100006>

American Society of Testing and Materials. ASTM Standard Terminology of Structural Sandwich Constructions (C274-07). West Conshohocken, PA: ASTM International 2007

BALBONI, B.M., PIRES, O, BONFIN., M.C., MOREIRA, T.A.S. Caracterização Mecânica Dos Feixes De Fibras De Curauá. III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Florianópolis, SC, 2017

CALDAS, B.G.S. Estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado com tecido de sisal conformado por infusão a vácuo. 2014. p. 102. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

Callister Jr., W.D., Ciência e Engenharia dos Materiais, uma Introdução, 7ª Edição, Ed. Guanabara, 2008. Askeland, Donald R, Phulé, P.P.; Ciência e Engenharia dos Materiais, 1ª Edição, Ed.

CARVALHO, Anelena Lima; LINHARES, Evandro José Ferreira; NASCIMENTO, Janice Ferreira. Aspectos da biometria dos cachos, frutos e sementes da palmeira inajá (Maximiliana maripa (Aublet) Drude) na região leste do estado do Acre. Revista Brasileira de Biociências, v. 5, n. S1, p. 228-230, 2007.

COSTA, Deibson Silva Da. Estudo Da Influência De Resíduos Gerados Pela Indústria De Mineração Nas Propriedades De Compósitos De Matriz Poliéster Reforçados Com Fibras Naturais. Orientado: José Antônio da Silva. 2016. 229f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

LORENZI, H. Palmeiras no Brasil: exóticas e nativas. Nova Odessa, SP, Editora Plantarum, 1996.

MARTINS, R. C.; FILGUEIRAS, T. S. Arecaceae. In: CAVALCANTI. Flora dos Distrito Federal. Brasília: Embrapa Recursos genéticos e biotecnologia. 2006.

MARTINS, T. O conceito de desenvolvimento sustentável e seu contexto histórico: algumas considerações. *Jus avigandi*, Teresina, ano 9, n. 382, 2004.

MATEUS, Kevin dos Santos. Melhoria das propriedades mecânicas de uma estrutura sandwich de compósito. Orientador: Paulo Fael. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2014.

MAZUR, R. L. Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/PEKK com aplicações aeronáuticas monteiro. 2010. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá-SP, 2010.

MELLO, N. C.; FERREIRA, F. C.; CURVELLO, A. A. S.; COLNAGO, L. A.; MATTOSO, L. H. C. (1995) “Estudos e caracterização de sisal “in natura” e sisal benzilado por RMN CPMAS de ^{13}C ”, in: Anais. do 3º Congresso Brasileiro de Polímeros, p.1349, 1995.

MIRANDA, I. P. de A. & RABELO, A. Guia de identificação das palmeiras de Porto Trombetas – PA. Manaus, Editora da Universidade Federal do Amazonas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 365 p. 2008

MONTEIRO, S. N.; RODRIGUES, R. J. S.; COSTA, L. L.; PORTELA, T. G. R.; SANTOS, N. S. S. Thermal behavior of buriti biofoam. *Revista Matéria*, v. 15, n. 2. p. 104–109, 2010.

Moreira, T.A.S,. Estudo Do Processo De Infusão Para Aplicação E Eco-Compósitos Reforçados Por Fibra De Curauá. Trabalho de Conclusão de curso. Instituto Federal do Pará, Belém, 2012.

NASSEH, Jorge. "Manual de Construção de Barcos". Rio de Janeiro. 4ª ed. Livro Barracuda Advanced Composites, 2011.

PEREIRA, S. J. Avaliação das características e propriedades da polpa celulósica de *Mauritia vinifera* Martius e *Bactris inundata* Martius (PALMAE) pelo processo KRAFT. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

POTT, V. J.; POTT, A. Buriti – *Mauritia flexuosa*. Fauna e Flora do Cerrado, Campo Grande, outubro 2004. Disponível em: <<http://cloud.cnpqc.embrapa.br/faunaeflora/plantas-uteis/buriti-mauritia-flexuosa>>. Acesso: 30 jan 2017.

RODRIGUES, L. B.; BALBONI, B. M. Propriedades física e mecânicas do pecíolo do Buriti (*Mauritia flexuosa*). TCC – Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, Pará, 2017.

SAMPAIO, M. B. Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do buriti. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, v. 2, 2011.

SANTOS, L. F. G. dos. Estudo sistemático do Miriti (*Mauritia flexuosa*) para o desenvolvimento de ECO-VANT - Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Minas Gerais, 2016.

SANTOS, R.S.; COELHO-FERREIRA, M. Estudo Etnobotânico de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) em comunidades ribeirinhas do Município de Abaetetuba, Pará, Brasil. *Acta Amazônica*. 42 (1:1-10), 2012.

SILVA, S.F. da. Primeira Contribuição ao Catálogo Sistemático de Plantas Brasileiras Produtoras de Óleo, Cêra e Resina. 1º Parte Monocotiledôneas. Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária, Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar. Rio de Janeiro, 1971.

SILVEIRA, A. L. R. C.; SANTOS, F. F. A Utilização da Palmeira Buriti (*Mauritia Flexuosa*) como Isolante Térmico em Edificações. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

2. CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos estudos executados durante a realização desta tese de doutorado, foi possível concluir que:

O miriti é um material de baixa densidade e propriedades mecânicas mais elevadas que outras espumas sintéticas, podendo ser aplicado coo núcleo de compósitos sanduíches e inclusive atuando na melhoria de propriedades mecânicas do mesmo.

A fabricação dos painéis CLM, se mostrou em estágio tecnológico avançado, propiciando um material de excelente qualidade para diversos tipos de aplicação.

Apesar de ter um aumento de densidade, em relação ao miriti, os painéis CLM, apresentaram baixa densidade quando comparado a cortiça natural, pau balsa e espuma de poliuretano tradicional.

Os Eco Compósitos CS1 e CS2 apresentaram comportamento mecânico compatível com compósitos sanduíches, apresentando propriedades promissoras para aplicação em equipamentos esportivos

Os Eco Compósitos objetos deste estudo, apresentaram grande potencial sustentável e podem se enquadrar na nomenclatura de materiais Eco-friendly.