

COMPÓSITO DE FIBRA DE TURURI: CONFEÇÃO E POTENCIALIDADE COMO MATERIAL SUSTENTÁVEL

TURURI FIBER COMPOSITE: DEVELOPMENT AND POTENTIALITY AS A SUSTAINABLE MATERIAL

AMANDA SOUSA MONTEIRO, M.Sc. | USP

DENISE DANTAS, Dra. | USP

JÚLIA BARUQUE-RAMOS, Dra. | USP

TAKASHI YOJO, Dr. | IPT

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi descrever a criação de compósitos da fibra vegetal amazônica tururi (*Manicaria saccifera* Gaertn.) com a resina epóxi-vinil-éster com processo de produção por infusão a vácuo, além de analisar o seu potencial como material sustentável segundo a óptica de projeto sustentável. Buscou-se apreender as várias fases que diferenciam a entrada, permanência e a saída de um compósito como material para o mercado, tendo em vista o processo de produção e acabamento. Notou-se que o material desenvolvido tem potencial para a utilização no design de produtos como um produto sustentável pois apresenta um baixo impacto em sua pré-produção, produção, montagem e descarte.

PALAVRAS CHAVE: Compósito de tururi; Projeto sustentável; *Manicaria saccifera* Gaertn

ABSTRACT

The objective of this research was to describe the creation of composites of the tururi (*Manicaria saccifera* Gaertn.), an Amazonian vegetal fiber, with epoxy-vinyl-ester resin using the vacuum infusion method, in addition to analyzing its potential as a sustainable material according to the life cycle perspective. We sought to analyze the various phases that compose the entry, permanence, and exit of a composite as a material for the market, considering the production and finishing process. It was found that the developed material has the potential for use in product design as a sustainable material as it has a low impact on its pre-production, production, assembly, and disposal.

KEY WORDS: Tururi composite; sustainable design; *Manicaria saccifera* Gaertn



1. INTRODUÇÃO

O design de produtos é a área responsável por melhorias na cultura material e utiliza recursos como a maquinaria, os processos produtivos e os materiais para entregar produtos e serviços com maiores qualidades funcionais e estéticas (BONSIEPE, 2012). O designer, com atos projetuais, intervém e supera dificuldades encontradas na realidade da produção industrial, “Afim, projetar, introduzindo as mudanças necessárias, significa ter a predisposição para mudar a realidade sem se distanciar dela” (BONSIEPE, 2011, p. 37).

Visando tais melhorias, a conscientização a respeito dos problemas ambientais tem crescido nas últimas décadas e conduz a uma maior discussão e reorientação dos comportamentos sociais e industriais. Entre os requisitos gerais para se alcançar a sustentabilidade, ressalta-se que o design de produtos deve aproveitar-se da utilização de recursos renováveis, entre eles o emprego de materiais sustentáveis (KOZLOWSKI et al., 2005).

Sobre os materiais, por aproximadamente um milhão de anos os seres humanos utilizaram majoritariamente madeira, pedra, osso, chifre e pele. Foi somente na revolução do período Neolítico (10.000 a.C. a 4.000 a.C) que outros materiais como a lã e as fibras vegetais foram empregados. A partir disso, a evolução das técnicas de trabalho gerou alternativas que marcaram profundamente a vida em sociedade, chegando à revolução industrial com uma completa transformação de operação e assim um número cada vez maior de possibilidades tecnológicas (MANZINI, 1993).

Materiais podem ser compreendidos como “um novo ambiente técnico e cultural, no âmbito do qual se vem dando a transformação da matéria” (MANZINI, 1993, pg.17). O autor aponta que, no século XX, o número de materiais disponíveis cresceu significativamente, sendo a área de materiais um campo aberto a experimentações, desde o desenvolvimento de novos materiais sem quaisquer precedentes na indústria quanto da transformação de outros já existentes.

Nos estudos do design de produtos, os últimos 15 anos vêm sendo permeados por pesquisas que objetivam estabelecer uma nova relação com os materiais, através do desenvolvimento de novas possibilidades. Aproveita-se das metodologias projetuais da área, e através de técnicas artesanais, designers de produto têm acesso à tecnologia de forma ativa, buscando a inovação em materiais e processos. Estabelece-se assim “Uma nova dimensão em termos da relação entre designers, tecnologia, processos de produção e materiais.” (ROGNOLI; AYALA-GARCÍA, 2018, p.7, tradução nossa).

O acesso ao processo de desenvolvimento de materiais acarreta ideias originais que auxiliam as capacidades investigativas e inovadoras dos designers de produtos. “Eles operam em processos, tratamentos de superfície ou na própria formulação para produzir inovação material” (PARISI; ROGNOLI; AYALA-GARCIA, 2016, p. 239, tradução nossa). Nesse sentido, promove-se também a democratização das práticas tecnológicas, pois permite o acesso e compartilhamento de tecnologias.

Ashby e Johnson (2011) reforçam que os avanços na área da engenharia de materiais e design geraram novos comportamentos e experiências e enfatizam as possibilidades criativas destes avanços, já que materiais e processos podem ser importantes fontes de inspiração para designers de produtos. Todavia, citam também os riscos associados ao se trabalhar com novos materiais e apontam as caracterizações incompletas e a falta de referências como problemáticas que implicam em uma falta de confiança tanto nas questões técnicas quanto subjetivas dos novos materiais.

Busca-se, por esta razão, aprofundar e orientar os estudos de novos materiais para atingir questões de sustentabilidade no projeto. Deve-se aproveitar-se das possibilidades que o desenvolvimento criativo promove, compreendendo suas propriedades e promovendo um uso racional que vise a redução do impacto ambiental (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

A aplicação de fibras naturais vegetais em compósitos é uma das inovações em materiais de grande valia ao design de produtos, sobretudo nos países em que há abundância de materiais regionais com subutilização. O Brasil oferece muitas alternativas no que diz respeito a fibras naturais vegetais e estas vêm sendo bastante exploradas, principalmente aquelas cuja renovação dá-se de forma rápida e de maneira pouco prejudicial, preservando a resiliência do ecossistema (SAVASTANO JR, 2000).

2. MATERIAIS COMPÓSITOS

Compósitos mostram-se uma excelente alternativa na área de desenvolvimento de novos materiais que visem a sustentabilidade. Podem ser compreendidos como materiais multifásicos que exibem uma proporção significativa de ambas as partes que o compõem. A combinação de materiais obtida gera melhorias e equilíbrio em suas propriedades (CALLISTER, 2005).

Existem compósitos que incluem ligas metálicas, cerâmicas e polímeros multifásicos. São essencialmente artificiais, e as fases que o constituem devem ser quimicamente diferentes e estarem separadas por interfaces

diferentes. Muitos deles são constituídos por duas fases distintas: uma denominada matriz, a qual é contínua e envolve outra fase, chamada de dispersa. Com a combinação das duas fases adquire-se um novo material com melhores combinações de qualidades (CALLISTER, 2005).

Manzini conceitua compósitos como: “(...) significa escolher os materiais com as características mais apropriadas e dispô-los segundo uma geometria adequada na macroestrutura daí resultante” (MANZINI, 1993, p. 87). Também aborda que a combinação de materiais visando novos comportamentos vem sendo realizada ao longo de toda a história da técnica, desde o trabalho de artesãos até o ponto em que as teorias sobre a matéria e o seu comportamento culminaram na gestão complexa dos materiais, com alta carga de experiências acumuladas.

Como fase dispersa em compósitos, a utilização de fibras vegetais é de grande importância ecológica. Fibras vegetais como tururi, curauá, juta, palha da costa, coco, bambu e sisal vêm sendo usadas como materiais de reforço em diversos estudos e pesquisas acadêmicas, apresentando a vantagem da simplicidade de produção e versatilidade (OLIVEIRA, 2011), (CALEGARI; OLIVEIRA; LENZ, 2014), (RODRIGUES; SOUZA; FUJIYAMA, 2015), (BARAUNA; RAZERA; HEEMANN, 2015).

Além das propriedades mecânicas elevadas em termos de resistência à tração e leveza, essas fibras têm vantagens em termos de baixos custos de produção, abundância natural, biodegradabilidade, alto grau de renovação, baixas emissões de poluentes e baixo consumo de energia para a sua produção e descarte (BORRI et al., 2013). Os custos para a produção e eliminação, no fim da sua vida, são significativamente menores do que para um material compósito com fibras sintéticas tradicionalmente utilizadas (BORRI et al., 2013), (FUENTES et al., 2014), (RODRIGUES; SOUZA; FUJIYAMA, 2015).

Entretanto, existem também problemáticas associadas à utilização de fibras naturais, como as suas fraquezas inerentes: a acentuada variabilidade nas propriedades mecânicas e baixa estabilidade dimensional, alta sensibilidade a efeitos ambientais (variações de temperatura da umidade), seções transversais de geometria complexa e não uniforme, propriedades mecânicas modestas em relação aos materiais estruturais tradicionais, entre outras (MEDEIROS et al., 2016).

Outro fator que deve ser atentamente analisado é a produção de fibras vegetais, já que há implicações sociais importantes, como o fortalecimento das culturas rurais onde são cultivadas e/ou extraídas. Por esse motivo, a pesquisa nesta área é extremamente relevante e deve

levar em consideração todos esses agentes e questões (SWAMY, 1990). O designer de produtos, propondo-se a desenvolver novos materiais, deve abarcar todas essas nuances em um projeto. A seguir, serão tratados importantes fatores da confecção de um novo material, no que diz respeito à uma produção visando a sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho foi descrever a criação de compósitos da fibra vegetal amazônica tururi (*Manicaria saccifera* Gaertn) com a resina epóxi-vinil-éster de acordo com o processo de produção por infusão a vácuo de Seyam et al. (2017) e Rodrigues (2014), assim como analisar seu potencial como material sustentável segundo a óptica de projeto sustentável de Manzini e Vezzoli (2002). Analisou-se uma adaptação do ciclo de vida da criação do compósito com o propósito de apreender as várias fases que diferenciam a entrada, a permanência e a saída do material para o mercado.

Na Figura 1 é apresentado o modelo de ciclo de vida utilizado como base para análises. Optou-se por reduzir e excluir algumas fases, por se tratar do desenvolvimento de um material e não de um produto. Para melhor organização, o material foi analisado seguindo as fases descritas abaixo.

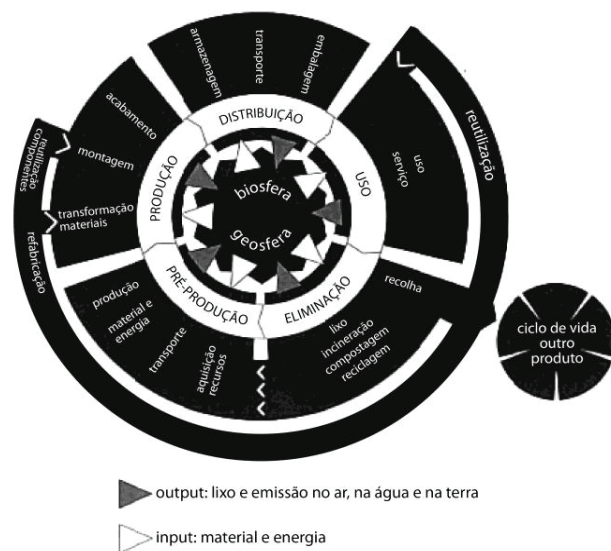


Figura 01 - Ciclo de vida do produto
Fonte: Manzini e Vezzoli (2002, p. 92).

3.1. Pré-produção

Diz respeito à aquisição dos recursos, o transporte destes do local de aquisição ao de produção e a transformação dos recursos materiais em energia. Por se tratar de um material que utiliza uma fibra natural, foi descrito o processo de extração e transporte.

Sobre o material polimérico utilizado, focou-se no processo de compra e transporte para o laboratório onde os compósitos foram confeccionados.

3.2. Produção

É referente à transformação dos materiais, sua montagem e acabamento. Por tratar-se de técnicas artesanais, esta etapa foi adaptada para melhor compreensão e organização das informações. Inicia-se com a limpeza, classificação, medição e pesagem das amostras, além da preparação do material para utilização nos compósitos (MONTEIRO; DANTAS; YOJO, 2021).

Em sequência é descrito o processo de confecção de compósitos poliméricos com o método de infusão a vácuo, baseado nos métodos de Seyam et al. (2017) e Rodrigues (2014).

Por fim, dentro do escopo do acabamento, são analisados alguns parâmetros da dimensão de uso do material, segundo o guia de referência de processos de manufatura apresentado por Ashby e Johnson (2011). Tais processos são os mais utilizados em projetos de design de produtos, tendo sido escolhidos os perfis de junção e acabamento de superfície.

3.3. Descarte

De acordo com o ciclo de vida de Manzini e Vezzoli (2002), esta etapa diz respeito à eliminação do material, sobre as possibilidades de reuso, reciclagem ou o seu despejo. Os autores consideram também as possibilidades de recuperação da funcionalidade, valorização do material empregado e seu conteúdo energético ou a não recuperação do produto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mencionado anteriormente, para compreender a criação de compósitos da fibra de tururi (*Manicaria saccifera* Gaertn.) com a resina epóxi-vinil-éster e analisar o seu potencial como material sustentável, foi necessário adaptar o modelo proposto por Manzini e Vezzoli (2002), tendo em vista que trata-se de um material e não um produto.

O modelo apresentado na Figura 2 foi concebido para que os assuntos tratados em sequência sejam mais bem visualizados, como a cadeia de produção e descarte do material.

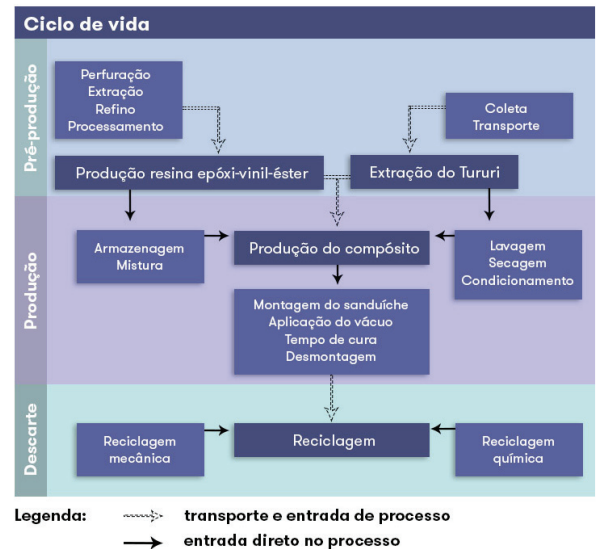


Figura 02: Ciclo de vida do compósito de fibra de tururi e resina epóxi-vinil-éster.
Fonte: Autores.

4.1. Pré-produção

Quanto à pré-produção dos compósitos, primeiramente foi analisada a aquisição dos recursos. Os espécimes de tururi foram coletadas na região do entorno da cidade de Muaná – Pará (raio de 5000 m a partir de S -1° 20' 40.3506" W -49° 17' 45.3948"), que faz parte do arquipélago do Marajó.

O tururi é oriundo dos cachos de frutos da palmeira Ubuçu (*Manicaria saccifera* Gaertn.). Trata-se de espécie nativa amazônica, encontrada na Venezuela, Colômbia, Guianas e Brasil. No Brasil, é encontrada principalmente nos estados do Amazonas, Pará e Amapá.

A obtenção de tururi não necessita de autorização do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente) ou de qualquer outro órgão ambiental federal ou estadual, posto tratar-se de material normalmente comercializado na região do Pará e cuja compra e posse não possui qualquer restrição legal em nenhum dos estados brasileiros (MONTEIRO; BARUQUE-RAMOS, 2016).

As palmeiras de Ubuçu são encontradas de maneira dispersa nas matas de várzea (aquelas que são periodicamente inundadas). Este fator dificulta o processo de extração, já que é necessário que moradores da região com grande conhecimento da área indiquem onde estão as palmeiras. Não há conhecimento até o presente momento do projeto de silvicultura da palmeira de Ubuçu.

A coleta é feita de maneira artesanal pela população ribeirinha, que utiliza métodos tradicionais para o corte, como facões e peçonhas. O transporte até o local de extração é feito através de pequenas embarcações, o tipo mais comum de transporte na região do arquipélago do Marajó.

Na Figura 3 é ilustrado um morador fazendo a extração utilizando facão. De acordo com Manzini e Vezzoli (2002) pode-se classificar esta primeira fase como de utilização de recursos primários renováveis. Depois de serem recolhidos nas várzeas, os sacos são organizados em pacotes e transportados da cidade de Muaná para a capital do estado do Pará, Belém, em uma viagem de 5 a 6 horas de duração.



Figura 03: Extração do tururi da palmeira Ubuçu
Fonte: Monteiro e Baruque-Ramos (2016).

O processo em geral é lento (não há embarcação entre Muaná e Belém todos os dias) e totalmente dependente da população ribeirinha. Em 2020, o saco do tururi tinha um alto custo, de R\$5,00 (cinco reais) por espécime. Não é possível comprar o material em todas as épocas do ano, sendo necessário esperar pelo período de colheita, que é realizada sazonalmente nos períodos dos meses de dezembro a fevereiro.

4.2. Produção

A produção dos compósitos de tururi com resina epóxi-vinil-éster pelo método de infusão a vácuo é iniciado com a limpeza, classificação, medição, pesagem e corte em tamanho padrão dos espécimes de tururi. Este método pode ser seguido para outras fibras vegetais que não necessitem de tratamento químico para sua utilização, sendo os métodos descritos considerados uma forma de amaciamento da fibra (MONTEIRO; DANTAS; YOJO, 2021).

Os espécimes foram medidos com fita métrica e sua espessura medida em seis diferentes pontos com um micrômetro Mitutoyo (modelo MC-004) devido a uniformidades no material. Na Figura 4 é apresentado o esquema de medição e detalhe do procedimento.



Figura 04: Medição de espessura das amostras
Fonte: Monteiro, Dantas e Yojo (2021).

O passo seguinte é manter os espécimes imersos em água corrente por 24 horas. As fibras vegetais quando em contato com a água em forma líquida e vapor, incham devido à absorção de água, o que facilita o trabalho de limpeza. Após o período determinado, os espécimes foram recortados em sentido vertical, preservando as partes menos danificadas pelos agentes naturais (Figura 5).



Figura 05: Exemplo de espécime antes de ser recortado
Fonte: Autores.

O processo seguinte é limpar os espécimes com uma escova de cerdas delicadas, pesá-los em balança semi-analítica (marca Shimadzu modelo Ux6200H) e mantê-los em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, modelo MA 035). Como critério de secagem e medição da umidade, a temperatura foi fixada em 45° C, com primeira medição da massa da amostra após 24 horas e a segunda medição 6 horas depois. O valor da diferença de 1% entre as duas massas foi definido como o critério de parada e retirada da estufa. Finalizado este processo, os espécimes foram mantidos em ambiente climatizado pelo condicionador de ar (Diamont, Modelo Vega) a 20°C e umidade relativa de 65%.

4.2.1. Montagem

A laminação por infusão a vácuo é uma técnica de injeção de resina alternativa aos processos manuais em molde aberto para criação de compósitos. O processo caracteriza-se pela utilização de um molde flexível, o qual é submetido à pressão do vácuo para injetar a resina para o interior do material de reforço (LOPES, 2009). Neste trabalho foram repetidos os métodos de Seyam et al. (2017) e Rodrigues (2014), adaptando para o maquinário disponível. Na Figura 6, esquematização a disposição de montagem do compósito, com a fibra de tururi.

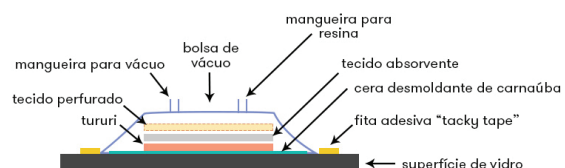


Figura 06: Esquema representativo do processo de laminação a vácuo
Fonte: Autores.

Primeiramente pesou-se as fibras de reforço em balança semi-analítica (marca Shimadzu modelo Ux6200H), sendo a quantidade de espécimes pré-definida de acordo com o tamanho da placa e a quantidade de camadas. Neste estudo, definiu-se que seriam utilizadas quatro camadas de tururi com o tamanho pré-definido de 30x15 cm por amostra, como ilustrado na Figura 7.



Figura 07: Espécimes recortados em tamanho padrão.
Fonte: Autores.

A montagem do compósito é do tipo sanduíche e segue as seguintes etapas: aplicação de cera desmoldante de carnaúba; organização das amostras de tururi de acordo com o layout planejado, com os espécimes em orientação de 0 e 90°; proteção das amostras com tecido desmoldante de poliâmida, aplicação de malha plástica flexível e de tecido perfurado; montagem de mangueiras e tubo em espiral de meia polegada, para inserção da resina e aplicação do vácuo; camada final de filme de vácuo. Na Figura 8, a arquitetura utilizada.

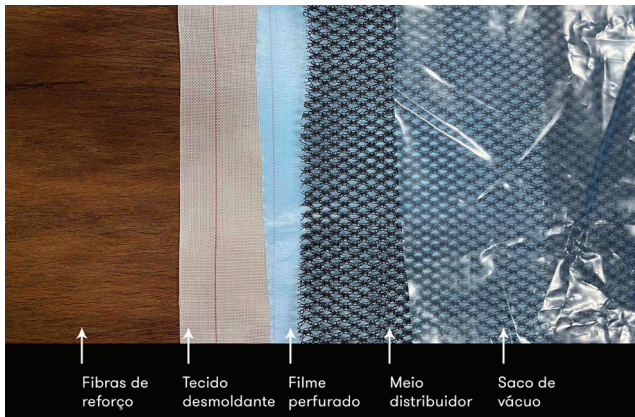


Figura 08: Arquitetura do sanduíche.
Fonte: Autores.

Após a selagem com fita adesiva apropriada, o sistema é conectado à uma bomba de vácuo usada para remover o ar existente dentro da cavidade do molde. Foi utilizada a bomba de vácuo de duplo estágio da marca brasileira Suryha, com potência de 250 Watts/h.

Definiu-se o período de verificação de aplicação do vácuo em 10 minutos, e tendo sido verificada a ausência de vazamentos, a mangueira conectada ao sistema é aberta e a resina é dispersa no sanduíche. Na Figura 9, a confecção do compósito montada e o resultado obtido.

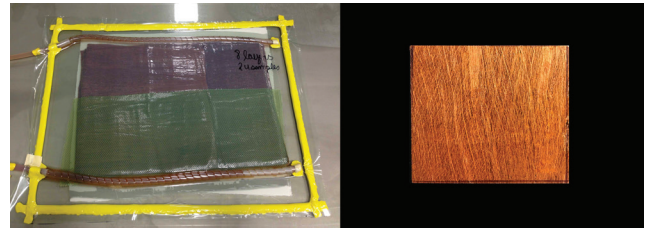


Figura 09: Processo de laminação a vácuo e compósito resultante.
Fonte: Autores.

4.2.2. Especificações técnicas

A fibra de tururi e o compósito gerado pela combinação da fibra e da resina epóxi-vinil-éster desenvolvidos com a técnica de infusão a vácuo já foram caracterizados, quanto às suas principais características físico-químicas. A Tabela 1 resume os dados obtidos para a fibra de tururi.

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Título médio (tex) | 100,3 ± 14,5 (CV=14,5%) |
| Carga de Ruptura (N) | 17,7 ± 4,2 (CV= 23,5%) |
| Alongamento (%) | 10,5 ± 2 (CV=20%) |
| Tenacidade na quebra (cN/tex) | 18 ± 3, 2 (CV=18%) |
| Módulo de Young (N/tex) | 3,4 ± 0,5 (CV=14, 4%) |
| Gramatura (g/m²) | 182 ± 18 (CV=10%) |
| Espessura (mm) | 0,71 ± 0,10 (CV=14%) |

Tabela 01: Propriedades físicas da fibra de tururi.
Fonte: Monteiro (2016).

Na Tabela 2 estão organizados os dados para a tira de tururi, que preserva em sua estrutura uma rede de fibras no formato de um não-tecido. Nos compósitos citados neste trabalho, por serem utilizados amostras no formato de tiras, tais informações se mostram mais satisfatórias para compreensão do material.

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Título médio (tex) | 100,3 ± 14,5 (CV=14,5%) |
| Carga de Ruptura (N) | 17,7 ± 4,2 (CV= 23,5%) |
| Alongamento (%) | 10,5 ± 2 (CV=20%) |
| Tenacidade na quebra (cN/tex) | 18 ± 3, 2 (CV=18%) |
| Módulo de Young (N/tex) | 3,4 ± 0,5 (CV=14, 4%) |
| Gramatura (g/m²) | 182 ± 18 (CV=10%) |
| Espessura (mm) | 0,71 ± 0,10 (CV=14%) |

Tabela 02: Propriedades físicas das tiras de tururi.
Fonte: Monteiro (2016).

A técnica de infusão a vácuo foi utilizada pois proporciona uma estrutura mais leve e forte aos compósitos, quando comparado com testes de impacto para compósitos do mesmo tipo fabricados com o método de moldagem por compressão, como apresentado na Tabela 3.

| Referência | Tipologia | Carga(média) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Midani et al. (2018). | Tururi e resina epóxi, com 8 camadas e fabricado com a técnica de infusão a vácuo. | 97424 N |
| Oliveira (2011) | Tururi e resina epóxi, com 7 camadas e fabricado com a técnica de moldagem por compressão. | 2655,7 N |

Tabela 03: Comparação entre testes de impacto para compósitos de Tururi com resina epóxi
Fonte: Oliveira (2011) e Midani et al. (2018).

Ressalta-se que a diferença de condições experimentais e as análises de resultados tornam difícil a comparação entre os resultados. Assim, parte-se das informações obtidas na literatura científica, que reforçam o método de fabricação por infusão a vácuo como gerador de uma melhor compactação do laminado (por conta da pressão atmosférica), com maior impregnação de resina com a fase dispersa (SEYAM et al., 2017), (MIDANI et al., 2018).

Deve-se, todavia, atentar para as dificuldades ao se trabalhar com fibras naturais neste tipo de compósito. O material vegetal difere bastante entre si, suas qualidades dependem de fatores de difícil controle, como a alta sensibilidade a fatores ambientais relacionados ao crescimento do espécime, a vulnerabilidade à ataque de animais, entre outros. Por isso, uma análise visual anterior à montagem dos compósitos é essencial, para que somente espécimes com peso e características equivalentes possam ser utilizados.

Outro fator é a dificuldade de controle sobre o material durante a montagem do saco. Quando é imposto vácuo no compósito, pode haver movimentação do material, já que não são utilizadas colas ou outras formas de fixação do material no molde. Apesar da qualidade do compósito, deve-se apontar algumas problemáticas relacionadas à sua confecção pelo método de infusão a vácuo. Primeiramente, o processo gera uma quantidade significativa de lixo, pois utiliza diversos componentes descartáveis, como o saco de vácuo, as fitas adesivas, mangueiras e tecidos absorventes. Estes devem sofrer um descarte diferenciado, pois contém resíduos químicos após o processo.

4.2.3. Acabamento

Com o desenvolvimento de novos materiais cada vez mais frequente, torna-se necessário para melhor compreensão do seu ciclo de vida, a análise de sua confecção, das suas características físico-químicas e o estudo das técnicas de trabalhabilidade passíveis de serem utilizadas.

Utilizou-se o guia de perfis de conformação de Ashby e Johnson (2011) como suporte para as análises que seguem. Buscou-se utilizar ferramentas comumente

encontradas em oficinas domésticas, para que os testes apresentados possam ser reproduzidos em diferentes contextos, tornando o processo acessível. Foram testados os perfis de corte, polimento e união do compósito.

Notou-se que o acabamento final dos compósitos está diretamente relacionado aos itens consumíveis utilizados durante a montagem do sanduíche no processo de infusão a vácuo. O lado que entra em contato com a cera desmoldante de carnaúba (ou filme plástico desmoldante) é favorecido, tendo um aspecto brilhante e mais uniforme. O lado oposto, em contato com os tecidos respiradores e de tela de dispersão, tem alteração em seu visual. Perde-se grande parte do apelo estético do compósito, como é possível notar na comparação entre as duas faces expostas na Figura 10.



Figura 10: Diferença entre os dois lados do compósito.
Fonte: Autores.

Como tentativa de melhorar o visual da face prejudicada no processo de laminação a vácuo, foi realizado o processo de lixamento com lixas número 150, 320 e 1000, com posterior polimento com cera de abelha. O visual tornou-se bastante satisfatório, dando destaque às fibras, com brilho opaco. Na Figura 11 a região polida, em contraste com a região sem qualquer tipo de trabalho.

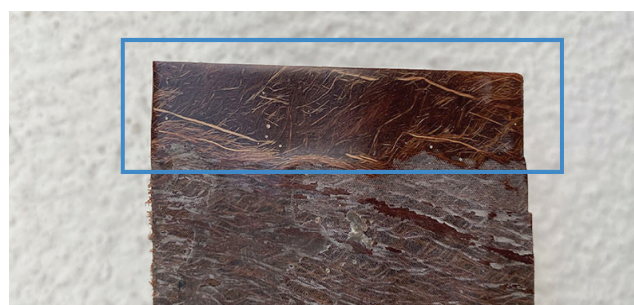


Figura 11: Diferença entre a região polida (no retângulo azul) e a original.
Fonte: Autores.

4.2.4. Corte

Sobre o corte da placa de compósito de tururi, foram testados cortes com serra circular de bancada e com serra “tico-tico” (também conhecida como serra vaivém). De acordo com a metodologia apresentada por Porto et al. (2020), constatou-se que o material é facilmente cortado

com ambos os tipos de serra, não requerendo qualquer tipo de preparação de superfície e mantendo a área cortada com poucas rebarbas e vazios. Com a serra de bancada, a área cortada apresenta aspecto áspero e opaco e não há deslocamento de fibra/matriz ou remoção de fibras pela serra (Figura 12).



Figura 12: Análise visual de corte com serra de bancada.
Fonte: Autores.

Com a serra tico-tico houve presença mais significativa de rebarbas, como é possível observar na Figura 13. Todavia, ambos os processos mostraram-se eficazes para o material.



Figura 13: Análise visual de corte com serra "tico-tico".
Fonte: Autores.

4.2.5. União

Sobre as possibilidades de união do material, foram testadas a inserção de parafusos nas placas de compósito, para verificar a estabilidade do material após o processo. Primeiramente foi utilizada a furadeira de impacto (Makita, modelo 18v Li-Ion) com broca de madeira de 4 mm. O procedimento de furo sucedeu-se de forma satisfatória, sem prejudicar a placa ou deixar rebarbas. Na Figura 14, os furos em ambas as faces do compósito.



Figura 14: Análise visual de furo.
Fonte: Autores.

Também foram testadas as técnicas de escareamento com broca escareadora e posterior união de duas placas com parafuso de 3,5 mm. Como é possível observar na Figura 15.

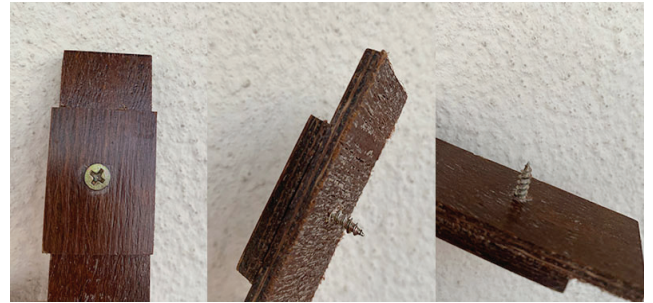


Figura 15: Análise visual de escareamento e inserção de parafuso.
Fonte: Autores.

A placa de compósito de tururi suportou bem as técnicas, demonstrando que é possível fazer a união mecânica entre diferentes placas mantendo sua estabilidade física.

4.2.6. Descarte

A etapa de descarte considera, neste estudo, o material compósito finalizado. Este tipo de material, por utilizar fibra natural de origem amazônica e ser confeccionado de forma artesanal, pode ser projetado para que tenha utilização prolongada, reforçando todos os aspectos que constituem a sua fabricação. Podem ser projetadas peças que sejam facilmente reaproveitadas em outros produtos, evitando técnicas que comprometam a desmontagem, como por exemplo o uso de colas.

Sobre as formas de reciclagem, de acordo com Manzini e Vezzoli (2002), não se pode falar do fechamento completo do ciclo de vida para este tipo de material. O descarte mais comum é a reciclagem, que é um processo que consome uma quantidade significativa de energia. Todavia, pode-se citar como solução a reciclagem mecânica para conversão dos resíduos poliméricos em grânulos. Outra alternativa é separar a matriz da fase dispersa através da reciclagem química, que é a decomposição dos resíduos por meio de processos químicos ou térmicos.

São necessários estudos apropriados para compreender a melhor forma de se reciclar o compósito de fibra de tururi e resina epóxi-vinil-éster, (KERSTING; MARINUCCI; MARINUCCI, 2012) e (MEDEIROS et al., 2016).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo buscou relatar a criação e analisar o ciclo de vida de um compósito de fibra de tururi e resina epóxi-vinil-éster, adaptando o modelo proposto por Manzini e

Vezzoli (2002). Sobre a pré-produção, pode-se afirmar que o processo de obtenção do material, em primeiro lugar, tem aspectos sociais que devem ser levados em consideração, principalmente pela dificuldade de acesso e extração dos espécimes e do deslocamento na região amazônica.

Recomenda-se que a produção dos compósitos de fibra de tururi e resina epóxi-vinil-éster seja planejada para o uso em produtos de baixa tiragem em produção local, de modo a favorecer os pequenos produtores da região e minimizar o deslocamento da fibra e impacto de sua retirada no meio ambiente.

Quanto à limpeza, beneficiamento e preparo da fibra natural, ressaltamos que os processos descritos têm impacto mínimo, pois não utilizam produtos químicos e geram apenas resíduos orgânicos. Para a manutenção da qualidade de desempenho do material, é necessário estabelecer os critérios anteriormente citados.

Quanto à resina epóxi-vinil-éster, esta é a parte frágil deste material e que gera maior capacidade de poluição e resíduos sólidos ao meio ambiente após o descarte, por se tratar de uma resina proveniente do petróleo. Por esse motivo, sugere-se a realização de pesquisas sobre a reciclagem da resina epóxi-vinil-éster associada a fibras naturais vegetais e também recomenda-se a utilização de resina de mamona, um polímero considerado ecológico, por não ser originado de fontes petrolíferas.

Sobre o acabamento, notou-se que todas as técnicas testadas obtiveram resultados satisfatórios, sendo que ferramentas domésticas comumente utilizadas em madeira são passíveis de serem empregadas no trabalho com os compósitos deste estudo.

Outros tipos de união também serão testados, como por exemplo adesivos estruturais sintéticos comercializados livremente no Brasil, como: adesivo acrílico e adesivo de epóxi. Tais adesivos são aconselhados para a junção de compósitos de fibras com madeira, polímeros e metais. Ressalta-se que a utilização de adesivos é prejudicial ao projeto de um produto sustentável, todavia para uma testagem completa das possibilidades com o material, é necessário compreender se tal técnica é viável e se o material suporta a utilização.

Posteriormente serão testadas outras técnicas de acabamento, como a impressão através do processo de serigrafia e a utilização de pinturas à base de solvente e água. Tal conhecimento é muito importante ao design de produtos pois permite que sejam desenvolvidos projetos de produtos levando em consideração diversas técnicas de trabalhabilidade do material.

Compósitos poliméricos com fibras vegetais vêm sendo

estudados com frequência devido às inúmeras possibilidades que geram para a criação de novas alternativas com baixo custo e baixa energia de produção. É essencial, assim, reforçar que futuramente outros estudos serão desenvolvidos, objetivando compreender o desenvolvimento do material em questão visando a sustentabilidade no projeto, através de completa caracterização física, análise de ciclo de vida, trabalhabilidade do material e suas possíveis aplicações.

Os resultados de estudos anteriores somados às análises geradas neste trabalho são promissores e indicam que a fibra de tururi pode ser utilizada como reforço em compósitos poliméricos. Os compósitos confeccionados exibem uma aparência de madeira natural, um fato bastante atrativo ao design e que pode ser usado como uma alternativa à utilização da madeira em aplicações como laminados ou elementos decorativos em móveis e outras estruturas que não demandam uma alta carga associada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e à sua fundação (FIPT) pelo apoio financeiro e institucional, por meio do Programa Novos Talentos.

REFERÊNCIAS

- ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. *Materiais e design: Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- BARAUNA, D.; RAZERA, D. L.; HEEMANN, A. *Seleção de Materiais no Design: Informações Necessárias ao Designer na Tomada de Decisão para a Conceituação do Produto*. *Design & Tecnologia*, Curitiba, v.5, n.10, p. 1-9, dez. 2015.
- BONSIEPE, G. *Design, Cultura e Sociedade*. São Paulo, SP: Blucher, 2011.
- _____. *Design: como prática de projeto*. São Paulo, SP: Blucher, 2012.
- BORRI, A.; CORRADI, M.; SPERANZINI, E. Reinforcement of wood with natural fibers. *Composites Part B Engineering*, v.53, p. 1-8, abr. 2013.
- CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F.; LENZ, D. M. O desenvolvimento de produtos a partir de novos materiais: a aplicação de biocompósitos no design de produtos. *Projética*, Londrina, v.5, n. 2, p. 127- 150, dez. 2014.
- CALLISTER, Jr. W.D. *Materials Science and Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- FUENTES C. A.; BECKERS, K.; PFEIFFER, H.; TRAN, L.Q.N.; DUPONT-GILLAIN, C.; VERPOEST, I.; VAN VUURE, A.W. Equilibrium contact angle measurements of natural fibers by an acoustic vibration technique. *Colloids and*

Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 455, p. 164–173, maio 2014.

KERSTING, D. F.; MARINUCCI, G.; WIEBECK, H. Reciclagem De Compósitos Carbono/Epóxi: Uso De Reciclagem Química Associada a Outros Métodos. In: CBECIMAT- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 20., 2012, Joinville, SC: 2012, p. 11907-11914. Disponível em: <https://ipen.br/biblioteca/2012/cbecimat/18414.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021.

KOZLOWSKI, R.; BARANIECKI, P.; BARRIGA-BEDOYA, J. Bast fibres (flax, hemp, jute, ramie, kenaf, abaca). In: BLACKBRUN, R. S. (Ed.). Biodegradable and sustainable fibres. Cambridge: Published by Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, 2005. cap. 2, p. 36-88.

LOPES, I. A. F. Estudo do processo de infusão a vácuo em materiais compósitos: produção de tampa de bagageira para autocarro. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

MANZINI, E. A Matéria da Invenção. Lisboa: Porto Editora, 1993.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. 1.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MEDEIROS, D. L.; TAVARES, A. O. C.; ROZADOS, I. L. G.; DOS SANTOS, E. S.; VIANA, J. D. Ciclo de Vida de Compósitos com Fibras Vegetais: Uma Análise Qualitativa das Emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) do Compósito de Polipropileno com Fibra de Sisal Medeiros. Revista Virtual de Química, v. 8, n. 4, p. 1166-1180, 2016.

MIDANI, M.; SEYAM, A. F. M.; MONTEIRO, A.S.; BARUQUE-RAMOS, J. Effect of structural parameters on the impact properties of multilayer composites from Tururi palm (*Manicaria saccifera* Gaertn.) fibrous material. Journal of Natural Fibers, v.17, n. 2, p. 284-297, 2018.

MONTEIRO, A. S. Tururi (*Manicaria saccifera* Gaertn.): caracterização têxtil, processos e técnicas artesanais em comunidade local amazônica (PA - Brasil). 2016. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) – Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MONTEIRO, A.S.; BARUQUE-RAMOS, J. Amazonian Tururi Palm Fiber Material (*Manicaria saccifera* Gaertn.). In: FANGUEIRO, R.; RANA, S. (Ed.). Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards

Industrial Applications. Germany: RILEM Bookseries, 2016. p. 127-138.

MONTEIRO, A. S.; DANTAS, D.; YOJO, T. Preparation of Amazonian Palm Tree Fiber (*Manicaria saccifera* Gaertn.) for Composite Materials. U.Porto Journal of Engineering, v.7, n.2, p. 31-26, 2021.

OLIVEIRA, A. K. F. Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PARISI, S.; ROGNOLI, V.; AYALA-GARCIA, C. Designing materials experiences through passing of time - Material driven design method applied to mycelium-based composites. Proceedings - D and E 2016: 10th International Conference on Design and Emotion - Celebration and Contemplation, p.239-255, 2016.

PORTO, J. S.; ANGRIZANI, C. C.; CALEGARI, E. P.; AMICO, S. C.; DUARTE, L. C. Polyester/paper composites: study of manufacturing techniques for product development. Revista Matéria, v. 25, n. 3, 2020.

RODRIGUES, J. D. S. Estudo da técnica de infusão de resina aplicada à fabricação de compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras naturais da Amazônia. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

RODRIGUES, J.; FUJIYAMA, R.; SOUZA, J. A. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. Revista Matéria, v. 20, n. 4, p. 946–960, 2015.

ROGNOLI, V.; AYALA-GARCÍA, C. Materia emocional. Los materiales en nuestra relación emocional con los objetos. RChD: creación y pensamiento, v. 3, n. 4, p. 1–15, 2018.

SAVASTANO JR, H. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. Tese de Livre-Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 144p.

SEYAM, A. F. M.; MONTEIRO, A. S.; MIDANI, M.; BARUQUE-RAMOS, J. Effect of structural parameters on the tensile properties of multilayer 3D composites from Tururi palm tree (*Manicaria saccifera* Gaertn) fibrous material. Composites Part B, v. 111, p. 17-26, 2017.

SWAMY, R. N. Vegetable fibre reinforced cement

composites—a false dream or a potential reality?. In: SOBRAL H.S. (Ed.). Vegetable Plants and their fibres as Building Materials. Londres: Chapman and Hall, 1990. cap.1, p.1-3.

AUTORES

ORCID: 0000-0002-9965-0390

AMANDA SOUSA MONTEIRO, Ma. | Universidade de São Paulo - USP | Programa de Pós-Graduação em Design | São Paulo, SP - Brasil | Correspondência para: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Rua do Lago, 876, São Paulo - SP, 05508080 | e-mail: amandasousamonteiro@usp.br

ORCID: 0000-0003-4419-6394

DENISE DANTAS, Dra. | Universidade de São Paulo | Arquitetura e Urbanismo | São Paulo, SP - Brasil | Correspondência para: (Rua do Lago, 876 - Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira - Butantã, São Paulo CEP 05508-080) E-mail: dedantas@usp.br

ORCID: 0000-0002-5538-0544

JÚLIA BARUQUE RAMOS | Escola Politécnica da USP - Engenharia Química, São Paulo, SP, Brasil | Correspondência para: EACH-USP, Av. Arlindo Béttio, 1000, São Paulo, SP, CEP 03828-000 | email: jbaruque@usp.br

ORCID: 0000-0002-0695-6973

TAKASHI YOJO, Dr. | Escola Politécnica da USP - Engenharia Civil, São Paulo, SP, Brasil | Correspondência: Rua Humberto de Campos, 150, São Paulo, SP, Cep 04311-080 | e-mail: yojos@ipt.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MONTEIRO, Amanda Sousa; DANTAS, Denise; Baruque-Ramos, Júlia; YOJO, Takashi. Compósito De Fibra De Tururi: Confecção E Potencialidade Como Material Sustentável. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 7, n. 4, p. 161-172, set. 2021.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n4.161-172>.

DATA DE ENVIO: 15/06/2021

DATA DE ACEITE: 01/07/2021

