



Revista  
Técnico-Científica



## UTILIZAÇÃO DAS FIBRAS DO PSEUDOCAULE DA BANANEIRA

Alessandro Ellenberger<sup>1</sup>, Ugo Leandro Belini<sup>2</sup>, Ilor Bressiani Junior<sup>3</sup>, Andre Christian Keinert<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Mecânica e de Materiais- PPGEM – UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, ellenberger@utfpr.edu.br <sup>2</sup> Doutor em Recursos Florestais - ESALQ/USP e Pós Doutorado - FZEA/USP na área Biomateriais, ubelini@utfpr.edu.br <sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM –UTFPR, Campus Curitiba, ilor.bressiani@renault.com <sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM –UTFPR, Campus Curitiba, andre.keinert@gpcquimica.com.br

**RESUMO:** Os compósitos fabricados a partir de materiais de fontes não renováveis vêm sendo utilizados por diferentes setores para substituição de materiais como o metal. As questões ambientais e legislações sobre uso e descarte de materiais estão levando a novos comportamentos na produção e consumo de bens. Os materiais não biodegradáveis derivados do petróleo são descartados após o uso e podem comprometer os ecossistemas. Práticas agrícolas geram resíduos denominados biomassa, que podem ser utilizados como matéria-prima em vários setores, reduzindo o uso de recursos não renováveis. A biomassa é fonte de fibras celulósicas que, além de biodegradáveis, podem substituir fibras sintéticas na produção de compósitos com aglutinantes de fontes sintéticas ou naturais. As fibras obtidas do pseudocaule da bananeira podem ser utilizadas na fabricação de compósitos. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais da planta. Após a colheita do fruto, as folhas e o pseudocaule não são aproveitados, em uma relação de quatro toneladas de biomassa para cada tonelada do fruto colhido. Este trabalho tem como objetivo buscar na literatura trabalhos sobre o desenvolvimento de compósitos obtidos a partir da utilização das fibras de bananeira com diferentes matrizes poliméricas, suas formas de preparação, caracterização mecânica, usinabilidade e utilização do material.

Palavras-chave: biomassa, fibras celulósicas, compósitos

### USE OF FIBERS FROM BANANA TREE PSEUDOCAULE

**ABSTRACT:** Composites made from materials from non-renewable sources have been used by different sectors to replace materials such as metal. Environmental issues and legislation on the use and disposal of materials are leading to new behaviors in the production and consumption of goods. Non-biodegradable oil-derived materials can be discarded and compromise ecosystems. Agricultural practices generate waste called biomass, which can be used as raw material for

*different uses, reducing the use of non-renewable resources. Biomass is a source of cellulosic fibers that, in addition to being biodegradable, can replace synthetic fibers in the production of composites together with binders from synthetic or natural sources. The fibers obtained from the banana pseudostem can be used in the manufacture of composites. Brazil is one of the largest world producers of the plant. After harvesting the fruit, the leaves and the pseudostem are not used, in a ratio of four tons of biomass for each ton of the harvested fruit. This work aims to search the literature for works on the development of composites obtained from the use of banana fibers with different polymeric matrices, their forms of preparation, mechanical characterization, machinability and use of the material.*

*Keywords: biomass, cellulosic fibers, composites*

## INTRODUÇÃO

Materiais sintéticos obtidos a partir de fontes não renováveis vêm sendo utilizados ao longo dos anos para fabricação de compósitos, que podem substituir o uso principalmente dos metais em produtos como automóveis e aviões (VENKATESHWARAN; ELAYAPERUMAL, 2010). Os compósitos se caracterizam pela combinação de dois ou mais componentes distintos e insolúveis, resultando em um material com propriedades superiores aos constituintes isolados (ASTM, 2003). A combinação de matrizes poliméricas junto às fibras sintéticas, como fibras de vidro ou carbono, resulta em um material com melhores propriedades do que o polímero isolado, ampliando as possibilidades de utilização (GUTIÉRREZ et al., 2014).

Temas como a sustentabilidade e questões ambientais estão levando fabricantes e consumidores a mudarem suas formas de produzir e consumir mercadorias, influenciados pela crescente consciência ambiental em relação ao esgotamento de recursos naturais e da criação de legislações restritivas por parte dos governos no uso e descarte de determinados materiais (SEZEN et al. 2013). Anualmente, toneladas de materiais derivados do petróleo são produzidas e utilizadas por um curto período, tornando-se resíduos que causam a chamada poluição branca. Além desta questão, o esgotamento e a elevação dos preços dos recursos fósseis aumentam o interesse por materiais de fontes renováveis (WANG et al., 2017).

Os processos agrícolas e florestais geram resíduos denominados biomassa, estimados mundialmente na ordem de 140 bilhões de toneladas ao ano (UNEP, 2009). Grande parte desta biomassa é eliminada através da queima, que influencia no efeito estufa, ou utilizada como fertilizante. Estes resíduos podem ser utilizados como matéria-prima para combustíveis, polímeros e materiais de construção, reduzindo o uso de recursos não renováveis (TRIPATHI, 2019; ZHU et al., 2016, MOHANTY et al., 2018).

A partir dos resíduos do cultivo de plantas como arroz, milho, algodão, cana de açúcar e banana são obtidas fibras celulósicas que podem se utilizadas como alternativa as fibras sintéticas na fabricação de compósitos (DUNGANI et al., 2016). As fibras vegetais são apontadas na literatura com uma alternativa barata, abundante, biodegradável, sem riscos a saúde e com boas propriedades físico-mecânicas para esta substituição (NASSAR et al. 2017).

Ao longo da história muitas civilizações utilizaram fibras vegetais combinadas a outros componentes para obtenção de materiais mais resistentes, como antigos tijolos egípcios que utilizavam barro e palha (KEYA et al., 2019). Estas fibras também são utilizadas na fabricação de fios, cordas, tapetes, esteiras, bolsas, protetores de mesa, roupas e papéis (VENKATESHWARAN; ELAYAPERUMAL, 2010).

Na fabricação de compósitos, um dos componentes é denominado matriz, podendo ser polimérica, metálica ou cerâmica, e o outro é denominado reforço, podendo ser na forma de fibras. A matriz estrutura o material e transfere esforços enquanto o reforço é a fase responsável pela resistência ao esforço (KARTHI, 2020).

Os compósitos reforçados com fibras vegetais possuem vantagens como boas propriedades mecânicas, baixa densidade em relação a compósitos com fibras sintéticas, podem amortecer vibrações, fornecer isolamento acústico, baixo custo e um impacto ambiental positivo devido às fibras de fontes renováveis (NASSAR et al. 2017). Sua fabricação pode utilizar matrizes biodegradáveis, como o poliuretano derivado do óleo de mamona (MERLINI, 2011), ou não biodegradáveis, como poliéster insaturado, resina epóxi, polietileno e polipropileno (LOTFI et al., 2019).

A fibra de bananeira pode ser utilizada como reforço em compósitos (SUBAGYO et al., 2018). O Brasil é um dos grandes produtores mundiais da planta

e seu cultivo é encontrado em todo território nacional, principalmente na faixa litorânea. No ano de 2017 foram produzidos no Brasil mais de 6,5 milhões de toneladas da fruta em uma área de aproximadamente 460 mil hectares (IBGE, 2018). Após a colheita do fruto, as folhas e o pseudocaule não são aproveitados e são deixadas no solo como forma de adubação e para mantê-lo úmido. Para cada tonelada de banana colhida são geradas aproximadamente quatro toneladas de resíduos, e destes, 75% são do pseudocaule (SILVA et al, 2016). Estima-se que para cada hectare de plantação são geradas 220 toneladas de resíduos (AHMAD et al., 2018).

Estes resíduos podem ser usados como fonte alternativa de renda para os produtores através de fibras celulósicas, que encontram utilização em diferentes setores. A figura 1 mostra algumas utilizações das fibras de bananeira.

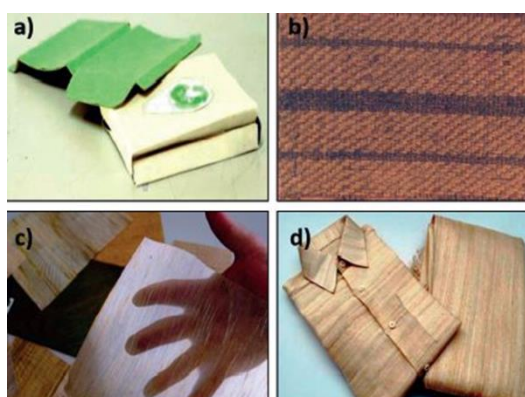


Figura 1: Produtos obtidos a partir de fibras do caule da bananeira: (a) embalagens, (b) tecidos, (c) papéis e (d) vestuário. Fonte: Subagyu et al.(2018)

Empresas já utilizam as fibras do pseudocaule da bananeira para fabricação de materiais compósitos para diferentes finalidades. A empresa Tamoios Tecnologia, localizada em Itariri, São Paulo, fabrica e comercializa produtos a partir dos resíduos do cultivo da bananeira, possuindo em seu portfólio produtos para as áreas de decoração, embalagens, construção civil, entre outros. A figura 2a mostra uma capa de caderno fabricada pela empresa.

A empresa FIBandCO, localizada em Ducos, na Martinica, fabrica e comercializa revestimentos para painéis também a partir das fibras do pseudocaule

da bananeira. Na figura 2b é mostrado um painel de revestimento com as fibras e na figura 2c um exemplo de sua utilização no mobiliário. Ambas as empresas destacam a utilização dos resíduos da cultura da banana como uma alternativa ao consumo de materiais de fontes não renováveis.



Figura 2: (a) Capa de caderno com fibras de bananeira; (b) Revestimento com fibras de bananeira com exemplo de utilização em (c) mobiliário. Fonte: (a) Tamoios Tecnologia; (b) FIBandCO

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado como fonte de pesquisa o portal de periódicos da CAPES, utilizando na busca os termos “banana” e “composite”. Os parâmetros de busca foram filtrados para os trabalhos científicos que tinham os termos no título e não foi restrito o ano da publicação. Através desta pesquisa foram avaliados os trabalhos que produziram e caracterizaram um painel compósito com fibras da bananeira. Também foram pesquisados trabalhos que investigaram a usinabilidade em compósitos com fibras de bananeira através dos termos “banana”, “machinability”, “milling”, “drilling” e “natural fiber”. A pesquisa está dividida nas informações sobre a fibra de bananeira, compósitos e usinabilidade do material.

## RESULTADOS

### Fibras de bananeira

A bananeira é uma planta da família das *Musaceae* e possui aproximadamente 300 espécies, com somente 20 variedades usadas para consumo. De origem asiática, tipicamente tropical, é dependente de calor e umidade, sendo

cultivada em regiões com estas características (VENKATESHWARAN; ELAYAPERUMAL, 2010).

A planta é constituída por raiz, rizoma, pseudocaule, bainha foliar, folhas e cachos (SILVA et al., 2016). O pseudocaule, também denominado tronco, é formado pela sobreposição de até 25 bainhas foliares de onde podem ser retiradas as fibras. O processo de retirada das fibras envolve técnicas de seleção, coleta, extração, tratamento, secagem e armazenamento. O formato da bainha permite a extração de diferentes materiais fibrosos conforme a localização, espessura e método de extração (SUBAGYO et al., 2018).

A maioria das fibras vegetais, incluindo a da bananeira, tem natureza hidrofílica devido à presença de celulose, além de outras substâncias como a lignina, que influencia nas propriedades da fibra (VENKATESHWARAN; ELAYAPERUMAL, 2010).

Um dos grandes desafios na utilização das fibras vegetais em compósitos é a interface fibra-matriz, principalmente em função da natureza hidrofílica das mesmas. Trabalhos propõem tratamentos químicos nas fibras como o alcalino, silanização, acetilação, uso de agentes de acoplamento, entre outros, tendo como resultados a melhoria nas propriedades de resistência (KARTHI et al., 2020).

Pesquisas foram desenvolvidas para analisar as propriedades físicas, químicas, composição e estrutura das fibras da bananeira (JÚSTIZ-SMITH et al., 2008), que podem variar devido às influências de fatores como o ambiente de cultivo da planta, clima, idade da planta, espécie e a forma de processamento das fibras (LOTFI et al., 2019). A Tabela 1 mostra valores da composição e propriedades da fibra de bananeira.

Tabela 1: Composição e propriedades da fibra de bananeira. Fonte: Gopakumar et al., 2016.

Propriedades	Fibra
Celulose (%)	63-64
Ângulo de micro fibrila	11
Hemicelulose (%)	6-19
Lignina (%)	5-10
Teor de umidade (%)	10-11
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1350
Tamanho do lúmen (mm)	5
Resistência à tração (MPa)	529-914
Módulo de Young (GPa)	27-32

O diâmetro de uma fibra da bananeira pode variar entre 13 a 400  $\mu\text{m}$  e sua densidade é mais baixa comparada à fibra de vidro (PAPPU et al., 2015). As propriedades mecânicas mostram valores similares a outras fibras vegetais, como as do sisal (SUBAGYO et al., 2018; RAO et al., 2007).

#### Compósitos com fibras de bananeira

Na literatura são encontrados trabalhos sobre a utilização da fibra de bananeira para fabricação de compósitos utilizando matrizes de fontes renováveis e não renováveis. Estes trabalhos buscaram verificar as propriedades físicas e mecânicas do compósito obtido, utilizando a fibra com e sem tratamentos químicos.

Nos compósitos com matrizes obtidas a partir de fontes renováveis a preocupação com o meio ambiente é citada. Quando todos os componentes do material são obtidos a partir de recursos renováveis, este pode ser denominado “compósito verde” (THANGAMANI; SOMASUNDARAM, 2014).

Merlini et al. (2011) avaliaram as propriedades térmicas e mecânicas de compósitos utilizando poliuretano derivado do óleo de mamona como matriz. Foram usadas diferentes frações de mistura das fibras e de matriz, com diferentes comprimentos de fibras com e sem tratamento químico. Os resultados mostraram que as fibras tratadas apresentaram melhores propriedades mecânicas e que o volume e tamanho das fibras também influenciam nas propriedades.

Kiruthika et al. (2012) desenvolveram um compósito biodegradável utilizando como matriz a goma das sementes de tamarindo extraídas a várias temperaturas. Foram feitos testes de resistência à tração, absorção e resistência ao fogo em compósitos com e sem revestimento de verniz. Entre os resultados, foram apontadas boas condições do material como retardante de fogo.

Ezema et al. (2012) estudaram as propriedades de tração de compósitos obtidos com fibras tratadas e alinhadas do caule e do cacho da bananeira com borracha natural. O compósito com fibras do caule apresentou melhores propriedades elásticas devido a maior quantidade de hemicelulose.

Ezema et al. (2014) desenvolveram e estudaram as propriedades mecânicas de um compósito com matriz de borracha natural e fibras orientadas. Foram verificadas as propriedades em função da orientação da fibra, na qual fibras orientadas a 0° obtiveram melhores resultados em relação às fibras orientadas a 45° e 90°, de acordo com os testes realizados.

Rai et al. (2015) desenvolveram um compósito biodegradável a partir das fibras de bananeira e um látex natural obtido de plantas do gênero *Euphorbia*. As fibras da bananeira foram utilizadas com e sem tratamento alcalino e foram testadas diferentes composições de proporção de fibras e matriz. Foi observado um aumento da absorção de água com o aumento na proporção de fibras. As propriedades físico-mecânicas como também a interface fibra-matriz foram melhores nos compósitos com as fibras que sofreram tratamento alcalino. Também foi comprovada a biodegradação do material.

Paul et al. (2015) desenvolveram e caracterizaram um denominado biocompósito utilizando na matriz seiva da bananeira. Foi utilizado para comparação um compósito com outra matriz similar, sem a seiva. Os testes mecânicos mostraram 12% de aumento no módulo de tração, 15% de aumento na resistência a tração e 25% de aumento no módulo de flexão, comparado ao compósito sem a seiva de bananeira. Nos testes também foi observado a tendência a biodegradação.

Gopakumar et al. (2016) desenvolveram compósitos usando borracha natural, avaliando resistência à tração e ao cisalhamento. Foram utilizadas fibras com e sem tratamentos químicos. Os resultados indicaram melhores propriedades mecânicas



com as fibras tratadas. Gopakumar et al. (2018) também desenvolveram um compósito híbrido de fibras de bananeira e sisal com diferentes composições de borracha natural na matriz. Melhorias significativas na resistência mecânica foram obtidas em função das composições de borracha utilizadas.

Pannu et al. (2019) desenvolveram um compósito biodegradável com ácido polilático (PLA), que é obtido a partir do amido de plantas como o milho, beterraba e mandioca. Foi verificado um aumento das propriedades mecânicas comparando o PLA puro ao PLA com a adição das fibras, como também um aumento no ponto de fusão do material.

Na literatura também são encontrados trabalhos utilizando matrizes de fontes não renováveis ou sintéticas.

Paul et al. (2008) investigaram a condutividade térmica, difusão térmica e calor específico em compósitos com polipropileno. Foram usadas diferentes proporções de fibras com diferentes tratamentos químicos. Os tratamentos melhoraram as propriedades termofísicas dos compósitos avaliados e a incorporação das fibras diminuiu a condutividade térmica do polipropileno.

Sapuan et al. (2008) utilizaram fibras com resina epóxi na fabricação de um produto (Fig. 3) para comprovar a utilização como material alternativo aos convencionais.

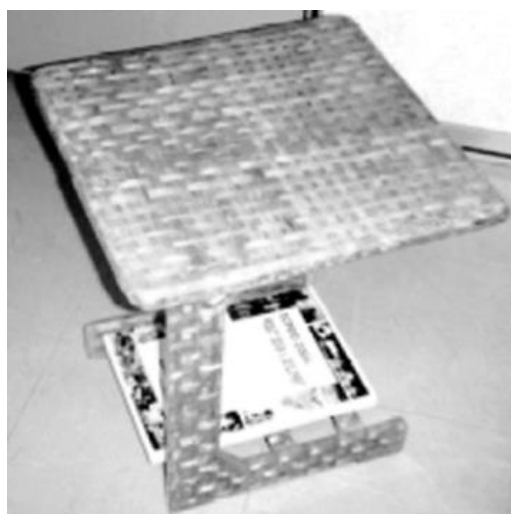


Figura 3: Mesa de compósito com fibras de bananeira e resina epóxi. Fonte: Sapuan *et al.* (2008)

Venkateshwaran et al. (2011) analisaram as propriedades mecânicas e absorção de água em compósitos com resina epóxi e diferentes comprimentos e proporções em peso das fibras nos compósitos. Os resultados mostraram que fibras com comprimento de 15 mm e proporção de 16% mostraram melhores resultados. Em termos de absorção de água, para todos os parâmetros utilizados foram obtidos resultados de 5% em média. O aumento da proporção acima de 16% comprometeu a interface fibra-matriz.

Venkateshwaran et al. (2013) avaliaram as propriedades mecânicas de um compósito com fibras tratadas e resina epóxi. Os resultados mostraram uma melhoria de aproximadamente 50% das propriedades em relação a fibras não tratadas, porém maiores concentrações da solução do tratamento alcalino causaram danos à superfície das fibras.

Anil et al. (2016) avaliaram as propriedades térmicas e mecânicas do compósito com polipropileno. Foi utilizado um processo anaeróbico de extração das fibras e as mesmas sofreram tratamento de superfície. Os resultados mostraram uma melhora na estabilidade térmica, dureza e propriedades elásticas nos compósitos com as fibras tratadas, porém a resistência ao impacto decresceu.

VikasDhawan et al. (2017) desenvolveram compósitos com diferentes tipos de fibras naturais, entre elas a de bananeira, utilizando matriz epóxi e verificaram as propriedades mecânicas do material. Foram utilizadas fibras com e sem tratamento de superfície e uma proporção constante de 40% de fibras nos compósitos. Como resultado foi observado um aumento das propriedades mecânicas com o tratamento na superfície de todas as fibras, exceto na resistência ao impacto.

D'Souza et al (2017) desenvolveram e estudaram compósitos com matriz epóxi e nano sílica. As proporções de fibra foram de 4 e 5% em peso e 0,1% de carga de nano sílica. Foram verificadas as propriedades mecânicas, desgaste e absorção de água. Como resultado verificou-se que a adição da nano sílica melhorou a resistência ao desgaste do material, porém diminuiu sua dureza.

Souza et al. (2017) propuseram em seu trabalho a substituição de fibras de vidro por fibras de bananeira em um compósito com resina poliéster. A proposta para este material foi de utilização em elementos estruturais não submetidos a

grandes esforços mecânicos como tanques, calhas e tubulações de esgoto. Foram analisadas as propriedades térmicas e a densidade do material obtido. Os autores afirmaram que o material é uma opção viável para o uso proposto, necessitando de um aperfeiçoamento no processo de obtenção das fibras e fabricação do material.

A Tabela 2 mostra algumas das matrizes utilizadas na fabricação de compósitos com fibras de bananeira e valores de propriedades mecânicas apontados nos estudos encontrados na literatura.

Tabela 2: Comparação de matrizes e propriedades nos compósitos com fibras de bananeira na literatura.

Matriz	Flexão (MPa)	Tração (MPa)	Absorção	Fonte:
Latéx <i>euphorbia</i>	7.2 - 19	3.8 - 7.2	6 - 56%	RAI et al. (2015)
Borracha natural	-	3.6 - 4.1	-	GOPAKUMAR et al. (2016)
Borracha latéx natural	-	3.3 – 4	-	EZEMA et al. (2014)
Seiva de bananeira	32.3	26.1	-	PAUL et al. (2015)
Semente de tamarindo	-	3.97	6.9 - 7.8%	KIRUTHIKA et al. (2012)
Ácido polilático (PLA)	17.65 - 24.67	19.31 - 28.37	-	PANNU et al. (2019)
PU do óleo de mamona	5.89 - 53.98	1.92 - 10.12	-	MERLINI et al. (2011)
Epóxi	66-75	101 – 287	-	VIKASDHAWAN et al. (2017)
Epóxi	≈20 - 60	16.39 - 57.53	5%	VENKATESHWARAN et al. (2011)
Epóxi e nano sílica	-	-	≈ 3 - 7%	D'SOUZA et al. (2017)
Epóxi	≈ 35 - 70	≈ 10 – 35	-	VENKATESHWARAN et al. (2013)
Epóxi	-	8.61 - 12.02	-	NAIDU et al. (2017)
Polipropileno	-	32.8 - 41.7	-	ANIL et al. (2016)

### Usinabilidade de compósitos com fibras de bananeira

Para a utilização comercial dos compósitos obtidos com fibras naturais é necessário verificar sua capacidade de usinabilidade em processos existentes. A partir de suas propriedades e composição, os compósitos com fibras naturais podem ser utilizados em setores como aeroespacial, automobilístico, moveleiro, construção, embalagens entre outros. Sua usinagem se diferencia de materiais como o metal em função das propriedades dos constituintes (NASSAR et al. 2017). Apesar de alguns processos utilizados para fabricação de compósitos serem próximos da forma final

(*near net shape*), ainda assim são necessárias operações para possibilitar o acabamento e a montagem de peças, onde o processo de furação é fundamental (VENKATESHWARAN; ELAYAPERUMAL, 2013; PATEL et al., 2015).

Um dos principais fatores utilizados pelos autores na literatura para a pesquisa da usinagem em compósito com fibras naturais são os danos causados pela ferramenta de corte no material (Fig. 4). Na furação, fatores como a condição da entrada e saída da ferramenta no material, qualidade da parede interna do furo e delaminação de camadas são investigados (NASSAR et al., 2017; VENKATESHWARAN; ELAYAPERUMAL, 2013; PATEL et al., 2015). Entre estes, a delaminação pode ser considerada um dos principais problemas no processo de furação em compósitos com fibras naturais, e pode ser definida como uma separação de camadas do material após aplicação de determinada força (PATEL et al., 2015).

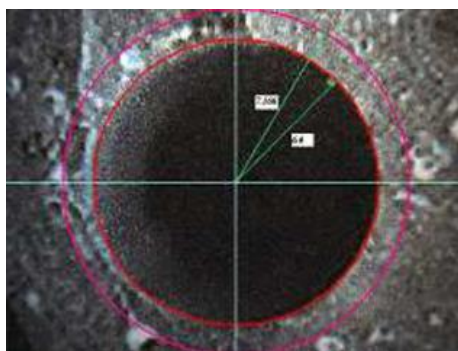


Figura 4: Utilização de imagens para verificar avarias e determinar o fator de delaminação na furação de compósito com fibras de bananeira. Fonte: Chandramohan et al. (2011)

Chandramohan et al. (2011) avaliaram a furação em compósitos obtidos com fibras tratadas de bananeira, sisal e roselle (*Hibiscus sabdariffa*) e resina epóxi através da força de avanço e do torque. Os autores observaram que o processo de delaminação, um dos defeitos mais recorrentes em usinagem de compósitos, é fortemente influenciado pela força de avanço da ferramenta no material, podendo ocorrer na entrada da ferramenta (*Pell-up*) e na saída (*Push-down*). Foram utilizados equipamentos de microscopia eletrônica de varredura e de detecção com raios-X para avaliação e cálculo do fator de delaminação nos furos. Os resultados

mostraram também que o diâmetro da ferramenta e os parâmetros de usinagem são fatores que influenciam nas forças de avanço e o torque. Velocidades de corte mais altas com avanços maiores obtiveram melhores resultados na qualidade do furo.

Venkateshwaran et al. (2013) avaliaram a qualidade da furação em um compósito com fibras de bananeira e resina epóxi utilizando uma técnica de análise de imagens e escaneamento. Foi utilizado o fator de delaminação para classificação dos furos realizados e os autores afirmaram que este fator aumenta com o aumento das velocidades de corte e avanço.

Patel et al. (2015) também utilizaram técnicas de inspeção através de imagens e o fator de delaminação para avaliar a furação na entrada e na saída em um compósito com fibras de bananeira e resina poliéster. Foram utilizados variados parâmetros de velocidades de rotação e avanço, com também brocas com diferentes ângulos de ponta ( $90^\circ$ ,  $104^\circ$  e  $118^\circ$ ). O trabalho também avaliou as forças de avanço envolvidas no processo. Os autores reportaram um aumento das forças de avanço relacionado ao aumento no ângulo de ponta da broca, bem como uma diminuição na delaminação na entrada do furo com este aumento de ângulo. Ao aumentar velocidades dos parâmetros usados a delaminação também aumentou na entrada do furo. Na saída do furo foi observado uma diminuição do fator de delaminação com o aumento da velocidade de corte e com o aumento do ângulo de ponta da broca.

Babu et al. (2013) avaliaram a rugosidade e a delaminação em compósitos com diferentes fibras, entre elas a de bananeira, comparando também a um compósito com fibras de vidro. Os autores propuseram um abordagem baseado no método Taguchi para determinar as melhores condições de usinagem dos materiais estudados. Como resultados foi apontado que os compósitos com fibras naturais apresentaram valores de delaminação e rugosidade similares ao que utilizou fibra de vidro. Velocidades de corte altas e avanço baixo apresentaram melhores resultados.

Ellenberger et al. (2017) avaliaram a rugosidade e a delaminação através de fresamento de topo em um compósito com fibras de bananeira e poliuretano derivado do óleo de mamona. Os resultados apontaram que maiores velocidades de corte e avanços intermediários apresentaram melhores condições na rugosidade de

superfície. Também foi apontado a influência da geometria e o arranjo da fibras nos resultados da delaminação. Em outro trabalho de Ellenberger et al. (2019a) foram avaliadas as forças de corte envolvidas e os defeitos gerados no fresamento do compósito de fibras de bananeira com poliuretano derivado do óleo de mamona. Os resultados mostraram a influência das forças axiais envolvidas no levantamento das fibras na aresta superior dos canais usinados, conforme ilustrado na Figura 5. Este comportamento levou a geração de fibras não cortadas que comprometeram a qualidade do processo.

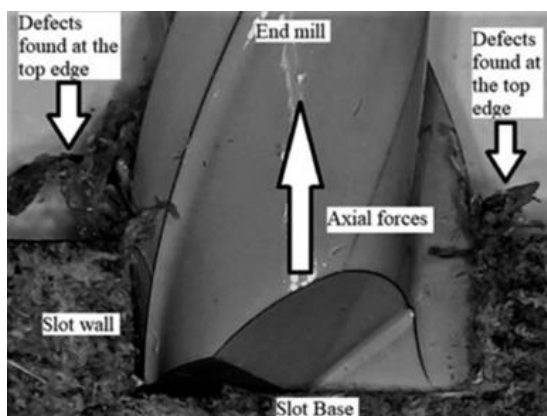


Figura 5: Influência das forças axiais envolvidas no processo de fresamento de um compósito com fibras de bananeira. Fonte: Ellenberger *et al.* (2019a)

Ellenberger et al. (2019b) investigaram a qualidade da furação em compósitos com fibras naturais, entre elas a de bananeira. Nos resultados foram apontados a influência da dimensão das fibras na qualidade do furo e a influência do comportamento viscoelástico das fibras tanto na entrada do furo quanto na saída. Maiores velocidades de corte e avanço menor em geral apresentaram melhores resultados.

## CONCLUSÕES

Após a investigação na literatura sobre o desenvolvimento, caracterização e usinagem dos compósitos com fibras de bananeira, percebeu-se que grande parte dos autores afirmaram nas suas pesquisas que o material possui condições de utilização principalmente em usos onde não será submetido a grandes esforços mecânicos. A utilização de matrizes sintéticas pode ser substituída por matrizes de fontes renováveis mantendo as propriedades do compósito. Nos estudos foi percebido que a fibra de bananeira com tratamento de superfície apresenta melhores propriedades em relação as fibras sem tratamento superficial. O comprimento da fibra utilizada como também a proporção entre matriz e reforço também são parâmetros que influenciam os resultados.

Para a usinagem dos compósitos, um dos principais desafios é a delaminação das fibras durante o processo. Durante o fresamento ou a furação, as forças envolvidas tendem a levantar as fibras da última camada evitando a fratura pelo gume de corte da ferramenta, comprometendo o resultado final. O comportamento viscoelástico das fibras também pode influenciar a qualidade da usinagem neste material.

Compósitos com fibras naturais são investigados na literatura e surgem como uma alternativa a utilização de recursos não renováveis. A fibra da bananeira é um recurso abundante e disponível ao redor do planeta, porém é um resíduo pouco aproveitado após a colheita do fruto. Os compósitos com fibras de bananeira podem ser uma alternativa sustentável para substituir materiais de fontes não renováveis que comprometem o meio ambiente, além de ser uma possível fonte de renda aos envolvidos no cultivo.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, T.; DANISH, M. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of environmental management*, v. 206, pp.330-348, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>

ANIL, A.; TOMLAL, J. E.; GEORGE, G.; MATHEW, J. T.; MANILAL, V. B. Novel eco-friendly commingled polypropylene/banana fiber composite: studies on thermal and mechanical properties. *Polymer Bulletin*, v. 73, n.11, pp. 2987-3005, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1636-0>

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D790-03: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, 2003.

BABU, G. D.; BABU, K. S.; GOWD, B. U. M. Effect of machining parameters on milled natural fiber-reinforced plastic composites. *Journal of Advanced Mechanical Engineering*, v.1, pp.1-12, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7726/jame.2013.1001>

CHANDRAMOHAN, D.; MARIMUTHI, K. Drilling of natural fiber particle reinforced polymer composite material. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, v.1, n.1, pp.134-145, 2011.

D'SOUZA, K. P.; D'SOUZA, L. Processing and characterization of banana fiber reinforced polymer nano composite. *Nanoscience and Nanotechnology*, v.7, n.2, pp. 34-37, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5923/j.nn.20170702.02>

DUNGANI, R.; KARINA, M.; SUBYAKTO, A. S.; HERMAWAN, D.; HADIYANE, A. Agricultural waste fibers towards sustainability and advanced utilization: A review. *Asian Journal of Plant Sciences*, v.15 (1-2), p.42-55, 2016.

ELLENBERGER, A.; POLLI, M.L.; AZEVEDO, E.C.; DE LARA, A.P.; SANTOS, R.O. End Milling of Banana Stem Fiber and Polyurethane Derived from Castor Oil Composite. *Journal of Natural Fibers*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1691124>.

ELLENBERGER, A.; POLLI, M.L.; AZEVEDO, E.C.; SANTOS, R.O. Drilling in natural fiber composites with polyurethane derived from castor oil. In: proceedings of the 25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering – COBEM. Uberlandia, Brazil, 2019. DOI: [doi://10.26678/ABCM.COBEM2019.COB2019-0384](https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEM2019.COB2019-0384)

ELLENBERGER, A.; POLLI, M.L.; AZEVEDO, E.C.; SANTOS, R.O. Quality of machining in the composite of banana stem fiber and polyurethane derived from castor oil. In: proceedings of the 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering – COBEM. Curitiba, Brazil, 2017. DOI: [doi://10.26678/ABCM.COBEM2017.COB17-0576](https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEM2017.COB17-0576)

EZEMA, I. C.; MENOM, A. R.; OBAVI, C. S.; OMAH, A. D. Effect of surface treatment and fiber orientation on the tensile and morphological properties of banana stem fiber



reinforced natural rubber composite. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2014. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2014.23026>

EZEMA, I.; MENOM, A. R. R.; EDELUGO, S. O.; OMAH, A. D.; AGBO, I. U. Ply tensile properties of banana stem and banana bunch fibres reinforced natural rubber composite. *Nigerian Journal of Technology*, v.31, n.1, pp. 25-30, 2012.

FIBANCO. Disponível em: <https://fibandco.com/#s-home> Acesso em: 13 abr 2020

GOPAKUMAR, R., RAJESH, R. Development and Characterization of Eco-Friendly 40% v/v Hybrid Banana/Sisal Fibers-Natural Rubber Latex Composite. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 13, n.10, pp. 3505-3510, 2018.

GOPAKUMAR, R; RAJESH, R. Development, Processing and Characterization of Natural Rubber-Banana Fibre Composite. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, v.7, n.6, 2016

GUTIÉRREZ, J. C. H.; RUBIO, J. C. C.; FARIA, P. E. D.; DAVIM, J. P. Usinabilidade de materiais compósitos poliméricos para aplicações automotivas. *Polímeros*, v. 24(6), pp. 711-719, 2014.

IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=766> Acesso em: 17 set 2018.

JÚSTIZ-SMITH, N. G., VIRGO, G. J., BUCHANAN, V. E. Potential of Jamaican Banana, Coir, Bagasse Fiber as Composite Materials. *Journal of Material Characterization*, v. 59, p.1273-1278, 2008.

KARTHI, N.; KUMARESAN, K.; SATHISH, S.; GOKULKUMAR, S.; PRABHU, L.; VIGNESHKUMAR, N. An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application areas. *Materials Today: Proceedings*, 2020.

KEYA, K. N.; KONA, N. A.; KOLY, F. A., MARAZ, K. M., ISLAM, M. N., KHAN, R. A. Natural fiber reinforced polymer composites: history, types, advantages and applications. *Materials Engineering Research*, 1(2), 69-85, 2019.

KIRUTHIKA, A. V.; PRIYADARZINI, T. R.; VELURAJA, K. Preparation, properties and application of tamarind seed gum reinforced banana fibre composite materials. *Fibers and Polymers*, v.13, n.1, pp. 51-56, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-012-0051-x>.

LOTFI, A.; LI, H.; DAO, D. V.; PRUSTY, G. Natural fiber-reinforced composites: a review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2019.

MERLINI, C.; SOLDI, V.; BARRA, G. M. Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. *Polymer Testing*, v.30, n.8, p. 833-840, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2011.08.008>

MOHANTY, A. K., VIVEKANANDHAN, S., PIN, J. M., MISRA, M. Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations. *Science*, v. 362(6414), p. 536-542, 2018.

NASSAR, M. M., ARUNACHALAM, R., ALZEBDEH, K. I. Machinability of natural fiber reinforced composites: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 88, n.9-12, p. 2985-3004, 2017.

PANNU, A. S.; SINGH, S.; DHAWAN, V. Thermo-mechanical and morphological characterization of biodegradable composite rod composed of banana waste reinforcement in PLA matrix. *Materials Research Express*, v.6, n.10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3819>

PAPPU, A.; PATIL, V.; JAIN, S., MAHINDRAKAR, A., HAQUE, R.; THAKUR, V. K. Advances in industrial prospective of cellulosic macromolecules enriched banana biofibre resources: A review. *International journal of biological macromolecules*, v. 79, p. 449-458, 2015.

PATEL, K.; CHAUDHARY, V.; GOHIL, P. P.; PATEL, K. Investigation on drilling of banana fibre reinforced composites. In: 2nd International Conference on Civil, Materials and Environmental Sciences. Atlantis Press, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2991/cmcs-15.2015.58>

PAUL, S. A.; BOUDENNE, A.; IBOS, L.; CANDAU, Y.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v.39, n.9, pp.1582-1588, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.06.004>

PAUL, V.; KANNY, K.; REDHI, G. G. Mechanical, thermal and morphological properties of a bio-based composite derived from banana plant source. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v.68, pp. 90-100, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.08.032>

RAI, B., KUMAR, G., TYAGI, V.K., DIWAN, R.K., NIYOGI, U.K. Development and Characterization of Green Composite from Euphorbia Coagulum and Banana Fiber. *Journal of Polymer Materials*, v.32 n.3, pp.305-316, 2015

RAO, K. M. M.; RAO, K. M. Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. *Composite structures*, v. 77(3), p. 288-295, 2007.

SAPUAN, S. M., HARUN, N., ABBAS, K. A. Design and fabrication of a multipurpose table using a composite of epoxy and banana pseudostem fibres. *Journal of Tropical Agriculture*, v.45, n.1, pp. 66-68, 2008

SEZEN, B.; CANKAYA, S.Y. Effects of green manufacturing and eco-innovation on sustainability performance. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 99, p. 154-163, 2013.

SILVA, I. F., Potencial do pseudocaule de bananeira (cultivar Prata anã) para a produção de etanol de segunda geração. 2016. 121f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SOUZA, G. N. S.; SELOS, P. P.; DE MOURA, T. R. C.; COSTA, W. O.; CARVALHO, F. A. Substituição da fibra de vidro por fibra de bananeira em compósitos. *ÚNICA Cadernos Acadêmicos*, v.2, n.1, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/S0104-14282013005000010>

SUBAGYO, A.; CHAFIDZ, A.. Banana Pseudo-Stem Fiber: Preparation, Characteristics, and Applications. In: *Banana Nutrition-Function and Processing Kinetics*. Intech Open, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82204>

TAMOIO TECNOLOGIA. Disponível em: <http://tamoiotecnologia.com.br/> Acesso em: 13 abr 2020

THANGAMANI, K., SOMASUNDARAM, P. Design and development of natural composite board using banana, bagasse and sisal fibre (Green Composite). *International Journal of Innovative Research in Technology*, v.1 , n.10, pp. 190-195, 2014.

TRIPATHI, N.; TRIPATHI, N.; HILLS, C. D.; SINGH, R. S.; ATKINSON, C. J. Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. *Nature, npj Climate and Atmospheric Science*, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2019.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Converting waste agricultural biomass into a resource. United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga, 2009. Disponível em: <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7614> Acesso em: 10 abr 2020

VENKATESHWARAN, N., ELAYAPERUMAL, A. Banana fiber reinforced polymer composites - a review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v.29, n.15, p. 2387-2396, 2010.

VENKATESHWARAN, N.; ELAYAPERUMAL A.; JAGATHEESHWARAN M.S. Effect of fiber length and fiber content on mechanical properties of banana fiber/epoxy composite. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v.30, pp. 1621, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1177/0731684411426810>

VENKATESHWARAN, N.; ELAYAPERUMAL, A. Hole quality evaluation of natural fiber composite using image analysis technique. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v.32, n.16, pp.1188-1197, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1177/0731684413486847>

VENKATESHWARAN, N.; PERUMAL, A. E.; ARUSUNDARANAYAGAM, D. Fiber surface treatment and its effect on mechanical and visco-elastic behavior of banana/epoxy composite. *Materials & Design*, v.47, pp.151-159, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.001>

VIKASDHAWAN, D.; SINGH, S.; PANNU, A.S. Effect of alkali treatment on mechanical properties of jute, sisal, banana, hemp and abaca fibers for polymer composite reinforcement. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, v.8, n. 7, pp. 1775–1784, 2017

WANG, J.; QIAN, W.; HE, Y.; XIONG, Y.; SONG, P.; WANG, R. M. Reutilization of discarded biomass for preparing functional polymer materials. *Waste Management*, v.65, p.11-21, 2017.

ZHU, Y.; ROMAIN, C.; WILLIAMS, C. K. Sustainable polymers from renewable resources. *Nature*, v. 540(7633), p. 354-362, 2016.