

Artigo

Estudo das Fibras de Bananeira Pré-tratadas e *in natura* como Possível Matéria-prima para Reforço em Compósitos Poliméricos

Nery, T. B. R.;* José, N. M.

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (2), 313-322. Data de publicação na Web: 2 de abril de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

Study of Treated and in Natural Banana Fibers as a Possible Material for Reinforcement in Polymeric Composites

Abstract: The use of lignocellulosic fibers and their constituents has aroused interest in their application as a raw material in the production of polymers, representing an opportunity to add economic value to industrial waste and to sustainable technological development. This work carried out the study of the banana fiber in natural form and with alkaline treatment, through characterization of the thermal and chemical properties, in order to evaluate the structures and the best ways of using fiber as reinforcement in polymeric materials. Results found showed variations of percentages of cellulose, hemicellulose and lignin, the main components of banana fiber, when compared to in natural fiber with treated fiber. These effects impacted the physical characteristics of the fiber surface with increasing roughness, which favors the matrix anchoring process. It was also observed for the thermal behavior of the fiber in the matter of treated fiber, with the most severe degradation in the fiber in natural.

Keywords: Banana fiber; surface treatments; composites.

Resumo

O uso de fibras lignocelulósicas e seus constituintes tem despertado interesse da sua aplicação como matéria prima na produção de compósitos poliméricos, representando uma oportunidade de agregar valor econômico a resíduos industriais e ao desenvolvimento tecnológico sustentável. Neste trabalho foi realizado o estudo da fibra de bananeira *in natura* e da fibra com tratamento alcalino, através de caracterizações das propriedades térmicas e químicas, a fim de avaliar as diferenças estruturais e melhores formas de utilização da fibra como reforço em materiais. Os resultados encontrados demonstraram variações de percentuais de celulose, hemicelulose e lignina, principais constituintes da fibra de bananeira, quando comparado a fibra *in natura* com a fibra tratada. Estas alterações impactaram nas características físicas da superfície da fibra com o aumento da rugosidade, o que favorece no processo de ancoragem à matriz. Observou-se também alterações do comportamento térmico da fibra *in natura* em relação à fibra tratada, com degradação mais acentuada na fibra *in natura*.

Palavras-chave: Fibra de bananeira; tratamento de superfície; compósitos.

* Centro Universitário SENAI CIMATEC, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

✉ tatiana.nery.br@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20180024](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180024)

Estudo das Fibras de Bananeira Pré-tratadas e *in natura* como Possível Matéria-prima para Reforço em Compósitos Poliméricos

Tatiana B. R. Nery,^{a,*} Nádia Mamede José^b

^a Centro Universitário SENAI CIMATEC, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

^b Universidade Federal da Bahia, Departamento de Físico-Química, CEP 40170-110, Salvador-BA, Brasil.

* tatiana.nery.br@gmail.com

Recebido em 26 de fevereiro de 2018. Aceito para publicação em 15 de março de 2018

1. Introdução
2. Material e Método
 - 2.1. Processo de extração da fibra de bananeira
 - 2.2. Caracterização da fibra de bananeira
3. Resultados e Discussão
 - 3.1. Caracterização da fibra de bananeira
4. Conclusão

1. Introdução

Nos últimos anos tem surgido um grande interesse mundial no desenvolvimento de tecnologias “verdes” que possibilitem a utilização de produtos de menor impacto ambiental, isto se deve à preocupação com o meio ambiente em relação à preservação dos recursos naturais e à incorporação do conceito de reciclagem na consciência coletiva.^{1,2} A utilização fibras lignocelulósicas como matérias-primas na produção de compósitos tem impacto direto no custo da produção, por serem, em sua maioria, oriundos de descartes industriais.

As fibras naturais encontram-se

subdivididas com base na sua origem, podendo ser de origem mineral, animal e vegetal. Podem ainda ser classificadas de acordo com a região da planta de onde são extraídas, de folhas, como no caso de fibras de sisal e abacá; de caules, como as fibras de bananeira e linho; do pé/talo, como o trigo e do bambu e ainda de sementes, de onde se obtém o algodão, ou frutos, como as fibras de casca de coco.^{3,4} As fibras naturais de origem vegetal merecem um destaque maior em razão da enorme variedade de espécies passíveis de serem pesquisadas, sendo designadas como materiais lignocelulósicos.

A elevada disponibilidade de fibras lignocelulósicas, somada à necessidade de uma fonte renovável para a produção de polímeros, abre uma grande oportunidade

para avanços tecnológicos que agreguem valor aos produtos da agroindústria e, ao mesmo tempo, atuem na fixação de carbono na natureza.^{3,4,5} No Brasil, as principais fibras lignocelulósicas geradas são provenientes da cana-de-açúcar, do arroz, coco da baía, abacaxi, sisal, dentre outras.^{5,6} A aplicação das fibras naturais como reforço em materiais compósitos requer uma forte adesão entre as fibras e a matriz polimérica, independente do tipo de matriz (termofixa, termoplástica, biodegradável).^{4,6} O processo de modificação da estrutura das fibras naturais através de tratamentos químicos promove uma melhora na adesão fibra-matriz, alterando o caráter hidrofílico das fibras naturais de modo que os efeitos da umidade no compósito sejam reduzidos.^{6,7}

A banana é a segunda fruta mais consumida no planeta, com 11,4 kg/hab/ano, perdendo apenas para a laranja, com 12,2 kg/hab/ano.⁸ O continente americano é o maior consumidor, destacando-se a América do Sul, com 20 kg/habitantes/ano e a América Central, com 13,9 kg/habitantes/ano.⁸ Em termos de produção, a banana destaca-se na primeira posição no

ranking mundial das frutas, com 106,5 milhões de toneladas. O Brasil produz sete milhões de toneladas, com participação de 6,9% no mercado mundial.^{8,9} As bananeiras são plantas do gênero *Musa*, um dos três que compõem a família *Musaceae*, que inclui as plantas herbáceas vivazes, incluindo as bananeiras cultivadas para a produção de fibras (abacás) e para a produção de fruto. Existem cerca de 50 espécies de *Musa*, utilizadas pelo ser humano para diversas finalidades, somente 20 variedades são usadas para o consumo.^{10,11} As fibras de bananeira podem ser extraídas do pseudocaule ou das folhas da planta. Após a colheita do cacho de banana o pseudocaule é descartado, pois não serve para produzir novos cachos. Este material orgânico, rico em nutrientes, favorece proliferação de fungos, após o seu apodrecimento, alguns deles prejudiciais à plantação.^{11,12} A possibilidade de utilização da fibra oriunda do pseudocaule transforma este material da categoria de resíduos para a categoria de matéria prima.¹² A Tabela 1 apresenta a comparação de propriedades estruturais da fibra de bananeira com outras fibras lignocelulósicas.

Tabela 1. Propriedades estruturais de fibras lignocelulósicas

Fibra	Estrutura da Fibra		
	Dimensões da célula		
	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Cristalinidade
Coco	0,3 - 1,0	100 - 450	27 - 33
Cana de açúcar	0,8 - 2,8	10 - 34	-
Banana	0,9 - 4,0	80 - 250	45
Palha de trigo	0,4 - 3,2	8 - 34	45
Palha de arroz	0,4 - 3,4	4 - 16	40

Fonte:¹³

Fibras de banana têm sido utilizadas no reforço de alguns materiais compósitos, incluindo resina epóxi, éster vinílico, poliéster, polipropileno e polietileno.^{14,15} A fibra também foi usada com outras fibras como juta, cânhamo e vidro, sisal e linho.^{10,16}

O objetivo deste trabalho foi realizar a extração, tratamento químico e caracterização da fibra de bananeira *in natura* e tratada, como possibilidade de aplicação da mesma como reforço polimérico.

2. Material e Método

2.1. Processo de extração da fibra de bananeira

A fibra de bananeira foi obtida pelo processo de desfibrilação do pseudocaule. A fibra extraída foi lavada em água corrente para retirada de excessos orgânicos e secadas ao sol por um período de 48 h. Foi realizado o tratamento alcalino com NaOH a 5% (m/v), em temperatura ambiente, por um período de 1 h. Em seguida, as fibras foram lavadas com água até pH 7,0. Após essa etapa, foram secadas em estufa a 100 °C por 48 h. As fibras foram cortadas no tamanho de 2 – 5 mm com o uso do Moinho de rolos da marca COPÉ mod.MAC 350.

2.2. Caracterização da fibra de bananeira

A caracterização dos componentes da fibra de bananeira (lignina, hemicelulose e celulose) foi determinada utilizando um Analisador de Fibras da ANKOM A200. Foram realizadas as análises de acordo com os métodos FDN (Fibra em Detergente Neutro) e FDA (Fibra em Detergente Ácido).^{17,18} Por meio do detergente neutro é possível separar o conteúdo fibroso do não fibroso. O conteúdo fibroso é insolúvel no detergente e constituído basicamente de celulose, hemicelulose, lignina e proteínas, também chamado de Fibra em Detergente Neutro (FDN).

Para análise do comportamento termogravimétrico das fibras foi utilizada metodologia proposta por Miranda et al

(2015).¹⁹ O material foi analisado numa termobalança Marca Shimadzu, Modelo TGA-50, de 22 °C a 1000 °C, a uma taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹, sob fluxo de nitrogênio. Para as análises de Calorimetria Exploratoria Diferencial (DSC), foi utilizado o equipamento da marca Shimadzu, modelo DSC-60, todas as amostras foram analisada entre 25 °C e 600 °C, com taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹. A espectroscopia na região do infravermelho (FT-IR) foi a realizada com o espectrômetro de Marca BOMEM, modelo ABB BOMEM MB SERIES, as amostras foram preparadas utilizando pastilhas com KBr, no comprimento de onda de 4000 a 400 cm⁻¹.

A microscopia da Fibra de bananeira foi realizada através do Microscópio Eletrônico de Varredura da Marca JEOL JSM- 6510LV.

3. Resultados e Discussão

As fibras de bananeira (FB) extraídas pelo processo de escovação foram secadas e submetidas ao processo de maceração (tratamento alcalino).

O uso de soluções alcalinas em pré-tratamento ou revestimento das fibras naturais, favorece a quebra das ligações de hidrogênio que unem as cadeias de celulose, removendo os componentes não celulósicos e uma parte da celulose amorfa, conferindo assim, uma superfície mais rugosa. Este tratamento proporciona um efeito duradouro sobre o comportamento mecânico da fibra, especialmente na resistência e rigidez, auxiliando também na ancoragem mecânica.^{6,14,19,20}

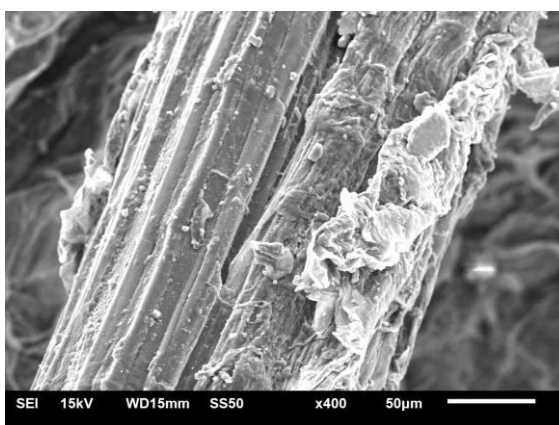


(a) Fibra de bananeira após a secagem

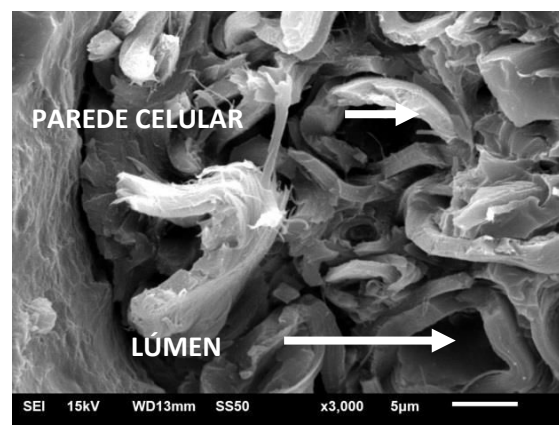


(b) Fibra de bananeira triturada em moinho

Figura 1. a) Fibra de bananeira *in natura*, extraída pelo processo de escovação b) Fibra de bananeira triturada



a) Micrografia da fibra resolução 400x

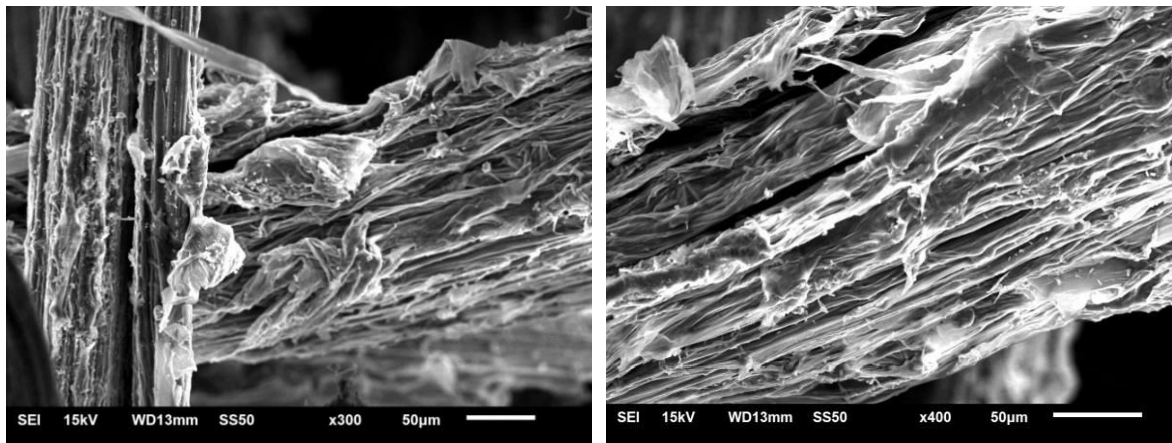


b) Micrografia da fibra resolução 3.000x

Figura 2. Micrografia da fibra de bananeira *in natura*

Observa-se na Figura 2a, a existência de uma camada superficial envolvendo a fibra, provavelmente composta por ceras de baixo peso molecular. Esta cera é de origem alifática e de natureza incompatível com a maioria dos polímeros. A fibra no estado natural encontra-se sem cavidades, o que dificulta a aderência à matriz. Pode-se observar também na micrografia 2a que as fibras de bananeira são compostas por feixes de microfibrilas e uma membrana que envolve estas fibrilas, chamada de lamela média. É possível observar também a presença do lúmen, da parede celular e da interface das microfibrilas, formações típicas das fibras lignocelulósicas (Figura 2b).

A Figura 3a e 3b apresenta a fibra de bananeira após o tratamento químico. A imagem evidencia que o tratamento alcalino aplicado limpou a superfície da fibra com a diminuição da camada de “cera”. Observa-se também o aumento da rugosidade na superfície com a apresentação de desfibrilamento e formação de cavidades, podendo estar atribuído à possível remoção parcial de hemicelulose e lignina que atuam como cementadores nas fibras vegetais. A rugosidade formada na superfície da fibra favorece o processo de adesão fibra-matriz o que permite a obtenção de melhores propriedades mecânicas do compósito formado.



a) Fibra de bananeira tratada resolução 300x

b) Fibra de bananeira tratada resolução 400x

Figura 3. Micrografia da fibra de bananeira após o tratamento químico com NaOH

Paul et al (2010) constataram que os compósitos de poliéster reforçados com fibras de banana dependem do teor de fibra e da modificação da superfície das fibras. Os resultados apresentaram melhoria das propriedades mecânicas e da interação fibra/matriz, quando as fibras foram submetidas a tratamento álcali.²¹ Khan et al (2013) evidenciou que a fibra de bananeira tratada com álcali apresentou uma topografia de superfície rugosa. Os autores estudaram esta relação em compósito de fibra de bananeira com Polipropileno enxertado com Anidrido Maleico/ Polietileno de Baixa

Densidade. O desenvolvimento de superfície áspera proporcionou uma melhor adição da interface fibra / matriz aumentando as propriedades mecânicas do compósito.¹⁴

O conhecimento da estrutura interna das fibras lignocelulósicas e da sua composição química é importante para a compreensão de sua influência nas características do compósito e, também, na escolha dos tratamentos químicos.²² Os resultados dos teores de celulose, lignina e hemicelulose para a fibra de bananeira estudada estão representados na Tabela 2.

Tabela 2. Valor médio em porcentagem (%) dos principais constituintes da fibra de bananeira avaliada neste estudo

Fibra de bananeira	Celulose (%)	Lignina (%)	Hemicelulose (%)	Outros (%)
<i>in natura</i>	61,2	5,2	14,1	19,5
Tratada (NaOH)	74,7	3,8	20,9	0,60

As fibras tratadas com NaOH apresentaram menor teor de lignina e, conseqüentemente, maior teor de celulose e hemicelulose. A extração da lignina afeta a organização da fibra, diminuindo a cristalinidade. Embora a diminuição deste

componente acarrete uma redução na resistência da fibra, positivamente amplia sua área superficial, devido ao aumento da rugosidade da superfície.

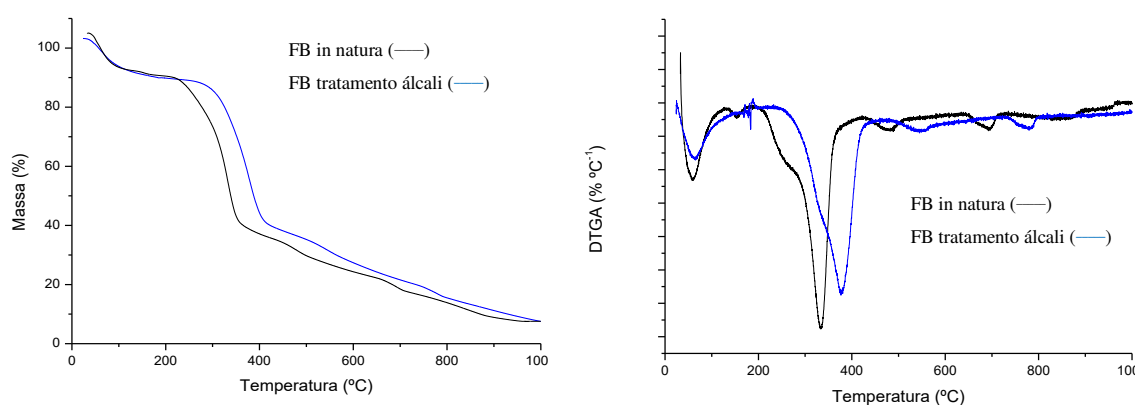
A celulose apresenta sua estrutura sob a forma de rede cristalina com regiões amorfas, após o tratamento com o NaOH, ocorre o enfraquecimento das ligações de hidrogênio presentes na fase amorfa, elevando a concentração da celulose e a diminuição do grau de cristalinidade. Consequentemente, os percentuais de celulose encontrados após o tratamento são maiores, como mostra a tabela 2 onde a fibra de bananeira apresentou aumento de 61,2% para 74,7% com o tratamento alcalino. A celulose é o polímero que confere mais resistência às fibras vegetais e, portanto, o aumento do teor de celulose com o tratamento químico teoricamente torna as fibras com maior potencial de reforço para os compósitos.

Khan et al (2013) analisaram o teor de celulose, hemicelulose e lignina para amostras de fibras de bananeira tratadas com NaOH e não tratadas. Reportaram valores entre 63-64% de celulose para fibras não tratadas e de 90% para fibras tratadas, a hemicelulose teve um aumento de 4% para 19% após o tratamento e o percentual de lignina reduziu de 6% para 5% para as fibras tratadas.¹⁴

Para fibras de bananeira *in natura*, os autores Bledzki e Gassan (1999) expressaram valores entre 60 - 65% de celulose, 6 - 8% de hemicelulose e 5 - 10% de lignina.³ Bilva apud

Mukhopadhyay & Fanguero (2009) apresentou valores de 31% de celulose, 14% de hemicelulose e 15% de lignina.²¹ Venkateshwaran e Elayaperumal (2010) apresentaram valores de 43,46% de celulose, 38,54% de hemicelulose e 9% de lignina.²³

A Figura 4 apresenta os termogramas da fibra de bananeira antes e após o tratamento alcalino. A degradação da fibra de bananeira *in natura* ocorreu em três estágios. O primeiro pode ser verificado entre 70 a 100 °C e refere-se à evaporação da água e extrativos das fibras, o segundo estágio ocorreu entre 240 a 340 °C está relacionado à despolimerização da hemicelulose e quebra das ligações glicólicas da celulose. O terceiro estágio, entre 350 a 420 °C está relacionado à decomposição da celulose e dos subprodutos formados no segundo estágio. Para a fibra tratada, observa-se variações no intervalo de temperatura de ocorrência do segundo e terceiro estágio em relação à fibra *in natura*. O segundo estágio ocorreu entre 300 a 400 °C e o terceiro estágio, entre 420 a 450 °C. A demonstração de uma menor estabilidade térmica para a fibra de bananeira não tratada pode estar associado a maiores concentrações de hemicelulose, ceras e outros componentes de menor massa molar, que possuem temperatura de decomposição menor em relação à celulose.



a) Curvas de TGA das fibras de bananeira

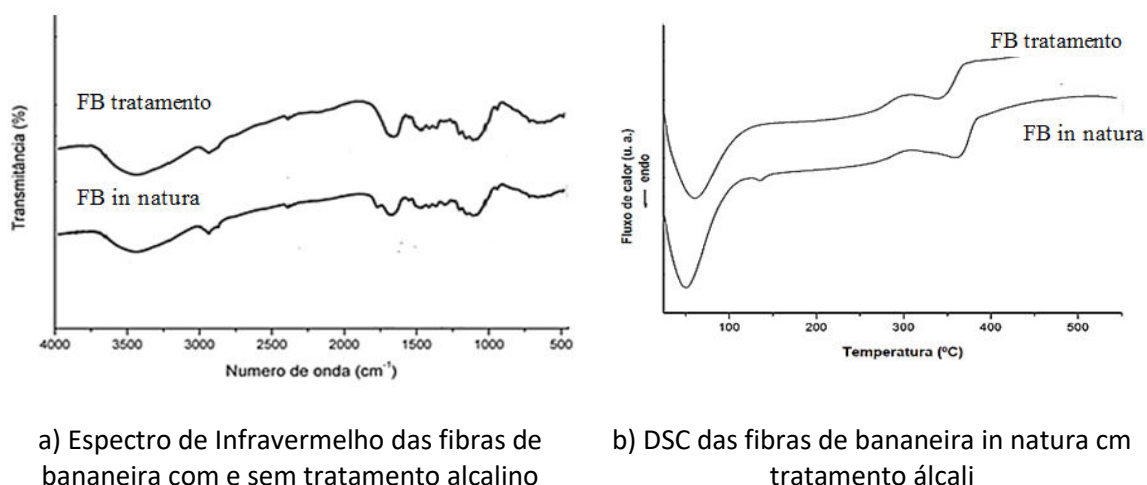
b) Curva de DTG para as fibras de bananeira

Figura 4. Resultado das análises termogravimétricas da fibra de bananeira tratada e *in natura*

De acordo com YANG *et al.* (2007), a hemicelulose inicia a sua decomposição facilmente, com a perda de massa principalmente, na faixa entre 220 - 315 °C. A pirólise de celulose é focalizada em uma faixa de temperatura mais elevada (315 - 400 °C). Entre os três componentes, a lignina é o mais difícil de decompor. Sua decomposição acontece lentamente sob a faixa da temperatura 100 – 900 °C, mas a uma taxa muito baixa de perda de massa.²³ Para a análise realizada observou-se no seu perfil termogravimétrico o não aparecimento do evento relacionado à degradação da lignina, mesmo na temperatura sugerida por YANG

et al. (2007).²³ Isso pode estar relacionado com o baixo teor de lignina encontrada nas amostras da fibra. Isto já era esperado devido à coloração amarelada da fibra, fibras mais escuras tendem a possuir maiores teores de lignina. Este resultado está de acordo com Deepa *et al.* (2011), que obtiveram um comportamento semelhante para fibras de bananeira devido ao baixo teor de lignina.²⁴

A confirmação da remoção dos componentes de menor massa molar na fibra de bananeira pode ser observada na análise por infravermelho, antes e após o tratamento alcalino (Figura 5).



a) Espectro de Infravermelho das fibras de bananeira com e sem tratamento alcalino

b) DSC das fibras de bananeira in natura cm tratamento álcali

Figura 5. Espectro de Infravermelho das fibras de bananeira com e sem tratamento alcalino

Observa-se a ausência do pico 1750 cm^{-1} após o tratamento alcalino. Este comportamento mostra que a estrutura do complexo lignocelulósico foi quebrada e também parte dos polissacarídeos hidrolisados, dentre estes a hemicelulose, que encontra-se mais exposta e portanto, mais vulnerável a sofrer hidrólise, quando comparada à celulose.

Este resultado foi relatado também por Zimmermann, *et al.* (2014) em sua avaliação sobre a influência do tratamento químico da fibra de bananeira em compósitos de Poli(etileno-co-acetato de vinila).¹⁰ Através das curvas DSC, representadas pela Figura 4b,

é possível observar a ocorrência de eventos endotérmicos que podem ser atribuídos à remoção de umidade (50 a 60 °C) para a fibra de bananeira tratada e *in natura*, respectivamente. Nas temperaturas em torno de 325 e 365 °C observa-se a ocorrência de picos exotérmicos associados à decomposição de hemicelulose e lignina. Estes eventos são sobrepostos à decomposição endotérmica de celulose, em torno de 341 e 363 °C, para as fibras tratadas e *in natura*, respectivamente. É possível observar uma diminuição da curva do segundo evento nas curvas DSC da amostra da fibra tratada. Este comportamento pode

estar relacionado com a remoção parcial das impurezas e alguns constituintes da fibra.

4. Conclusão

Foi possível observar variações da composição química da fibra de bananeira *in natura* e em relação à fibra tratada. Houve um acréscimo de 22% em relação ao teor de celulose e de 43% em relação à hemicelulose para a fibra tratada. A celulose é o polímero que confere mais resistência às fibras vegetais e, portanto, o aumento do teor de celulose teoricamente torna as fibras com maior potencial de reforço para os compósitos. Houve uma diminuição do teor de lignina na fibra após o tratamento alcalino causando uma desorganização na estrutura da fibra, este fator faz com que haja um aumento da rugosidade da superfície, melhorando o mecanismo de ancoragem mecânica. Os resultados apresentados evidenciam que o tratamento químico com NaOH (mercerização), utilizado para modificação da estrutura da fibra mostram-se eficientes para melhorar a interação interfacial entre a fibra e a matriz polimérica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao SENAI CIMATEC pela realização das micrografias e ao Grupo GCIM da UFBA pelas análises de TG e DSC.

Referências Bibliográficas

- ¹ Darros, A. B.; *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal De São Carlos, 2013. [Link]
- ² Gomes, T. S.; Visconte, L. L. Y.; Pacheco, E. B. A. V. Substituição da fibra de vidro por fibra de bananeira em compósitos de polietileno de alta densidade. *Polímeros* **2013**, *23*, 206. [CrossRef]

³ Bledzki, A. K.; Gassan, J. Composites reinforced with cellulose based fibers. *Progress in Polymer Science* **1999**, *24*, 221. [CrossRef]

⁴ Faruk, O.; Bledzki, A. K.; Fink, H.-P.; Sain, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science* **2012**, *37*, 1552. [CrossRef]

⁵ Sousa, V. M. Z.; *Dissertação de Mestrado*. Faculdade UnB Gama, 2016. [Link]

⁶ Silva, R.; Haraguchi, S. K.; Muniz, E. C.; Rubira, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. *Química Nova* **2009**, *32*, 661. [CrossRef]

⁷ Kalia, S.; Kaith, B. S.; Kaur, I. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites- A review. *Polymer Engineering and Science* **2009**, *49*, 1253. [CrossRef]

⁸ OECD – FAO – Agricultural Outlook. Perspectivas Agrícolas 2015-2024. Disponível em:

<https://www.fao.org.br/download/PA20142_015CB.pdf>. Acesso em: 5 setembro 2016.

⁹ IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Conjuntura Agrícola_ julho 2016. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso em: 5 setembro 2016.

¹⁰ Zimmermann, M. V. G.; Turella, T. C.; Zattera, A. J. Influência do tratamento químico da fibra de bananeira em compósitos de poli(etileno-co-acetato de vinila) com e sem agente de expansão. *Polímeros* **2014**, *24*, 58. [CrossRef]

¹¹ Prasad, V.; Joy, A.; Venkatachalam, G.; Narayanan, S.; Rajakumar, S. Finite Element analysis of jute and banana fiber reinforced hybrid polymer matrix composite and optimization of design parameters using ANOVA technique. *Procedia Engineering*. **2014**, *97*, 1116. [CrossRef]

¹² Balzer, P. S.; Vicente, L. L.; Briesemeister, R.; Becker, D.; Soldi, V.; Rodolfo Jr., A.; Feltran, M. B. Estudo das Propriedades Mecânicas de um Composto de PVC Modificado com Fibras de Bananeira. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* **2007**, *17*, 1. [CrossRef]

- ¹³ Venkateshwaran, N.; Elayaperumal, A. Banana Fiber Reinforced Polymer Composites - A Review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* **2010**, *29*, 2387. [[Link](#)]
- ¹⁴ Khan, G. M. A.; Shams, M. S. A.; Kabir, M. R.; Gafur, M. A.; Terano, M.; Alam, M. S. Influence of chemical treatment on the properties of banana stem fiber and banana stem fiber / coir hybrid fiber reinforced maleic anhydride grafted polypropylene / low-density. *Polyethylene Composites* **2013**, 1020. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Sapuan, S M. Mechanical properties of woven banana fiber reinforced epoxy composites. *Materials and Design* **2006**, *27*, 689. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Ogunsile, B. O.; Oladeji, T. G. Utilization of banana stalk fiber as reinforcement in low density polyethylene composite. *Revista Matéria* **2016**, *21*, 953. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Van Soest, P. J. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II. A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin. *Journal of the A.O.A.C.* **1963a**, *46*, 829. [[Link](#)]
- ¹⁸ Van Soest, P. J. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds I. Preparation of Fiber Residues of Low Nitrogen Content. *Journal of the A.O.A.C.* **1963b**, *46*, 825. [[Link](#)]
- ¹⁹ Miranda, C. S.; Fiuza, R. P.; Carvalho, R. F.; José, N. M. Efeito dos tratamentos superficiais nas propriedades do bagaço da fibra de piaçava. *Química Nova* **2015**, *38*, 161. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ Kabir, M. M.; Wang, H.; Lau, K. T.; Cardona, F. Chemical treatments on plant-based natural fiber reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering* **2012**, *43*, 2883. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Paul, S. A.; Joseph, K.; Mathew, G. D. G.; Pothan, L. A.; Thomas, S. Influence of polarity parameters on the mechanical properties of composites from polypropylene fiber and short banana fiber. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **2010**, *41*, 1380. [[CrossRef](#)]
- ²² Mukhopadhyay, S.; Fanguero, R. Physical Modification of Natural Fibers and Thermoplastic Films for Composites -- A Review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* **2009**, *22*, 135. [[Link](#)]
- ²³ Yang, H.; Yan, R.; Chen, H.; Lee, D. H.; Zheng, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel* **2007**, *86*, 1781. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Deepa, B.; Abraham, E.; Cherian, B. M.; Bismarck, A.; Blaker, J. J.; Pothan, L. A.; Leao, A. L.; de Souza, S. F.; Kottaisamy, M. Structure, morphology and thermal characteristics of banana nano fibers obtained by steam explosion. *Bioresource Technology* **2011**, *102*, 1988. [[CrossRef](#)]