

RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR*

Miriane Alexandrino Pinheiro¹
Sergio Neves Monteiro²
Alisson Clay Rios da Silva³
Verônica Scarpini Candido⁴

Resumo

A busca por materiais que associem boas características mecânicas com desenvolvimento sustentável tem se tornado frequente nos dias atuais. Neste contexto, destaca-se o desenvolvimento de materiais compósitos de matriz polimérica reforçados por fibras naturais, e a utilização de fibras de bagaço de cana-de-açúcar surge como alternativa de agente de reforço em matrizes poliméricas. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a resistência à flexão estática de um compósito de matriz poliéster reforçado com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. Os corpos de prova foram produzidos em moldes de silicone onde as fibras foram alinhadas longitudinalmente. Após o processo de cura e lixamento, os corpos de prova foram submetidos a ensaio de flexão estática utilizando a técnica de flexão em 3 pontos, posteriormente realizada a análise microestrutural da região de fratura, em microscópio eletrônico de varredura. Os resultados de resistência à flexão mostraram que adição da fibra de bagaço de cana-de-açúcar prejudicou tanto a resistência quanto o módulo de elasticidade. A microestrutura revelou que tanto a resina quanto os compósitos apresentam comportamento frágil, identificados pela presença de marcas de rio.

Palavras-chave: Materiais compósitos; Bagaço de cana-de-açúcar; Resistência à flexão; Análise microestrutural.

RESISTANCE TO STATIC FLEXION AND MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF POLYESTER MATRIX COMPOSITE REINFORCED WITH SUGARCANE BAGASSE FIBERS

Abstract

The search for materials that associate good mechanical characteristics with sustainable development has become frequent today. In this context, we highlight the development of polymer matrix composites reinforced by natural fibers, and the use of sugarcane bagasse fibers appears as a reinforcing agent alternative in polymer matrices. Thus, the objective of this study was to analyze the static flexural strength of a composite of polyester matrix reinforced with sugarcane bagasse fibers. The specimens were produced in silicone molds where the fibers were aligned longitudinally. After the curing and sanding process, the specimens were submitted to a static flexion test using the 3-point bending technique, after which the microstructural analysis of the fracture region was carried out using a scanning electron microscope. The results of flexural strength showed that addition of the sugarcane bagasse fiber impaired both the strength and the modulus of elasticity. The microstructure revealed

that both the resin and the composites presented fragile behavior, identified by the presence of river marks.

Keywords: Composite materials; Sugarcane bagasse; Flexural strength; Microstructural analysis.

- ¹ *Bacharel em Ciência e Tecnologia. Mestranda em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém - PA, Brasil.*
- ² *Engenheiro de Materiais, PhD em Engenharia e Ciência dos Materiais, Professor, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais/Departamento de Engenharia mecânica e Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ³ *Químico industrial, Doutor em Ciência dos Materiais, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.*
- ⁴ *Bióloga, Doutora em Ciência dos Materiais, Professora Adjunta I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos materiais que associem boas características mecânicas com desenvolvimento sustentável, tem crescido consideravelmente nos últimos anos [1]. Assim, busca-se a produção de materiais naturais em substituição a materiais que degradam o meio ambiente, como é o caso de materiais sintéticos. A utilização de fibras naturais como agente de reforço, tem ganhado espaço na produção de materiais compósitos [2,3].

Os compósitos, são materiais compostos por duas fases, produzidos artificialmente e que tem como principal característica a junção das propriedades de suas fases constituintes [1]. Geralmente são compostos por uma fase chamada matriz que tem a função de proteger a segunda fase chamada de reforço, esta, por sua vez tem a função de dar a forma e transmitir as cargas da superfície da matriz para o reforço [3].

Os compósitos são divididos em: os compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e compósitos estruturais [1]. Dentre estes, escolheu-se estudar os compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras, por possuírem elevado potencial, quando comparado com os outros tipos de compósitos. **A matriz utilizada no presente estudo, foi a resina poliéster, pois é** um polímero termofixo muito usado na indústria devido a seu baixo custo, fácil manuseio e boas propriedades mecânicas [4].

A utilização de fibras naturais como agente de reforço em compósitos de matriz polimérica mostra-se eficiente quando relacionadas a fibras sintéticas, pois são fontes de energia renovável, biodegradáveis, encontradas em grandes quantidades e com facilidade na natureza, e ainda possuem boas propriedades mecânicas, por estes motivos tem sido amplamente estudada [6]. Neste contexto, pode-se destacar a utilização das fibras de bagaço de cana-de-açúcar.

O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo industrial gerado da moagem da cana-de-açúcar, e que geralmente não possui uma destinação final ambientalmente correta [6]. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), é uma planta encontrada em abundância nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, e é utilizada como matéria-prima nas agroindústrias para obtenção do açúcar e do álcool [5]. O bagaço produzido nestas indústrias é incinerado ou descartado em locais inapropriados, o que contribui para o aumento da poluição ambiental. Portanto, a utilização de fibras de bagaço de cana-de-açúcar como agente de reforço em matrizes poliméricas, pode tornar-se uma alternativa para destinação final ambientalmente correta deste resíduo [7,8].

Assim, objetiva-se avaliar a resistência à flexão bem como estudar a morfologia da região de fratura dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras alinhadas de bagaço de cana-de-açúcar.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

As fibras de bagaço de cana-de-açúcar utilizadas nesse trabalho foram obtidas por meio de coleta em estabelecimentos comerciais. Como matriz para os compósitos foi utilizada a resina poliéster ortoftálica com uma proporção do catalisador metil-etil-cetona de 5% em peso.

Foram produzidos corpos de prova de resina poliéster e de compósitos reforçados com 10, 20 e 30% em volume de fibras de bagaço de cana-de-açúcar.

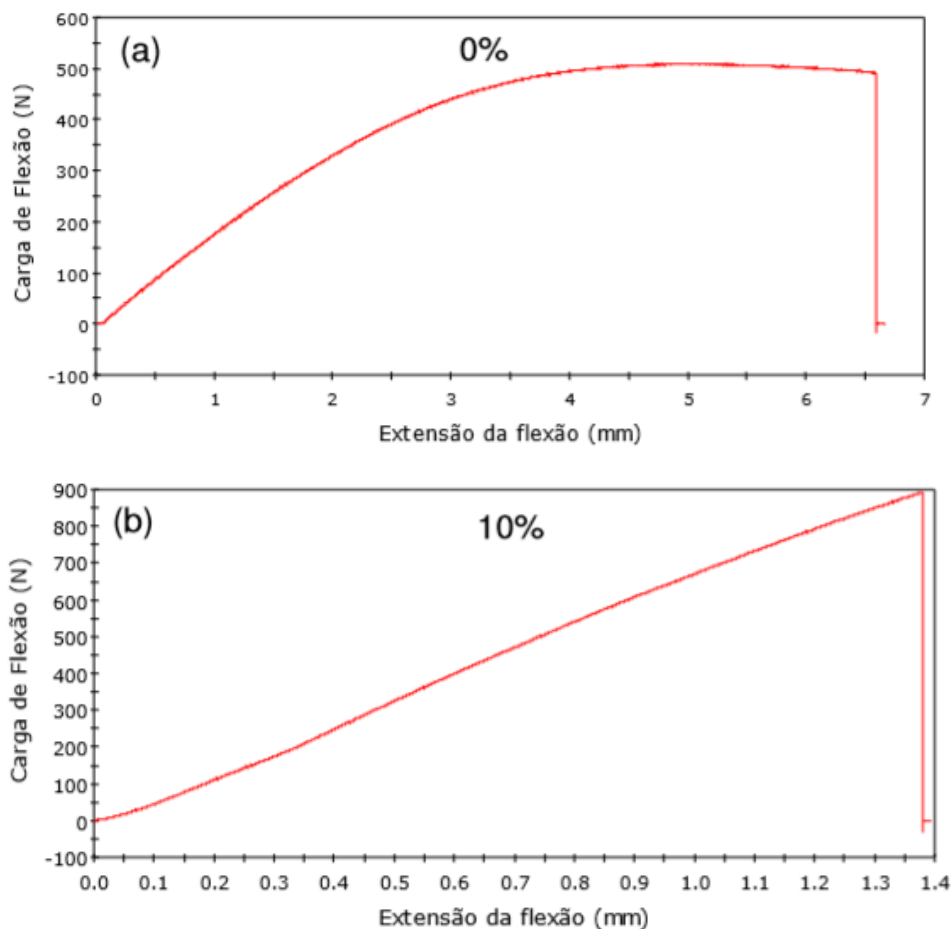
No processo de preparação dos corpos de prova que foram fabricados em molde de silicone, a resina foi inicialmente misturada com o catalisador, e essa mistura foi vertida no molde onde as fibras foram alinhadas longitudinalmente. O tempo de cura foi aproximadamente 24 horas a temperatura ambiente e depois, 2 horas em estufa a 100°C. Após essa etapa, os corpos de prova foram lixados e cortados a fim de obterem as medidas solicitadas pelas normas de ensaios de flexão, ASTM D 790.

O ensaio de flexão estática foi realizado no LAMAV-UENF em máquina de ensaios universais da Instron modelo 5582 utilizando a técnica de flexão em 3 pontos com uma taxa de deformação 0,5 mm/min e uma capacidade de 100 kN seguindo a norma ASTM D 790.

Para a análise microestrutural, a região de fratura dos compósitos foram observados em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da FEI modelo Quanta FEG – 250 no laboratório de microscopia do IME.

2.2 Resultados e Discussão

Na figura 1 estão apresentadas as curvas típicas de Carga versus Extensão para resina poliéster e os compósitos, com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibras, obtidos a partir do ensaio de flexão estática.



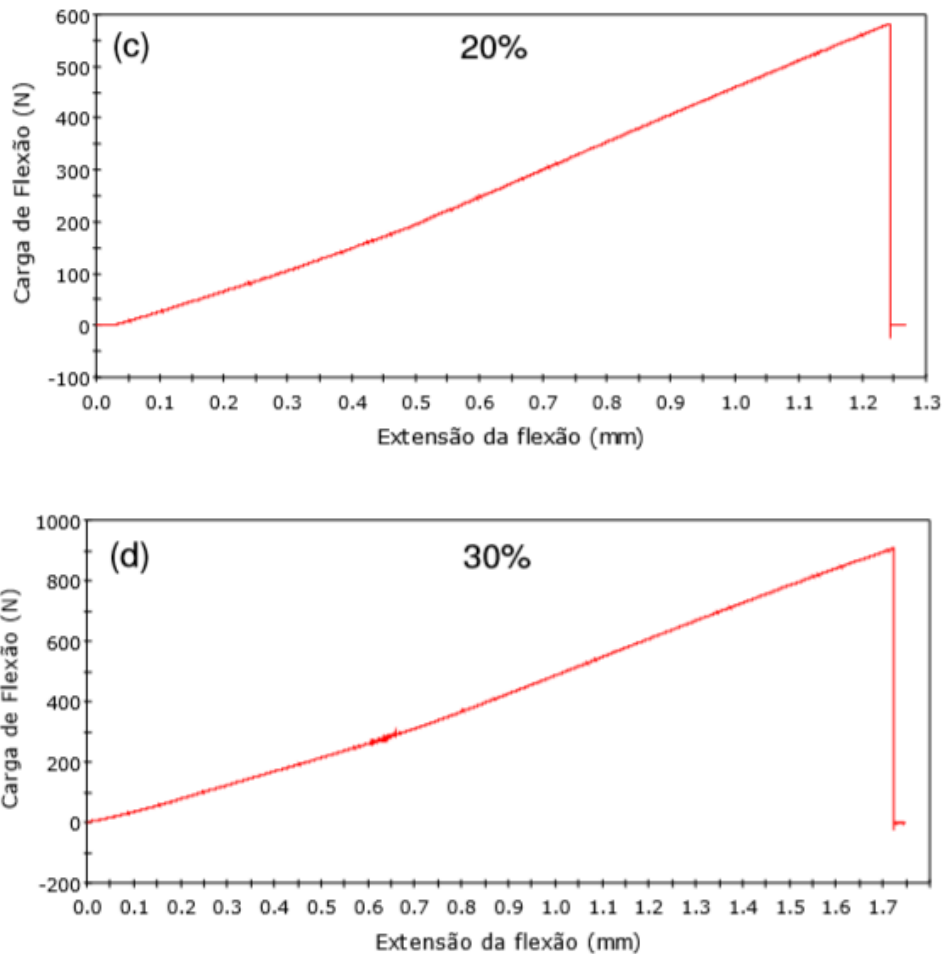


Figura 1. Curvas típicas de Carga versus Extensão do ensaio de flexão da resina poliéster (a) e dos compósitos com adição de 10 (b), 20 (c) e 30% (d) em volume de fibra.

A curva de Carga de flexão versus Extensão da resina poliéster, apresentada na figura 1 (a), apresentou uma tendência parabólica com suave inclinação o que caracteriza um certo comportamento plástico após o elástico. Diferentemente da resina poliéster pura, os compósitos apresentaram somente o comportamento elástico, da mesma forma como a resina epóxi e seus respectivos compósitos.

A partir dos resultados obtidos dos gráficos de Carga de flexão versus Extensão obteve-se os valores de resistência à flexão e do módulo de elasticidade, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores para resistência à flexão e módulo de elasticidade para a resina poliéster e os compósitos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibra

Fração em Volume das Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar (%)	Tensão Máxima em Flexão (MPa)	Módulo Máximo de Elasticidade em Flexão (GPa)
0	96,65 ± 5,77	1,57 ± 0,16
10	42,30 ± 3,60	0,85 ± 0,20
20	42,78 ± 7,00	1,16 ± 0,20
30	70,93 ± 2,46	1,86 ± 0,09

Na figura 2 estão apresentados os gráficos de resistência à flexão e de módulo de elasticidade da resina poliéster e dos compósitos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibra.

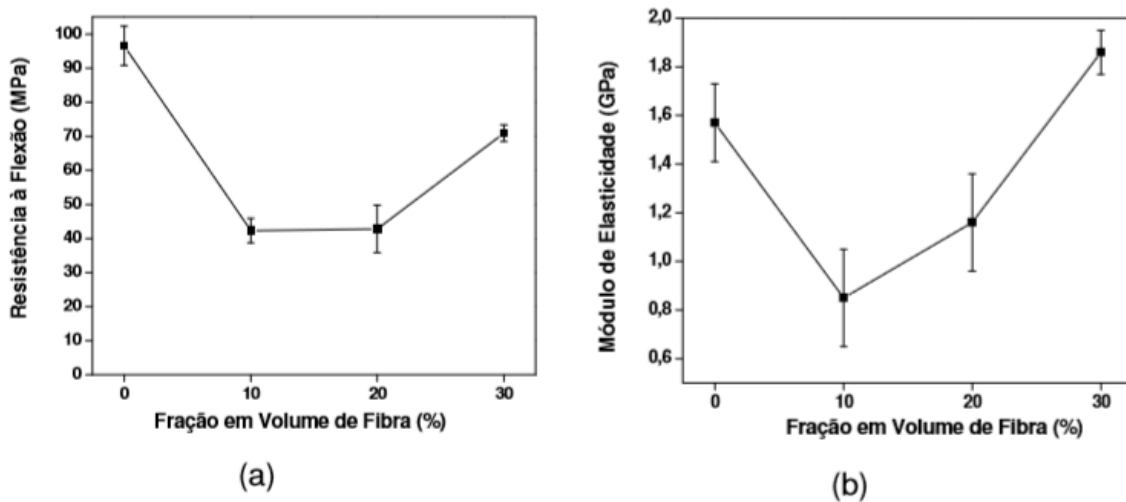


Figura 2. Resistência à flexão (a) e módulo de elasticidade (b) para o ensaio de flexão da resina poliéster e dos compósitos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibra.

O ensaio de flexão revelou que adição da fibra de bagaço prejudicou tanto a resistência quanto o módulo de elasticidade. Esse fato pode estar associado à baixa adesão da fibra na matriz o que não favoreceu um reforço efetivo. Essa baixa adesão pode estar também associada ao elevado teor de lignina presente na fibra. Entretanto, considerando exclusivamente os compósitos, ocorre aumento tanto na resistência à flexão quanto no módulo de elasticidade com o aumento do volume incorporado de fibra de bagaço.

Em um estudo sobre as propriedades de compósitos de matriz poliéster incorporados com diferentes frações volumétricas de fibras de bagaço Monteiro *et al.* [9] também observou valores muito baixos para resistência à flexão dos compósitos. Os autores associaram tal resultado também ao alto teor de lignina, as imperfeições da fibra e à limpeza ineficiente que permitiu a permanência de açúcar superfície, fatores que dificultam a aderência da fibra na matriz [9].

Os resultados apresentados pelos compósitos de matriz poliéster indicam que a adição de fibras de bagaço de cana-de-açúcar pode comprometer o desempenho do material quando solicitado em flexão.

Na figura 3 estão apresentadas as micrografias da região da fratura da resina poliéster e dos compósitos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibras com um aumento de 400x.

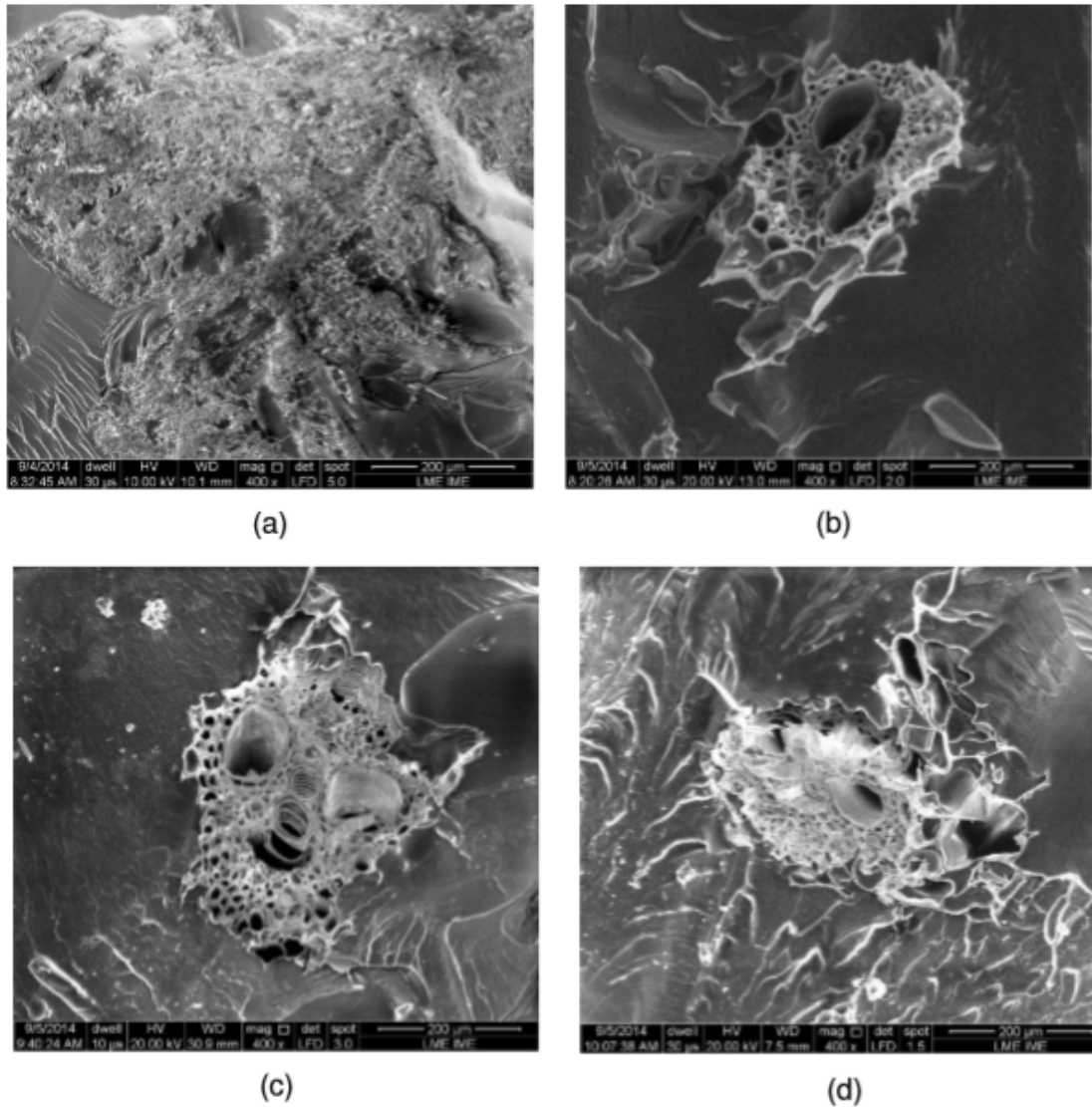


Figura 3. Micrografia da região da fratura por flexão estática obtida por MEV da resina poliéster (a) e dos compósitos com adição de 10 (b), 20 (c) e 30% (d) em volume. 400x.

Pode-se observar que tanto a resina poliéster, quanto os compósitos apresentam muitas áreas rugosas com poucas regiões lisas além de marcas de rio, o que é um indicativo de fratura frágil. Além disso, observa-se que as marcas de rio têm ponto de iniciação na interface fibra/matriz indicando que as fibras não aturam como um agente de reforço efetivo.

A micrografia com menor aumento do compósito de matriz poliéster, a fim de visualizar a disposição das fibras e a sua permanência da matriz após o ensaio, é apresentada na figura 4.

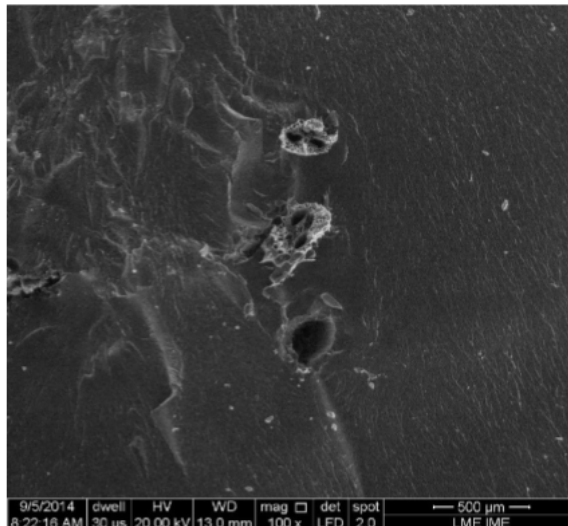


Figura 4 . Micrografias da região da fratura por flexão estática obtida por MEV do compósitos de matriz poliéster com adição de 10% em volume de fibra , com aumento de 100x.

A observação da região da fratura permite inferir que interface gerada entre a matriz e a fibra de bagaço não é contínua, pois apresenta evidências de desacoplamento da fibra. Monteiro *et al.* [10], associaram esse fato à baixa tensão de cisalhamento encontrada para esse tipo de compósito.

De maneira geral, os valores de resistência à flexão, dos compósitos de matriz poliéster, apresentaram valores relativamente baixos quando comparados aos encontrados em compósitos reforçados com outras fibras naturais na literatura. Para compósitos com incorporação de 30% em volume de fibras de curauá, foram encontrados valores próximos à 90 MPa [11], e para fibra de piaçava em matriz poliéster os valores encontrados ficaram próximos à 70 MPa [12].

O baixo desempenho em flexão pode ser explicado pela baixa aderência, como citado anteriormente, e também, pelos defeitos inerentes à fibra natural. Além disto, em flexão, os corpos de prova estão submetidos a esforços mecânicos complexos. Isto pode, também, justificar a maior propensão à uma ruptura prematura.

3 CONCLUSÃO

O estudo da resistência à flexão estática em compósitos de matriz poliéster reforçados com fibra de bagaço de cana-de-açúcar mostrou que:

- A adição de fibras de bagaço de cana-de-açúcar em matriz poliéster diminuiu a resistência à flexão, logo a adição de fibras de bagaço não é indicada.
- A análise microestrutural da resina e dos compósitos ensaiados em flexão, mostraram que tanto a resina poliéster quanto os compósitos com 10, 20 e 30% em volume de fibra, apresentaram fratura frágil indicada na microscopia por marcas de rio. Além disso, por algumas micrografias apresentarem regiões em que as fibras foram arrancadas da matriz, pode-se concluir que não houve uma boa adesão na interface fibra/matriz.

REFERÊNCIAS

- 1 Callister, W. D. Jr. *Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- 2 SANJAY, M. R. et al. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 566-581, 2018
- 3 Askeland, Donald R. *Ciência e engenharia dos materiais*. 3. ed. São Paulo: Cengage learning, 2014.
- 4 Marinucci, Gerson. *Materiais compósitos poliméricos*. São Paulo: Artiliber, 2011.
- 5 UNICA – União das indústrias de cana-de-açúcar. [acesso em 01 jun. 2018]. Disponível em: www.unica.com.br. Acessado em: junho de 2018.
- 6 Candido, V.S, Monteiro, S. N. Tensile Behavior of Epoxy Composites Reinforced with Thinner Fibers of Sugarcane Bagasse. *Materials Science Forum*. Vol. 869, pp 221-226.
- 7 Ligowski E, Santos B.C, Fujiwara S.T. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 2015. v. 25, n. 1.
- 8 Sanchez E.M.S, Cavani C.S, Leal C.V, Sanchez C.G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. *Polímeros*, 2010. 20 (3)
- 9 Monteiro S.N., Rodriquez, R.J.S., De Souza, M.V., D’Almeida, J.R.M. Sugarcane Bagasse Waste as Reinforcement in Low Cost Composites. *Advanced Performance Materials*. 1998, v. 5, 183–191.
- 10 Monteiro, S. N., D’Almeida, J. R. M., Terrones, L. A. H., Lopes, J. R. M. ; “Mechanical Strength of Polyester Matrix Composites Reinforced with Coconut Fiber Wastes”, *Rev. Mater*. 2005. 10(4), pp571-576.
- 11 Monteiro, S.N., Aquino, R.C.M.P., Lopes, F.P.D., Carvalho, E.A., D’Almeida, J.R.M. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. *Revista Matéria*. 2006. v. 11, n. 3, p.197-203.
- 12 De Deus, J.F., Monteiro, S.N., D’Almeida, J.R.M. Effect of dryind molding pressure, and strain rate on the flexural mechanical behavior of piassava (*Attalea funifera* Mart) fiber-polyester composites. *Polymer Testing*. 2005. V.24, p.750-755.