

COMPÓSITO DE POLIÉSTER E RESÍDUO DE MATERIAIS NATURAIS RECICLÁVEIS: ASPECTO DE FRATURA APÓS ENSAIO DE TRAÇÃO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4262

Roberto Yuri Costa Dias - yuricostad@gmail.com
Universidade Federal do Pará

Manoel Antonio Cantão Simões Junior - manoel.junior@itec.ufpa.br
Universidade Federal do Pará

Alian Gomes da Silva de Mendonça - alian_silva@hotmail.com
Universidade Federal do Pará

Pedro Victor de Mendonça Maia - eng.pedromendonca@hotmail.com
Universidade Federal do Pará

Roberto Tetsuo Fujiyama - fujiyama@ufpa.br
Universidade Federal do Pará

Resumo: devido ao processo de aprimoramento tecnológico, novas tendências e solicitações surgiram, sobretudo demandas por novos materiais que se adequassem com a exigências da atualidade. Nesse sentido, os materiais compósitos têm tido amplo destaque e foi utilizado como base de diversos estudos, sobretudo relacionados à sustentabilidade, visando utilizar matérias-primas renováveis e/ou reaproveitáveis para produzir materiais desta classe. Sendo assim, este artigo trata de uma vertente de estudo destinada a observação e análise das superfícies pós falha ou rompimento, ou seja, a fractografia. Então, para tal análise foram fabricados diferentes corpos de prova utilizado materiais distintos, sujeitos a distintas características de fratura, com a semelhança de serem avaliados sob uma perspectiva ecológica, foram ensaiados e avaliados com ajuda de microscopia, são eles: jatobá (*Hymenaea courbaril*), fibras de juta (*Corchorus capsularis*) e de sisal (*Agave Sisalana*) na forma híbrida, folhas de açaí (*Euterpe oleracea*) e resíduos de café conhecidos como borra de forma hibridizada com sisal

Palavras-chave: compósitos, fractografia, renováveis

COMPÓSITO DE POLIÉSTER E RESÍDUO DE MATERIAIS NATURAIS RECICLÁVEIS: ASPECTO DE FRATURA APÓS ENSAIO DE TRAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento da tecnologia moderna surgiram novas demandas e houve a intensificação do uso dos recursos naturais, tal circunstância culminou na intensificação de problemáticas como alterações climáticas e desequilíbrio de ecossistemas. Sendo assim, países como o Brasil podem contribuir significativamente com a adoção de políticas de cunho ecológico e sustentável (MARINELLI, 2008).

Diante desta perspectiva, no estudo da área de materiais e processos há uma considerável valorização para pesquisas acerca de materiais compósitos. Em se tratando de tal classe de materiais, é verificada, também, uma ênfase no ideal ecológico e sustentável. A utilização de matérias-primas de origem natural para a fabricação de destes materiais tem sido uma linha de pesquisa amplamente abordada. Tal circunstância se fundamenta nas condições ambientais atuais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse sentido, para um melhor entendimento, um compósito pode ser definido com um material multifásico que apresenta uma parcela considerável das propriedades de seus componentes. Com isso, é atestada a maior qualidade de material produzido quando ocorre uma boa adesão entre as fases existentes. Geralmente estes são configurados em duas fases, a matriz ou contínua e o reforço ou dispersa, de tal modo que a matriz envolve e promove proteção enquanto o reforço é responsável por suportar as solicitações mecânicas (CALLISTER, 2018).

Nesse contexto, o estudo da viabilidade da utilização de materiais alternativos em compósitos, em sua maioria como fase de reforço, tem tido um grande destaque na atualidade. Há um grande interesse na utilização de fibras naturais devido a características como baixos custo e peso, biodegradabilidade e alto desempenho (KOTIK, 2019). Trabalhos como o de SILVA *et al*, 2019 que objetivou a avaliação de mantas de fibras de juta e sisal como reforço de compósito de matriz poliéster e de da COSTA *et al* abordando a temática de compósitos de fibras de juta e matriz poliéster exemplificam os estudos direcionados e estas matérias-primas renováveis.

Além das fibras naturais, outra vertente de utilização apreciável é o reaproveitamento de resíduos, dentre eles, é possível mencionar os provenientes da indústria madeireira e a borra de café que costumeiramente é descartada. O aproveitamento de resíduos da indústria madeireira pode ser observado em artigo de MIRANDA *et al*, 2020 no qual foi direcionado ao desenvolvimento de atividades de pesquisas desenvolvidas por alunos de iniciação científica.

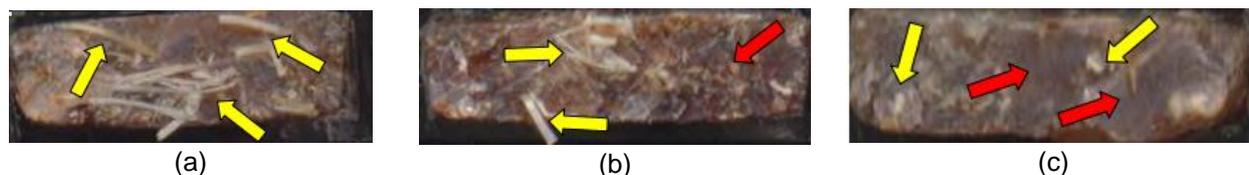
Ademais, na tentativa de desenvolver biocompósitos poliméricos, sobretudo os totalmente biodegradáveis, MEI e OLIVEIRA, 2017 optaram pela utilização da borra de café,

resíduo que normalmente é descartado por residências e comércios, tendo em vista a possibilidade de seu aproveitamento. Objetivando o avaliar a influência do tratamento químico da borra de café em relação a certas propriedades além da suscetibilidade à biodegradação quando utilizada na fabricação de compósitos.

Com o entendimento da importância dos materiais compósitos, sobretudo relacionados a utilização de materiais naturais, renováveis ou reaproveitáveis, o presente trabalho visa abordar o aspecto fractográfico, isto é, as características da região na qual ocorre a falha ou rompimento do material e os tipos de falha que podem ocorrer em compósitos. Foram selecionados 4 tipos de reforços fabricados a partir da mesma matriz para tal estudo, são eles: resíduos de madeira jatobá face os híbridos de borra de café e fibra de juta e das fibras de sisal e juta.

SANTOS *et al*, 2013 proporcionou uma avaliação fractografica de compósito de matriz poliéster reforçado com resíduos de madeira e fibra de sisal, tendo variado a proporção de fibra e resíduo, alternando em 25%, 50% e 75%. Após ensaio de tração foi procedida a aquisição de imagens por meio de microscopia estereoscópica, a figura 1 ilustra o resultado obtido.

Figura 1- Superfície de fratura de compósitos híbridos nas proporções (a) 75% de fibra (b) 50% de fibra e (c) 25% de fibra



Fonte: SANTOS *et al*, 2013.

Na figura 1-a tem-se as fibras dispostas transversalmente na matriz, indicadas pelas setas amarelas, enquanto a 1-b são verificadas algumas fibras rompidas indicadas pelas setas amarelas e o resíduo pela seta vermelha. Na figura 1-c é possível observar pelas setas vermelhas o melhor acabamento da superfície fraturada e pelas setas amarelas a presença de poucas fibras na matriz.

Utilizando o método *Hand lay up*, ALMEIDA *et al*, 2017 avaliaram a fabricação de laminado com 3 camadas de tecido de juta e 5 camadas de resina poliéster, descrevendo o aspecto das superfícies de fratura e do laminado de Juta/Juta/Juta ensaiado. A figura 2-a ilustra o a superfície do corpo enquanto a 2-b a de fratura. As setas vermelhas atestam o mecanismo de fratura predominante foi pull-out, além disso não houve delaminação.

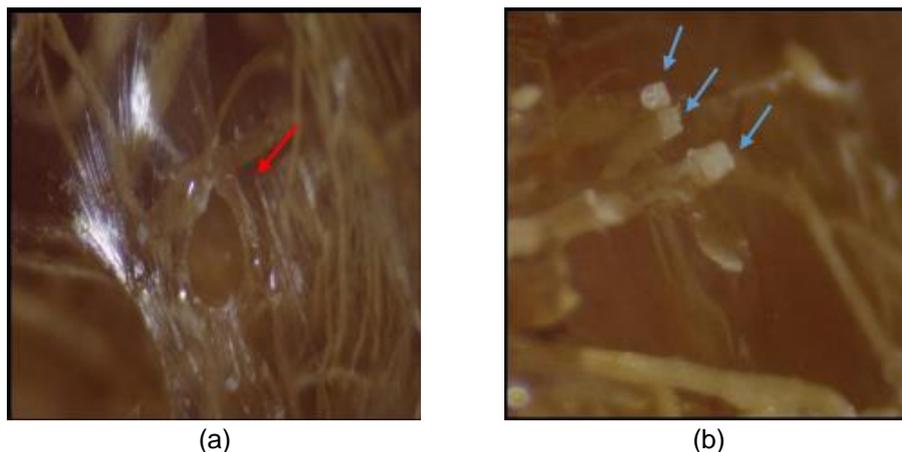
Figura 2- (a) corpo de prova ensaiado (b) superfície de fratura



Fonte: ALMEIDA *et al*, 2017

Também, já foi observada a fractografia de compósitos reforçados por fibras de açai. As figuras 3-a e 3-b apresentam o aspecto superficial de um material produzido com composição de 50% de fibras de açai e 50% de matriz poliéster, com a verificação de bolhas como indicado pela seta vermelha, tal defeito promove prejuízo na transferência de carga para o restante das fibras, além de favorecer a propagação de trincas (COELHO, 2021).

Figura 3 - (a) fratura das fibras (b) bolha de ar na superfície da fratura



Fonte: COELHO, 2021

Por conseguinte, a abordagem deste artigo é direcionada ao estudo fractográfico de compósitos com matriz poliéster reforçados por diferentes tipos de materiais, sendo eles: os resíduos de madeira conhecido como jatobá (*Hymenaea courbaril*) e, a hibridização das fibras de juta (*Corchorus capsularis*) e sisal (*Agave Sisalana*), o híbrido de sisal e borra de café e por fim, folhas de açai (*Euterpe oleracea*). Para que fosse possível proceder tal avaliação foram fabricados compósitos poliméricos reforçados pelos materiais mencionados para que estes fossem submetidos a ensaio de resistência à tração.

3 METODOLOGIA

Para a obtenção das matérias-primas, tem-se que os resíduos de madeira (jatobá) e de café, ilustrados pelas figuras 4-a e 4-b, respectivamente, foram disponibilizados pelo Laboratório de materiais compósitos (LABCOM). As folhas de açai foram adquiridas das palmeiras, tal qual a figura 4-c apresenta, nas dependências da Universidade Federal do Pará.

Figura 4 – resíduos de (a) jatobá e (b) café (c) palmeira



Fonte: autoria própria

A fabricação dos corpos de prova ocorreu a partir de moldes de silicone com 4 espaços dimensionados de acordo com a norma ASTM D 638 conforme figura 5-a. A matriz dos compósitos foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, exposta na figura 5-b para acelerar o processo de cura, isto é, a solidificação do material, usou-se o catalisador MEK V388, ilustrado na figura 5-c. A proporção utilizada foi de 61,5 g de resina com 0,3 g de catalisador. Os corpos de prova passaram por um processo de pós-cura em estufa, a uma temperatura de aproximadamente 60°C para estarem preparados para serem ensaiados.

Figura 5 - (a) Representação moldes de silicone (b) resina poliéster (c) catalisador



Fonte: autoria própria

Os ensaios de tração dos compósitos foram realizados na máquina universal modelo KRATOS IKCL3, apresentada nas figuras 6, com sistema de aquisição de dados com 5 kN célula de carga a uma velocidade de 5 mm/ min, de acordo com a norma ASTM D638, e, em seguida, os resultados foram analisados.

Figura 6- Máquina universal de ensaios

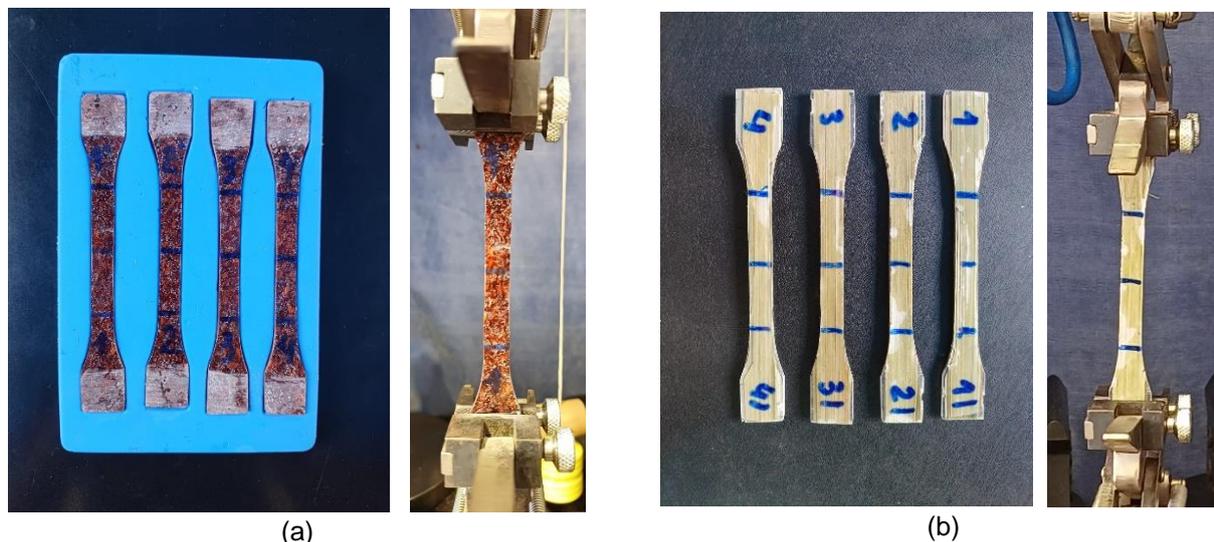


Fonte: autoria própria

A máquina dispõe de uma garra inferior fixa e uma superior móvel, a segunda atua promovendo um esforço axial trativo, de modo a o material verticalmente para cima, enquanto a garra inferior resiste a tal ação. Após atingir o limite de ruptura, isto é,

alcançando a tensão máxima que o material suporta, o mesmo falha, ou seja, é rompido. As figuras 7-a e 7-b apresentam de forma exemplificada o resultado dos corpos de prova solidificados e presos à garra da máquina de ensaio, respectivamente.

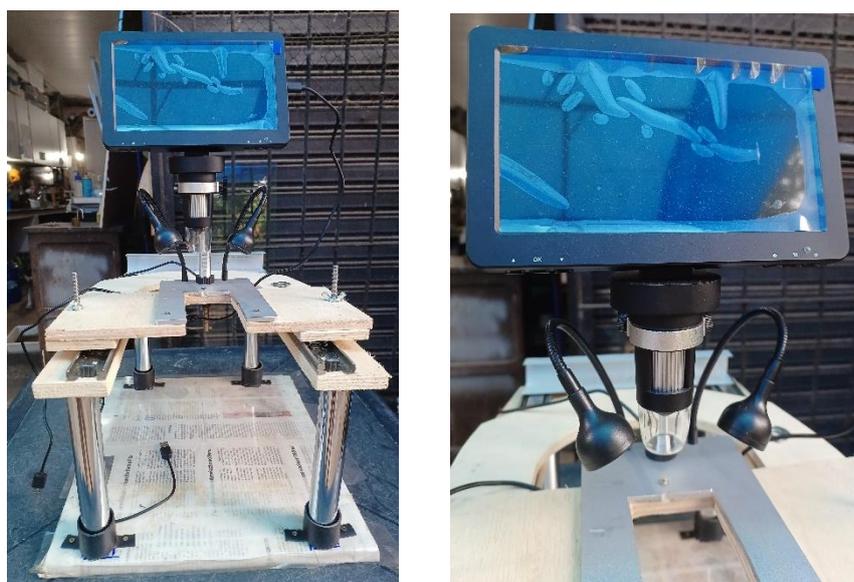
Figura 7- Corpos de prova (a) jatobá (b) folha de aço



Fonte: autoria própria

Para a análise da microscópica das superfícies foi utilizado um microscópio Tela Hd 4.3 Digital Vedo 1000x Usb Portátil Led. Os corpos de prova são posicionados de maneira a apresentar maior nitidez, sendo observados pela tela do computador, as duas fontes de luminosidade são ajustadas de modo a favorecer o foco. A figura 8 ilustra o aparelho utilizado

Figura 8 – microscópio Usb portátil Led



Fonte: autoria própria

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Após os ensaios, houve o registro de imagens das superfícies de fratura dos corpos rompidos. A seguir foram contrastadas imagens apresentando uma vista superior (figuras da esquerda) e uma vista lateral (figuras da direita) dos corpos avaliados, sendo analisados os mecanismos de falha e comparados com as informações coletadas na literatura.

A figura 9 apresenta a superfície do compósito reforçado por resíduo de madeira jatobá. As imagens ilustram a presença de bolhas que acabaram ficando presas durante o processo de fabricação. Como explanado por COELHO, 2021 este defeito de vazio promove a concentração de tensão e assim prejudica a transferência de carga para as outras fibras, além de favorecer a propagação de trincas. As setas azuis expõem os vazios presentes tanto na vista superior quanto na lateral do material, sendo importante salientar que as bolhas vistas na imagem lateral são, em sua maioria internas. Não foi verificada a presença de delaminação.

Figura 9- Vistas da superfície do corpo de prova de Jatobá



Fonte: autoria própria

Em se tratando do compósito híbrido das fibras de juta e sisal, a superfície da vista superior não expôs defeitos nítidos, como percebido na figura 10, semelhante ao ilustrado por SANTOS *et al*, 2013. No entanto, o mecanismo de desprendimento de fibras, denominado de "pullout", é percebido na vista lateral, direcionado pelas setas vermelhas, bem como foi apresentado por ALMEIDA *et al*, 2017 em sua avaliação de compósito laminado que utilizou fibra de juta. Nesse caso a delaminação também não foi visualizada.

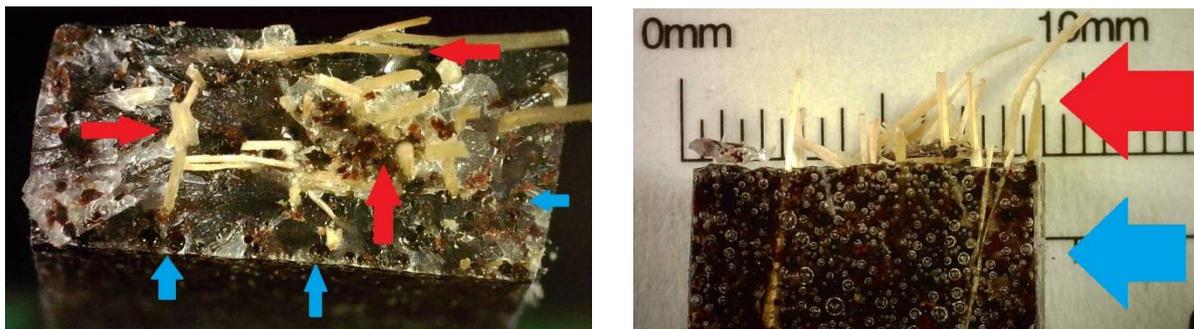
Figura 10- Vistas da superfície do corpo de prova híbrido de juta e sisal



Fonte: autoria própria

Pela avaliação das vistas do corpo de prova reforçado por fibra de sisal e o resíduo de café foi percebido os dois tipos de mecanismo de falha, pull-out, arrancamento de fibras, e as bolhas ou vazios, agregando prejuízos no desempenho mecânico do material. Nesse caso, na figura 11, há um contraste de setas vermelhas referenciando os desprendimentos e azuis designadas aos vazios concentradores de tensão, bem como vista na fractografia de compósitos reforçados por fibras de açaí apresentada por COELHO, 2021.

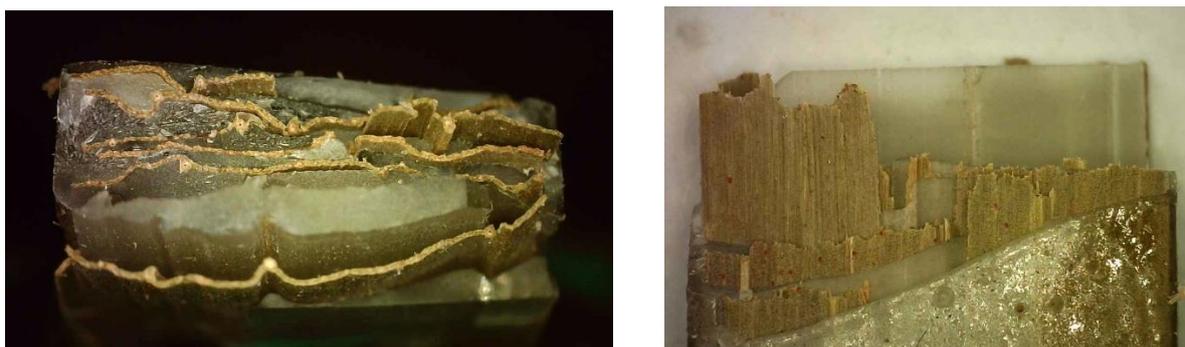
Figura 11- Vistas da superfície do corpo de prova híbrido de resíduo de café (borra) e sisal



Fonte: autoria própria

Por fim, o único material em que foi verificado o processo de delaminação foi no compósito reforçado por folhas de açaí, tal situação decorre da não adesão plena entre as fases do composto, sendo nítida a desuniformidade do rompimento em cada camada. Sendo assim, tal circunstância pode culminar na redução do rendimento de resistência do material. A figura 12, sobretudo a vista lateral expõe bem a irregularidade que ocorreu durante o rompimento.

Figura 12- Vistas da superfície do corpo de prova com a folha de açaí



Fonte: autoria própria

A escolha dos materiais foi pautada em se obter a fractografia para diferentes tipos de reforços de material, que seriam fibras, resíduos (grãos), folhas e hibridizações, analisando as diferenças e semelhanças encontradas entre estes, sendo que todos apresentam a ideia de promover menos danos ao meio ambiente, sem a utilização de matérias-primas sintéticas.

Sob outra perspectiva, o interesse da pesquisa também está focado para agregar valor a novos produtos, tendo em vista que os materiais deste estudo são usados em artesanatos. Especificamente falando das fibras de sisal e juta, estas estão entre as fibras mais utilizadas atualmente, com diferentes finalidades, além disso, apresentam apreciáveis propriedades mecânicas, encontradas em inúmeras pesquisas.

Os resíduos de madeira e café apresentam considerável potencial de reutilização, sendo assim, torna-se interessante a utilização destes em trabalhos, não exclusivamente relacionados a compósitos, vertentes de estudo que visam reaproveitamento de materiais são totalmente válidas. Com relação as folhas, não foram encontrados estudos apreciáveis com a utilização de tal matéria-prima como reforço de compósitos, também, por ser proveniente de uma fonte renovável, que são as árvores, a ideia de utiliza-las foi entendida como favorável.

5 CONCLUSÃO

Diante do estudo fractográfico produzido, foi atestado o mecanismo de pull-out nos compósitos que possuíam fibra de sisal em sua constituição, de maneira similar às literaturas apresentadas na introdução, que também utilizaram fibras naturais como reforço. Distintas fibras, acabam por produzir um resultado semelhante.

Para a análise com os resíduos, foi verificado que o sendo utilizado o jatobá individualmente como reforço, houve somente a presença do defeito de vazio, enquanto para o pó de café com a fibra natural resultou na ocorrência tanto deste citado quanto do desprendimento das fibras. Sendo assim, é possível avaliar uma tendência do alojamento de bolhas para reforços de resíduos como os deste trabalho juntamente com o arrancamento das fibras para grande parte dos compósitos com este reforço.

Ainda, a única falha não exposta pela literatura utilizada ocorreu com o compósito reforçado pela folha de açai. Não sendo um componente tão usual para tal finalidade, tem-se por análise se há uma sinergia apreciável neste tipo de compósito, a tal ponto de produzir boas propriedades, sobretudo resistência mecânica, dado que foi verificado, a princípio este descolamento entre as camadas de matriz e reforço.

Também vale ressaltar que todo o procedimento de fabricação foi feito manualmente, logo, existe uma suscetibilidade a cometer erros, exigindo máxima atenção no processo, além de que a melhoria dos métodos utilizados pode resultar na redução da quantidade de defeitos encontrados.

Então, tais materiais, que costumeiramente apresentam aplicações como artesanato e para a fabricação de utensílios domésticos sendo analisados com a possibilidade de atuarem como produtos para resistir a certas solicitações mecânicas, com resistência associada as propriedades obtidas no ensaio de tração. Uma opção sustentável para atuar na área de estruturas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio recebido pela Faculdade de Engenharia Mecânica do ITECUFPA e aos alunos PIBIC bolsista da PROPESP-UFPA.

REFERÊNCIAS

ASTM, D. D 638-1989, “. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (metric)**”, **Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials**, 1989.

ALMEIDA, L. M.; SILVA, D. S.; OLIVEIRA FILHO, E. G.; SOUSA, F. S. ; BARBOSA, F. N. ; SILVA, F. X. L. ; GOMES, I. S. ; MAGALHAES, J. F. S. ; KUWAHARA, M. ; FUJIYAMA, R. T. . **Compósitos poliméricos híbridos com fibras naturais e sintéticas contínuas e alinhadas**. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF 2017, 2017, Joinville. IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF 2017. Joinville: Programação e Caderno de Resumos, 2017. v. 1.

CALLISTER JÚNIOR, W. D; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais - uma Introdução**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 1014p.

COELHO, D. N. M. **Estudo fractográfico de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de açai e curauá**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de materiais. Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2021.

da Costa, D, S.; El Banna, W. R. ; SANTOS, E. J. S. ; LOPES, C. E. P. ; FERNANDES, E. A. ; FUJIYAMA, R. T. . **Compósitos de fibras de juta e matriz poliéster**. In: 68 Congresso da ABM Internacional, 2013, Belo Horizonte. 68 Congresso da ABM Internacional. São Paulo: ABM, 2013.

KOTIK, H. G. **Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento**. Revista Matéria, v. 24, n.3, 2019.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. v. 18, p. 92-99, 2008.

MEI, L. H.; OLIVEIRA, N. **Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizado poli (ϵ caprolactona) e borra de café**. Polímeros. V. 27, p. 99-109, 2017.

MIRANDA, G. F.; GOMES, I. S.; BRANCO, C. T. N. M.; OLIVEIRA, A. B. S.; NEGRÃO JÚNIOR, A. S. C.; FUJIYAMA, R. T. **Atividades de pesquisas desenvolvidas por alunos de iniciação científica visando aproveitamento de resíduos da indústria madeireira no Estado do Pará**. Brazilian Journal of Business, v. 2, p. 1776-1785, 2020.

SANTOS, J. A.; KUWAHARA, M.; Santos, I. P.; SANTOS, C.; Pereria, L. C. de O. ; LOPES, C. E. P. ; SANTOS, E. J. S. ; da Costa, D, S. ; El Banna, W. R. ; FUJIYAMA, R. T. . **Materiais compósitos de matriz poliéster reforçado com resíduos de madeira com fibra de sisal de comprimento híbrido com variação de 5 a 15 mm**. In: 68 Congresso da ABM

Internacional, 2013, Belo Horizonte. 68 Congresso da ABM Internacional. São Paulo: ABM, 2013.

SILVA, I. S.; CINTRA, ÁLVARO ARTHUR SOARES; GOMES, I. S.; VILHENA, E. S.; FUJIYAMA, R. T.. **Mantas de fibras de juta e sisal como reforço de compósito de matriz poliéster**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (COBEQ-IC), 2019, Uberlândia. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (COBEQ-IC), 2019.

**INSTRUCTIONS FOR PREPARATION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS TO THE
SCIENTIFIC COMMITTEE OF THE 51º BRAZILIAN CONGRESS ON ENGINEERING
EDUCATION AND VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EDUCATION IN
ENGINEERING – COBENGE 2023**

Abstract: *due to the process of technological improvement, new trends and affinities, especially demands for new materials that adapt to current requirements. In this sense, composite materials have been widely highlighted and have been used as the basis of several studies, mainly related to sustainability, aiming to use renewable and/or reusable raw materials to produce materials of this class. Therefore, this article deals with a field of study focused on the observation and analysis of failure or post-rupture surfaces, that is, fractography. So, for this analysis, different specimens were manufactured using different materials, subject to different fracture characteristics, with the similarity of being appreciated from an ecological perspective, they were tested and evaluated with the help of microscopy, they are: jatobá (*Hymenaea courbaril*), jute (*Corchorus capsularis*) and sisal (*Agave Sisalana*) fibers in hybrid form, açai leaves (*Euterpe oleracea*) and coffee residues known as dregs in a hybridized form with sisal.*

Keywords: *composites, fractography, renewables.*