

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS

Gabriela Santos de Jesus, gabrielasantosdejesus@gmail.com¹
Daphne Carolini Catunda Bispo, daphnecatunda@gmail.com¹
Ana Claudia Rangel da Conceição, arangel-ma@hotmail.com¹
Moisés Ferreira Eleutério Silva, eng_mfes@yahoo.com.br¹
Ricardo Fernandes Carvalho, ricardoc@ufba.br¹

¹Universidade Federal da Bahia, Rua Aristides Novis 2, Federação – Salvador/BA

Resumo: A utilização de fibras vegetais como reforços em compósitos poliméricos representam o desenvolvimento socioeconômico e ecológico. O presente trabalho tem como objetivo a análise microestrutural do laminado híbrido reforçado com mantas de sisal e particulados de cana-brava impregnados por resina poliéster ortoftálica. Os corpos de prova foram inicialmente submetidos a ensaios mecânicos de flexão em três pontos e cisalhamento interlaminar (short beam). A análise do mecanismo de falha dos laminados foram realizados por microscopias óticas e eletrônica de varredura (MEV). A região de fratura da interface fibra/matriz dos laminados foram detalhadas indicando a propagação das trincas na direção do carregamento.

Palavras-chave: Compósitos, Fibras Naturais, Mantas de Sisal, Fibras de Cana-brava, Análise Microestrutural.

1. INTRODUÇÃO

O uso de fibras naturais como reforço em compósitos polímeros tornou-se um novo conceito de materiais sócio ecológicos, não abrasivos, alta resistência específica, baixas densidades estruturais e processamento de economia de energia (JAUHARI et al., 2015).

O Sisal (*Agave sisalana*) e a Cana-Brava (*Gynerium sagittatum*) são fibras lignocelulósicas com alto potencial de exploração e pesquisa no Brasil. Por serem plantas com alta adaptação as características climáticas do país, são comumente usadas em diversas regiões como matéria prima de produtos com alto valor socioeconômico (CERCHIARO, 2010).

O uso dos compósitos híbridos podem ser uma solução para equilibrar o custo e o desempenho, pois uma das maiores dificuldades para se alcançar a máxima economia de peso na fabricação de componentes estruturais usando compósitos é a tendência que esses materiais têm à formação de trincas. Por isso é muito importante detectar e caracterizar essas irregularidades.

A propriedade de cisalhamento interlaminar é um parâmetro importante em projetos estruturais, e são considerados uma tarefa difícil devido à natureza anisotrópica dos compósitos (BOTELHO E REZENDE, 2002). Este ensaio fornece a máxima resistência à adesão interfacial fibra/resina após o carregamento em três pontos e é muito utilizado em laminados unidirecionais devido à simplicidade, facilidade e baixo custo do preparo dos corpos-de-prova.

Os danos em compósitos laminados podem ocorrer de várias maneiras, tais como: interlaminar, a falha ocorre entre as lâminas do compósito laminado; translaminar, localizada na direção transversal ao plano do compósito e intralaminar, a falha ocorre internamente na matriz (FRANCO, 2003).

O mecanismo de danos é uma das ferramentas utilizadas no processo de análise pós danos ou falhas. Consiste em identificar as fraturas e estabelecer as relações

A fractografia é uma das principais ferramentas utilizadas no processo de análise pós danos ou falhas. Consiste em identificar as fraturas e estabelecer as relações entre a presença, ou ausência desses aspectos evidenciando a sequência de eventos, podendo levar à determinação do carregamento e condições dos esforços no momento da falha. A fractografia confirma ou remove as suspeitas que possam recair sobre os modos de falha ocorridos (FRANCO, 2003).

De acordo com Franco (2003), a análise microestrutural do compósito fornece informações a respeito da morfologia da fibra, orientação e número de camadas, distribuição das fibras, tamanho e distribuição das falhas que podem ocorrer

na etapa de fabricação, tais como, vazios, porosidades, desalinhamento de fibras, rugas nas camadas, bolsas de resina, além de danos estruturais causados por delaminações e microtrincas.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo visa a investigação dos modos de falha de compósitos laminados híbridos reforçados por fibra de sisal e cana-brava submetidos a ensaios mecânicos (flexão em três pontos e cisalhamento ILSS) e analisados por microscopias ótica e eletrônica de varredura (MEV).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram as mantas de sisal fornecidas pela Hamilton Ltda., e os resíduos de fibras de cana-brava oriundos da Fábrica de Placas Acústicas SOMAR, localizada na comunidade quilombola de Praia Grande, em Ilha de Maré, Salvador/BA (figuras 1a e 1b, respectivamente). A resina Poliéster ortoftálica de baixa densidade ($\rho=1.10 \text{ g/cm}^3$) e o agente catalisador Peróxido Metil Etil Cetona (MEKP) com a proporção em 1% em relação ao peso da resina, obtidos comercialmente. Foram utilizadas peneiras ASTM n° 4 e n° 8, para uniformização do particulado de cana-brava.



(a)



(b)

Figura 1: Fibras vegetais utilizadas. (a)Manta de sisal; (b)Fibras particuladas de cana-brava.

As propriedades físicas das fibras estudadas encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Propriedade das Fibras estudadas.

Propriedades das Fibras	Fibras de Sisal	Bibliografia	Fibras de Cana-Brava	Bibliografia
Densidade (g/cm^3)	1,591	CARVALHO (2005)	0,959	MELO (2017)

2.2. Métodos

O laminado compósito híbrido foi confeccionado através do processo de compressão à quente. Utilizando duas camadas de manta de sisal (gramatura de 781 g/m^2) e particulados de cana-brava de forma intercalada, formando o sistema reforço e resina, numa proporção de 0,5 vezes o peso em gramas das fibras de sisal como referência para o peso em gramas das fibras de cana-brava.

O processo de conformação à quente ocorreu em prensa hidráulica calibrada em 6 toneladas à 90°C por 90 min. Sendo a dimensão final da placa $320 \times 200 \times 4 \text{ mm}$, figura 2a, com 68% de sisal e 32% particulados de canabrava em peso. A figura 2b ilustra a seção transversal do laminado compósito sisal/canabrava.

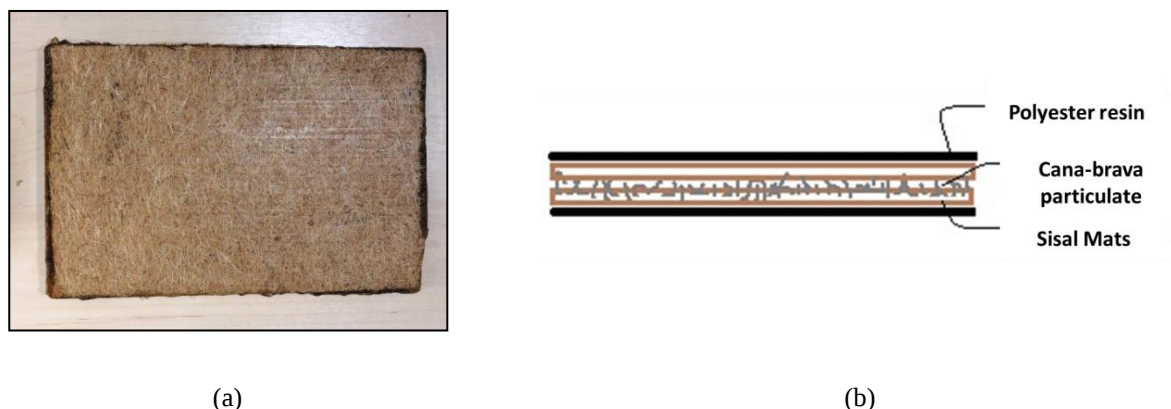


Figura 2. Configuração do Laminado Sisal/Canabrava. (a) Compósito híbrido Sisal/Canabrava; (b) Ilustração da seção transversal do Compósito Híbrido.

Os corpos de prova foram cortados utilizando-se um disco com fio de corte adiamantado e suas superfícies laterais lixadas e polidas de acordo com as técnicas metalográficas.

As dimensões das amostras e as especificações de execução dos ensaios seguiram as normas ASTM D 2344/16 e ASTM D 790/03, cisalhamento interlaminar (*short beam*) e flexão em três pontos respectivamente. Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Na Tabela 2 encontram-se as dimensões adotadas para os corpos de prova de acordo com cada ensaio.

Tabela 2. Dimensões dos corpos de prova do Laminado Sisal/Canabrava.

Ensaio Mecânicos	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Vão/Galgo (mm)
Flexão em Três Pontos	100	13	4	80
Cisalhamento (<i>Short beam</i>)	24	8	4	10

2.3 Análise das Características da Fratura

As características da fratura nos corpos de prova após os ensaios mecânicos foram executados por análise microscópica com o objetivo de verificar os detalhes dos tipos de danos, isto é, a existência ou não da delaminação entre as camadas, fendas na matriz, arranque e/ou ruptura de fibras, bem como as características da interface fibra/matriz.

As imagens por microscopia óptica foram obtidas no microscópio óptico Olympus MG. Para a microscopia eletrônica de varredura (MEV), as imagens foram obtidas no microscópio eletrônico de varredura TECSAN modelo Vega 3 LMU utilizando a aceleração de 10 kV a 20 Kv. Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufa durante 4 horas a uma temperatura de 80 °C, para retirada da umidade. Logo após seu resfriamento em dessecador com sílica-gel, foram recobertas com uma camada de ouro. Esse procedimento visa fornecer informações a respeito das interações entre fases e rompimentos, além de deslocamento de fibras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3, obtida através da microscopia ótica, mostra a superfície transversal do laminado Sisal/Canabrava antes da realização dos ensaios. Observa-se na respectiva figura a presença de regiões ricas em resina caracterizando as interfaces entre as camadas do laminado compósito.

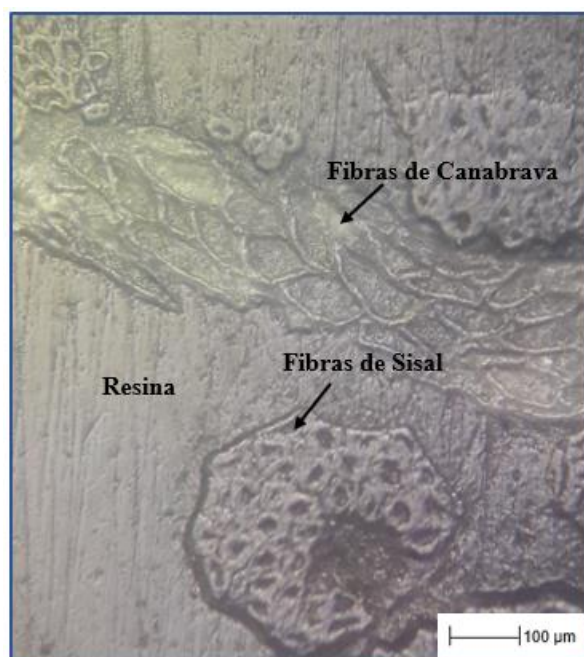


Figura 3. Caracterização Microestrutural do Laminado Sisal/Canabrava (MO).

3.1 Ensaio de Flexão em Três Pontos

A característica de fratura dos CP's (corpos de prova) foi realizada através das análises macroscópica e microscópica.

A análise macroscópica da fratura final ocorrida nos CP's sisal/canabrava é mostrada na Fig. 4 (a), onde a superfície do CP possui regiões onde ocorre a desaderência da resina durante o ensaio sendo caracterizada pela região esbranquiçada. Na Figura 4 (b) é possível verificar a presença de pontos de fissuração da matriz, evidenciando a fratura por flexão em três pontos.



Figura 4. Fratura final nos CP's Sisal/Canabrava – Flexão em Três Pontos. (a) Superfície tracionada do CP; (b) Superfície transversal do CP.

A análise através da microscopia óptica (MO) do CP na Fig. 5, ressalta-se que a propagação da fissura no interior das fibras de sisal, provocaram desaderência na interface fibra/matriz, caracterizada pela fratura adesiva, e ainda fratura coesiva nas camadas das fibras de canabrava.

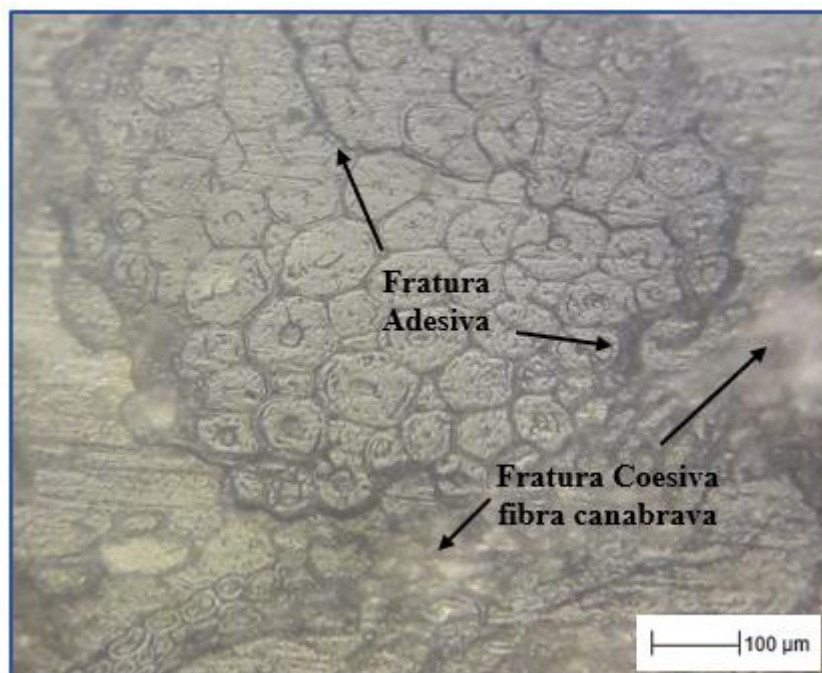


Figura 5. Característica da Fratura do Laminado Sisal/Canabrava – Microscopia Ótica.

Continuando a análise da fratura, porém quando observada mediante microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 6), verifica-se o aparecimento de fratura coesiva na matriz na direção paralela ao carregamento com propagação da fissura na direção longitudinal provocando arrancamento de fibras sendo representada pela formação de furos (espaços vazios) no laminado, além de ruptura de fibras.

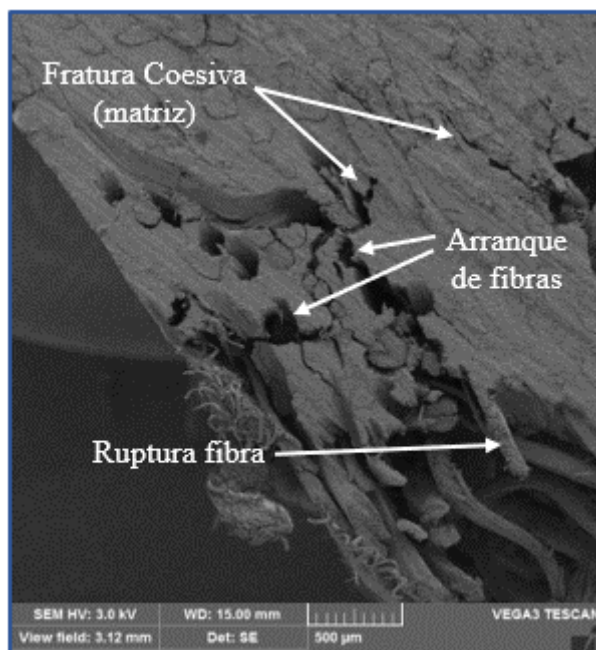


Figura 6. Característica da Fratura do Laminado Sisal/Canabrava – MEV.

Na Figura 7, observa-se a formação de fenda na região tracionada, sendo a localização dessa fenda como uma característica do bom desempenho do laminado frente ao carregamento de flexão. Além disso, ocorreu a fratura coesiva na matriz, sendo essa provocada exatamente pelo processo de compressão da carga durante o ensaio.

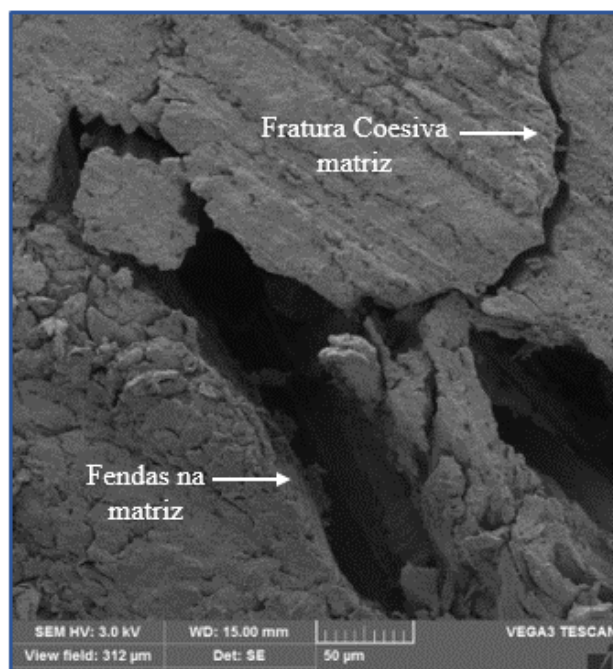


Figura 7. Característica da Fratura do Laminado Sisal/Canabrava - MEV

3.2 Ensaio de Cisalhamento Interlaminar (*Short beam*)

A característica da fratura final por cisalhamento interlaminar (*Short beam*) ocorrida no corpo de prova, Fig. 8 (a), pode ser classificada conforme a ASTM D2344 como cisalhamento e flexão (válido). A seção transversal em destaque na Fig. 8 (b) corresponde a região onde pode se observar, a zona esbranquiçada devido a ocorrência de regiões ricas em resina na interface fibra/matriz.



Figura 8. Fratura final nos CP's Sisal/Canabrava – Cisalhamento Interlaminar (*Short beam*). (a) Superfície tracionada do CP; (b) Superfície transversal do CP.

De acordo com Paiva (2005), geralmente a aparência macroscópica da falha em cisalhamento dos CP's é sem brilho e esbranquiçada. No caso de falha interlaminar, a fratura ocorre na região rica em resina entre as lâminas do compósito.

Na figura 9 (a) mediante a microscopia óptica, verifica-se a fissura contida na matriz originando fratura coesiva na matriz, além de fratura coesiva nas fibras. Na Fig. 9 (b) observa-se em destaque a delaminação entre as camadas do laminado, evidenciando o rompimento do mesmo pela ação do carregamento.

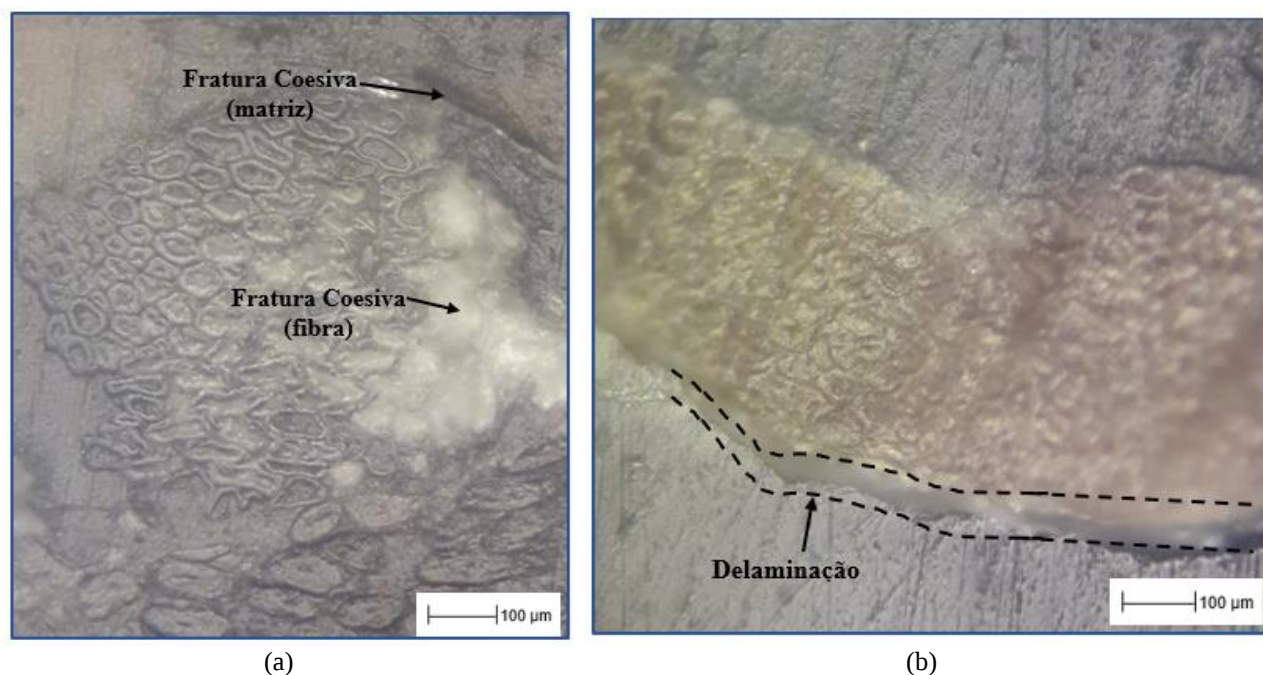


Figura 9. Características da Fratura do Laminado Sisal/Canabrava – Microscopia ótica.

Na análise utilizando a microscopia eletrônica de varredura, Fig. 10, observa-se a presença de fendas longitudinais à aplicação da carga, fratura adesiva na interface fibra/matriz. Além disso, apresentou, também, arranque de fibras.

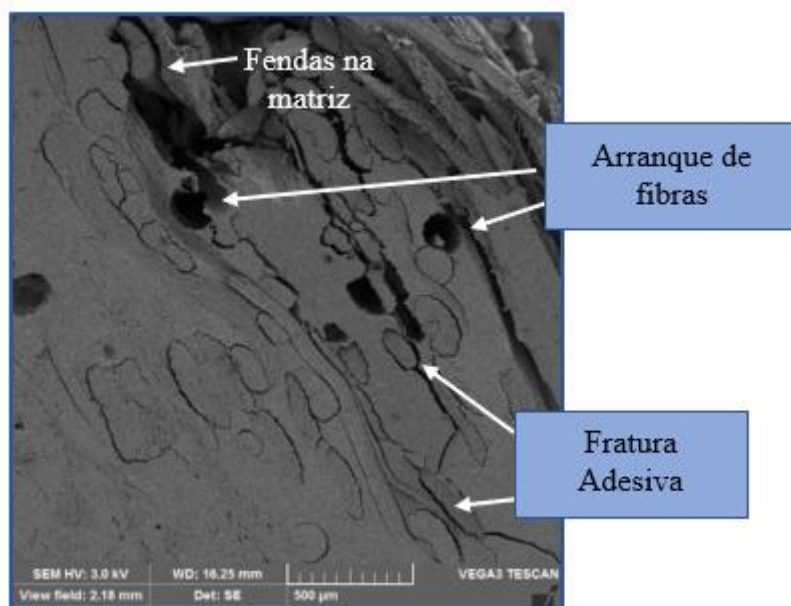


Figura 10. Característica da Fratura do Laminado Sisal/Canabrava – MEV.

A Figura 11 mostra a propagação dos danos na região do carregamento do CP, onde foi observado fratura coesiva na fibra, caracterizado por regiões ainda impregnadas com resina. Além disso, pode ser observado ruptura das fibras de sisal e canabrava.

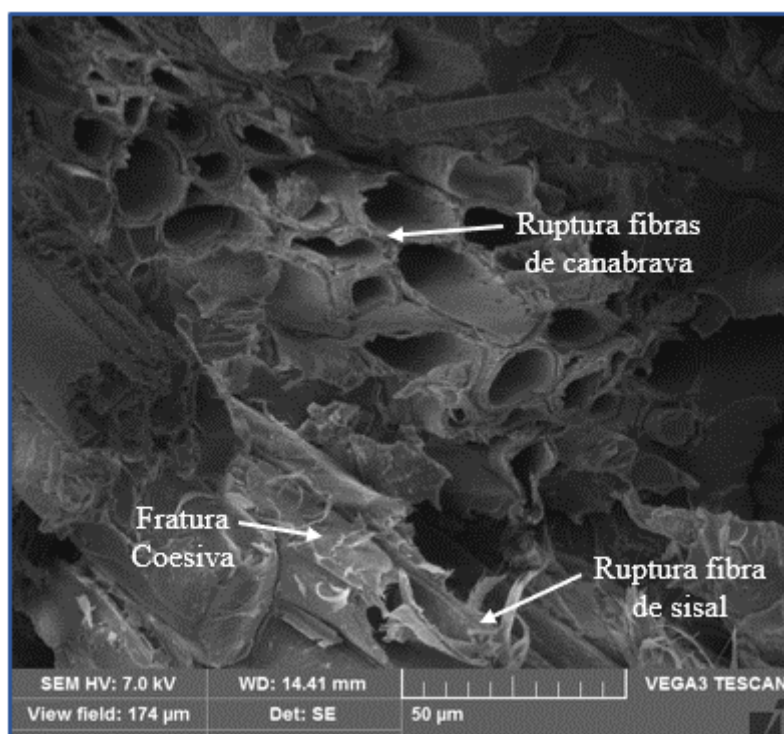


Figura 11. Características da Fratura do Laminado Sisal/Canabrava – MEV.

4. CONCLUSÃO

Pode-se observar na análise macroscópica dos ensaios de flexão em três pontos e cisalhamento interlaminar (*Short beam*) que o processo de fratura do laminado Sisal/Canabrava não foi catastrófico em todos os corpos de prova.

Na análise da fratura microscópica dos CP's nos ensaios realizados, foi possível notar a delaminação da região próxima à ruptura, que pode ser caracterizado pelo descolamento interfacial ou até desaderência da resina devido ao carregamento.

Através das imagens obtidas pelo MEV, foi possível observar a ruptura de fibras, arrancamento das mesmas, justificada pelas regiões de vazios e formação de trincas próximas a essas regiões.

As características das fraturas encontradas nos ensaios de flexão em três pontos e cisalhamento interlaminar (*short beam*), tais como: fratura adesiva, fratura coesiva (tanto na matriz quanto na fibra) e ruptura de fibras, evidencia o conhecimento das particularidades dos mecanismos de falhas do compósito laminado Sisal/Canabrava.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem por todo suporte prestado a esta pesquisa: Hamilton Rios, pelo fornecimento das Mantas de Sisal; a Fábrica de Placas Acústicas SOMAR, pelo fornecimento do resíduo das Fibras de Cana-Brava; a CAPES pelo financiamento do projeto; a UFBA e ao IFBA pela total disponibilidade dos laboratórios para confecção e ensaios dos compósitos.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM D790 - 03, 2003, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials".
- ASTM D2344 - 16, 2016, "Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates".
- Botelho, E. C.; Rezende, M. C., 2002, "Caracterização Mecânica de Compósitos de Poliamida/Fibra de Carbono Via Ensaios de Cisalhamento Interlaminar e de Mecânica da Fratura. *Polímeros*", v. 12, n. 3, p. 153–163.
- Carvalho, R. F., 2005, "Compósitos de fibras de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira". Tese apresentada à Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais. Brasil.
- Cerchiaro, J. R., 2010, "Comportamento mecânico de compósitos com poliéster e tecidos de sisal por moldagem manual." Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia. Brasil.
- Franco, L. A. L., 2003, "Análise fractográfica de Compósitos Poliméricos Estruturais". Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São Paulo, Brazil.

- Jauhari, N.; Mishra, R.; Thakur, H. Natural Fibre Reinforced Composite Laminates – A Review. *Materials Today: Proceedings*, v. 2, n. 4–5, p. 2868–2877, 2015. .
- Melo, F. L. B. Caracterização da fibra de cana-brava (*Gynerium safittatum*) e sua viabilidade como reforço na preparação de compósitos com ABS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Univesidade Federal da Bahia, 2017.
- Paiva, J. M. F. de; Mayer S.; Rezende, M. C. *Materials Research*, 2005, 8, 1, 91-97.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores Gabriela Santos de Jesus, Daphne Carolini Catunda Bispo, Ana Claudia Rangel da Conceição, Moisés Ferreira Eleutério Silva e Ricardo Fernandes Carvalho são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF HYBRID COMPOSITES REINFORCED SISAL/CANA-BRAVA

Gabriela Santos de Jesus, gabrielasantosdejesus@gmail.com¹
Daphne Carolini Catunda Bispo, daphnecatunda@gmail.com¹
Ana Claudia Rangel da Conceição, arangel-ma@hotmail.com¹
Moisés Ferreira Eleutério Silva, eng_mfes@yahoo.com.br¹
Ricardo Fernandes Carvalho, ricardoc@ufba.br¹

¹Universidade Federal da Bahia, Rua Aristides Novis 2, Federação – Salvador/BA

Abstract. *The use of plant fibers as reinforcements in polymeric composites represents socioeconomic and ecological development. The present work has the objective of microstructural analysis of hybrid laminate reinforced with sisal mats and chopped canabrava fibers impregnated with polyester orthophthalic resin. The specimens were initially submitted to mechanical tests of three-point bending and short beam shear. The analysis of the failure mechanism of the laminates was performed by optical and scanning electron microscopy (SEM). The fracture region of the fiber/ matrix interface of the laminates was detailed indicating the propagation of the cracks in the direction of loading.*

Keywords: *Composites, Natural Fibers, Sisal Mats, Cana-Brava Fibers, Microstructural Analysis.*