

# ANÁLISE FRACTOGRÁFICA DE COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS RECICLADOS SUBMETIDOS A ENSAIOS DE TENACIDADE À FRATURA INTERLAMINAR EM MODO I

Olívia de Brito Queres<sup>1</sup>;  
Maurício Vicente Donadon<sup>2</sup>,  
Rita de Cássia Mendonça Sales Contini<sup>3</sup>

Aluna do Curso de Tecnologia em Manutenção de Aeronaves; e-mail: olivia.queres@fatec.sp.gov.br<sup>1</sup>

Professor do ITA – São José dos Campos; e-mail donadon@ita.br<sup>2</sup>

Professora da FATEC – São José dos Campos; e-mail rita.sales@fatec.sp.gov.br<sup>3</sup>

**Área do Conhecimento:** 3.12.00.00-1 Engenharia Aeroespacial 3.12.04.00-7 Materiais e Processos para Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial

**Palavras-chave:** Compósitos termoplásticos, Modo I, Reciclagem, Fractografia.

## INTRODUÇÃO

Compósitos termoplásticos estão sendo inseridos cada vez mais na indústria aeronáutica. A combinação de leveza, resistência e propriedades mecânicas elevadas atraem o interesse da indústria para sua aplicação em aeronaves. Com o crescimento de seu uso, o descarte gerado também aumenta, pois na produção de compósitos reforçados com fibras há um considerável desperdício de materiais envolvendo atividades como alinhamento e corte, (BRUJIN, 2017), o que a longo prazo causará danos ao meio ambiente, exigindo ações para mitigar ou reduzir seus aspectos prejudiciais. Atualmente, em aeronaves, os compósitos termoplásticos foram usados em locais como bordas de ataque fixas de asa, nervuras, cliques, ângulos e presilhas (WANG et al, 2017). Portanto, é importante investigar e comparar os aspectos de falha ocorridos após ensaios de tenacidade à fratura em laminados termoplásticos reconsolidados e compará-los com os aspectos visualizados na superfície dos laminados ensaiados como recebido para validação do processo de reconsolidação.

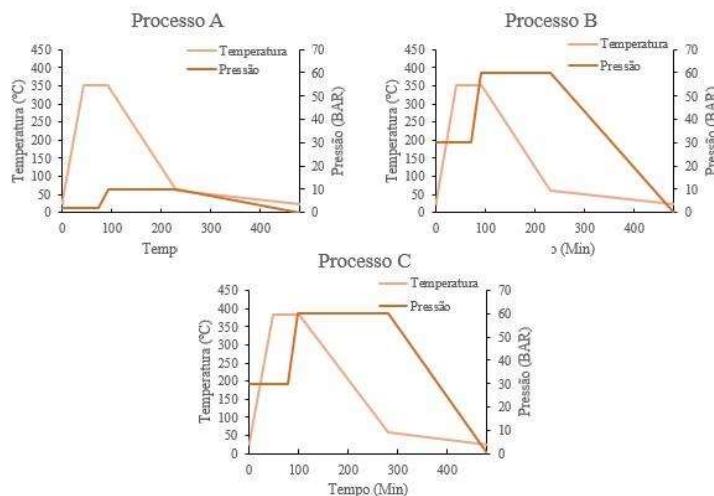
## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é investigar os processos de falhas ocorridos nas superfícies de fratura de compósito termoplásticos reciclados utilizando a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e compará-los com compósitos termoplásticos tal como recebido, com o intuito de verificar a influência do processo de reciclagem de compósitos termoplásticos na tenacidade a fratura destes materiais.

## METODOLOGIA

Foram realizados três processos de reconsolidação do material de acordo com a Figura 1. Para o processo foi utilizada a Prensa Hidraumak.

Figura 1: Gráficos representativos dos processos de reconsolidação.



Fonte: Autor (2021)

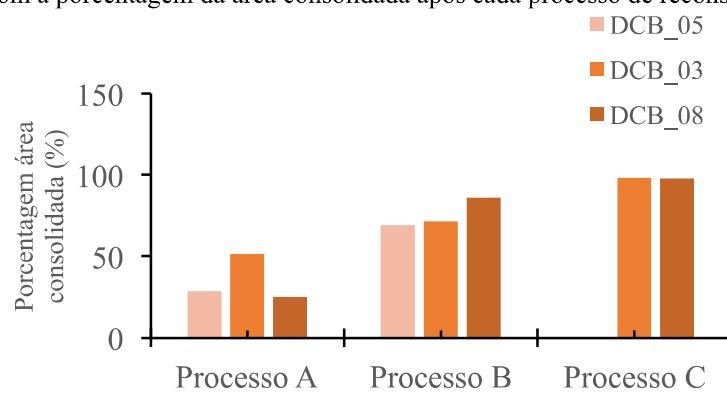
Antes e após os processos de reconsolidação, foram feitas as análises de ultrassom através do equipamento manual ISONIC 2006.

Para um melhor entendimento do processo de falha nestes materiais, as superfícies de fratura foram examinadas utilizando a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV por possuir uma resolução mais elevada que a microscopia óptica. O equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura da marca VEJA 3 XMU TESCAN. Com o intuito de haver a melhoria na condutividade do laminado para realizar esta análise, o mesmo deveria ter sido metalizado com uma fina camada de ouro, porém o equipamento responsável por isto não estava em funcionamento, portanto os laminados não foram metalizados, fazendo com que as imagens obtidas apresentassem coloração escura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizar a reconsolidação de cada laminado, pode-se observar que utilizando o Processo A e B, não foi obtida uma porcentagem satisfatória. Somente ao utilizar o Processo C, com pressão e temperatura elevada que foi possível atingir o resultado esperado.

Figura 2: Gráfico com a porcentagem da área consolidada após cada processo de reconsolidação.



Fonte: Autor (2021)

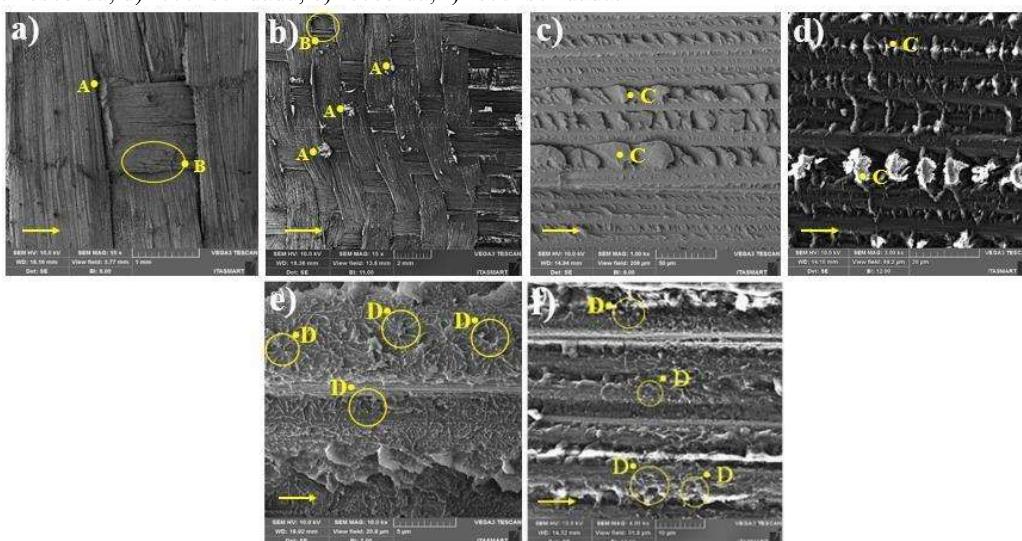
A Figura 3 demonstra as análises fractográficas realizada após o ensaio do laminado recebido e o laminado reconsolidado. Quando comparadas as imagens da Figura 3.a e 3.b observa-se que durante o processo de reconsolidação utilizando uma pressão e temperatura maior houve um deslocamento da trama (Figura 3.b). Aumentando a temperatura para 385°C, a resina se funde e não oferece uma resistência mecânica para a manutenção da trama em sua posição perpendicular ao urdume. Mesmo com

o desalinhamento da trama no meio do plano do laminado, o valor de tenacidade a fratura do laminado diminuiu 2,8% em relação ao valor amostra ensaiada como recebida, 2,07N/mm e de 2,13N/mm, respectivamente, mantendo a mesma grandeza. Na Figura 3, também foi possível observar os aspectos de fratura na superfície como a bolsa de resina (*resin pocket*/ Figura 3.a.A e 3.b.A) e fibras quebradas (*broken fibers*/Figura 3.a.B e 3.b.B).

Os aspectos de cúspides semelhantes às imagens da superfície de fratura do laminado como ensaiado (Figura 3.d.C) e como recebido (Figura 3.c.C) são visíveis. Cúspides são caracterizadas por Greenhalgh (2009), como uma importante característica morfológica ao observar as fraturas interlaminares, pois aparecendo como plaquetas inclinadas na superfície, pode ser usada para deduzir as direções de cisalhamento nas superfícies. Além disto, o autor citado acrescenta que o tamanho e distribuição das cúspides são influenciados pelo espaçamento das fibras, teor de umidade, temperatura de processamento e tenacidade.

Na mesma Figura é possível observar a comparação dos aspectos de *radial features* encontrados que são semelhantes as imagens observadas na superfície de fratura do laminado ensaiados como recebido por Marinho et al. (2019) (Figura 3.e.D) e os mesmos aspectos observados após sua reconsolidação (Figura 3.f.D). Estes aspectos são relativos à formação de esferulitos durante o processo de resfriamento da resina termoplástica. Em altas velocidades de rachadura, a superfície de fratura exibe mudança no plano de fratura da matriz e padrões de *radial features* na superfície da fibra (GREENHALGH, 2009).

Figura 3: Análise fractográfica da superfície de fratura dos laminados: a) como recebida e b) reconsolidada, c) como recebida, d) reconsolidada, e) recebida, f) reconsolidada.



Fonte: Autor (2021)

## CONCLUSÕES

Devido à pandemia do COVID-19 o andamento da pesquisa ocorreu parcialmente de forma remota, e parcialmente de forma presencial. Remotamente foram estudados artigos relacionados ao tema do presente projeto, podendo realizar a familiarização com o tema da pesquisa. Presencialmente, houve a utilização do ultrassom para a análise do laminado, e para a realização da reconsolidação do material, foram necessárias diversas tentativas, pois ao seguir a recomendação do fabricante não foi possível obter êxito neste processo. Ao aumentar a pressão exercida sob os laminados, a porcentagem de consolidação aumentou, mas de forma insatisfatória, fazendo-se necessário aumentar sua temperatura também. Porém, desta forma houve perda de resina do material.

A análise fractográfica através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) não ocorreu de forma esperada devido a problemas técnicos na metalizadora, deixando as imagens escurecidas, porém ao comparar com os resultados obtidos anteriormente, foi possível notar que o material reconsolidado apresentou aspectos semelhantes.

## AGRADECIMENTOS

Este projeto foi parcialmente financiado pelo processo CNPq (PIBIC) 143554/2020-4. Os autores também agradecem ao LNCA e ao Laboratório de Materiais e Processos do Instituto de Tecnologia Aeronáutica pela infraestrutura oferecida para o desenvolvimento deste projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BRUJIN, T.A.; VINCENT, G.; VAN HATTUM, F.W.J., “Recycling C/PPS laminates into long fibre thermoplastic composites by low shear mixing”, 21st International Conference on Composite Materials Xi'an, 2017.

GREENHALGH, E. S. Failure analysis and fractography of polymer composites. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009.

MARINHO, N.R. et al, “Experimental characterization of mode i interlaminar fracture toughness in low-melt PAEK thermoplastic composite material”, 25 th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, 2019.

WANG, Y.; ZHANG J.; ZHANG, J.; ZHOU, Z. “Temperature Effects on Mechanical Properties of Woven Thermoplastic” MATEC Web of Conferences 10 , 01009, 2017.



Assinatura do(a) Estudante  
Olívia de Brito Queres



Assinatura do(a) Orientador(a)  
Dra. Rita de Cássia Mendonça Sales