

**MODELAGEM DE DANOS E FALHAS EM JUNTAS ADESIVAS USANDO UMA
METODOLOGIA DE ELEMENTOS COESIVOS XFEM**

Caio Pires da Silva, Lucas Locatelli Daufenback, Felipe Ruivo Fuga, Ricardo De Medeiros

INTRODUÇÃO

Na indústria aeronáutica, a fabricação de componentes integrais de grande porte revela-se, em muitos casos, inviável. Dessa forma, torna-se necessária a divisão das estruturas em partes menores, que posteriormente são unidas por meio de processos de montagem. Para isso, podem ser empregadas juntas mecânicas ou juntas adesivas, sendo que esta última se destaca pelas inúmeras vantagens, tais como, elevada resistência à fadiga, melhor acabamento superficial, maior eficiência na vedação, redução de peso estrutural e consequentemente incremento da eficiência e do desempenho global da aeronave. Porém, para que esse método seja validado e aplicado em condições reais de projeto, deve-se avaliar a resistência das juntas coladas. Considerando, porém, as dificuldades inerentes ao processo de fabricação e os custos associados à execução de todos os ensaios experimentais necessários, a utilização de modelos numéricos mostra-se uma alternativa mais vantajosa, possibilitando a análise do comportamento, da evolução de danos e da falha dessas uniões.

DESENVOLVIMENTO

Em projetos envolvendo juntas adesivas, faz-se necessária a análise tanto do comportamento estrutural quanto dos limites de desempenho da união proposta. Nesse contexto, a mecânica da fratura descreve a teoria essencial para a compreensão dos diferentes modos de falhas (Anderson, 2017). O modo I caracteriza-se pela abertura das partes aderidas, resultado na propagação da trinca por tração, enquanto os modos II e III estão associados ao cisalhamento. Neste trabalho, foram realizadas simulações em condições de delaminação de modo I, com base no ensaio DCB (ASTM D 5528-94a, 1994), empregando-se o software de elementos finitos Abaqus®. Para tal, foram utilizados compósitos e adesivos estruturais, modelados utilizando os elementos coesivos em três diferentes metodologias. As implementações com elementos coesivos foram comparadas com abordagens baseadas em contato coesivo e propagação de trincas pelo método dos elementos finitos estendidos (XFEM). Embora as estratégias de simulação apresentem diferenças, todas as formulações envolvem o uso de leis de tração versus separação aplicados aos elementos coesivos, nas quais a evolução da trinca ocorre em função da degradação progressiva da rigidez do domínio. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho consistiu na modelagem do processo de dano e falha em juntas adesivas, com ênfase na comparação entre modelos bidimensionais (2D – CPS4 e COH2D4 para o modelo de elementos coesivos, com discretização em torno de 2.830 elementos) e tridimensionais (3D – C3D e COH3D8 para o modelo de elementos coesivos, com discretização em torno de 32.936 elementos). Esses valores de discretização foram definidos a partir de uma análise de convergência de malha, de modo a assegurar a confiabilidade dos resultados numéricos e o equilíbrio entre custo computacional e precisão. Nas simulações bidimensionais, as condições de contorno foram estabelecidas restringindo-se o substrato inferior nos graus de liberdade translacionais nos eixos x e y, enquanto ao substrato superior, aderido pela camada adesiva, foi imposto um deslocamento de 10 mm no eixo y. Já nos modelos tridimensionais, foram aplicados deslocamentos de 10 mm em ambas as extremidades (superior e inferior) em direções opostas, de modo a reproduzir a condição de carregamento de abertura.

RESULTADOS

Através dos modelos 2D e 3D, foi possível identificar as características relevantes para a análise de falha e danos das juntas adesivas. Entre as características, destaca-se a relação força-deslocamento obtida para cada metodologia utilizada, bem como o comportamento frente à propagação da trinca em função do aumento do deslocamento aplicado. Com base nas Figuras 1 e 2, destaca-se que todos os modelos apresentam comportamento similar com àquele previsto pelos cálculos analíticos da mecânica da fratura, as quais foram desenvolvidas considerando-se a geometria do corpo de prova e as propriedades do adesivo empregado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos modelos realizados no software Abaqus, utilizando elemento coesivo, contato coesivo e XFEM, obteve-se curvas de força em função do deslocamento, nas quais foi possível observar que todas apresentaram comportamento semelhante ao previsto pelas equações da mecânica da fratura. Além disso, verificou-se que os modelos 3D apresentam maior detalhamento na propagação da trinca, enquanto os 2D se mostraram mais simples e eficientes computacionalmente. Dessa forma, confirma-se que a modelagem numérica é uma ferramenta confiável para prever o comportamento de juntas adesivas.

Palavras-chave: juntas coladas; aeronáutica; estruturas; xfem.

ILUSTRAÇÕES

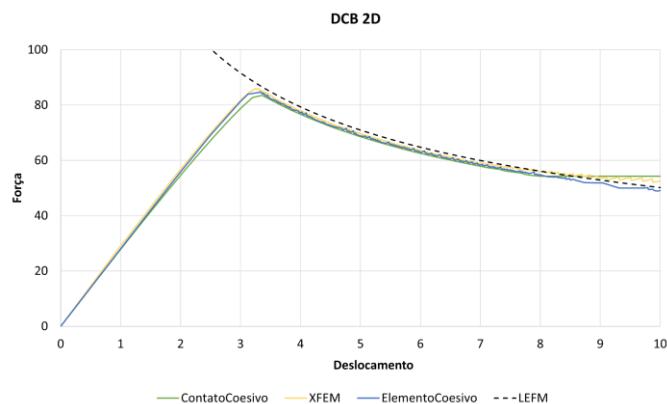


Figura 1. Gráfico força x deslocamento DCB 2D.

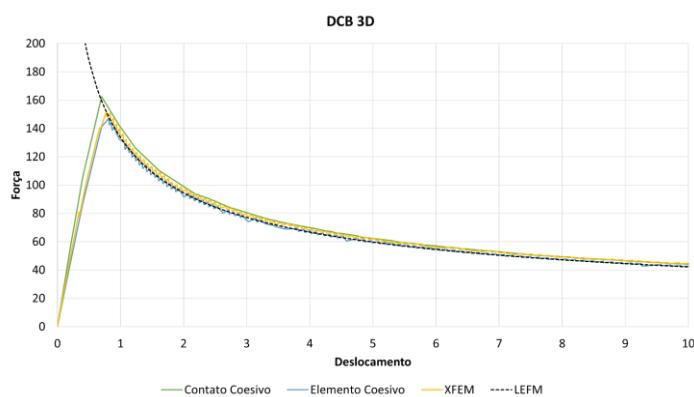


Figura 2. Gráfico força x deslocamento DCB 3D.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D5528-94a: Standard test method for mode I interlaminar fracture toughness of unidirectional fiber-reinforced polymer matrix composites*. West Conshohocken, 1994.

ANDERSON, T. L. Fracture mechanics: fundamentals and applications. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2017

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Caio Pires da Silva

MODALIDADE DE BOLSA: PIBIC/CNPq

VIGÊNCIA: 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR: Prof. Assoc. Ricardo de Medeiros

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia Mecânica

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharia Mecânica / Mecânica dos Sólidos

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Modelagem Computacional e Experimental de Estruturas de Material Compósito.

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP3924-2022