

## SIMULAÇÃO FEM DE DEFEITOS EM REPAROS COMPÓSITOS

Isabel Christina Lueders<sup>1</sup>, Daniel Pedro Willemann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Mecânica – CCT – Bolsista PROIP/UDESC

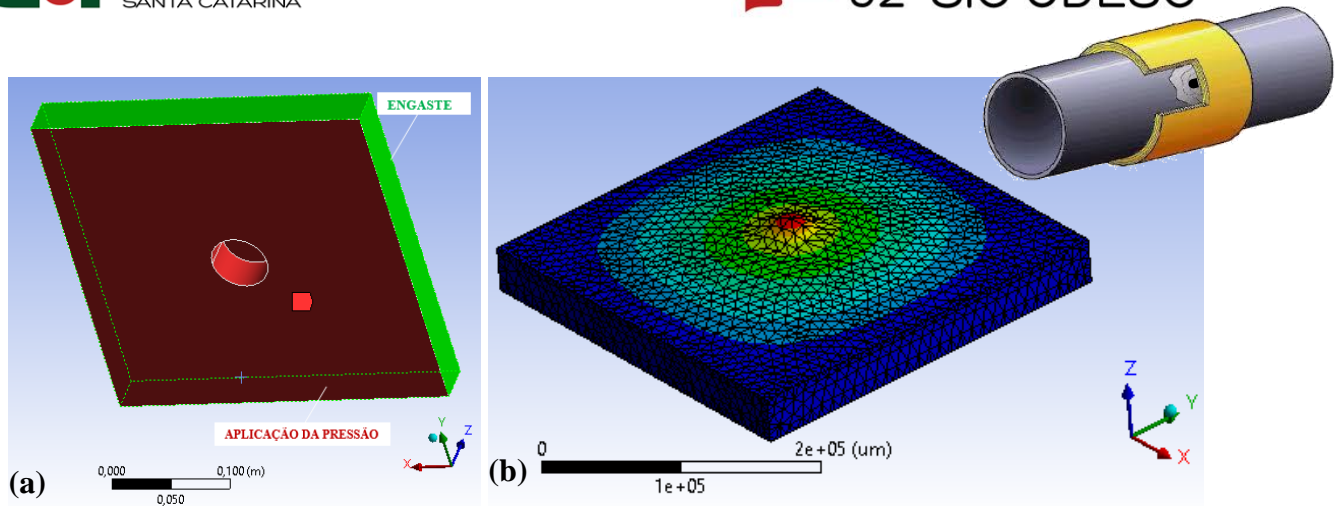
<sup>2</sup> Orientador, Departamento de Engenharia de Pesca – UDESC/Laguna – daniel.willemann@udesc.br

A aplicação de materiais compósitos torna-se cada vez mais abrangente, em especial devido a sua capacidade de combinar propriedades mecânicas e/ou térmicas de diferentes materiais. Assim, os materiais compósitos tendem a apresentar maior resistência à corrosão e melhor relação resistência/peso que materiais metálicos e se tornam muito interessantes para indústrias como a aeroespacial, naval, eólica e, também, de óleo e gás. No caso da indústria de óleo e gás, os reparos compósitos são aplicados ao redor de tubulações metálicas corroídas, recuperando a estrutura, pois servem como reforço estrutural e/ou proteção anticorrosão. Para uma melhor compreensão, uma ilustração deste tipo de reparo pode ser vista no canto superior direito da Figura 1. Devido à ampla aplicação dos materiais compósitos nas indústrias, torna-se essencial o estudo dos defeitos que esse tipo de material pode apresentar, com destaque para as formas não destrutivas de inspeção devido ao alto custo de algumas estruturas, da complexidade de peças produzidas de material compósito e da possibilidade de inspeção com a estrutura em operação.

Atualmente, um exemplo de material compósito amplamente utilizado são as mantas compostas por fibras de carbono ou de vidro, por exemplo, combinadas com polímeros, como a resina epóxi. A aplicação destes reparos é feita de forma manual e, portanto, durante a sua aplicação, é possível a ocorrência de falhas como inclusões de bolhas de ar e descolamentos entre camadas que diminuem a capacidade de reforço estrutural e de proteção anticorrosiva. Dessa forma, é clara a importância de técnicas de inspeção não destrutivas como a *shearografia*. A *shearografia* é uma técnica óptica que mede o campo de microdeformações na superfície da estrutura inspecionada. Nessa técnica, a aplicação de um carregamento externo (mecânico ou térmico) à estrutura inspecionada é necessária para a geração dos campos de deformação a serem medidos pelo sistema de *shearografia*. Basicamente, um sistema de *shearografia* apresenta um módulo de aquisição de imagens, um módulo de iluminação laser e um módulo de excitação (ou carregamento). As imagens processadas via software apresentam um padrão de franjas de interferência. Anomalias neste padrão identificam a presença ou ausência de falhas na estrutura analisada.

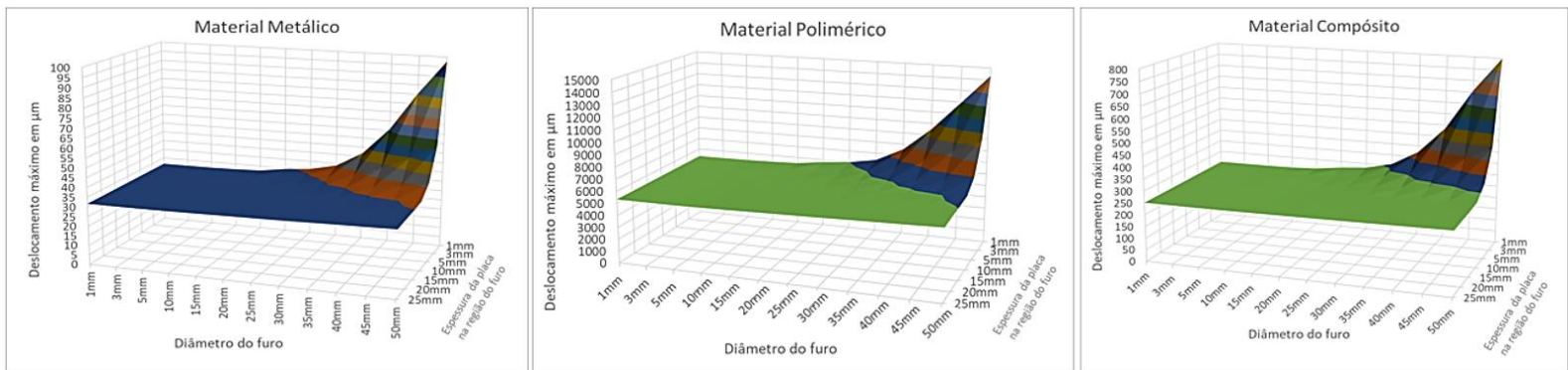
Uma forma de estudar o comportamento de reparos compósitos quando falhas internas estão presentes é através de softwares que realizam o Método por Elementos Finitos (FEM – *Finite Element Methods*). Para essa análise é necessária a criação de um modelo digital 3D, que visa representar as características reais da estrutura. Adicionalmente, utiliza-se ainda um *solver*, que efetua, por exemplo, a análise estrutural estática.

Com o objetivo de simular o comportamento do campo de deslocamentos na superfície de reparos contendo falhas internas, criaram-se geometrias que consistem em placas quadradas de lados igual à 300mm e espessura igual à 35mm, com furo central não passante de diâmetro e profundidade variáveis. Esta é uma forma clássica para a simulação de defeitos a diferentes profundidades. Para a criação dos modelos 3D e geração da malha utilizou-se o software ANSYS. A ancoragem tipo “engaste” foi a condição de contorno empregada nas laterais da placa. Adicionalmente, aplicou-se pressão de 20kgf/cm<sup>2</sup> em um dos lados da placa e no interior do furo, conforme ilustra a Figura 1a. O valor de pressão foi definido com base em recomendações técnicas utilizadas em campo. A Figura 1b ilustra o campo de deslocamentos quando a pressão é aplicada na parte interna do reparo que contém um defeito interno.



**Figura 1.** (a) Condições de Contorno: Engaste em verde e aplicação da pressão em vermelho. (b) Exemplo do padrão de deslocamento obtido nas simulações. Exemplo de reparo aplicado em tubulação corroída e furada (canto superior direito).

Neste trabalho, efetuou-se a análise estrutural estática em 84 modelos diferentes de geometria, variando-se o diâmetro da falha de 1 mm até 50 mm e a espessura da placa na região do furo de 1mm até 25mm. A espessura da placa indica a profundidade do defeito em relação à superfície inspecionada pela *shearografia*. Além das alterações na geometria, efetuou-se a comparação dos modelos com três materiais distintos: material metálico (Aço Estrutural), material polimérico (Polietileno) e material compósito (Fibra de vidro impregnada com Epóxi). Portanto, realizou-se um total de 252 simulações, cujos deslocamentos máximos estão apresentados graficamente na Figura 2.



**Figura 2.** Valores de deslocamento máximo para as diferentes geometrias e materiais simulados.

A comparação entre modelos foi feita com base nos deslocamentos máximos ocorridos no centro do furo em todos os modelos simulados. Nos gráficos apresentados, notam-se claramente os valores mínimos e máximos de deslocamento (em micrometros) para os diferentes materiais. Perceba que defeitos menores e/ou mais profundos produzem menor deformação na superfície do compósito.

Com o resultado destas simulações pode-se verificar que, tanto para materiais isotrópicos quanto para anisotrópicos, existe correlação entre o valor de deslocamento/deformação que a estrutura apresenta na sua superfície e as dimensões da falha presente no seu interior. A partir deste procedimento, experimentos podem ser realizados para a comprovação dos limites de detecção e da sensibilidade da *shearografia* na inspeção dos mais variados tipos de materiais e geometrias dos reparos existentes em campo. É extremamente importante que a *shearografia* e as demais técnicas de inspeção não destrutiva tenham seus limites de detecção conhecidos garantindo-se maior segurança nas inspeções em campo.

**Palavras-chave:** Materiais compósitos, Shearografia, Simulação com Elementos Finitos.