

# COMPARAÇÃO NUMÉRICA X EXPERIMENTAL EM CASOS DE RTM

CARLA MACHADO BULSING DUTRA, CRISTIANO PERES OLIVEIRA, JEFERSON AVILA  
SOUZA

Universidade Federal do Pampa - Travessa 45, nº1650 - Bairro Malafaia, Bagé, RS - 96413-170, Universidade Federal do Pampa -  
Travessa 45, nº1650 - Bairro Malafaia, Bagé, RS - 96413-170, Universidade Federal do Rio Grande – Avenida Itália, Km 8, Rio Grande  
– 96203-900

E-mails: carla\_bulsing@hotmail.com; cristiano.oliveira@unipampa.edu.br; jasouza@furg.br

## Resumo

Este estudo tem por objetivo realizar uma comparação entre a solução numérica e os dados experimentais em casos do processo de Moldagem por Transferência de Resina (RTM). O RTM é uma das técnicas da família de processos de *Liquid Composite Molding* (LCM) e vêm se destacando por se demonstrar um método eficiente e promissor na indústria. Para a realização deste estudo, será utilizado o método de simulação numérica que possibilita prever como ocorre o avanço da resina e as possíveis falhas ou vazios na execução do molde. Os resultados numéricos serão obtidos no software livre OpenFOAM e espera-se obter uma concordância entre os dados encontrados numericamente e os dados experimentais situados na literatura.

## INTRODUCTION

O processo de *Resin Transfer Molding* (RTM) vem consolidando-se como uma alternativa tanto para a indústria como para o comércio. O RTM é uma técnica que ainda se encontra em desenvolvimento científico, mas já se pode inferir que através dela há a possibilidade de planejar e construir peças com bom acabamento superficial, baixo custo dos equipamentos para produção, automação do processo, moldar peças com tamanho grande e integração de partes além, de possuir baixa emissão de solventes (AMORIM JR., 2007). Esse processo utiliza reforço fibroso e poroso para a obtenção de um compósito polimérico e viabiliza uma peça como produto final. O reforço fibroso é depositado em um molde metálico onde posteriormente, é injetado resina. Após a cura da resina, o molde é aberto e a peça final é retirada.

Os compósitos podem ser produzidos a partir de fibras vegetais que são de natureza celulósica e são colhidas de diferentes partes da planta: caule, folha, semente, etc (VIEIRA, 2008). Entre as fibras que estão em utilização nas indústrias podemos citar como exemplos as fibras de coco, curauá, sisal e juta. Algumas das vantagens de se utilizar as fibras vegetais é apresentada por (SILVA, 2010) em seus estudos, em que destaca: biodegradabilidade, atoxicidade, reciclabilidade, baixo custo de produção e processamento, baixa densidade, bom conjunto de propriedades mecânicas, menor abrasividade que as fibras sintéticas. A utilização desses compósitos pode contribuir para a preservação do meio ambiente, pois, são fontes renováveis. Assim, há a possibilidade de que haja uma substituição das fontes não renováveis existentes no mercado e que muitas vezes são provindas do petróleo como, por exemplo, a fibra de vidro. O uso dos compósitos é de grande importância para a diminuição dos impactos ambientais além, de contribuir na diminuição do custo da produção da peça. Embora, ainda existam poucas pesquisas científicas que solidifiquem e difundam a utilização mais evidente desses materiais nas indústrias e no comércio.

As pesquisas científicas em torno do processo de RTM estão em desenvolvimento como destacado anteriormente. Nesse contexto, um tema que desperta o interesse da comunidade científica é relativo à utilização dos métodos numéricos, pois estes podem possibilitar que se obtenha uma projeção do avanço de resina no molde, o fluxo de escoamento de resina e as possíveis regiões que ocorrerão falhas, ou seja, vazios. Assim, permitindo que horas de experimentação em laboratórios cujo, os custos são altíssimo sejam substituídos por simulações em computadores, diminuindo enormemente as despesas dos projetos de pesquisas (SOUZA, 2000). Essas projeções podem auxiliar no aperfeiçoamento das pesquisas já existente afim de que o produto final obtenha uma melhor qualidade.

Neste trabalho é proposto a realização de uma comparação dos resultados numéricos e os dados experimentais em problemas de Moldagem por Transferência de Resina. Para a realização desse estudo será utilizado dois casos diferentes de fibras, sendo elas, a Fibra de Vidro e Fibra de Polipropileno. Para a obtenção dos resultados numéricos será utilizado o programa computacional OpenFOAM e os dados experimentais serão retirados da literatura.

## METODOLOGIA

No processo de Moldagem por Transferência de Resina o modelo matemático utilizado que descreve o avanço de resina em meios porosos é baseado na Lei de Darcy, representada pela equação:

$$V_i = \frac{-K_{ij}}{\mu} \nabla P_i$$

onde,  $V_i$  é a velocidade de escoamento da resina [m/s],  $\mu$  é a viscosidade do fluido [Pa · s],  $P_i$  é a pressão [Pa],  $K_{ij}$  tensor de permeabilidades do meio poroso [m<sup>2</sup>] e  $i, j = 1, 2$  ou  $3$  são índices que representam as componentes do sistema de coordenadas.

Para a resolução dos problemas de RTM utilizaremos o método do VOF – *Volume of Fluid* e a discretização das equações para utilizar o software OpenFOAM será realizada pelo método dos Volumes Finitos. Neste método serão resolvidas as equações de conservação da continuidade, da fração volumétrica e da quantidade de movimento expressas respectivamente por:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

onde,  $\rho$  é a massa específica e [kg/m<sup>3</sup>] e  $V$  é o vetor velocidade. Essa equação corresponde a soma da taxa de variação de massa dentro de cada volume de controle com o fluxo de massa que atravessa a superfície de controle.

$$\frac{\partial(\rho f_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho f_i \vec{V}) = 0$$

onde,  $f_i$  é a fração volumétrica da fase  $i$ . Essa equação permite calcular  $f$  em cada célula em todo o domínio computacional.

$$\frac{\partial(\rho\vec{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{V}\vec{V}) = -\nabla P + \nabla \cdot [\mu\tau_{ij}] + \rho g_i + F_i$$

em que,  $g_i$  é a aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>],  $F_i$  o termo fonte ou forças externas [N],  $\tau_{ij}$  o tensor de tensões [Pa].

Nesse estudo será utilizado os dados experimentais de dois casos de fibras, sendo elas, Fibra de Vidro (FV) e Fibra de Polipropileno (PP). Os cálculos numéricos serão realizados no software OpenFOAM – versão 3.0.1 para que posteriormente seja realizada a comparação destes resultados com os dados experimentais contidos na literatura (OLIVEIRA, 2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, apresenta-se os resultados obtidos numericamente com o OpenFOAM nos dois casos de fibras estudados neste trabalho.

A primeira simulação é referente ao caso da FV e no segundo a PP, onde as propriedades utilizadas são expressas na Tab.1. Em que,  $K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}$  é o tensor de permeabilidade,  $\mu$  é a viscosidade de fluido,  $\varepsilon$  é a porosidade e  $P_0$  é a pressão.

Tabela 1. Propriedades utilizadas na simulação numérica

	$K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}(\text{m}^2)$	$\mu(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\varepsilon(\times 10^{-2})$	$P_0(\times 10^5 \text{Pa})$
FV	$2,76 \cdot 10^{-10}$	0,0412	69,4	0,0634
PP	$1,63 \cdot 10^{-9}$	0,055	80,4	0,0663

Os resultados obtidos com o software OpenFOAM em comparação com os dados experimentais podem ser observados nas Fig. 1 e Fig. 2.

Figura 1 – Comparação numérica x experimental (FV)

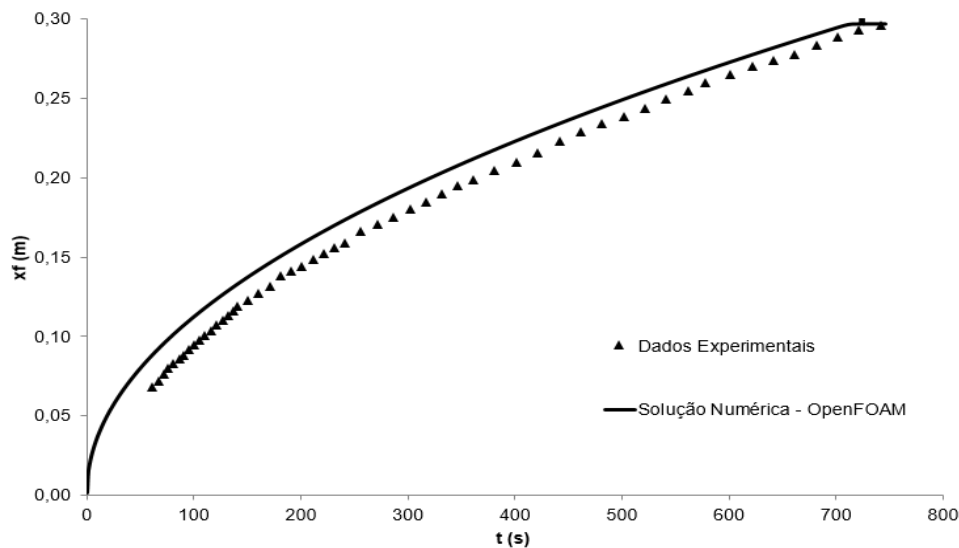
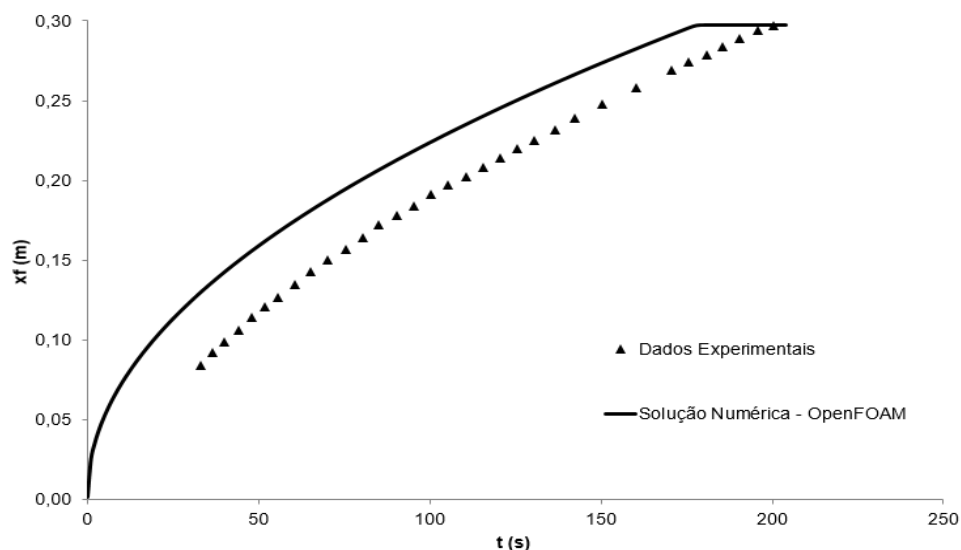


Figura 2 – Comparação numérica x experimental (PP)



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado uma comparação entre os dados experimentais e a solução numérica obtida utilizando o software OpenFOAM. No primeiro caso, referente à Fibra de Vidro, considerando-se o tempo final de injeção atingiu-se um erro de 2,94%, enquanto que no segundo caso, alusiva à Fibra de Polipropileno o erro foi de 10,22%. Pode-se concluir que a técnica é promissora e efetuando pequenos ajustes, é possível atingir resultados ainda mais significativos.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM JR., W.F. *Processamento de Placa Espessa de Compósito Através de Moldagem por Transferência de Resina*. Tese de Doutorado em Ciências e Engenharia Metalúrgica e de Materiais – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- OLIVEIRA, C. P. *Modelagem Numérica do Transporte de Resina em um Meio Poroso Aplicado ao Processo de RTM*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional, 2010.
- SILVA, H.S.P. *Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá e Híbridos com Fibras de Vidro*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre, 2010.
- SOUZA, J. A. *Implementação de um Método de Volumes Finitos com Sistema de Coordenadas Locais para a Solução Acoplada das Equações de Navier-Stokes*. Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade de Santa Catarina; Florianópolis, 2000.
- VIEIRA, C. A. B. *Avaliação de Métodos de Fabricação de Mantas Híbridas de Fibras Curtas de Vidro e Sisal em Compósitos Poliméricos*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Materiais. Universidade de Caxias do Sul; Caxias do Sul, 2008.