

# AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE HOMOGENEIZAÇÃO NUMÉRICA DE UM MATERIAL COMPOSTO VIA MAPLE/ANSYS

## Jariel Augusto Rotta

Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da URI - Erechim

jariel.rotta@hotmail.com

## Jacson Luiz Zaparoli

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da URI - Erechim

jacsonzaparoli@hotmail.com

## Gilson Francisco Paz Soares

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil da URI - Erechim

gilsonfps@uricer.edu.br

**Resumo.** Este trabalho apresenta a automatização do processo de homogeneização numérica de um material composto, através de uma interface Maple/Ansys. Foram usadas condições de contorno simplificadas e os parâmetros de convergência são tensões e deformações médias ponderadas. O processo foi bem sucedido, estando apto à implementações para quaisquer tipos de materiais.

**Palavras-chave:** Automatização. Homogeneização. Material composto.

## 1. INTRODUÇÃO

O tema apresentado neste trabalho é uma automatização do procedimento computacional para um modelamento numérico visando a aplicação de técnicas de homogeneização para determinação do elemento de volume representativo (EVR) de um material composto bifásico particulado constituído de uma matriz cúbica de polimetilmetacrilato (PMMA) e uma segunda fase representada por heterogeneidades esféricas de aço com uma distribuição aleatória. O material composto foi considerado elástico linear e também isotrópico. Foi elaborada uma rotina através de uma interface Maple/Ansys que gerencia o

processo desde a geração da matriz cúbica, das inclusões esféricas, da distribuição aleatória da segunda fase na matriz, do refinamento da malha, da aplicação das condições de contorno, das simulações, até o processamento dos resultados. Os parâmetros de convergência usados como teste para este trabalho foram as tensões e deformações médias ponderadas pelos volumes dos elementos finitos. Para as simulações, foi utilizado o software Ansys Academic Research Mechanical (ANSYS, 2013). Aferido todo o processo de automatização, este poderá ser utilizado para a homogeneização, através da determinação do elemento de volume representativo (EVR), de um material composto de aplicação industrial.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 2.1 Características Físicas

As características físicas do modelo estão apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1. Características físicas

	Módulo de Young (E)	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )
Matriz	3240 MPa	0.25
Inclusões	200 GPa	0.30

Fonte: Callister. 2001.

## 2.2 Rotina Computacional

O diagrama da Fig. 1 apresenta as principais etapas da rotina computacional desenvolvida para o gerenciamento do processo de análise.

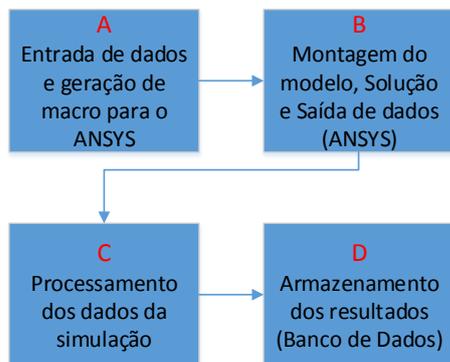


Figura 1. Diagrama de gerenciamento do processo.

Fonte: Autor.

Onde os passos são detalhados a seguir:

A) Início do processo: a rotina desenvolvida no Maple (MAPLE, 2013) é alimentada com os dados referentes ao modelo de estudo. O mesmo atribui posições para as inclusões de forma aleatória, assegurando que não há modelos iguais e gera uma macro para o ANSYS com todas as características do modelo, como físicas, geométricas, de carregamento, de malha e refinamento.

B) Solução do problema de elementos finitos pelo software Ansys Academic Research Mechanical, com entrada de dados geométricos e físicos dos materiais do modelo, malha e condições de contorno e saída de dados de tensão, deformação e volume para cada elemento finito. Este processo é inteiramente controlado pela macro gerada no processo anterior, dispensando qualquer interação do usuário.

C) Processamento dos dados de tensão e deformação obtidos no processo anterior, calculando as propriedades médias ponderadas pelo volume de cada elemento, conforme Eq. (1), Eq. (2) e Eq. (3).

$$\bar{\sigma}_j = \frac{\sum_{i=0}^n (\sigma_i V_i)}{\sum_{i=0}^n V_i} \quad (1)$$

$$\bar{\varepsilon}_j = \frac{\sum_{i=0}^n (\varepsilon_i V_i)}{\sum_{i=0}^n V_i} \quad (2)$$

$$\bar{\sigma}_M \text{ ou } \bar{\varepsilon}_M = \frac{\sum_{j=1}^5 (\bar{\sigma}_j \text{ ou } \bar{\varepsilon}_j)}{j} \quad (3)$$

Onde  $\bar{\sigma}_j$  é a tensão média em uma amostra,  $\bar{\varepsilon}_j$  a deformação média em uma amostra,  $n$  o número elementos finitos contidos no modelo,  $V$  o volume do elemento finito,  $j$  o número da amostra ( $j = 1$  a  $5$ ),  $\bar{\sigma}_M$  e  $\bar{\varepsilon}_M$  as médias dos modelos para tensão e deformação, respectivamente e  $M$  o tamanho do modelo ( $M = 2, 4, 8, 16, 32, 64$  ou  $96$  esferas)

Neste passo a rotina faz a leitura dos dados obtidos no Ansys e calcula as propriedades médias desejadas, gerando uma saída de forma indexada em função da amostra e do tamanho do modelo.

D) Os dados obtidos no passo C são armazenados em formato de banco de dados em uma planilha eletrônica, para geração dos gráficos de tensão e deformação médias.

## 2.3 Elementos e malha

O elemento finito utilizado no modelo para a matriz e inclusões foi o SOLID186 (ANSYS, 2013), que é constituído por até 20 nós com três graus de liberdade por nó, permitindo translações nodais nos sentidos x, y e z. O elemento suporta o regime elástico de tensões e é adequado para modelagem de volumes irregulares, podendo ter qualquer orientação espacial. A Fig. 2 mostra o elemento SOLID186 e a Fig. 3 mostra a malha e refinamento para um modelo de 32 inclusões.

Figure 186.1 SOLID186 Homogenous Structural Solid Geometry

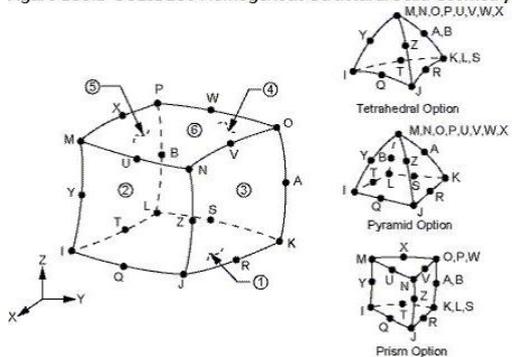


Figura 2 - Arranjos nodais do elemento SOLID186. Fonte: ANSYS. 2013.

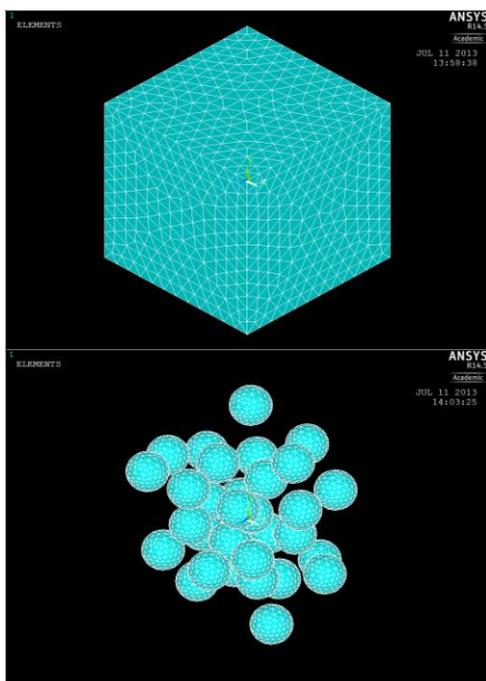


Figura 3 – Malha e refinamento de um modelo com 32 esferas. Fonte: Autor.

## 2.4 Modelos e condições de contorno

Foram estudados modelos com 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 96 esferas sujeitas a condições de contorno de deslocamento prescrito uniformemente distribuído nos três planos de referência (x, y, z) divididas da seguinte forma: na primeira condição de contorno (CC1), foi atribuído um deslocamento de 5% do valor da aresta da matriz, em todas as faces e em sentidos opostos uma a outra, sempre aplicadas com o sentido de saída da face; na segunda (CC2), deslocamento prescrito unitário em todas as faces e na

terceira condição de contorno (CC3) um deslocamento de 5% no plano z, 10% no plano x e 15% no plano y.

## 2.5 Simulações

Foram gerados cinco modelos com todas as configurações de distribuição de esferas (2, 4, 8, 16, 32, 64 e 96). Em seguida aplicou-se cada condição de contorno em todos os modelos e com isso foram retirados os dados de tensão, deformação e volumes para todos os elementos finitos. As Figs. 4 e 5 ilustram a distribuição de tensões (Pa) e deformações, respectivamente. A saída dos resultados no software de simulações pode ser observada na Fig. 6.

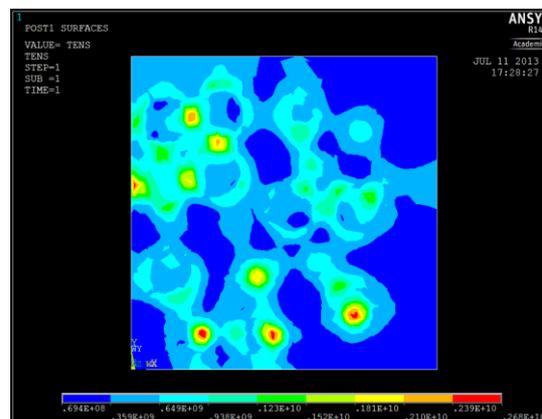


Figura 4 - Corte com distribuição de tensão em um modelo de 64 esferas sujeito à CC2. Fonte: Autor.

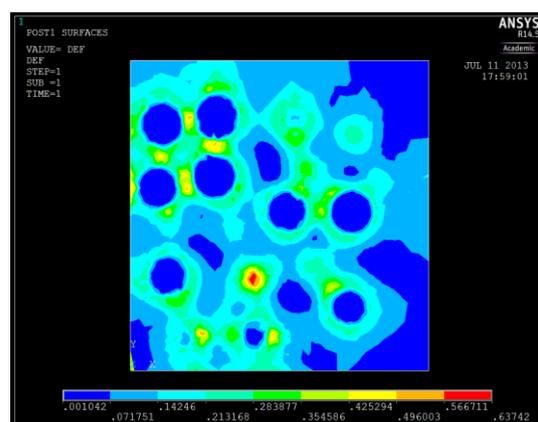


Figura 5 - Corte com distribuição de deformação em um modelo de 64 esferas sujeito à CC2. Fonte: Autor.

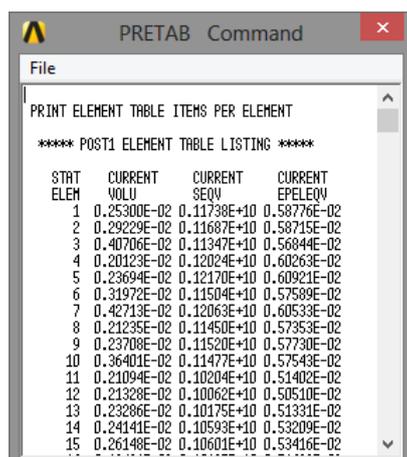


Figura 6 - Saída de resultados – volume, tensão e deformação. Fonte: Autor.

## 2.6 Resultados

A seguir são apresentados nas Figs. 7 e 8 a convergência dos valores das tensões e deformações médias obtidas através das Eqs. (1) a (3).

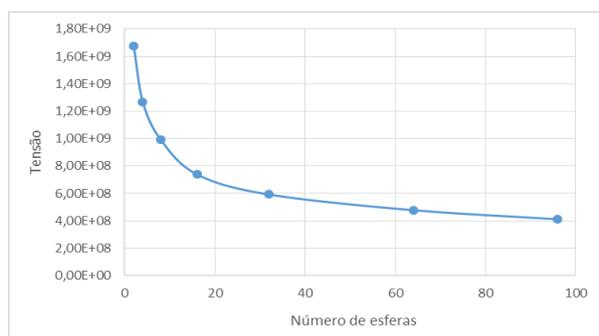


Figura 7 – Tensão média para CC2. Fonte: Autor.

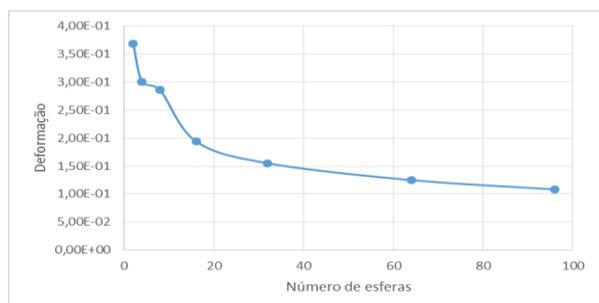


Figura 8 – Deformação Média para CC2. Fonte: Autor.

## 3. CONCLUSÃO

Com a rotina computacional foi possível realizar a confecção dos modelos necessários, para que fossem obtidas as

leituras de tensão, deformação e volume de cada elemento finito em todas as condições de contorno aplicadas. Concluiu-se então que a automatização do processo de simulação via programação foi bem sucedida, uma vez que o mesmo gerencia, de forma eficaz, todo o procedimento, desde a montagem dos modelos até a saída dos resultados das simulações. Desta forma, pode-se, a partir de então, aplicar qualquer condição de contorno, refinamento e características de materiais, para o estudo do comportamento do material composto no que se refere à tensões e deformações, como por exemplo, a aplicação do critério de Hill (Zohdi, 2002) para determinação do EVR.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido da URI – Erechim e FAPERGS pelas bolsas de Iniciação Científica PIIC/URI e PROBIC/FAPERGS concedidas aos acadêmicos.

## 4. REFERÊNCIAS

ZOHDI, T.I. *Advanced School on Computational Micromechanics of Materials Science, Course Notes, International Centre for Mechanical Sciences*. Udine – Italia, 2002.

ANSYS. *Ansys Structural Analysis Guide*. Disponível em: <[http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/145/ans\\_str.pdf](http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/145/ans_str.pdf)>. Acesso em 3 jan. 2013.

MAPLE. *Maple Online Help*. Disponível em: <<http://www.maplesoft.com/support/help/index.aspx>>. Acesso em 11 jul. 2013.

CALLISTER, W. D. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. 20. ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 2001.