

# DESENVOLVIMENTO DE MATRIZES PELA AVALIAÇÃO DE GEOMETRIAS ALTERNATIVAS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS <sup>1</sup>

*Guilherme Castro Rubim Moura<sup>2</sup>  
Maria Teresa Paulino Aguilár<sup>3</sup>  
Haroldo Béria Campos<sup>4</sup>  
Antônio Eustáquio de Melo Pertence<sup>5</sup>  
Paulo Roberto Cetlin<sup>6</sup>*

## Resumo

O uso de processos de conformação mecânica na produção de bens de consumo tem sido parte integrante da estratégia de melhoria da produtividade e redução de custos vigente nas indústrias em geral, notadamente na automobilística e de autopeças. Isto se deve ao fato que este processo possibilita a fabricação de grandes séries de componentes mecânicos, com baixo custo e melhoria das propriedades mecânicas do material utilizado. Neste sentido, observa-se um grande esforço no estudo e aplicação dos processos de conformação em geral e no desenvolvimento e melhoria do ferramental necessário. No presente artigo é feita a avaliação de uma matriz de conformação mecânica utilizada na obtenção do copo de um amortecedor automotivo, que apresentou problemas de produção de peças com acabamento superficial ruim e de fratura precoce da matriz. Utilizando-se a simulação pelo método de elementos finitos é proposta uma alteração geométrica no conjunto constituído pela matriz, punção e aperta-chapa visando a solução do problema em questão.

**Palavras-chave:** Elementos finitos; Estampagem de chapas; Amortecedor automotivo

<sup>(1)</sup> Artigo a ser apresentado no 3º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 10 a 12 de agosto, na sede da ABM, São Paulo.

<sup>(2)</sup> Pós Graduação Eng. Metalúrgica e de Materiais da UFMG

<sup>(3)</sup> Profa. Adjunta do Depto. de Eng. de Materiais e da Construção Civil da UFMG

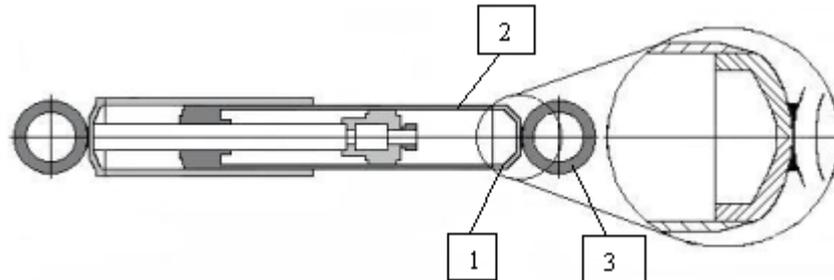
<sup>(4)</sup> Prof. Adjunto do Depto. de Eng. Mecânica da UFMG

<sup>(5)</sup> Prof. Adjunto do Depto. de Eng. Mecânica da UFMG

<sup>(6)</sup> Prof. Titular do Depto. de Eng. Metalúrgica e de Materiais da UFMG

## 1 INTRODUÇÃO

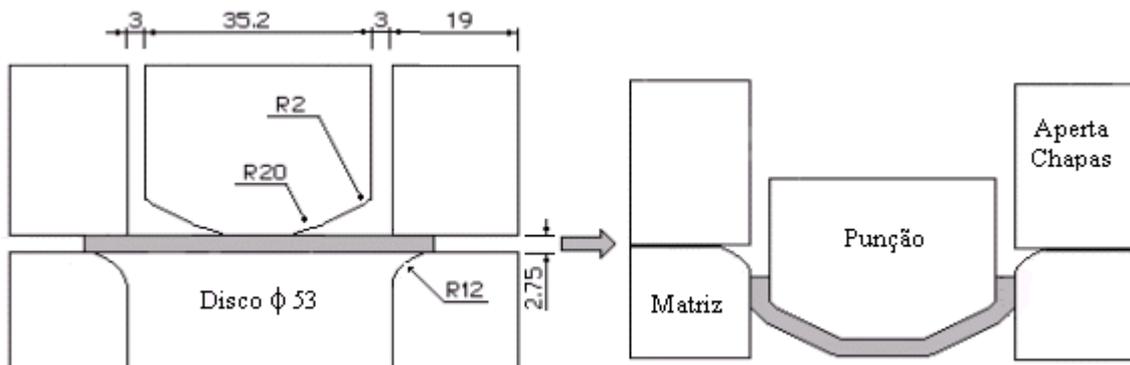
A Figura 1 ilustra um amortecedor automotivo típico. O copo do amortecedor (1), discutido neste trabalho, fica soldado na carcaça tubular (2) e no olhal de posicionamento (3) do amortecedor. O olhal é aparafusado na suspensão do automóvel, possibilitando ao amortecedor receber as oscilações e impactos transmitidos pelas rodas à carroceria. (BASSO e FANTI, 1999)



**Figura 1.** Ilustração de um amortecedor e detalhe da peça avaliada.

A fabricação do copo do amortecedor é feita através do deslocamento de um punção sobre um esboço cilíndrico, apoiado em uma matriz rígida, ilustrados na Figura 2, que também mostra a seção transversal do conjunto punção, matriz e aperta-chapa e suas principais dimensões em milímetros. O esboço é fixado por um aperta-chapa com carregamento constante de 1kN.

O esboço consiste em um disco de aço-carbono AISI 1008 com 26,7mm de raio e 2,75mm de espessura nominal. Os componentes da matriz de conformação por estampagem foram fabricados com aço-ferramenta D3 (2.0%C, 11.50%Cr, 0.30%Mn, 0.20%V, Dureza HRC 56-64, temperado e revenido).



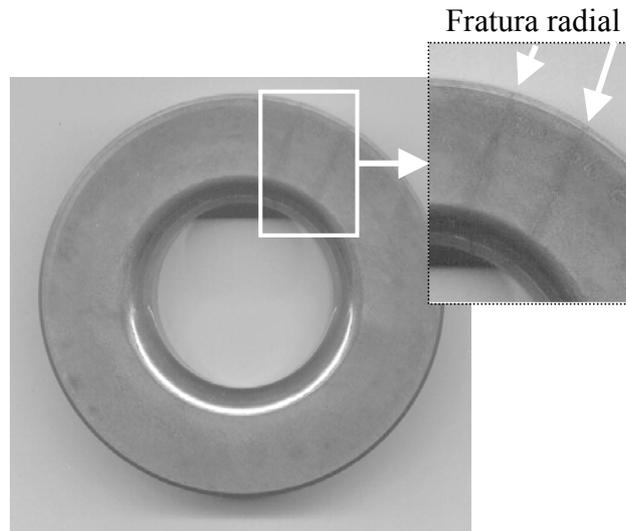
**Figura 2.** Ilustração das ferramentas e o esboço antes e depois da estampagem.

Observou-se que após a fabricação de cerca de 500 peças, a matriz de conformação por estampagem do copo do amortecedor apresentava danos, que levavam a um acabamento superficial intolerável nas peças e exigia o polimento e troca freqüente da matriz.

Outro problema encontrado foi a fratura radial ocasional da matriz, ilustrada na Figura 3.

O objetivo do presente artigo foi realizar uma análise dos problemas encontrados, propondo mudanças no projeto das matrizes, de forma a adequá-la aos materiais usuais utilizados em matrizes de estampagem. Para isso, inicialmente foi realizada uma simulação pelo método de elementos finitos do processo de

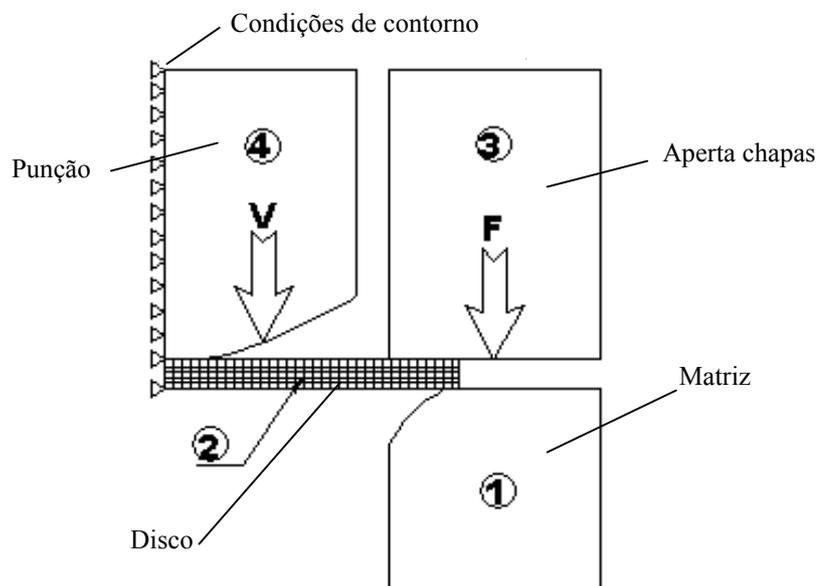
fabricação do copo do amortecedor, visando analisar os esforços envolvidos na operação, propondo uma alteração geométrica do conjunto constituído pela matriz, punção e aperta-chapa.



**Figura 3.** Trincas radiais na matriz de estampagem.

## 2 METODOLOGIA

O processo de conformação do copo do amortecedor foi simulado através do método dos elementos finitos, no software DEFORM<sup>®</sup> para plataformas Windows (SFTC, 2005). Esta simulação foi denominada CA-0-1, e a Figura 4 mostra o desenho utilizado para a modelagem das 4 peças.



**Figura 4.** Ilustração do ferramental como simulado no DEFORM

A simulação foi realizada para uma situação de axissimetria. Na análise do carregamento na peça estampada, as ferramentas 3 e 4 foram consideradas rígidas, não sofrendo, portanto, nenhuma deformação no decorrer do processo. Visando possibilitar a análise das tensões na matriz 1, esta peça foi considerada como

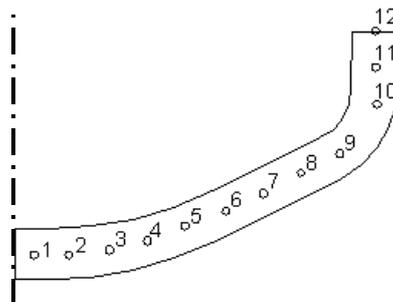
elástica, utilizando-se uma malha de 3500 elementos quadráticos, módulo de elasticidade  $E=202$  GPa e  $\nu=0,3$ .

No caso da simulação do esboço (peça 2, Figura 4) foram avaliadas diversas malhas de elementos finitos, visando minimizar o tempo de processamento e melhorar os resultados da simulação. Escolheu-se a malha com 3000 elementos. A densidade na região de maior deformação na estampagem foi 5 vezes maior que na região próxima à linha de centro da peça. Foram obtidas oscilações de carga das ferramentas de 8% do valor máximo da carga. O tempo de simulação foi bastante elevado, cerca de cinco vezes maior que aquele observado na malha de 500 elementos, que, no entanto, conduziu a variações de carga na matriz durante a simulação da ordem de 45% do valor máximo da carga.

A matriz permaneceu imóvel em todas as simulações realizadas. A velocidade de avanço da punção foi de 10mm/s. A carga ( $F$ , na Figura 4) no aperta chapa foi a mesma da simulação real. Na simulação do material do esboço (2, na Figura 4), utilizou-se a curva tensão-deformação para o aço AISI 1008 disponível na biblioteca interna do DEFORM<sup>®</sup>. O tempo de avanço da ferramenta por passo de simulação foi de 0,01s. A simulação foi feita em 225 passos.

A validação da simulação numérica em relação à realidade experimental foi feita comparando-se as espessuras de determinadas regiões da peça real em relação às simulações numéricas. Foram escolhidos 16 pontos na peça para comparação dimensional, dispostos segundo a Figura 5. A distância horizontal entre os pontos 1 a 9 e a distância vertical dos pontos 10 a 12 foi de 2mm.

As dimensões numéricas são obtidas através da indicação, pelo usuário do DEFORM, de um ponto final e inicial, de onde o software indica a distância entre estes, através da interpolação das coordenadas dos nós deformados e outros fatores geométricos pertinentes. As dimensões da peça real foram obtidas através de um projetor de perfis MITUTOYO PJ311, com uma lente de aumento de 20X. As medições foram obtidas através da leitura de mostradores digitais com precisão de 1/1000 mm.



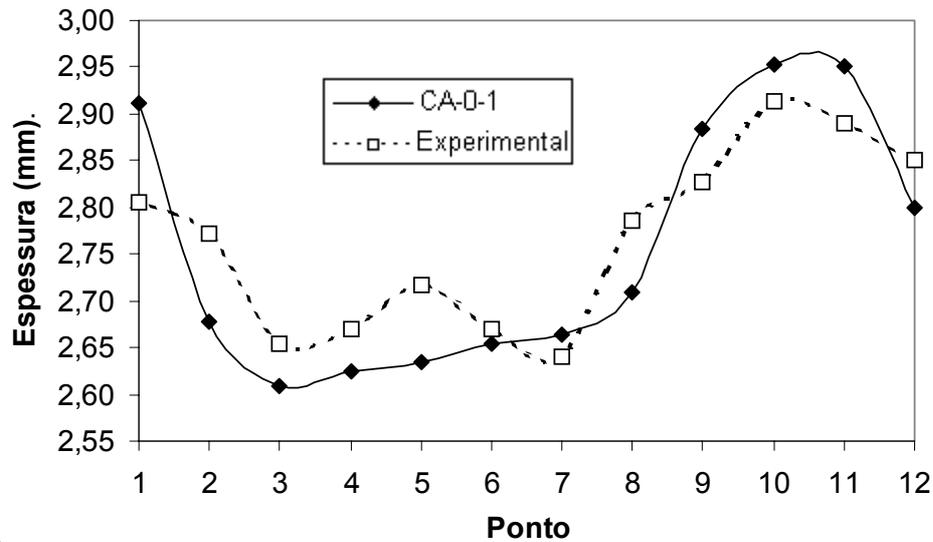
**Figura 5.** Localização dos pontos de medição nos perfis real e numérico do copo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

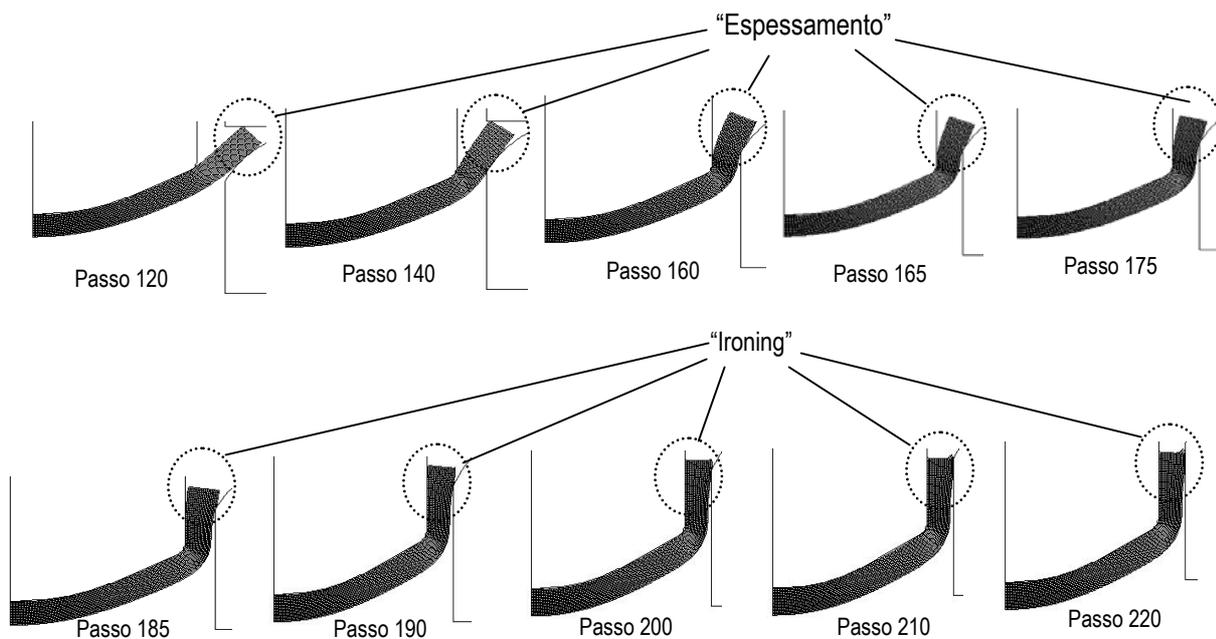
A Figura 6 mostra as dimensões obtidas para a simulação computacional (aqui denominada CA-0-1) as medidas obtidas a partir da peça real. Observa-se uma boa concordância entre os dois resultados, indicando assim a adequação da simulação ora realizada. É de importância observar que nos pontos 9 a 12 há um aumento da espessura do esboço, indicando espessamento do material conformado.

A Figura 7 mostra o espessamento mencionado, de acordo com as previsões da simulação numérica. Nos passes 120 a 175, a região mais externa do esboço sofre uma compressão circunferencial, e sua espessura é aumentada. Esta região passa

então por uma operação de “ironing” entre o punção e a matriz, ilustrada nos passes 185 a 220.



**Figura 6.** Comparação das espessuras da peça real com as previstas através da simulação numérica.

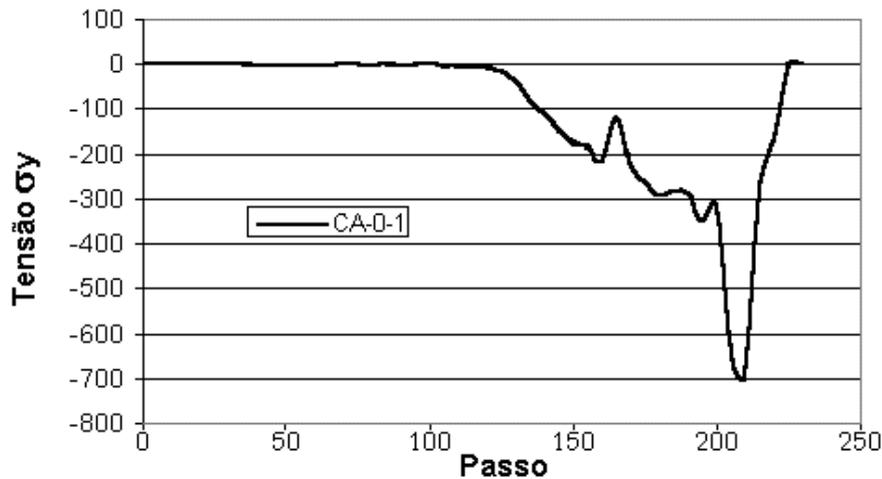


**Figura 7.** “Espessamento” e “ironing” na simulação numérica da estampagem do copo do amortecedor.

As trincas ilustradas na Figura 3 são provocadas pelas tensões circunferenciais sobre a matriz, durante a estampagem. A análise numérica revelou que as máximas tensões circunferenciais agindo sobre a matriz ocorrem na região do raio interno desta peça. Nos resultados mostrados na Figura 8, o processo de “ironing” conduz a um máximo em torno do passo 210, atingindo um valor de 681 MPa.

No presente caso, a adoção de insertos cerâmicos na matriz, visando contornar os problemas de desgaste, só poderia ser tentado caso esses insertos estivessem submetidos a uma pré-compressão circunferencial por interferência, quando de sua montagem. Caso contrário, a baixa tenacidade à fratura de tais materiais certamente levaria à sua fratura frágil após poucas operações de estampagem (WULPI, 1985;

DIETER, 1997; ASHBY, 1992). A alteração do projeto das matrizes parece ser a melhor opção para resolver os problemas relatados.



**Figura 8.** Evolução da máxima tensão circunferencial sobre a matriz ao longo da estampagem.

A análise da evolução da pressão de contato entre o material e a matriz e da tensão circunferencial imposta à matriz durante a estampagem indica que esses parâmetros apresentam valores críticos somente durante a fase em que ocorre o “ironing” do material entre o punção e a matriz. A matriz, porém, não deve ter sua geometria alterada, sobretudo por definir o diâmetro externo da peça, que deve ser criterioso sob pena de inadequação na soldagem da carcaça do amortecedor. Por outro lado, alterações da geometria da punção são uma opção viável, caso permitam uma diminuição do “ironing” acima mencionado. A Figura 9 ilustra duas opções de projeto do punção analisadas (denominadas simulações CA-0-2 e CA-0-3 respectivamente), visando solucionar as dificuldades relatadas na fabricação do copo do amortecedor. Os resultados numéricos para a simulação das 3 situações em discussão (CA-0-1, CA-0-2 e CA-0-3) mostrados na Figura 10 indica que o ironing é diminuído pela adoção das novas geometrias dos punções.

A Figura 11 mostra os resultados da espessura dos copos de amortecedores, obtidos pela simulação numérica com os 3 tipos de punções em análise, comparados com os resultados experimentais já apresentados.

Observa-se que as simulações CA-02 e CA-03 indicam uma espessura ligeiramente maior para o material na borda do copo. Uma vez que o diâmetro externo desta peça permaneceu inalterada, esse pequeno aumento de espessura não representa dificuldades, do ponto de vista de montagem e soldagem do copo ao corpo do amortecedor.

A Figura 12 mostra os resultados da simulação para a máxima tensão circunferencial agindo sobre a matriz, para as três geometrias do punção em discussão. Observa-se uma diminuição da tensão máxima de 681 MPa, na simulação CA-01, para cerca de 190 MPa, nas simulações CA-02 e CA-03

O fator de intensidade de tensões crítico ( $K_{Ic}$ ) do material da matriz varia entre 20 to 30  $MN/m^{-3/2}$ . (CES 4.1, 2003). Considerando o valor máxima da tensão circunferencial indicado acima ( $\sigma_y = 681$  MPa), pode-se calcular um tamanho máximo da trinca que a matriz tolerará sem que haja fratura frágil, através da equação (1) :

$$K_{Ic} = \sigma_y \sqrt{\pi \cdot c} \quad (1)$$

Onde  $c$  é a profundidade de uma trinca superficial. Para a tensão de 681 Mpa, chega-se a uma profundidade máxima tolerável da trinca de 0,27mm para  $K_{IC}=20$  e 0,62mm para  $K_{IC}=30 \text{ MN/m}^{-3/2}$ . Tais profundidades podem ser obtidas como resultado dos tratamentos térmicos da matriz e agravados pelos riscos originados pelo desgaste da matriz. Os mesmos valores de tamanho de trinca, calculados agora para a situação de processamento com os punções modificados, levando a uma tensão circunferencial de 190 Mpa, seriam 3,5 mm para  $K_{IC}=20$  e 7,9 mm para  $K_{IC}=30 \text{ MN/m}^{-3/2}$ . Tais profundidades de trinca não são usuais em matrizes de estampagem, e é pouco provável que a matriz sofra fraturas frágeis, o que foi confirmado na prática industrial.

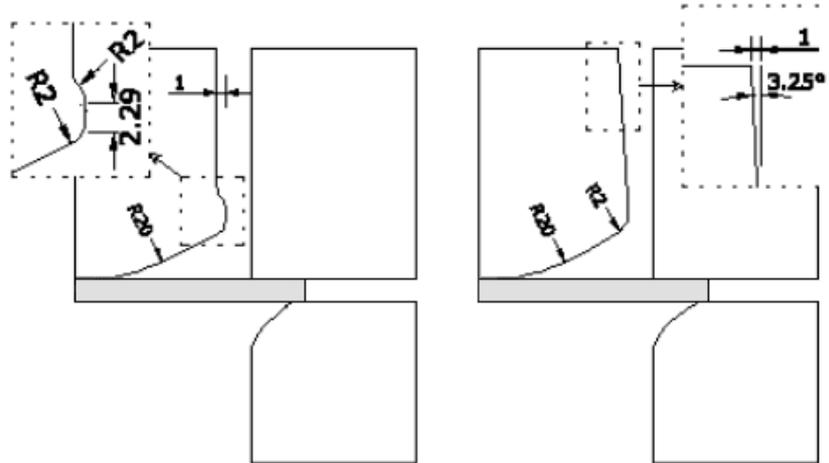


Figura 9. Ilustração das simulações CA-0-2 (a) e CA-0-3 (b)

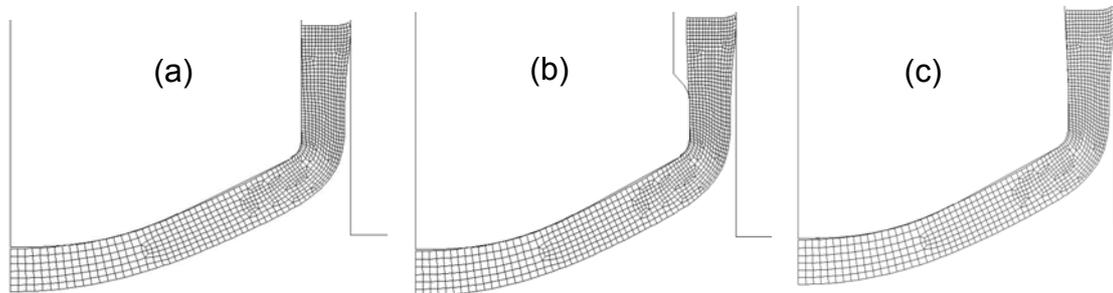


Figura 10. Malha de elementos finitos no 225º passo com a simulação CA-0-1 (a), CA-0-2 (b) e CA-0-3 (c)

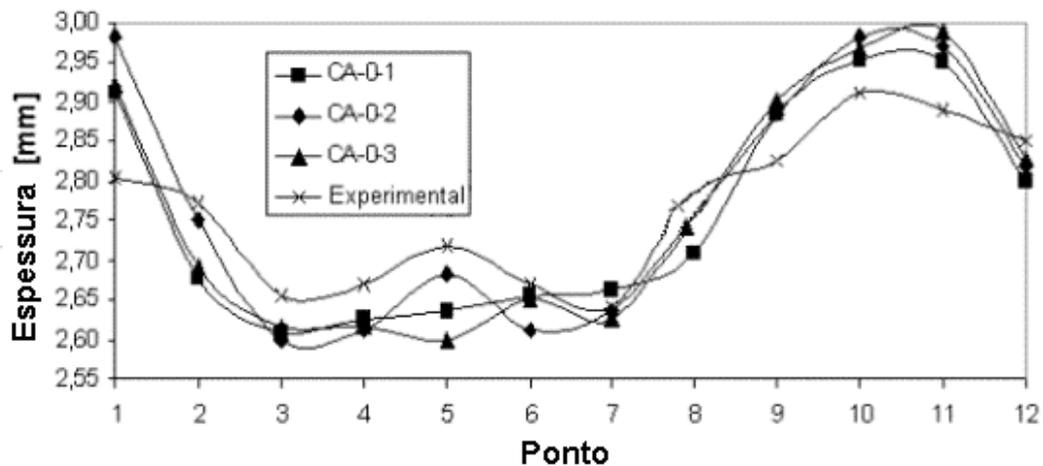
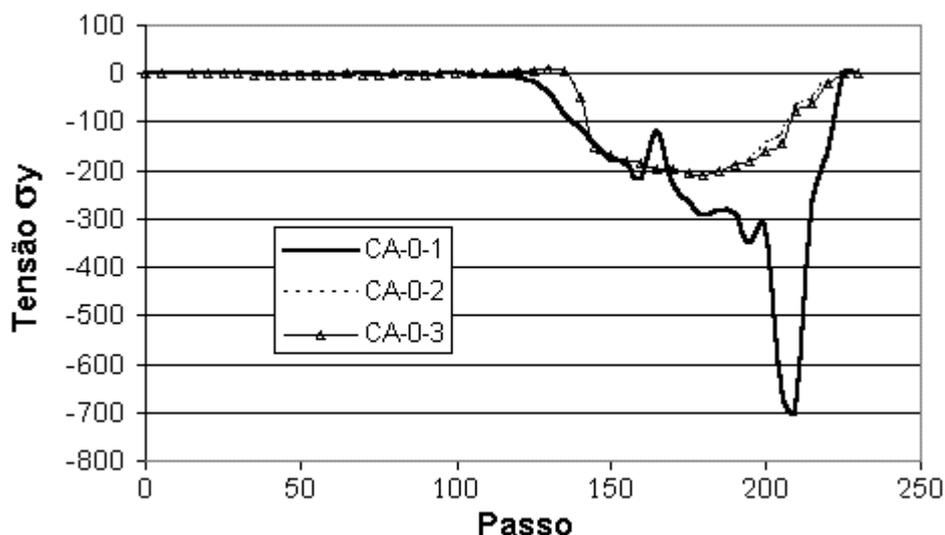


Figura 11. Comparação do perfil da peça real e das três simulações por elementos finitos.



**Figura 12.** Evolução da máxima tensão circunferencial sobre a matriz ao longo da estampagem para os três punções empregados.

#### 4 CONCLUSÕES

As simulações numéricas feitas no software DEFORM<sup>®</sup> indicaram a boa validade da simulação frente ao processo de conformação real, sobretudo pela similaridade dimensional entre a peça real e as simulações por elementos finitos.

A falha por desgaste na matriz de conformação por estampagem do copo do amortecedor automotivo se deve às elevadas pressões de contato entre o material e a matriz durante a fase de “ironing” observada durante a estampagem. Nesta mesma fase, ocorrem elevadas tensões circunferenciais, que provocam a fratura frágil radial da matriz.

Os problemas encontrados foram contornados através de alterações na geometria dos punções, que representa uma alternativa mais simples e barata que trocas do material da matriz e eventual aplicação de pré-tensão circunferencial nesta peça.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do PRONEX-MCT, CNPq-MCT and CAPES-MEC.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BASSO, R., and G. FANTI, Proceedings of the First International **Conference on the Integration of Dynamics, Monitoring and Control (DYMAC 99)**, Manchester, United Kingdom, Sept. 1-3, 1999
- 2 **Scientific Forming Technologies Corporation**, Ohio, USA, 2005
- 3 WULPI, D. J., Understanding How Components Fail, 1<sup>st</sup>. ed., **American Society for Metals**, Metals Park, Ohio, USA, 1985.
- 4 DIETER, G. E. (Ed), **Metals Handbook**, vol. 20 (Materials Selection and Design), ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 1997.
- 5 ASHBY, M. F., **Materials Selection in Mechanical Design**, 1<sup>st</sup>. Edition, Pergamon Press, Oxford, 1992, p. 22.
- 6 CES 4.1, **EduPack Software**, Granta Corporation, 2003.

# DEVELOPMENT OF DIE FOR THE EVALUATION OF ALTERNATIVE GEOMETRY THROUGH THE SIMULATION FOR THE FINITE ELEMENT METHOD

*Guilherme Castro Rubim Moura<sup>1</sup>  
Maria Teresa Paulino Aguiar<sup>2</sup>  
Haroldo Béria Campos<sup>3</sup>  
Antônio Eustáquio de Melo Pertence<sup>4</sup>  
Paulo Roberto Cetlin<sup>5</sup>*

## **Abstract**

The use of metal forming processes in the production of manufactory products has been part of the strategy of improvement of the productivity and effective reduction of costs in the industries in general. This is due to the fact that this process makes possible the manufacture of great series of mechanical components, with low cost and improvement of the mechanical properties of the used material. In this direction, one in general observes a great effort in the study and application of the metal forming processes and in the development and improvement of the necessary tool rack. In the present article the evaluation of the die used in the attainment a automotive shock absorber cap, that presented problems of production of parts with bad superficial finishing and precocious breaking of the die Using it simulation for the finite elements method is proposal a geometric alteration in the set consisting of the die, punch and press-plate aiming at the solution of the problem in question.

**Key-words:** Finite element method; Plate stamping; Automotive shock absorber.

<sup>1</sup> *Postgraduate Department of Metallurgical and Materials Engineering, Federal University of Minas Gerais*

<sup>2</sup> *Department of Construction and Materials, Federal University of Minas Gerais*

<sup>3</sup> *Department of Mechanical Engineering, Federal University of Minas Gerais*

<sup>4</sup> *Department of Mechanical Engineering, Federal University of Minas Gerais*

<sup>5</sup> *Department of Metallurgical and Materials Engineering, Federal University of Minas Gerais*