

## Software

# Projeto computacional de ferramenta para produção de componentes automotivos

Atualmente, grande parte dos componentes utilizados na indústria automotiva é produzida por conformação mecânica de chapas, tais como carrocerias, elementos internos do painel e peças estruturais. Este artigo demonstra o desenvolvimento de um projeto de ferramenta para o suporte dos cabos de freio, no qual a validação computacional do processo foi feita antes da sua fabricação efetiva, de forma a evitar o custoso método de tentativa e erro. Essa validação, feita com uso do *software* Dynaform, indica as zonas com maiores solicitações mecânicas (tensão e deformação), a espessura e a geometria da peça em cada etapa do processo.

F. A. Lora, C. C. Yurgel, L. Folle e L. Schaeffer

O Estado da Bahia recentemente tem experimentado a instalação bem-sucedida de empresas fabricantes de autopeças e de produtos automotivos vendidos diretamente ao consumidor (Ford, Sodecia, BSB, Ferrolene, Arvin, Krupp, Forja Bahia, Centrotampa, Gerdau e Fixar), além de equipamentos de linha branca (Britânia, Faet e Mondial). A instalação dessas empresas tem trazido também a necessidade do desenvolvimento de uma rede de fornecedores locais, tan-

to de componentes como de sistemas completos, que permitiriam reduzir o custo do produto final por proporcionarem economia em logística e tributos, como também em assessoria técnica.

Atualmente, grande parte dos componentes utilizados na indústria automotiva são produzidos pelo processo de conformação mecânica de chapas<sup>(2)</sup>, tendo como exemplos carrocerias, componentes internos do painel e componentes estruturais. Uma grande atenção tem sido dada

para a redução do volume e peso dos produtos<sup>(1)</sup>; por outro lado, é necessário saber se a deformação desejada pode ser realizada na peça<sup>(3)</sup>.

O objetivo final da estampagem, feita a partir de um blanque ou de uma tira de chapa, é a manufatura de uma peça que apresente o formato e as dimensões desejadas, sem defeitos ou falhas. O formato do produto após o seu processamento é definido pelo ferramental, o blanque e os parâmetros de processo adotados. Erros no projeto do ferramental ou no formato do blanque, bem como a escolha inadequada do material a ser processado ou dos

Fábio André Lora (lora@cimatec.fieb.org.br) e Charles Chemale Yurgel fazem parte do Senai Cimatec (Salvador, BA). Luis Folle (luis.folle@ufrgs.br) e Lírio Schaeffer são pesquisadores do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), vinculado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre. Este artigo foi apresentado durante o 20º Cobem – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, realizado em Gramado (RS) entre os dias 15 e 20 de novembro de 2009. Reprodução autorizada.

## Software

parâmetros de processo, podem gerar um produto com geometria inadequada ou com falhas.

Para simular um processo de conformação de chapa metálica são requeridos, inicialmente, o modelo CAD das ferramentas de conformação (punção, matriz e prensa-chapas), as propriedades mecânicas do material usado e outros parâmetros de processo, como força de prensa-chapas, lubrificação e geometria<sup>(4)</sup>.

O objetivo deste estudo é apresentar a metodologia usada para a fabricação de uma ferramenta de conformação de chapa para fabricação de um componente automotivo, tendo em vista que nessas condições trabalha-se com alta produção e custos reduzidos. Este trabalho



Fig. 1 – Desenho da peça a ser produzida

foi desenvolvido dentro de um programa de inovação fomentado pelo Departamento Nacional do Senai (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial).

### Metodologia

No desenvolvimento de ferramentas para conformação de chapas metálicas, o tempo gasto no projeto e, posteriormente, no *try out*, torna-se uma variável de grande influência nos custos das

ferramentarias. No *try out* – etapa em que é feita a validação prática da ferramenta no equipamento – podem aparecer erros, como rebarbas e retorno elástico da peça, que não foram previstos na etapa de projeto da ferramenta, o que demanda o retrabalho da ferramenta e, conseqüentemente, tempo e custo maiores.

Neste trabalho foi empregada a metodologia da engenharia reversa, que consistiu na produção de um componente utilizado na indústria automobilística para, a partir dele, desenvolver uma ferramenta para sua produção. Realizou-se a planificação da peça, o pré-projeto da ferramenta, a validação da ferramenta por simulação computacional e, finalmente, a sua fabricação.

## QUALIDADE GARANTIDA PELOS NOSSOS SERVIÇOS E PARCEIROS

CHAPAS E PLACAS DE 1/4" A 18" DE ESPESSURA  
Distribuidor das Maiores Usinas Siderúrgicas do País




- Oxicorte CNC
- Plasma de Alta Definição CNC
- Prensa Hidráulica para Conformação

Produtos 100% Rastreáveis  
Garantia de Procedência  
Empresa Certificada ISO 9001:2000




CONSULTE NOSSA LINHA DE PRODUTOS  
tel 11 2641.5211  
fax 11 2641.3191  
vendas@acosradial.com.br  
www.acosradial.com.br





## Qualidade que excede suas expectativas

**Perfiladeiras · Desbobinadores  
Ferramentas e Automação**







**SEGMENTOS DE ATUAÇÃO**

- Implementos Rodoviários · Linha Branca
- Automobilística · Metalúrgicas · Construção Civil
- Implementos Agrícolas · Armazenagem

R: Alberto José Ismael, 630 - Quinta das Palmeiras - São José do Rio Preto/SP | CEP: 15080-410  
Tel/Fax: 17 3216-3704 · comercial@camasi.com.br  
www.camasi.com.br

### Geometria do componente

A peça a ser fabricada pela ferramenta em estudo é o suporte dos cabos do freio usado em automóveis de passeio, que tem a função de apoiar os cabos de freio que passam embaixo do veículo. Devido ao meio em que atua, essa peça é tratada superficialmente para aumento da resistência à corrosão. O desenho do componente a ser fabricado pode ser visto na figura 1 (pág. 84).

### Pré-projeto da ferramenta

Para o desenvolvimento da ferramenta é feito um pré-projeto, visando estimar as etapas de fabricação do componente. A primeira etapa consiste em definir o processo de fabricação e o dimensionamento da matriz e dos punções que darão a forma final ao componente. Algumas

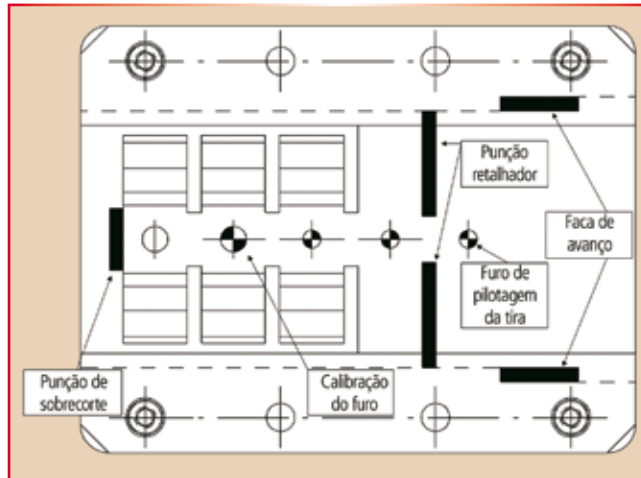


Fig. 2 – Esquema do pré-projeto da ferramenta mostrando todos os passos da passagem da tira

definições feitas previamente podem ser citadas, como:

- O processo será realizado em uma ferramenta progressiva (com vários processos dentro de uma mesma ferramenta), sendo necessária apenas uma ferramenta para a produção do componente;
- Para fabricação do componente serão necessárias etapas de corte e dobramento;
- Será explorado o máximo aproveitamento da tira nas operações de corte e dobramento<sup>(5)</sup>;
- Será empregada a técnica de corte convencional: produção de peças com média tolerância, valor e com média frequência de produção. Esse processo é executado em prensas com estrutura tipo C<sup>(6)</sup>;
- Serão utilizadas tiras para alimentação da ferramenta;
- A tira será introduzida por um alimentador, de forma que o processo se torne automático. Com esse tipo de alimentador, o material para produção será fornecido em forma de bobinas;
- Serão inseridas facas de avanço na ferramenta para auxiliar no alinhamento da tira. A colocação de uma faca de avanço de cada lado auxilia o controle dimensional da tira, tendo em vista que essas dimensões podem variar conforme as tolerâncias especificadas para a tira;

## Harris-Brastak e sua nova linha de produtos

### Equipamentos para corte e solda de metais

**BRASTAK**  
BY HARRIS

A alta tecnologia e qualidade Harris, com equipamentos projetados e fabricados nos EUA e na Europa, vêm aliar-se à tradição e experiência da Brastak, trazendo para o Brasil produtos totalmente compatíveis com os padrões nacionais. A melhor solução em corte e solda.

Série 80

Maçarico de Corte Manual  
BR531

Série 30

Série 70

Série 20

Série 80

**HARRIS**  
**BRASTAK**

Harris Soldas Especiais S.A.  
Av. Industrial, 1255 09080-510 Santo André (SP)  
Tel.: (55 11) 4993 8111 Fax (55 11) 4993 8116  
vendas@brastak.com.br  
www.brastak.com.br  
www.harrisproductsgroup.com

## Software

- Será aumentado o comprimento dos punções retalhadores, que separam as peças, de forma a realizar um sobrecorte no final do processo, garantindo a exclusão das marcas de corte nas laterais da peça;
- Serão inseridos “pilotos” para a tira. Depois do processo de corte, o posicionamento da tira não é mais controlado pela guia, contudo é necessário que ela continue guiada. Serão usados furos centrais na tira para passagem dos pilotos, sendo que na última etapa é realizada a calibração do furo, conforme o desenho da peça;
- Os punções de dobramento deverão ser assessorados com molas, garantindo o seu bom

**Tab. 1 – Propriedades da matéria-prima do componente**

Componente	Especificação
Material da tira	ABNT 1008
Módulo de Young	207 GPa
Coefficiente de Poisson	0,28
C (coeficiente de resistência)	520 MPa
n (índice de encruamento)	0,24
$r_0$ (anisotropia a 0°)	1,86
$r_{45}$ (anisotropia a 45°)	1,72
$r_{90}$ (anisotropia a 90°)	2,28
Tensão máxima	441 MPa
Tensão de escoamento	126 MPa
Deformação máxima	0,5

funcionamento mesmo com uma possível imprecisão de deslocamento do martelo da prensa;

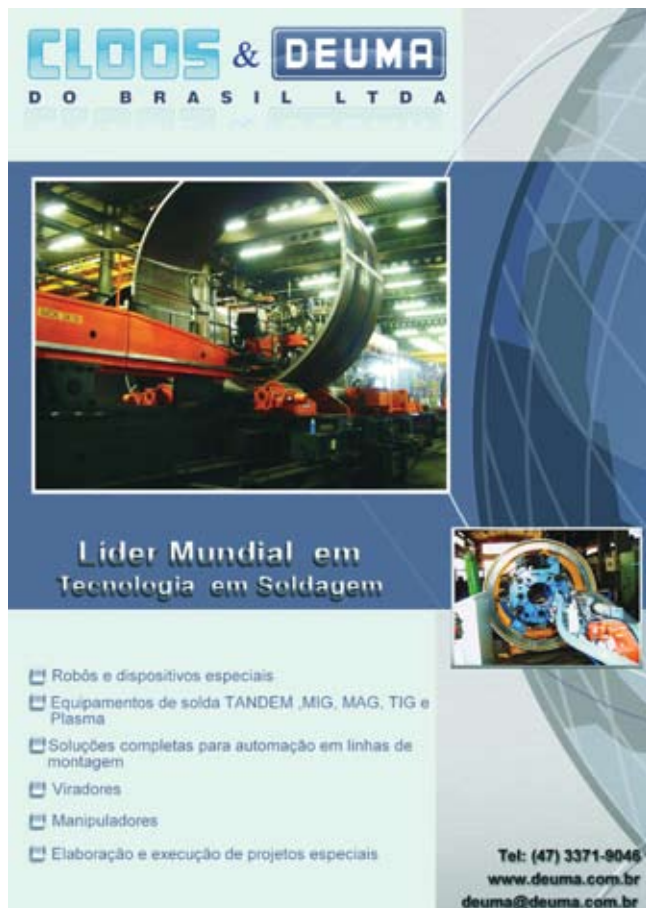
- Será incluída uma placa intermediária no porta-estampo

**Tab. 2 – Parâmetros do processo de simulação**

Parâmetros	Valor
Velocidade do punção	15 mm/s
Coefficiente de atrito	0,13
Crítério de escoamento	Hill 1948
Geometria do blanque	76 x 18 x 2 mm

(guiada pelas colunas do porta-estampo), que servirá como guia dos punções, garantindo o seu alinhamento com a matriz;

- Utilização de prensa-chapas através de guia de punção, de modo que sua força seja exercida por molas;
- Na etapa de corte por cisalhamento, a folga entre o punção e a matriz deverá ser calculada de acordo com a espessura do material (a folga é de, aproxi-



**CLOOS & DEUMA**  
DO BRASIL LTDA

**Lider Mundial em Tecnologia em Soldagem**

- Robôs e dispositivos especiais
- Equipamentos de solda TANDEM, MIG, MAG, TIG e Plasma
- Soluções completas para automação em linhas de montagem
- Viradores
- Manipuladores
- Elaboração e execução de projetos especiais

Tel: (47) 3371-9046  
www.deuma.com.br  
deuma@deuma.com.br



**Perfilados Granado**

Perfis especiais laminados a frio, em aço, latão, inox ou cobre. Uniformidade e especificação garantidas pelo sistema de fabricação "Roll Forming" em barras com até 20m de comprimento. Departamento de projetos e ferramentaria próprios.

[www.perfiladosgranado.com.br](http://www.perfiladosgranado.com.br)

Av. Rosa Kasinski, 781 - Capuava - Mauá  
CEP 09380-128 - São Paulo - Brasil  
Tel: 55 11 4555-7192 / Fax: 55 11 4555-7193

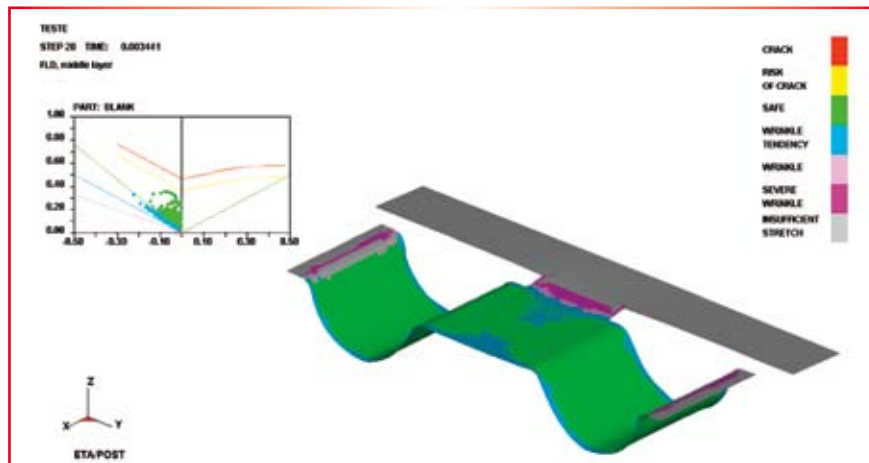


Fig. 3 – Conformação da peça com o defeito de abas

madamente, cinco centésimos da espessura)<sup>(7)</sup>;

- Na etapa de dobramento, o retorno elástico do material deverá ser considerado, e deverá corresponder a um valor pré-definido;

Com as definições do pré-projeto prontas, foi realizada a planificação da peça. Para calcular as dimensões que o blanque deve ter, a peça final foi modelada no *software* SolidWorks, e a dimensão da linha que passa na metade da espessura foi medida, gerando o valor da largura do blanque. Como a peça apresenta dobras apenas no sentido longitudinal, a largura do blanque no sentido transversal é a mesma da peça final.

Após a elaboração do pré-projeto da ferramenta, foi possível realizar a sua validação por meio de simulação numérica computacional, evitando assim possíveis falhas no componente e menor tempo de *try out*. Na figura 2 (pág. 85) observa-se o esquema do pré-projeto da ferramenta através dos processos que a tira sofrerá.

### Simulação computacional

A simulação computacional é realizada a fim de validar a ferramenta pré-projetada. Essa validação é feita com a inserção de vários parâmetros, como propriedades do material, geometria da ferramenta e variáveis do processo (velocidade do punção, força, deslocamento, entre outras). A validação computacional foi realizada no *software* de simulação DynaForm5.6 e LS-Dyna971, que tem aplicação na conformação de chapas.

O componente foi produzido com o aço ABNT 1008, e as características desse material foram importadas da biblioteca do *software*. As propriedades utilizadas podem ser vistas na tabela 1 (pág. 86). No processo de simulação computacional alguns parâmetros precisaram ser especificados de acordo com o processo real; esses parâmetros utilizados são descritos na tabela 2 (pág. 86).

Algumas propriedades particulares do ETA/Dynaform são descritas abaixo:

- Tipo de contato usado: "Form one way surface to surface".

# JIER

JIER MACHINE-TOOL GROUP CO., LTD.

Um dos maiores fabricantes de  
Prensas do Mundo!



MAIS DE 6000 PRENSAS  
FABRICADAS

Outras Prensas em Fabricação

Prensas mecânicas  
(60 a 7.500 ton)

Tandem | High Speed | Transfer

Assistência Técnica local e  
permanente

Engenharia Própria

Projetos Turn-Key

PRIMEIRA PRENSA DE GRANDE PORTE  
JÁ INSTALADA NO BRASIL



www.cydak.com.br | vendas@cydak.com.br

(11) 4341-3050 | (11) 9700-8033  
São Bernardo do Campo - São Paulo

## Software

Esse contato é usado para modelar corpos rígidos que usam elementos do tipo casca; nesse caso é necessário que a espessura do corpo rígido seja levada em consideração.

- Tipo de deslocamento empregado: "Single action". O movimento das ferramentas é relacionado com o tipo de deslocamento das mesmas (*draw type*). É definida uma ação simples, o movimento é executado pela matriz e o punção permanece estático. No caso do simples efeito, tanto o deslocamento como as forças de sujeição do prensa-chapas são atribuídas à matriz.
- Propriedade aplicada à geratriz (blaque): A propriedade Belytschko-Tsay é usada para

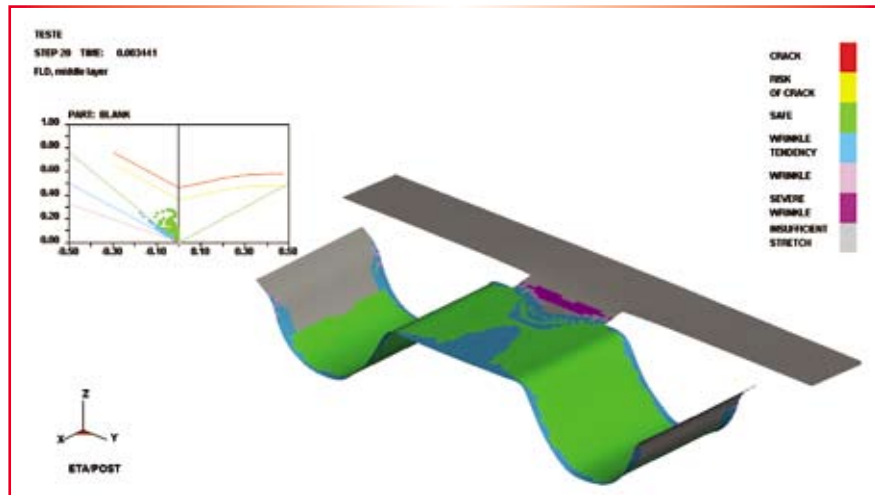


Fig. 4 – Conformação da peça sem o defeito de abas

definir o tipo de formulação matemática que será aplicado nos elementos do tipo casca da geratriz. Essa propriedade é amplamente usada em simulações de estampagem.

O elemento usado para definir as ferramentas (punção, matriz e

prensa chapas) é do tipo casca, indeformável.

### Projeto e fabricação da ferramenta

O projeto da ferramenta de conformação estará concluído quando todos os seus componentes estiverem discriminados, tais como

**ALIMENTADORES PARA PRENSAS**

- Alimentadores Pneumáticos
- Alimentadores Eletrônicos
- Desbobinadores • Endreitadores
- Endreitador/Alimentador Eletrônico
- Linhas de Corte Transversal

Excelência em alimentação de prensas

**HONZIK**  
Alimentadores para Prensas

(51) 3586-2858  
(51) 3595-4658

[www.honzik.com.br](http://www.honzik.com.br)

**oximig**<sup>®</sup>

TELEFONE PARA CONTATO:  
(11) 2100-4824

[www.oximig.com.br](http://www.oximig.com.br)  
[oximig@oximig.com.br](mailto:oximig@oximig.com.br)  
[comercial@oximig.com.br](mailto:comercial@oximig.com.br)

-Acessórios para o corte elétrico  
-Desenvolvimento e produção de pistolas, tochas e acessórios para soldagem ao arco elétrico

REFERÊNCIA NACIONAL EM SEU SEGMENTO HA  
**25**  
ANOS

molos, porta-estampo, parafusos, entre outros. Após a sua conclusão, o projeto da ferramenta é encaminhado para a fabricação por usinagem, seguida de tratamentos térmicos.

## Análise dos resultados

### Simulação computacional

A simulação computacional relacionou todas as características do processo e do material na conformação da tira. Já para a validação da ferramenta foi utilizado o *software* Dynaform 5.6, específico para simular processos de estampagem.

Na figura 3 (pág. 87) é possível observar a geometria da peça após o seu primeiro estágio de dobramento, resultante da simulação computacional. É possível notar que as deformações da peça estão todas dentro da região segura da

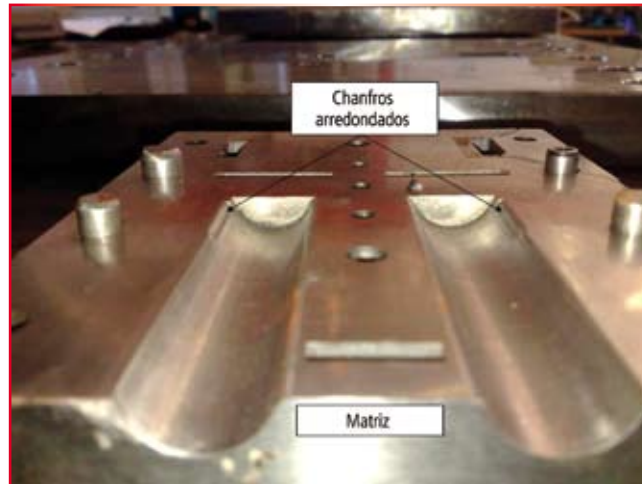


Fig. 5 – Detalhe do chanfro gerado na matriz

curva-limite de conformação do material (quadro na parte superior à esquerda). Isso mostra que o material da chapa não apresentará trincas ou defeitos prematuros. Entretanto, nas extremidades da peça há um dobramento indesejado (o formato original da peça não apresenta tal dobra), que revela que a peça apresentará o defeito de “abas” nas extremidades logo na primeira etapa da fabricação. Esse é um problema que deve ser evitado já nessa primeira etapa, pois as fases seguintes são apenas de calibração do formato final, e

não preveem o desdobramento dessas abas.

O defeito encontrado deve-se ao fato de o material ter sido repuxado, em vez de ser apenas dobrado. Para a solução desse problema foi sugerida a alteração de algumas dimensões da matriz, como:

- A inserção de um chanfro arredondado na primeira etapa de dobramento da peça, que possibilitaria um melhor escoamento do material naquela região, evitando que ele ficasse preso entre a matriz e a guia da chapa;
- O aumento da altura da guia da chapa, o que reduziria a restrição ao escoamento do material;

A primeira modificação realizada foi a inserção de chanfros arredondados na matriz, visando melhorar o escoamento do mate-



## PLASMA E OXICORTE

### Máquina de Corte CNC

Velocidade máxima 20m/mim  
Largura útil padrão de 1500, 2500, 3000mm  
Até 12.000 mm de comprimento útil  
Oxicorte com operação automática  
Sensor de altura com dispositivo anti-colisão

**TEL: 27.2127-9999 – FAX: 27.2127-9955**  
Veja máquina em operação em nosso site

[www.automatica.com.br](http://www.automatica.com.br)





**BOTAM**  
oxicorte

A BOTAM OXICORTE PLANEJA O FUTURO INVESTINDO NO PRESENTE

**LASER  
OXICORTE  
PLASMA  
DOBRA**

Av. São Paulo nº1771 - Paulicéia  
Piracicaba/SP CEP:13401-541  
Fone: 19 3447-7500 fax: 19 3447-7509  
e-mail: botam@terra.com.br

## Software

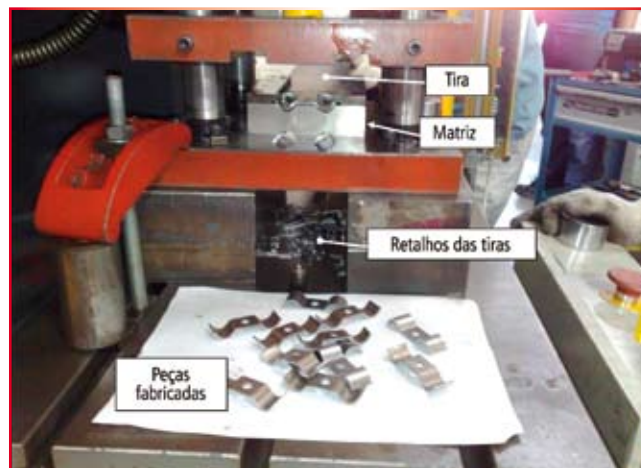


Fig. 6 – Posicionamento do estampo na prensa e componentes fabricados

**MASATO** AUTOMAÇÃO

USINAGEM CNC  
SOLDAGEM  
PROJETOS 3D

sempre uma nova  
solução p/ soldagem

www.soldaautomatica.com.br

soldaautomatica@uol.com.br

TEL: (11) 4976-1677

rial para a região de dobramento da peça. Na figura 4 (pág. 88) é possível observar a primeira etapa de dobramento com a inserção dos chanfros na matriz, demonstrando que as “abas” foram praticamente eliminadas.

Nas figuras 3 e 4 nota-se também que a peça está unida a uma tira de mesma dimensão do blank. Essa tira foi inserida intencionalmente durante a simulação, já que durante a primeira etapa do processo real de fabricação a peça ainda está unida à tira de chapa que a originou. Uma vez que as simulações têm a função de prever o comportamento real das peças em desenvolvimento,

elas têm de ser realizadas com a maior fidelidade possível à realidade.

### Projeto e fabricação da ferramenta

Após o término da simulação para validação da ferramenta pré-projetada, é realizado o seu projeto definitivo, assim como o dimensionamento de todos os componentes que serão necessários para o seu funcionamento. Em seguida, o projeto concluído deve ser encaminhado para a ferramentaria, que fabricará a ferramenta real. Na figura 5 (pág. 89) pode-se observar a matriz da ferramenta, com destaque



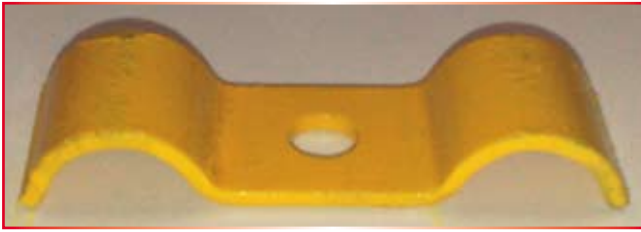


Fig. 7 – Peça produzida pela ferramenta fabricada no projeto

para o chanfro necessário para a conformação do componente, conforme indicado pela simulação numérica.

Para realização do *try out* da ferramenta utilizou-se uma prensa excêntrica de 40 t; na figura 6 (pág. 90) é possível observar a ferramenta já inserida na prensa e os componentes produzidos com ela. Já a figura 7 mostra com detalhes o componente produzido pela ferramenta.

### Conclusões

- As metodologias de desenvolvimento de projetos devem ser seguidas para evitar possíveis falhas e custos elevados durante a fabricação da peça;
- É necessário elaborar um pré-projeto para discussão das etapas e parâmetros a

diminuir o tempo de desenvolvimento do projeto;

- A simulação numérica do projeto foi fundamental para a diminuição do tempo de *try out*, haja visto que uma possível falha na ferramenta foi descoberta antes da realização do seu projeto e fabricação;
- É possível concluir que a simulação numérica auxilia o desenvolvimento de ferramentas de conformação de chapas, reduzindo custos e possíveis retrabalhos que poderiam se mostrar necessários durante o *try out* da ferramenta.

### Agradecimentos

A equipe de pesquisa do projeto agradece ao Departamento Nacional do Senai pelo fomento do projeto de pesquisa e pelo apoio

serem usados entre os membros da equipe, pois isso ajuda a

prestado durante o seu desenvolvimento. Agradecemos também à empresa CARHEJ Nordeste pela colaboração no desenvolvimento do projeto.

### Referências

- 1) B. LIN, C. KUO. Application of an integrated RE/FP/CAD/CAE/CAM system for magnesium alloy shell of mobile phone. In: *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, p. 2.818–2.830, 2009.
- 2) M. SAMUEL, Numerical and experimental investigations of forming limit diagrams in metal sheets. In: *J. Mater. Process. Technology*, v. 153–154 (2004), p. 424–431.
- 3) M.H. CHEN, L. GAO, D.W. ZUO, M. WANG. Application of the forming limit stress diagram to forming limit prediction for the multi-step forming of auto panels. In: *Journal of Materials Processing Technology*, v. 187–188, p. 173–177, 2007.
- 4) K. HARIHARAN, C. BALAJI. Material optimization: a case study using sheet metal-forming analysis. In: *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, p. 324–331, 2009.
- 5) E. L. A. MESQUITA, L. L. RUGANI. *Estampagem dos aços inoxidáveis*, dez. 1997.
- 6) HELLWIG, W., SEMLINGER, E. *Spanlose fertigung stanzen*, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1996.
- 7) PROVENZA, F. *Estampos II*, Editora F. Provenza, 1993.



“Fabricamos também roletes e ferramentas para todos os tipos de pertiladeiras”

**FIorentINI**  
**CUSTO/BENEFÍCIO**  
**INIGUALÁVEL**

Av. Antonio Buono, 209 - Vila Guarani - São Paulo - SP - CEP 03382-000

Fiorentini@fiorentini.com.br - www.fiorentini.com.br

TEL.: (11) 2301-3655 | 2918-2931