

# UTILIZAÇÃO DO SISTEMA CAD/ CAE/CAM PARA O FORJAMENTO A QUENTE EM MATRIZ FECHADA DE UMA BIELA PARA FERRAMENTAS MOTORIZADAS<sup>1</sup>

Vinícius Martins<sup>2</sup>

Luana De Lucca de Costa<sup>3</sup>

Fábio Junkes Correa<sup>4</sup>

Paulo Ricardo Böesch Júnior<sup>5</sup>

Lírio Schaeffer<sup>6</sup>

## Resumo

A utilização do softwares do sistema CAD/CAE/CAM torna-se cada vez mais importante para o desenvolvimento do processo de forjamento em matriz fechada. A ferramenta CAE possibilita a avaliação do processo de forjamento virtualmente para otimização da produção industrial reduzindo o custo final do produto através do mínimo uso da matéria-prima, juntamente com a previsão das variáveis que ocorrem durante a conformação do material no processo. As ferramentas motorizadas são máquinas movidas à motor de combustão interna de pequeno porte que permitem diversos serviços domésticos e de utilidade pública, tais como, motosserras, cortadores de disco, roçadeiras, pulverizadores, atomizadores e motocultivadores. O objetivo deste trabalho é apresentar os recursos dos softwares no forjamento de uma biela para as ferramentas motorizadas.

**Palavras-chave:** Sistema CAD/CAE/CAM; Forjamento a quente; Matriz fechada; Biela; Ferramentas motorizadas.

## USE SYSTEM CAD / CAE / CAM FOR HOT CLOSED DIE FORGING ROD FOR POWER TOOLS

### Abstract

The use of the system software CAD/CAE/CAM becomes increasingly important for the development of the process of closed die forging. The tool CAE enables the assessment of the forging process to virtually optimization of industrial production reduces the cost of the final product through the use of minimum raw material, together with the prediction of the variables which occur during forming of the material in the process. The power tools are machines moved by internal combustion engine small to allow many domestic services and public utility such as chain saws, cutters, trimmers, sprayers, cultivators and sprayers. The objective of this paper is to present the features of the software in the forging of a connecting rod for power tools

**Keywords:** system CAD/CAE/CAM, hot forging, closed die forging, rod, power tools.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Tecnólogo em fabricação mecânica. Prof. Instituto Federal Sul Rio-grandense IFSul.. Doutorando. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. [viniciushiper@yahoo.com.br](mailto:viniciushiper@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Engenheira mecânica. Mestranda. Depto. de Metalurgia, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil [luana.lucca@ufrgs.br](mailto:luana.lucca@ufrgs.br)

<sup>4</sup> Engenheiro mecânico. Mestrando. Depto. de Metalurgia, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil Porto Alegre, RS, Brasil [fabio.correa@ufrgs.br](mailto:fabio.correa@ufrgs.br)

<sup>5</sup> Tecnólogo em fabricação mecânica. Depto. de Metalurgia, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil Porto Alegre, RS, Brasil [paulo.boesch@ufrgs.br](mailto:paulo.boesch@ufrgs.br)

<sup>6</sup> Engenheiro mecânico. Prof. Dr. -Ing. Coordenador. LdTM, PPGEM, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil. [schaefer@ufrgs.br](mailto:schaefer@ufrgs.br)

## 1 INTRODUÇÃO

As tecnologias computacionais são os recursos utilizados para atendimento das demandas do processo produtivo de forjados, pois possibilitam aprimorar ações de desenvolvimento admitindo maior facilidade, eficácia e agilidade na obtenção de produtos e processos inovadores. Desse modo, a incorporação de sistemas computacionais em processos de fabricação permitem a otimização no desenvolvimento de produtos forjados, tomada prévia de decisão em cada fase do processo e redução da repetição de tarefas que oneram o desenvolvimento de produtos e processos em tempo e custo.<sup>(1)</sup>

Os processos de conformação plástica dos metais, tais como o forjamento, devido às suas características como ferramental, custo elevado de equipamentos e alto tempo de preparação da máquina, utilizam os softwares do sistema CAD/CAE/CAM na avaliação do processo de forjamento virtualmente para otimização da produção industrial visando a redução do custo final do produto a partir do mínimo uso da matéria-prima, juntamente com a previsão das variáveis que ocorrem durante a conformação do material no processo.<sup>(2)</sup>

No forjamento de bielas a descrição tri-dimensional de um componente no sistema CAD (*Computer Aided Design*), dentro de tolerâncias que atingem o mínimo 1/10mm é fundamental para uso destas informações para etapas seguintes: simulação computacional (CAE) ou fabricação de matrizes (CAM).<sup>(3)</sup>

Na fase da simulação computacional do projeto CAE (*Computer Aided Engineering*) são executadas etapas de simulação do processo, sendo divididas em dois tipos básicos de simulação: a estática e a dinâmica.

Na simulação dinâmica são revisadas as equações de forjamento: preenchimento das matrizes, definição da necessidade de formas intermediárias, esforços que ocorrem no ferramental, influência do tipo de máquina, preenchimento exato das cavidades, análise da influência de raios e cantos, deformação elástica das matrizes, determinação da garganta de rebarba, avaliação dos efeitos da dilatação térmica, determinação da linha de repartição, etc.

Observa-se, portanto que na etapa da simulação são executadas operações de controle de um projeto estabelecido preliminarmente pelo projetista na etapa do desenho (CAD). No caso de se verificar que o esforço é exagerado para o equipamento disponível deve-se, por exemplo, projetar o forjamento de uma operação intermediária. Caso seja verificado um preenchimento imparcial da cavidade devem ser alterados raios, ângulos ou até mudar a temperatura de forjamento. No caso em que se verifica uma deformação elástica das matrizes (como no caso do forjamento a frio) é necessário prever um encamisamento do ferramental. Estes são alguns exemplos da etapa de simulação. No passado estas etapas eram sempre analisadas em prolongadas e oneradas operações experimentais.<sup>(4)</sup>

Uma vez atendidas todas as condições de forjamento as informações retornam para o desenhista (CAD) onde se executarão os desenhos do ferramental final. É possível que ocorra um processo interativo entre o desenho e a simulação até a otimização final do projeto. Uma vez definida a ferramenta encaminham-se as informações para o processo de fabricação do ferramental.<sup>(5)</sup>

Após ter sido otimizado o projeto de um forjado (CAD) com um rigoroso acompanhamento da análise sobre o efeito das variáveis no processo (CAE) passa-se à etapa de fabricação do ferramental com a ajuda do CAM (*Computer Aided Manufacture*). A construção do ferramental com máquinas de usinagem com

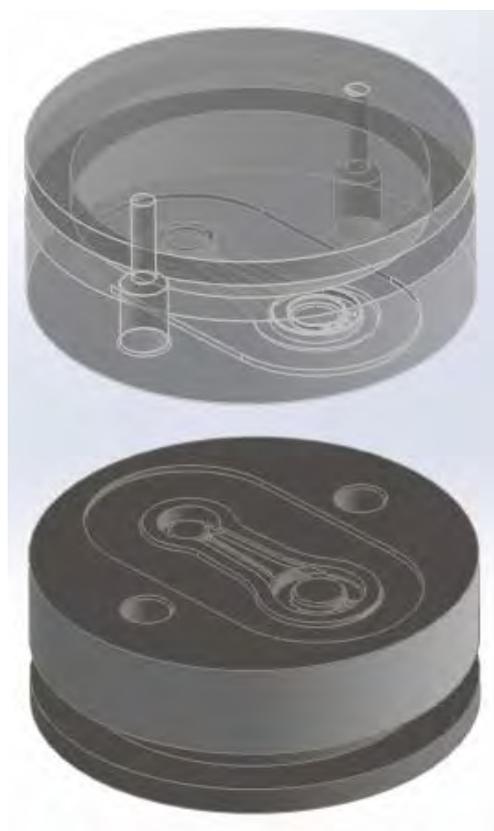
controle numérico (CNC) necessitam informações transmitidas diretamente da área de projetos onde as superfícies ou volumes foram precisamente descritas através de modelos matemáticos via CAD 3D.<sup>(6)</sup> Da mesma forma as máquinas de usinagem também necessitam disponibilizar de um sofisticado sistema CAD/CAM 3D para receber os dados e iniciar a operação de usinagem. O sistema CAM não trabalha completamente automatizado. Sempre é necessário técnicos especializados e altamente treinados.<sup>(7)</sup>

A importância do sistema CAD/CAE/CAM será demonstrado com a simulação do processo de forjamento a quente de uma biela de ferramentas motorizadas, a partir da demonstração das vantagens da utilização de software na previsão das principais variáveis do processo.

## 2 MATERIAS MÉTODOS

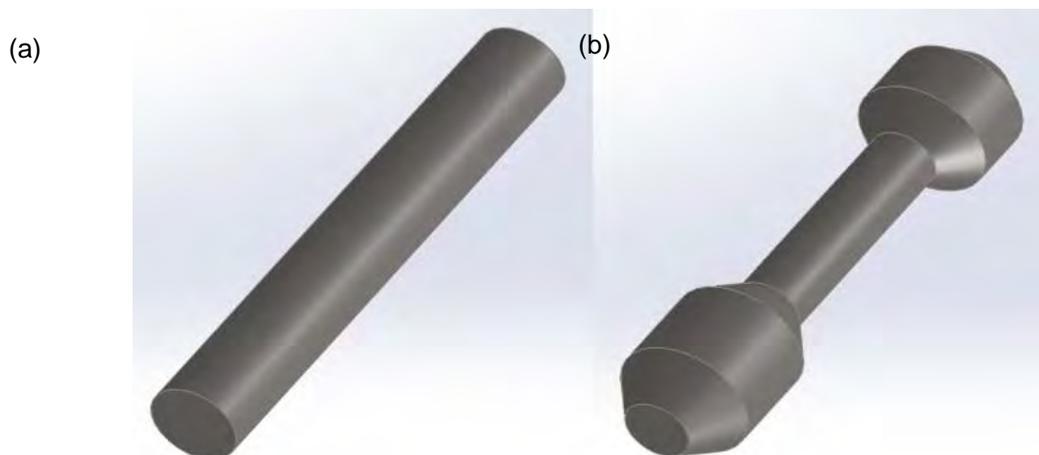
Para a realização da simulação numérica do processo de perfuração, utilizou-se o *software* Simufact.Forming 11.0 pelo método dos elementos finitos (FEM). Esse processo de forjamento em matriz fechada consiste na movimentação da matriz superior e da matriz inferior na direção perpendicular ao tarugo cilíndrico, porém em sentidos opostos, com o propósito de formar uma biela usando as matrizes que foram modeladas através do *software* Solidworks 2012, como mostrado na Figura 1.

Após a determinação das dimensões finais da biela. Determina-se as dimensões da peça forjada levando em consideração a contração do material juntamente com o projeto de saída de rebarbas (também chamado de calha de rebarba). Realiza-se a modelagem da peça forjada com a saída de rebarba sendo esta modelagem utilizada para o projeto da matriz.



**Figura 1** – Representação das matrizes (a) superior, representada com linhas de forma aparente e, (b) inferior, representada de forma opaca.

Inicialmente foi executado o forjamento em um tarugo cilíndrico e em um tarugo laminado, com as dimensões alteradas, como mostra na Figura 2. Ambos os tarugos foram modelados com o uso do software Solidworks 2012. No primeiro caso o tarugo cilíndrico teve uma massa de aproximadamente 138g e, no segundo caso, de aproximadamente 120g.



**Figura1** – Representação das pré-formas para o forjamento do (a) tarugo cilíndrico e do (b) tarugo laminado.

Os dados de entrada para a simulação numérica estão mostrados na Tabela 1. Os parâmetros térmicos, como o coeficiente de transferência de calor foram determinados conforme estão indicados no programa e a emissividade foi alterada para 0,5 devido à porosidade existente na peça de trabalho. O material definido para ambos os tarugos foi o aço SAE 4140 e o material que constitui as matrizes foi o aço ferramenta H 13. Com o intuito de executar o forjamento a quente, ou seja, acima da temperatura de recristalização, foi estabelecida uma temperatura de 1.200 °C para os tarugos e, para as ferramentas, uma temperatura de 200°C para evitar uma perda muito drástica por condução da peça para as matrizes.

**Tabela 1** - Dados de entrada no software de simulação numérica

Coeficiente de transferência de calor (perda de calor)	50	W/m <sup>2</sup> .K
Emissividade por radiação térmica ao meio ambiente	0,5	-
Atrito interfacial entre as ferramentas e a peça	0,4	-
Temperatura das Ferramentas	200	°C
Temperatura da peça	1.200	°C
Material das Ferramentas	H-13	-
Material da Peça	AISI 4140	-

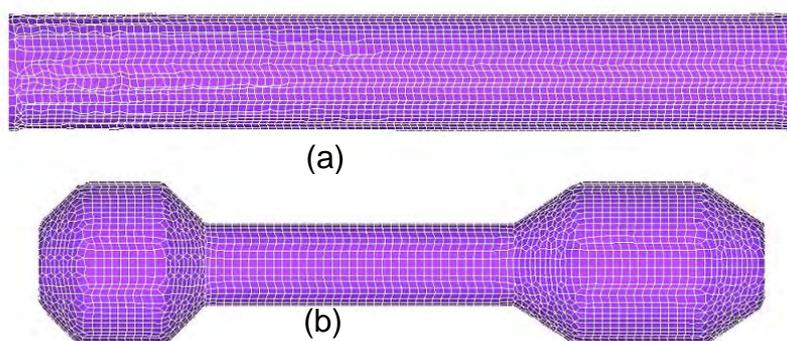
O equipamento determinado foi uma prensa mecânica excêntrica, sendo necessário inserir os dados de entrada para a continuação da simulação conforme está mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Dados de entrada na prensa mecânica excêntrica.

Raio da polia	150	mm
Comprimento do braço de alavanca	400	mm
Velocidade angular	300	rot/min

O atrito interfacial estabelecido entre a peça de trabalho e as ferramentas, encontrado na biblioteca do *software* Simufact para forjamento a quente de ligas metálicas, foi de 0,4. O atrito é consideravelmente elevado, em função de se tratar de um processo de conformação a quente, onde há formação de carepas, aumentando significativamente o coeficiente de atrito.

Para a execução da simulação computacional foi criada uma malha para o tarugo cilíndrico com elementos finitos de 1mm, formando uma malha com 11.928 elementos finitos e, para o tarugo laminado, uma malha com elementos de 1mm também, formando uma malha com 10.140 elementos finitos devido ao menor volume, como mostrado na Figura 3.



**Figura 3.** Formação da malha para (a) o tarugo cilíndrico e para (b) o tarugo laminado.

De acordo com a representação da Figura 3, com base no *software* Simufact, foi simulado o processo de forjamento em matriz fechada para os dois casos, diferenciados pela geometria inicial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na simulação numérica pelo método dos elementos finitos, obtiveram-se o valor dos esforços em função do deslocamento. Esses esforços são mostrados em um gráfico de dispersão, onde os pontos indicam o esforço para cada instante de deslocamento. O gráfico da Figura 4 mostra esses esforços para o primeiro caso, enquanto que o gráfico da Figura 5 mostra os esforços obtidos no segundo caso.

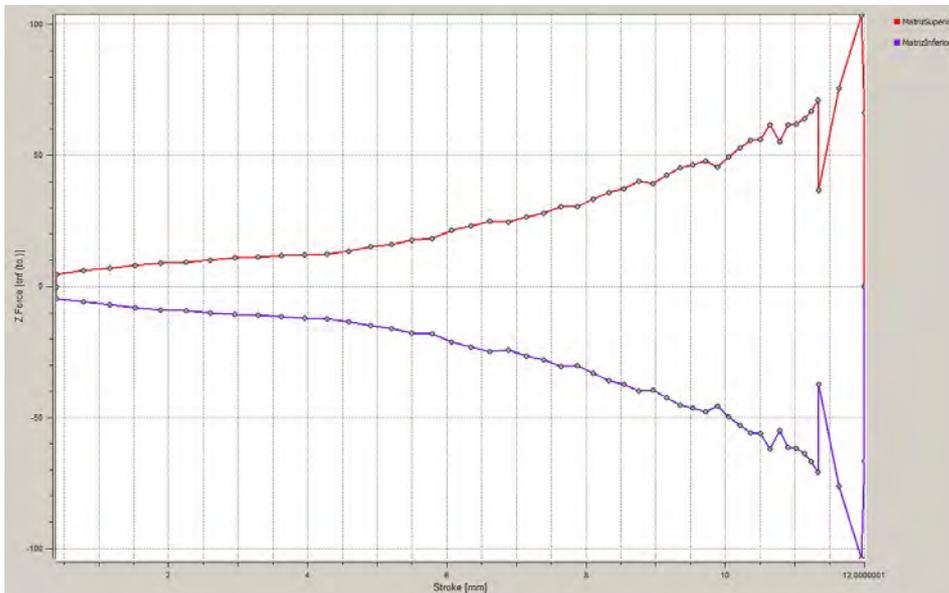


Figura 2 – Esforços (ton) instantâneos em função do deslocamento do tarugo cilíndrico.

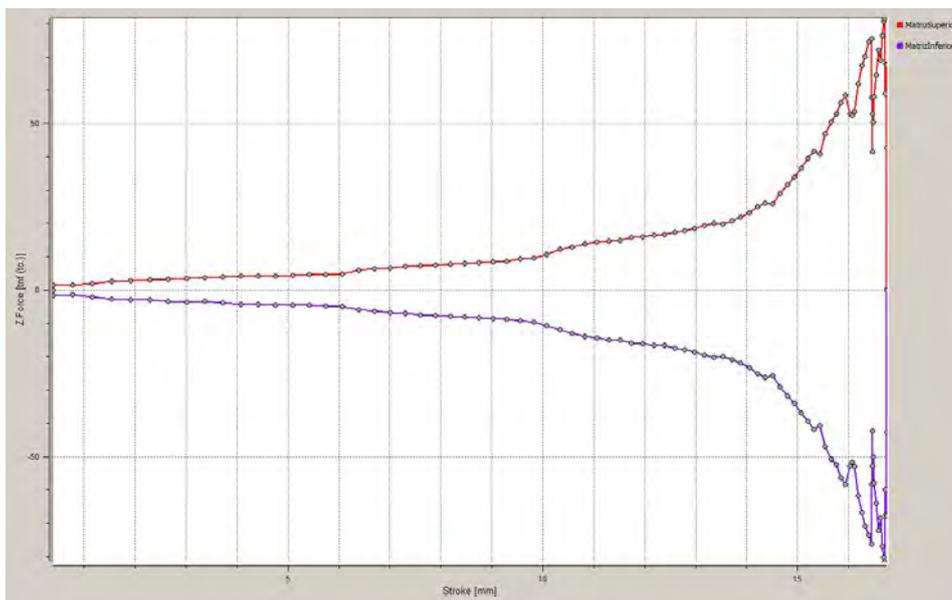
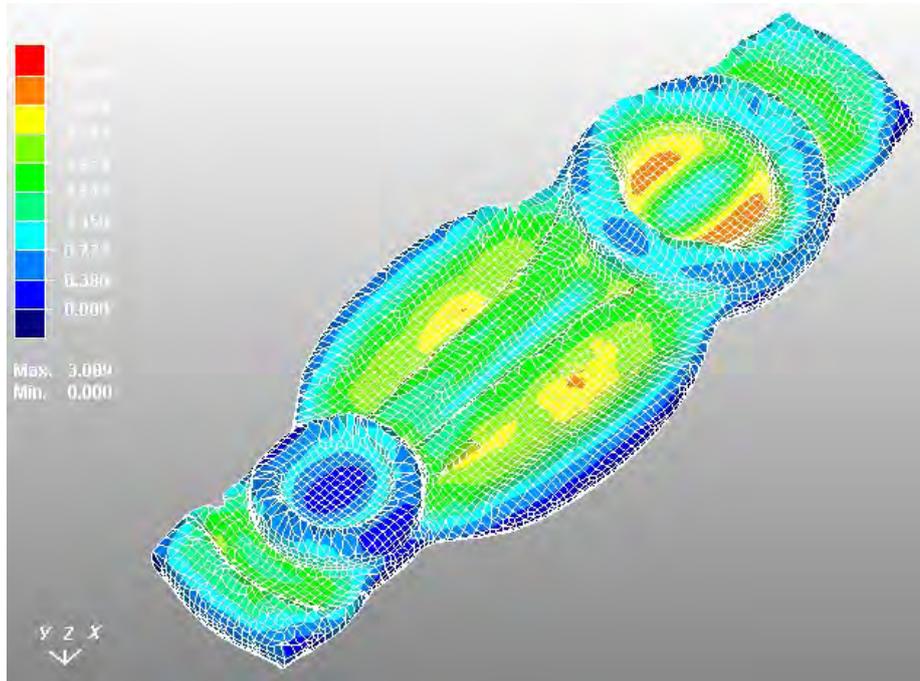


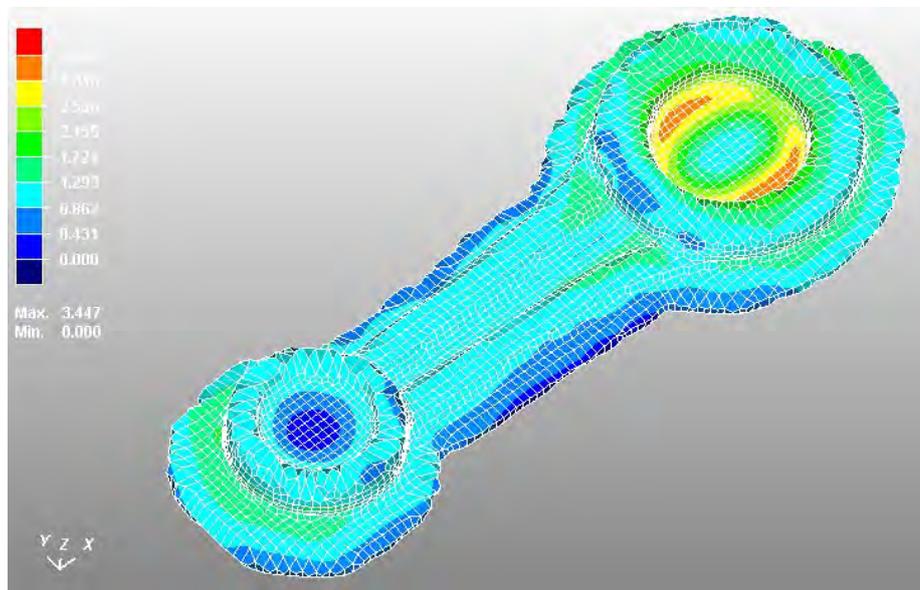
Figura 3 – Esforços (ton) instantâneos em função do deslocamento do tarugo laminado.

Na simulação realizada com a pré-forma de tarugo cilíndrico, obteve-se o preenchimento completo das cavidades das matrizes, porém, ocorreu a formação excessiva de rebarba e, conseqüentemente, o desperdício de material, além de ser necessário maiores esforços para conformação, demonstrado na Figura 4. A Figura 6 mostra a distribuição de deformações com a utilização da pré-forma de tarugo cilíndrico e a formação excessiva de rebarba.



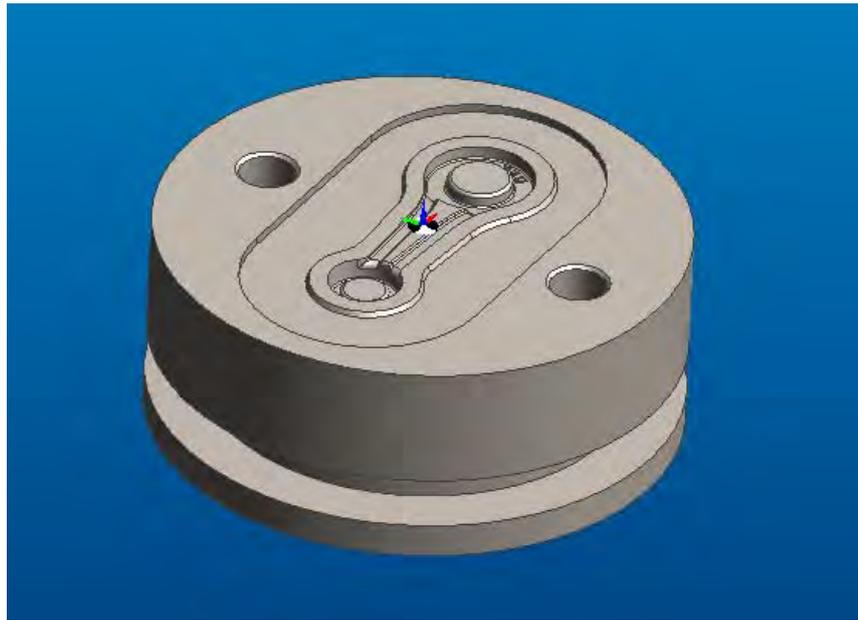
**Figura 4** – Distribuição de deformações para o forjamento do tarugo cilíndrico.

Quando se utilizou o tarugo laminado em pré-forma obteve-se a pouca rebarba e os esforços para conformação foram menores do que no primeiro caso, demonstrado na Figura 7.



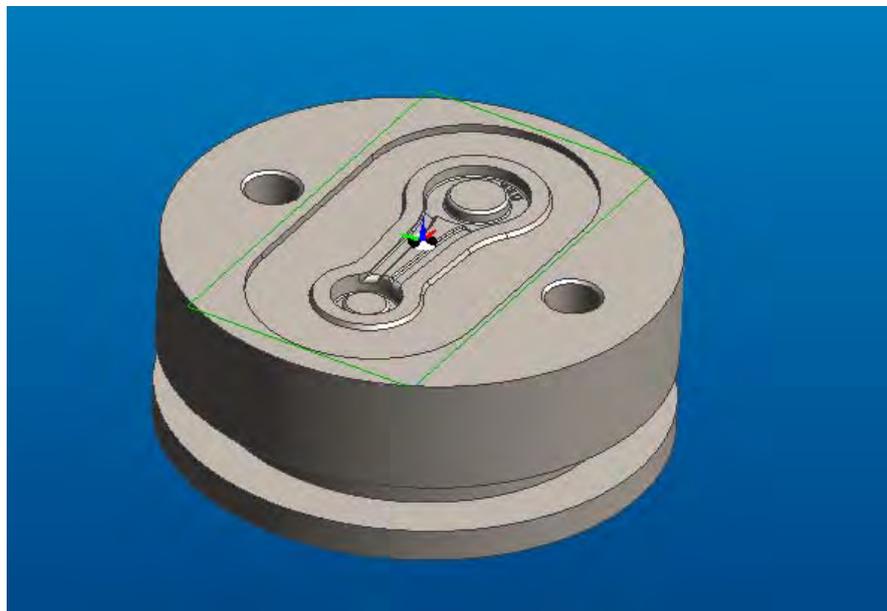
**Figura 5** – Distribuição de deformações para o forjamento do tarugo laminado.

A ferramenta de CAM utilizada foi o EdgeCam 2009. Após abrir o desenho da ferramenta do Solid works 2012, sem a necessidade de importar a peça e sim abrir devido a interface entre os dois software. A Figura 8 apresenta a matriz inferior inserida no software de CAM com o ponto zero peça no centro.



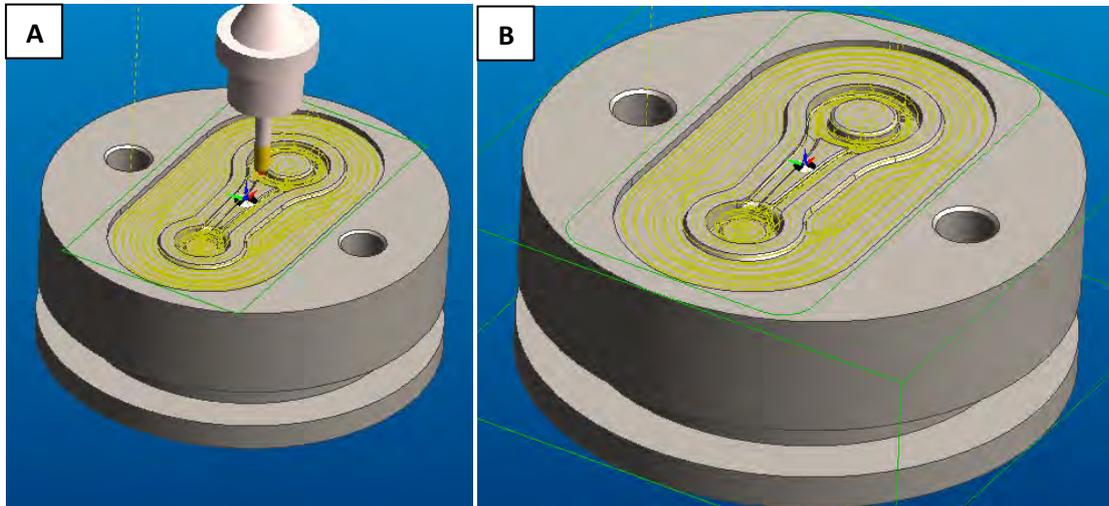
**Figura 8** – Matriz inferior modelada no CAD3D e aberta no CAM.

Foi criada uma geometria simples no modelador do CAM para limitar a área de usinagem CNC, pois o bloco foi usinado anteriormente em máquinas de usinagem convencional sem auxílio de comando numérico. A Figura 9 demonstra a geometria de limitação.



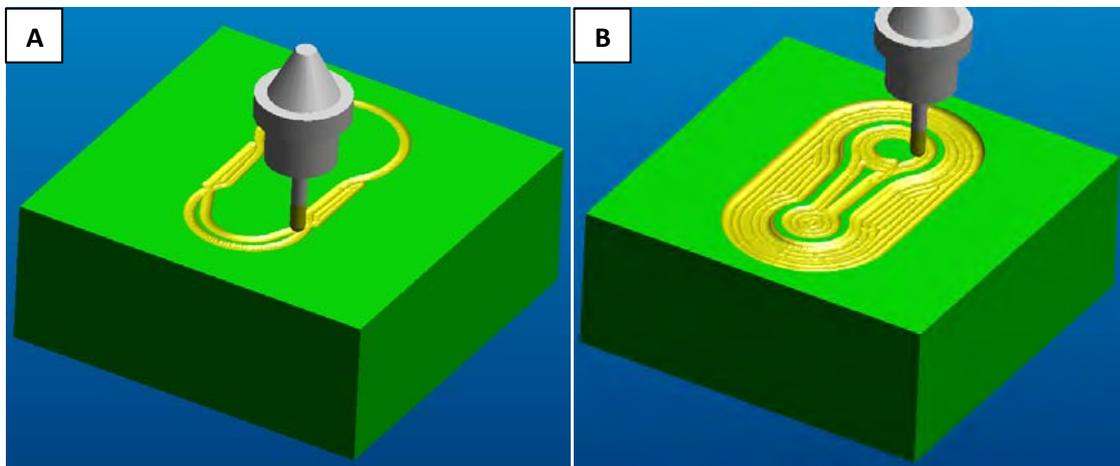
**Figura 9** – Matriz inferior modelada no CAD3D e aberta no CAM.

Selecionou-se a ferramenta de desbaste de 6 mm de diametro e 13 mm de altura de aresta de corte com avanço de 500 mm/min nos eixos “X” e “Y”, 200 mm/min no eixo ‘Z’ e 3.500 rpm. Observa-se que na Figura 10 a a geometria limitadora está com cantos vivos e na Figura 10 b os cantos estão arredondados, pois em usinagem com ferramentas menores o CAM visualiza uma cavidade. Nota-se que o bloco de ferramenta foi mantido o sugerido inicialmente pelo software, pois não afeta o a fabricação da matriz, pois o zero peça está localizado no centro. A profundidade de corte (ap) foi de 1 mm.



**Figura 10** – Área de usinagem e indiferença de geometria de bloco para desbaste.

Observa-se na Figura 11 o bloco quadrado, sendo na Figura 11 a o início da usinagem e na Figura 11 b o desbaste na cavidade da biela.



**Figura 11** – Início da usinagem e desbaste da cavidade da matriz.

A Figura 12 apresenta melhor o desbaste do processo de fresamento da matriz da biela, onde é possível compreender a dificuldade de usinagem de uma cavidade pequena, devido aos esforços sobre a ferramenta com diâmetro diminuto. A partir do acabamento mostrado no *software* de CAM, nota-se a necessidade de um pré-acabamento na matriz para diminuir o sobremetal deixado pelo processo de desbaste.

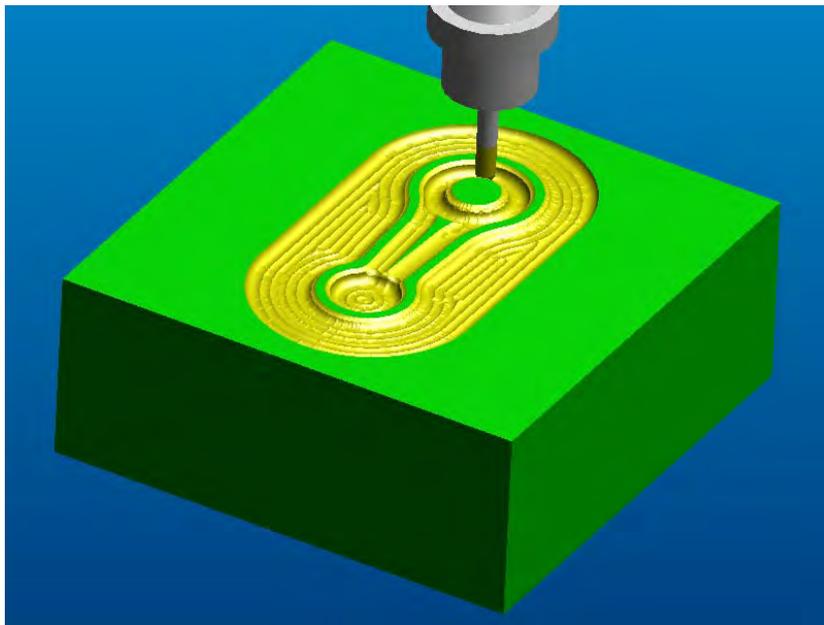


Figura 12 – Acabamento do processo de desbaste. .

A Figura 13 a mostra a extensão da estratégia de usinagem e a Figura 13 b exibe o acabamento superficial.

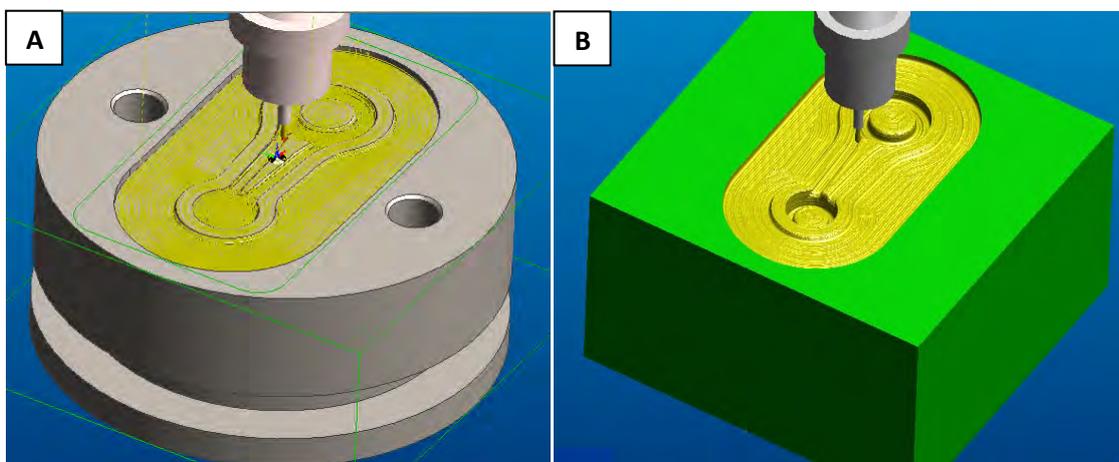


Figura 13 – Acabamento do processo de desbaste.

A partir do acabamento superficial do pré-acabamento observa-se que a calha de rebarba está não necessita mais usinagem. Resolve-se usinar apenas a cavidade da biela com as operações de acabamento. Desenha-se uma nova região, onde será usinado para limitar onde as ferramentas retiram o sobremetal. A Figura 14 a mostra a nova região definida para ser realizado o acabamento e a Figura 14 b mostra a estratégia de usinagem do perfil com a ferramenta na saída da peça para remover o sobremetal. A operação de usinagem utilizou uma ferramenta de topo esférico com 2mm de diâmetro e 10 mm de altura de aresta de corte com avanço de 800 mm/min nos eixos “X” e “Y”, 350 mm/min no eixo ‘Z’ e 6.000 rpm, que é a rotação máxima do centro de usinagem que tem-se disponível, tendo a profundidade de corte foi de 0.2 mm.

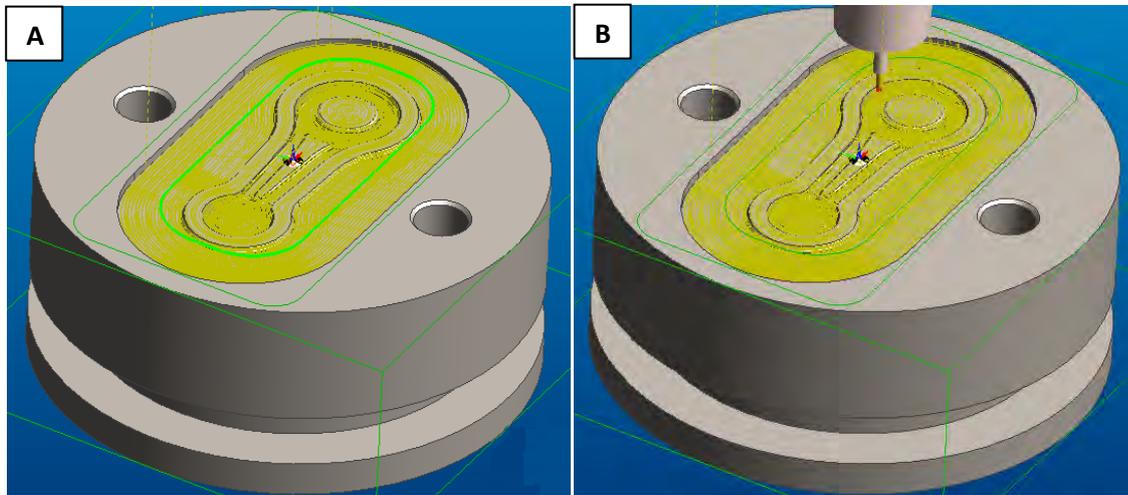


Figura 14 – Acabamento do processo de desbaste.

Na Figura 15 observa-se o acabamento da parede da cavidade da matriz sem haver necessidade de nova usinagem

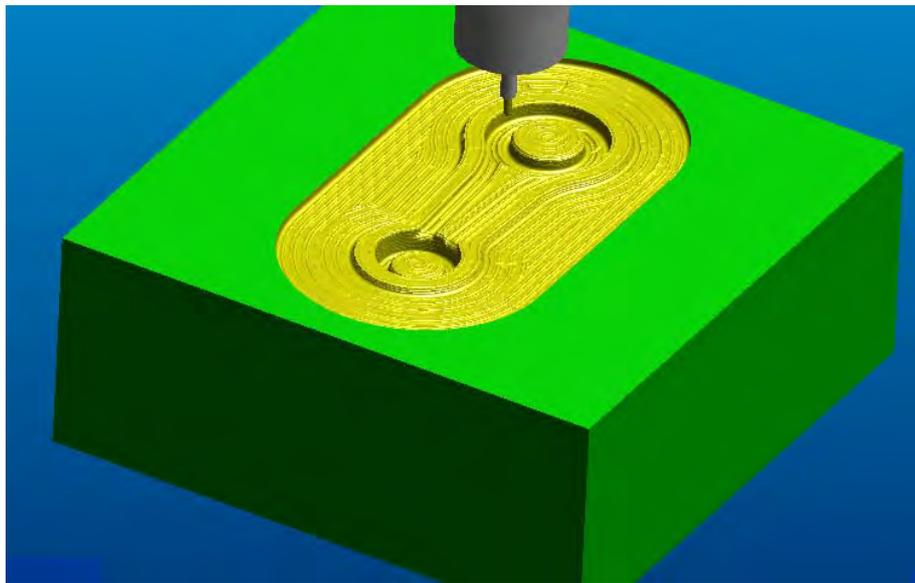
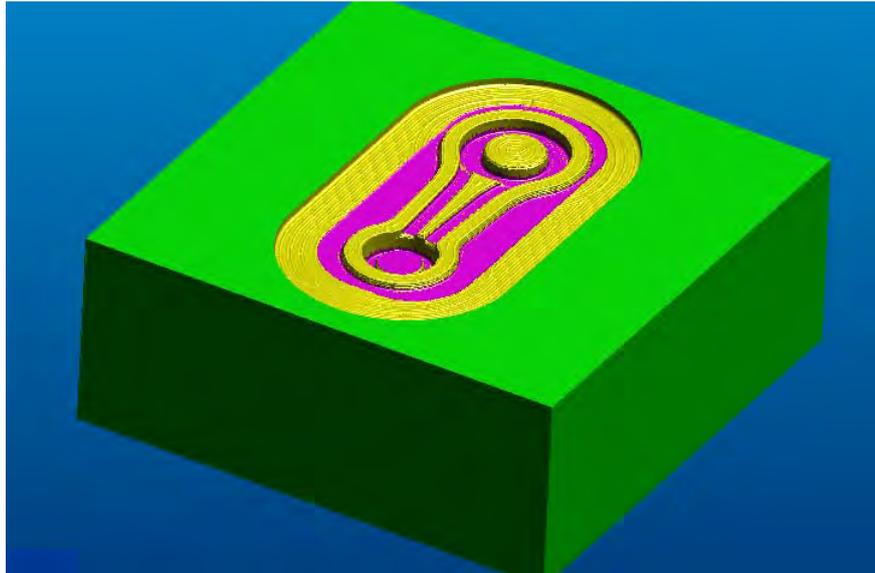


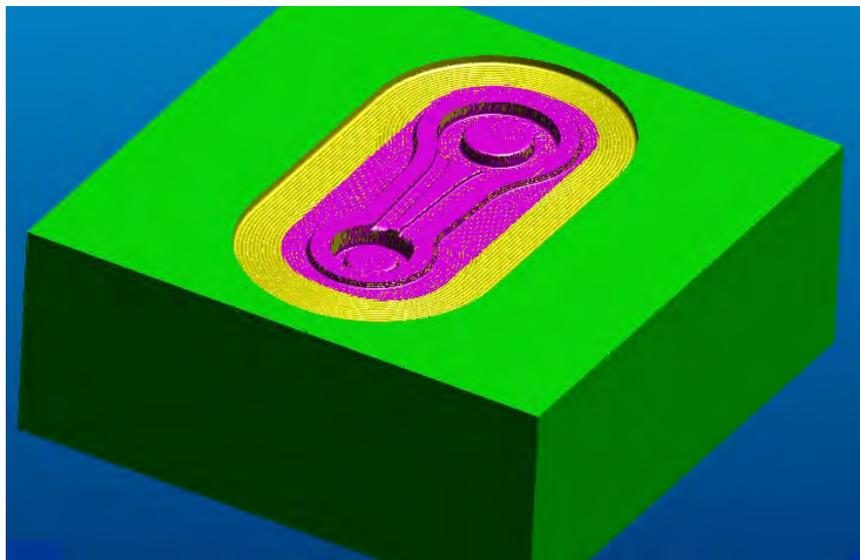
Figura 15 – Acabamento do processo de desbaste.

Utilizou-se uma estratégia de usinagem de acabamento que ataca os contornos da cavidade da matriz. A operação de usinagem utilizou uma ferramenta de topo esférico com 1mm de diâmetro e 10 mm de altura de aresta de corte com avanço de 800 mm/min nos eixos “X” e “Y”, 350 mm/min no eixo ‘Z’ e 6.000 rpm, com a profundidade de corte foi de 0.2 mm. A Figura 15 mostra o simulador de usinagem que revela o processo de acabamento, onde é possível identificar choque da ferramenta com dispositivos de usinagem ou com a própria ferramenta.



**Figura 16** – Acabamento superficial apresentada pelo simulador de usinagem

Utilizou-se nova estratégia de acabamento que atua em superfícies planas que concluíram o acabamento superficial da ferramenta de forja da biela onde se usou uma fresa de topo esférico com 1mm de diâmetro e 10 mm de altura de aresta de corte com avanço de 800 mm/min nos eixos “X” e “ Y”, 500 mm/min no eixo ‘Z” e 6.000 rpm, com a profundidade de corte foi de 0.2 mm.



**Figura 17** – Matriz de forja da biela para ferramentas motorizada concluída.

Após a estratégia definida gerou-se o código G, juntamente com a determinação da estimativa do tempo de usinagem que ficou com 22 horas e 20 minutos.

#### **4 CONCLUSÕES**

Os dados apresentados neste trabalho mostram que o sistema CAD / CAE / CAM é fundamental na industria de forjado, pois diminui o tempo de projeto apresentando falhas e dificuldade que aparecerão durante o processo físico. Os softwares de CAD são indispensáveis na industrial metal-mecânica. A ferramenta de

CAE para forjamento mostra esforços e tensões durante o processo de forjamento e determina melhor preenchimento e geometria inicial do *billet*. Observa-se que a simulação realizada com a pré-forma de tarugo cilíndrico, obteve-se o preenchimento completo das cavidades das matrizes, porém, ocorreu a formação excessiva de rebarba desperdiçando material, além de ser necessário maiores esforços para conformação. A ferramenta de CAM ajuda a determinar a melhor ferramenta de usinagem, estratégia utilizada, juntamente com as dificuldades encontradas no processo e a estimativa de tempo necessário para usinagem, que ajuda a organizar a programação do setor de usinagem, ou estimar o custo necessário para a obtenção das matrizes.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e as instituições de apoio financeiro CNPq e Capes.

### **REFERENCIAS**

- 1 KANITAR, F. P. Análise do desenvolvimento dos sistemas CAD/CAE/CAM nos diversos setores do conhecimento sob a ótica da propriedade Industrial. Dissertação CEFET/RJ, 2005.
- 2 YAMAKAMI, W. J., BUTTON, S. T. Forjamento a quente de precisão: Uma proposta para flexibilização. Acesso via portal UNICAMP: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/laboratorio/sistfex.pdf>. Março, 2013
- 3 ADOLF, W.: Schmiedeteile – Bedeutung Gestaltung Herstellung – Anwendung. Informationstelle Schmiedestück-Verwendung im Industrie Verband Deutscher Schmieden e. V. (IDS), 1998.
- 4 MARTELO, L.; Desenvolvimento de processo de forjamento da liga de alumínio AA6351 com auxílio de computação numérica. Dissertação UFRGS. 2007
- 5 FRIEDRICH, H.: Schmiedeteilkonstruktion mit CAD/CAM. CAX in Deutschen Schmieden (IDS), 1996, pg 7-9.
- 6 PERONI, R. E MARTINELLI, G.: Experiences in High Speed Milling of Forgings Dies. Anais da III Conferência Internacional de Forjamento (XIX SENAFOR), Porto Alegre, 1999, pg. 283-288.