

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO A FRIO DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO<sup>1</sup>

Luciano Della Justina<sup>2</sup>  
Rafael Gomes König<sup>3</sup>

## Resumo

Os softwares de elementos finitos que realizam a simulação numérica dos processos de fabricação têm se apresentado como uma ferramenta extremamente útil na indústria de elementos de fixação e componentes metálicos conformados a frio. O presente trabalho tem por objetivo apresentar um exemplo onde a simulação numérica, realizada através do software *Eesy-2-form*, foi de fundamental importância para a resolução de problemas relacionados às operações de estampagem de parafusos conformados a frio. Com base nos resultados obtidos na simulação, tanto do processo de estampagem quanto da análise de tensões nas ferramentas, identificaram-se as principais causas do problema. Novas simulações foram geradas, realizando-se modificações no projeto original. A configuração que minimizou a causa raiz foi adotada, novas ferramentas foram produzidas e testadas para avaliação de rendimento. A configuração da ferramenta obtida a partir da simulação numérica teve rendimento superior ao seu histórico, comprovando a sua eficácia.

**Palavras-chave:** Simulação numérica; Conformação; Elementos de fixação.

## NUMERICAL SIMULATION OF COLD FORMING PROCESS IN FASTENERS

### Abstract

FEM software's to simulate manufacturing processes have been presented as an extremely useful tool on fastener's industries. This work has the purpose to present a case where FEM simulation, through *Eesy-2-form* software, was very important to solve problems on the cold forging process of special parts. With the results of simulation, for heading process and stress analysis on the tools, was possible to identify the principal reason of the problem. Then, to solve it, others simulations were developed, with some changes on the initial design. The best configuration was adopted e new tools were produced to industrial tests. These tools had performance improved, proving the efficacy of the simulation.

**Key words:** FEM; Forming; Fasteners.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 5º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 22 e 23 de agosto de 2007, São Paulo – SP, Brasil.*

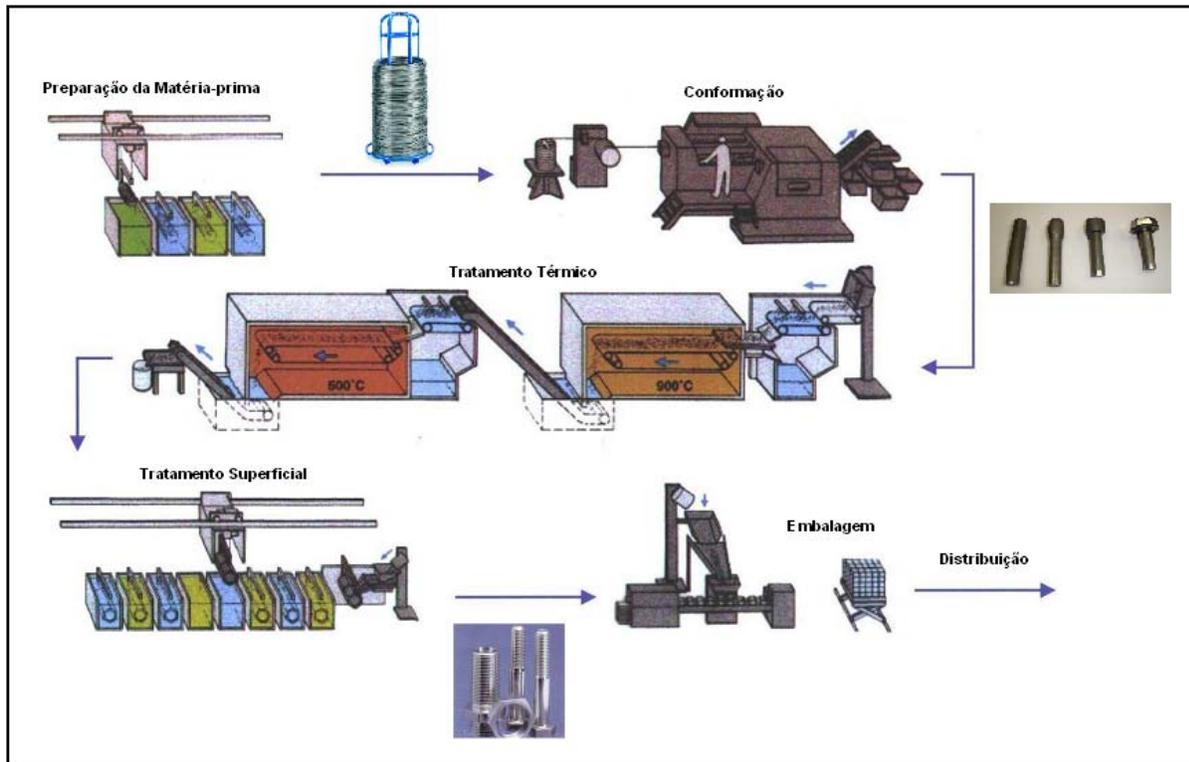
<sup>2</sup> *Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UDESC. Analista de Projeto da CISER Parafusos e Porcas.*

<sup>3</sup> *Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, UFSC. Coordenador da Engenharia de Produtos da CISER Parafusos e Porcas.*

# 1 INTRODUÇÃO

A utilização de softwares de simulação numérica de processos de fabricação tem se tornado prática comum dentro das empresas dos mais diversos setores. A indústria de elementos de fixação tem conseguido incorporar esta ferramenta dentro da rotina das atividades de desenvolvimento e melhorias de processos, principalmente pelo avanço da tecnologia computacional.

A fabricação de elementos de fixação, tais como parafusos, porcas e rebites, é composta de várias etapas, da transformação da matéria-prima até o empacotamento dos produtos acabados. A Figura 1 mostra uma representação esquemática da seqüência de fabricação de um parafuso.



Fonte: Ciser Parafusos e Porcas. [1]

**Figura 1:** Seqüência do processo de fabricação de um parafuso.

A simulação numérica é realizada principalmente na etapa de conformação. Esta etapa consiste em transformar o arame cilíndrico em produto (parafuso, porca ou rebite) através da deformação do material dentro de uma seqüência de matrizes e punções. A grande vantagem da utilização da simulação numérica está na realização do *try-out* virtual: previsão das geometrias intermediária e final do produto, definição da seqüência de conformação ideal e análise de tensões e deformações no produto e no ferramental. Reduz-se assim tempo e custo no desenvolvimento de novos produtos e nas melhorias de processos.

O presente trabalho apresenta um exemplo de aplicação da ferramenta de simulação numérica no processo de conformação de um parafuso, com ênfase na análise de falha das ferramentas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Software Utilizado

Para a realização da simulação numérica do processo de conformação foi utilizado o software *Eesy-2-form*. Este software permite realizar a simulação, em duas dimensões, do processo de conformação de produtos que apresentam geometrias próximas as de sólidos de revolução, tipicamente elementos de fixação como parafusos, porcas e rebites.

### 2.2 Considerações sobre o Projeto do Ferramental

As matrizes utilizadas nas prensas de conformação de elementos de fixação são normalmente compostas de um núcleo de metal duro (classe de resistência G4, G5 ou G6) ou aço rápido (AISI M2 ou AISI M42) montado com interferência de medida em uma capa de aço (AISI H13 ou AISI 4340).

O material do núcleo possui uma elevada resistência ao desgaste, porém é extremamente frágil e possui uma resistência à tração muito baixa. O material da capa possui maior tenacidade e, conseqüentemente, maior resistência à tração. O núcleo é montado com interferência na capa para evitar o surgimento de tensões tangenciais trativas, decorrentes da pressão interna gerada durante a etapa de conformação. Estas tensões são responsáveis pela quebra prematura do núcleo, implicando em aumento do custo de produção e perda da eficiência produtiva. Dependendo da magnitude da pressão interna gerada na etapa de conformação, é recomendável a utilização de anéis intermediários entre o núcleo e a capa, gerando uma pré-tensão maior no núcleo.

A Figura 2 apresenta um esquema comparativo de uma montagem simples e uma montagem com anel intermediário.

A simulação numérica é utilizada nestes casos para verificar se as dimensões do núcleo, da capa e interferência de montagem estão adequadas em relação à pressão interna que está sendo gerada durante a conformação.

O projeto é considerado adequado se as tensões tangenciais encontradas no núcleo forem somente tensões tangenciais de compressão,<sup>[2]</sup> convencionalmente adotadas tensões com valores negativos.

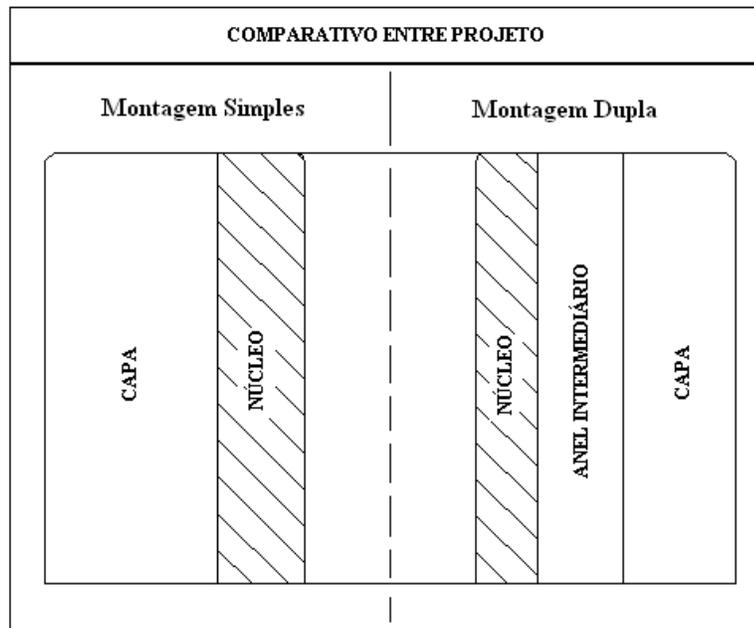


Figura 2: Comparativo de projetos de matrizes com montagem simples e com anel intermediário.

## 2.3 Projeto Analisado

O projeto analisado neste trabalho é de um parafuso largamente utilizado na indústria moveleira, fabricado em uma máquina de dois punções e uma matriz (2 estágios de conformação). A matriz é composta por um núcleo de metal duro com classe de resistência G6, 86%WC e 14%Co, dureza de 80,5 a 81,5 HRA, montado em uma capa de aço AISI H13, temperado e revenido, dureza de 45 a 47 HRC. A composição química média deste aço é apresentada na Tabela 1.<sup>[3]</sup>

Tabela 1. Composição química média do aço AISI H13.

%C	%Mn	%Mo	%Si	%Cr	%V
<b>0,40</b>	<b>0,35</b>	<b>1,30</b>	<b>1,00</b>	<b>5,20</b>	<b>0,90</b>

Fonte: VILLARES METALS, 2007.<sup>[3]</sup>

A vida média desta ferramenta era de 100.000 peças produzidas, sendo retirada de máquina por quebra do núcleo. O núcleo apresentava trincas radiais, uma característica que evidenciava a ação de tensões tangenciais de tração durante a conformação. A Figura 3 mostra o aspecto da quebra do núcleo.



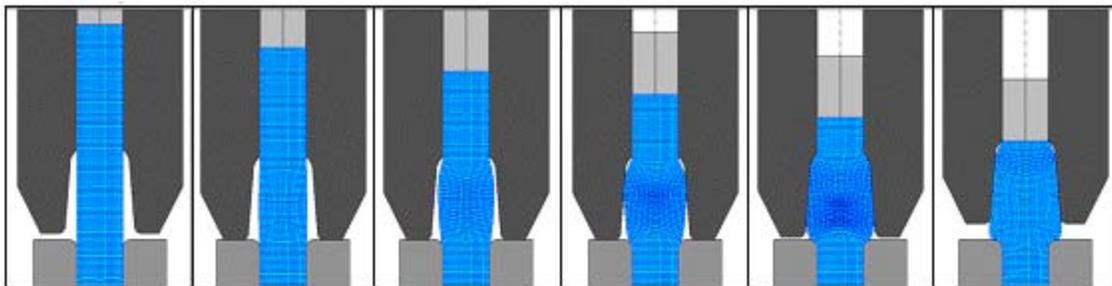
**Figura 3:** Trincas radiais no núcleo de metal duro.

Para verificar os níveis de tensão tangencial no núcleo durante a conformação do produto, foram geradas as simulações do processo e da análise do ferramental.

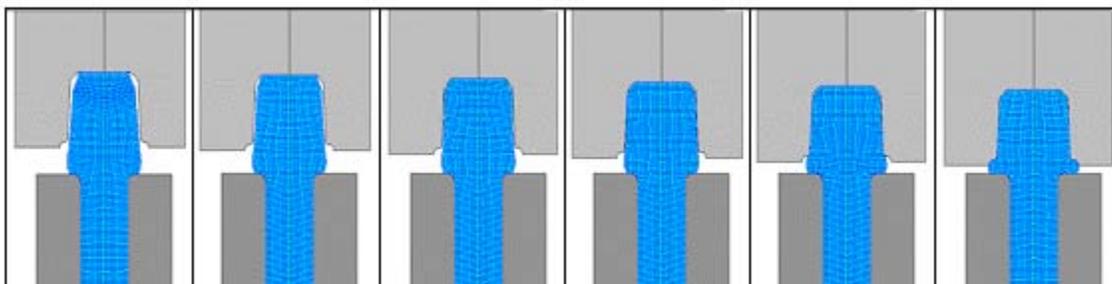
### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Resultados da Simulação do Projeto do Ferramental Original

Os resultados da simulação do processo de conformação são apresentados nas Figuras 4 e 5, mostrando as progressões da deformação.



**Figura 4:** Seqüência de conformação do 1ª estágio obtida da simulação numérica.



**Figura 5:** Seqüência de conformação do 2ª estágio obtida da simulação numérica.

A Figura 6 indica o local onde a quebra do núcleo estava ocorrendo.

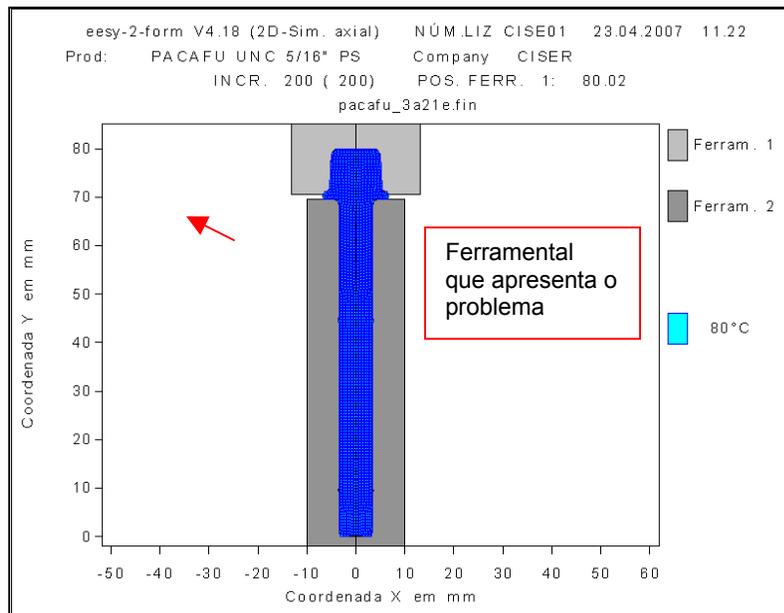


Figura 6: Resultado final de estampagem do parafuso.

Uma outra informação importante obtida através da simulação foi a força total necessária para realizar a estampagem. A simulação permitiu verificar se a prensa utilizada na fabricação deste item possuía a capacidade adequada. Neste projeto, onde o segundo estágio de conformação é o mais crítico, a força necessária é apresentada na forma de um gráfico, Deslocamento do punção x Força de conformação (Figura 7). A força necessária para realizar esta operação é de aproximadamente 160 kN, menos de 50% da capacidade de conformação da prensa, de 400 kN.<sup>[4]</sup>

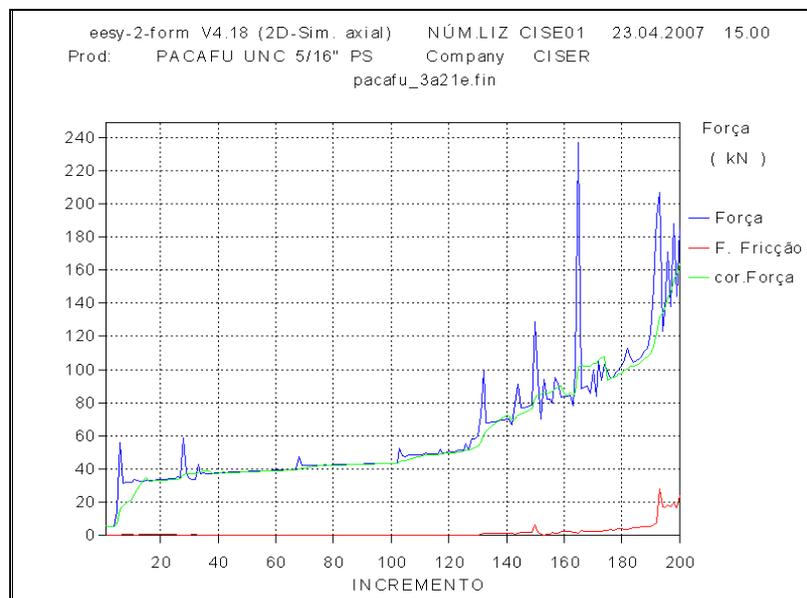


Figura 7: Gráfico da força de conformação necessária para o 2º estágio do processo de fabricação.

A análise do ferramental é apresentada na Figura 8. É possível verificar que em determinadas regiões do núcleo as tensões tangenciais estão com valores positivos, indicando tensões trativas. Conforme apresentado na seção 2.2, estas tensões implicam na quebra do ferramental em um curto período de utilização. Portanto, o projeto não estava otimizado e o seu rendimento poderia ser melhorado.

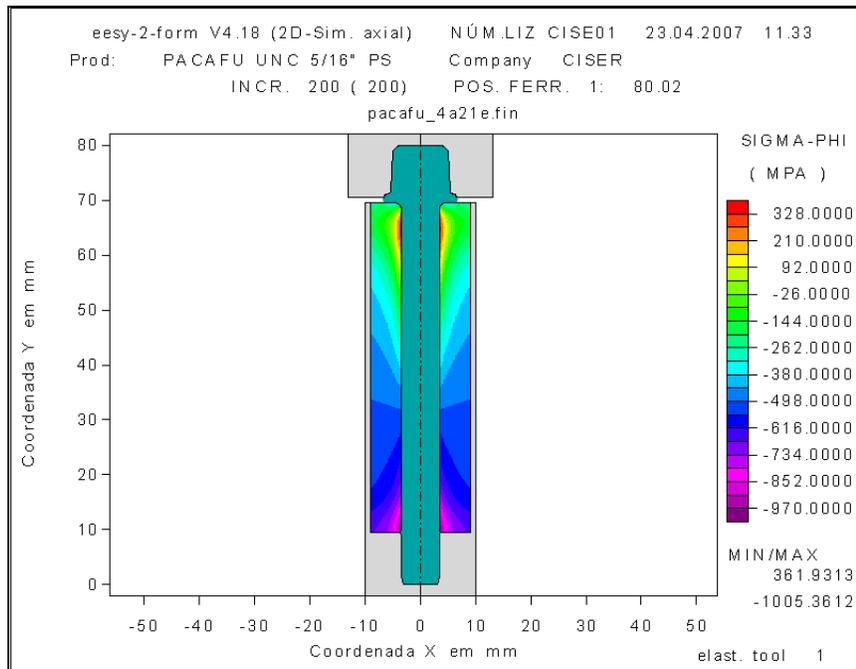


Figura 8: Resultado da simulação das tensões tangenciais no ferramental antigo.

### 3.2 Resultados da Simulação do Projeto do Ferramental Modificado

Após análise do problema, a melhoria do ferramental poderia ser realizada de duas formas:

- Aumento do diâmetro externo da capa no qual o núcleo estava sendo montado, possibilitando a utilização de uma maior interferência de montagem. Para este projeto, esta condição não era possível, pois existiam limitações na máquina que não permitiam aumentar essa dimensão;
- A utilização de um anel intermediário entre o núcleo e a capa, conforme Figura 2. Nesta condição, o núcleo seria submetido a um maior pré-tensionamento de montagem, sem a necessidade de mudança no diâmetro externo da capa do ferramental.

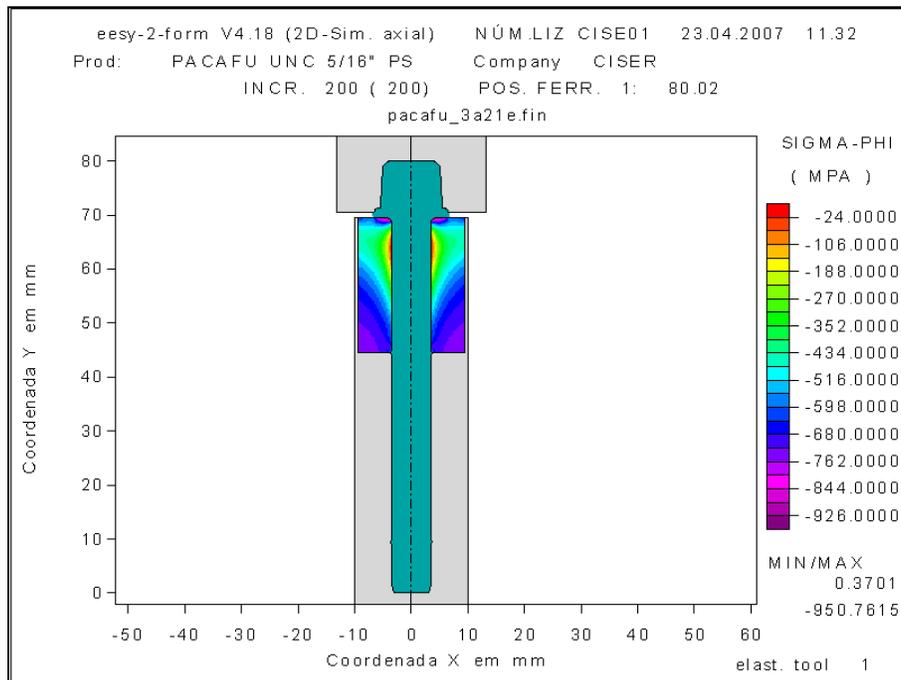
Uma nova simulação das tensões na matriz foi gerada, utilizando a configuração do ferramental proposta no item b. Nesta configuração, entre o núcleo de metal duro com classe de resistência G6 e a capa externa de AISI H13, foi utilizado um anel intermediário de AISI W3, temperado e revenido, dureza de 51 a 53 HRC. A composição química média deste aço é apresentada na Tabela 2.<sup>[3]</sup>

**Tabela 2.** Composição química média do aço AISI W3.

%C	%Mn	%Mo	%W	%Cr	%V
<b>0,45</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>2,00</b>	<b>1,40</b>	<b>0,20</b>

Fonte: VILLARES METALS, 2007.<sup>(3)</sup>

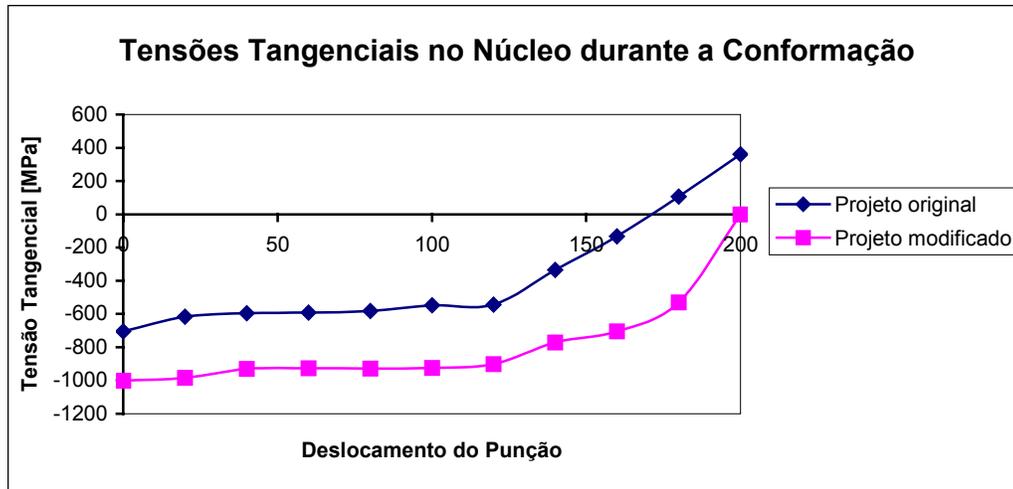
Os resultados da simulação numérica das tensões tangenciais sobre a matriz são apresentados na Figura 9.



**Figura 9:** Resultado da simulação das tensões tangenciais no ferramental modificado.

Com a nova configuração adotada, os valores das tensões tangenciais possuem valores negativos, indicando que durante toda a etapa de conformação somente ocorreram tensões tangenciais compressivas no núcleo.

A Figura 10 apresenta um gráfico comparativo das tensões tangenciais entre os dois projetos durante a conformação.



**Figura 10:** Comparativo das tensões tangenciais no núcleo para os dois projetos analisados.

### 3.3 Comparativo de Vida Entre os Dois Projetos

Após as simulações, foram confeccionadas três matrizes com a configuração otimizada. As ferramentas testadas tiveram um rendimento médio, até este momento, acima de 300.000 peças produzidas, valor três vezes maior do que o obtido com o ferramental original. O acompanhamento destas ferramentas ainda está sendo realizado, tendo em vista que as mesmas não apresentaram falhas.

## 4 CONCLUSÕES

O atual nível de competitividade das indústrias, independentemente do segmento de mercado, não comporta mais o desenvolvimento através dos métodos de “tentativas e erros”. Neste cenário, a simulação numérica é ferramenta fundamental para as empresas que procuram uma posição de destaque, que buscam sua sustentabilidade através da inovação de processos tecnológicos.

A solução de problemas técnicos depende muito do conhecimento dos profissionais envolvidos no estudo. A simulação numérica transforma este conhecimento em informações, saídas de projeto e processo, de forma rápida e clara.

Através da simulação numérica foi possível verificar a condição de utilização da prensa. A força necessária para a fabricação do parafuso estudado é menor que 50% da capacidade de conformação do equipamento. Além, disso a simulação numérica permitiu também comprovar a eficácia da utilização de matrizes de conformação com anéis intermediários, uma técnica bastante antiga, porém pouco explorada até hoje. Neste trabalho, o rendimento médio da ferramenta com esta configuração aumentou mais de três vezes se comparado aos valores históricos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à CISER Parafusos e Porcas, em especial ao Sr. Osmar Klann, pelo apoio e incentivo durante a realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- 1 CISER Parafusos e Porcas. Apresentação sobre processo de zincagem. Joinville, 2006.
- 2 Schulz, E. Cálculo de útiles pretensados para la estampación en frío de aceros. **Alambre**, Coburg, n. 61, p. 1-13, 1968.
- 3 VILLARES METALS. Catálogo técnico sobre aços ferramenta. São Paulo, 2007.
- 4 CHUN ZU MACHINERY INDUSTRY CO. Catálogo técnico sobre prensas de conformação a frio de dois estágios. Taiwan, 2004.