

# UMA SÉRIE DE PEÇAS DENTRO DE SUAS TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS, SIGNIFICA A OBTENÇÃO DE UM CONJUNTO NO DIMENSIONAL?

POR FERNANDO HENRIQUE TERSETTI

O universo dentro dos setores de engenharia das montadoras automotivas e autopeças nem sempre é o mesmo daquele vivenciado pelos seus consumidores finais. Enquanto estes estão desejando, negociando e, principalmente, comprando modelos do ano, a cabeça dos engenheiros está focada no desenvolvimento de modelos que serão lançados daqui a algum tempo. Essa realidade é muito similar em diversas empresas que desenvolvem produtos, seja ele automotivo, de linha branca, marrom, eletrônicos, aeroespacial dentre outros, afinal de contas, empresas que não desenvolvem e inovam em qualquer mercado que estejam, estão fadadas a desaparecer.

O mesmo acontece em empresas de *software*, e um exemplo clássico disso será descrito no decorrer deste artigo, então, antes de continuar a leitura, separe a xícara de café, sente-se confortavelmente e prepare sua mente para uma visão no que as empresas de engenharia de *software* de simulação estão trabalhando no momento e como isso vem de encontro com a famosa e tão comentada Indústria 4.0.

Em um passado não tão distante, haviam discussões constantes nas empresas que trabalhavam na manufatura de peças estampadas: “A simulação é confiável?”, “Ouvi dizer que nosso concorrente está conseguindo tirar peças sem problemas de ruptura já nas primeiras amostras estampadas”, “Isso não funciona, impossível um programa de computador prever o resultado

obtido debaixo de uma prensa”.

Enquanto isso, as empresas de *software*, após anos de testes já sabiam e confiavam que era sim possível acreditar nos resultados da simulação referentes a critérios básicos como ruptura, rugas, afinamento, etc. Enquanto esse paradigma era quebrado mundo afora, os desenvolvedores já estavam pensando em como dar o próximo passo: Fazer com que a simulação também fornecesse resultados confiáveis de critérios dimensionais, como o famoso e temido retorno elástico, ou simplesmente “*springback*”.

Nos últimos anos esse desafio tem se mostrado cada vez mais superado. Hoje já é possível ver em encontros técnicos, relatos, artigos, simpósios e *workshops*, demonstrações de empresas que conseguem, de forma sistemática, a obtenção de peças com mais de 80% dos pontos dentro de sua tolerância dimensional já na primeira amostra estampada / ferramentada. Apesar de ser algo que vem se tornando uma realidade, ainda existem algumas barreiras pontuais a serem transpostas no quesito dimensional, principalmente quando nos referimos a materiais de alta resistência, onde os requisitos para obtenção de bons resultados são ainda mais rigorosos. Porém, já está demonstrado que uma rápida e adequada acurácia dimensional pode sim ser alcançada através do uso de simulações computacionais do processo de estampagem, desde que as mesmas sejam criteriosamente realizadas.

Atualmente, as empresas envolvidas

no mundo da simulação buscam novas tendências comportamentais e prometem, em um futuro próximo, resolver muitos problemas que hoje ainda existem, tanto na área de estampados, como no *body-in-white* (BiW), como veremos a seguir.

Quando falamos em compensação do retorno elástico para garantir o dimensional, quase sempre nos referimos apenas à própria peça ou peça singela como alguns mencionam. Deixando de lado o fato de que muitas vezes, ela ainda vai ser parte de um conjunto que, por sua vez, será montado na carroceria para só então formar o produto final. É aqui que entra a pergunta que dá título ao artigo, várias peças singelas, cada uma dentro das tolerâncias dimensionais individuais, resultam em um conjunto montado / soldado dentro das tolerâncias dimensionais?

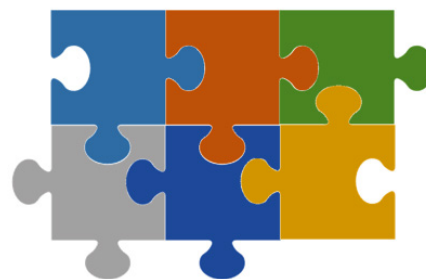


Figura 1: Conjunto Montado virtual CAD-0

Se você já teve a oportunidade de trabalhar ou interagir com alguém que trabalhou no departamento de BiW, certamente você saberá que a resposta

# AutoForm

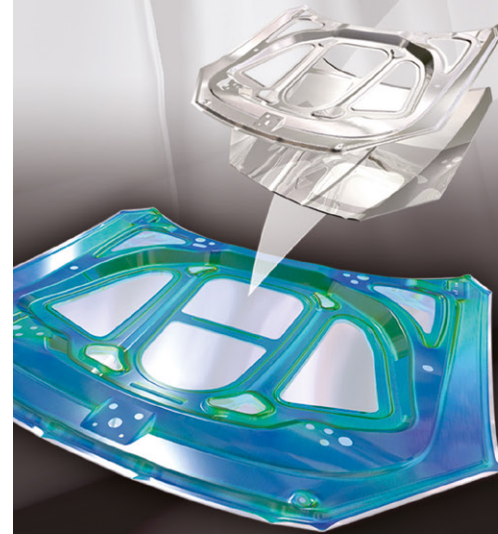
Soluções de Software para  
Conformação de Chapas Metálicas

## Você está interessado em:

- ▶ *Desenvolvimento de peças de chapas metálicas manufaturáveis?*
- ▶ *Um processo eficiente e seu planejamento de custos?*
- ▶ *Criação rápida e fácil de conceitos de ferramental e a validação final do processo de conformação?*
- ▶ *Um try-out eficiente e uma produção robusta e de alta qualidade?*

## Nós podemos ajudá-los com:

- ▶ *Soluções em software de alta qualidade, desenhadas para a sua realidade diária e com alto desempenho*
- ▶ *Todo o suporte técnico necessário para que você possa tomar as decisões corretas ao longo de toda a cadeia de desenvolvimento e produção dos processos de conformação em chapas metálicas*



negativa para esta pergunta é simples e direta, e ela é assim por conta de pelo menos três fatores: 1-) A “soma” das tolerâncias individuais podem levar a um valor fora da tolerância do conjunto. 2-) O Processo de junção, tanto relacionado a localização das uniões, como a sequência em que elas são feitas, podem impor tensões ao conjunto e que, somadas às tensões iniciais de estampagem, o tirem do dimensional. 3-) Tensões dos processos anteriores e/ou do próprio processo de união (solda por exemplo).

A Figura 1 exemplifica o objetivo, que é perfeito no mundo virtual, onde a exatidão é garantida matematicamente. Já a Figura 2, representa a realidade em que vivemos, onde conseguimos sim peças dentro de uma faixa de tolerância dimensional, mas nunca “perfeitas”.



Figura 2: Conjunto Montado no Mundo Real - Tensões internas

E aqui, entra mais uma questão: Até que ponto vale a pena dispendir exaustivas horas de trabalho para se compensar desvios geométricos em uma peça que será montada em um conjunto, sem antes avaliar o que acontecerá quando o conjunto for montado?

Para tentar exemplificar o acima citado, usaremos um exercício didático mostrado na Figura 3, um conjunto de capô, que consiste, de forma simplificada, em 4 peças, sendo elas: Capô externo, capô interno, reforço da fechadura e reforço interno.

O processo comum que hoje é observado em montadoras para manufatura deste conjunto, é o descrito acima, onde tanto as peças *make* (realizadas

internamente) quanto as peças *buy* (compradas de parceiros de negócio) são projetadas tendo critérios individuais e são, em sua maioria, aprovadas de forma individual. Processo que é ainda agravado pelo fato de que, na grande maioria dos casos, os painéis maiores (interno e externo) são peças *make*, com um processo de desenvolvimento que segue uma determinada linha de raciocínio, enquanto os reforços são passados a fornecedores (peças *buy*), que se preocupam em atender as exigências para aquela peça individual.

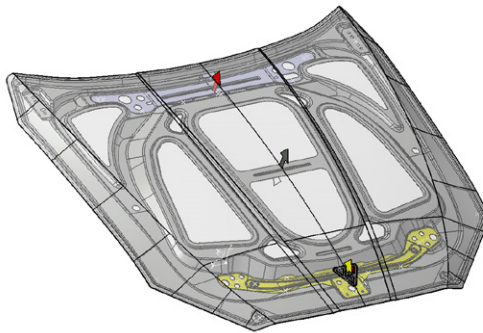


Figura 3: Conjunto didático de um capô

Imaginem que o seu time de engenharia se esforce, e entregue o capô externo do exemplo acima, depois de horas de engenharia, simulação, construção e *tryout*, dentro da tolerância dimensional para a equipe de grafagem. Essa mesma equipe de grafagem, recebe um painel interno que não foi feito com o mesmo cuidado e está fora do dimensional, talvez devido a tensões imputadas ao processo por um dos reforços.

Por se tratar de um painel em material macio e de baixa espessura, a tendência é que o painel externo se molde ao subconjunto interno, levando o resultado do conjunto completo a também estar fora da tolerância, fazendo com que todo o esforço do seu time, tenha sido em vão.

Ao chegar até aqui, vocês podem estar pensando: “Ok, entendi, mas o que isso significa? Que não devo me preocupar em compensar o painel externo?”

O ponto aqui é: Não é possível

Tel: +55 11 4121 1644  
info@autoform.com.br

www.autoform.com

**AUTOFORM**  
Forming Reality

saber qual seria a melhor estratégia a ser aplicada sem uma avaliação prévia. Hoje, já existem tecnologias que permitem isso e mostraremos aqui, como utilizá-las e como elas podem alterar o processo atual de manufatura.

A Figura 4 mostra resultados de *springback* das simulações do painel externo e interno, ambos medidos com relação a suas condições nominais CAD-0, conforme o produto. É possível observar valores altos de *springback* para ambas as peças. Notamos também peculiaridades, como o desvio em direções opostas em regiões que são sobrepostas no conjunto final, como destacado na imagem.

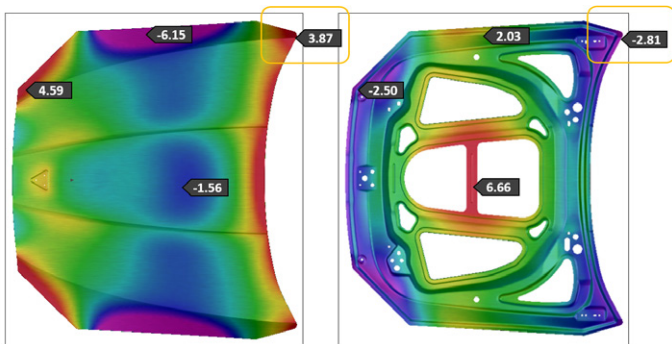


Figura 4: *Springback* Capô Externo e Capô interna

Já a Figura 5, apresenta os resultados de *springback* do subconjunto interno soldado, formado pela estrutura interna do capô, somada aos dois reforços mencionados anteriormente. No lado direito, temos o resultado de *springback* após a grafagem do conjunto completo, composto pelo painel externo e o subconjunto soldado.

Aqui, vale a pena mencionar pontos interessantes, que podem passar despercebidos:

1. O resultado inicial dos desvios dimensionais do conjunto grafado, é diferente quando comparado as peças singelas e, por incrível que pareça, não tão longe de um resultado satisfatório, como estão as peças individuais;
2. Nenhum dos painéis mostrados nesse primeiro cenário, passou por uma correção dimensional prévia;
3. As áreas de match da carroceria no resultado final, não estão tão ruins, quanto nas peças singelas.

Como ainda temos regiões fora da tolerância, foi uma aplicada uma compensação de *springback*, inicialmente apenas

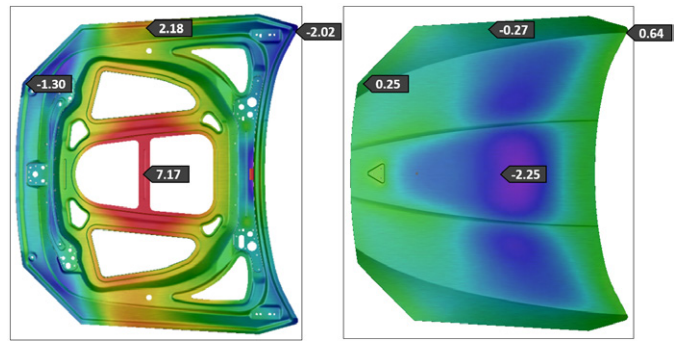


Figura 5: *Springback* do Conjunto Soldado e do Conjunto Grafado

no painel interno e usando como referência o painel nominal CAD-0. A Figura 6 mostra os resultados dessa compensação tanto no painel singular quanto no resultado do subconjunto soldado. Esse novo subconjunto foi substituído no processo de grafagem e a Figura 7 mostra o resultado de *springback* do conjunto atualizado.

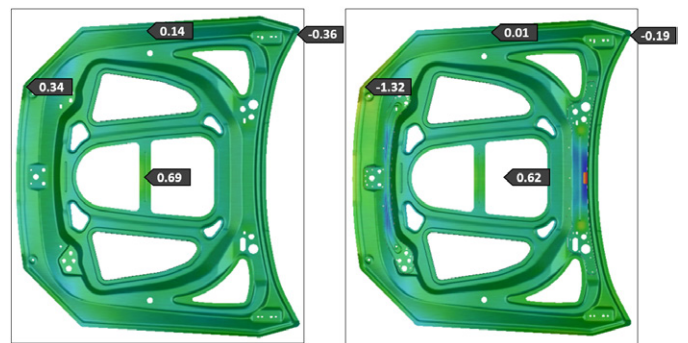


Figura 6: *Springback* Capô Interno Compensado e do Conjunto Soldado

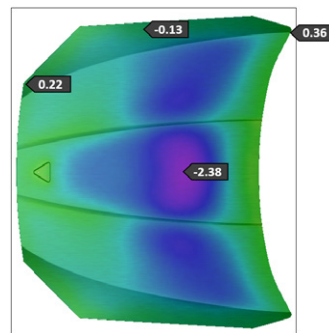


Figura 7: *Springback* do conjunto grafado (sem compensação no painel externo)



**GARANTA O EQUILÍBRIO  
NECESSÁRIO NOS NEGÓCIOS.**  
CONHEÇA AS FORMAS INOVADORAS DE ANUNCIAR NO CIMM.



Uma melhora nas áreas de match é observada, agora totalmente dentro da tolerância. Nota-se também a existência de regiões negativas na parte externa, que são reflexos ainda da peça singular, o que significa dizer que estas regiões não são influenciadas pelos outros processos, e a saída é compensá-la na origem.

Aqui, entra uma novidade. É possível usarmos o resultado da Figura 7, para criar uma referência virtual a ser usada na compensação do painel externo. Dessa forma, apenas as regiões de interesse serão compensadas, mantendo as áreas que já estão dentro da tolerância intactas. O resultado desse método é mostrado na Figura 8. Ela mostra, para fins

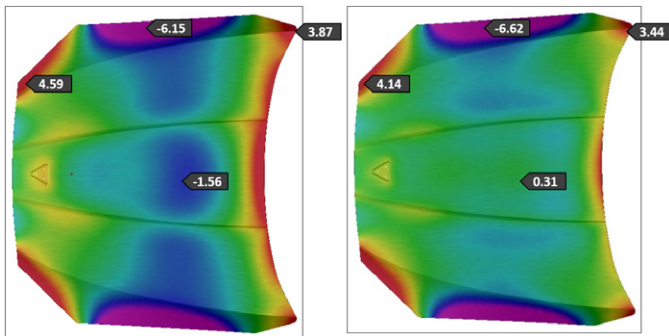


Figura 8: Capô externo sem compensação e Capô compensado com base no resultado da grafagem

comparativos, a simulação original do painel externo do lado esquerdo, e do lado direito a simulação compensada apenas nas regiões que apresentaram desvios no conjunto final.

Este resultado é então levado novamente ao processo de grafagem e um novo cálculo é realizado, chegando ao final mostrado na Figura 9, que contém um conjunto dentro do dimensional.

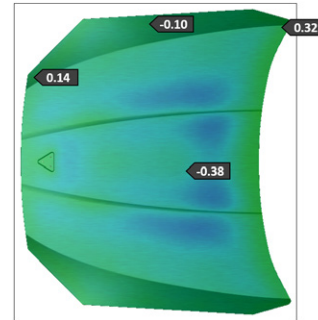


Figura 9: Conjunto grafado final

Os olhares mais atentos já devem ter percebido quais impactos o processo descrito acima podem causar, mas colocaremos aqui os principais pontos em destaque:

**GAMA**  
MATRIZES

25 ANOS

Alta tecnologia em projeto e produção de moldes de até 10 toneladas para injeção de alumínio.

[www.gama.ind.br](http://www.gama.ind.br)

GAMA INDÚSTRIA DE MATRIZES | CAXIAS DO SUL - RS | 54 3535.5770 | [www.gama.ind.br](http://www.gama.ind.br) | [gama@gama.ind.br](mailto:gama@gama.ind.br)

- O painel interno foi compensado na maneira padrão, usando como referência o produto nominal, CAD-0;
- A compensação do *springback* do painel externo foi severamente reduzida, reduzindo vários riscos, entre eles, o de criação de defeitos de superfície durante este processo;
- As tolerâncias dimensionais do painel externo podem ser liberadas, especialmente nas regiões de match;
- O método reduziu significativamente os esforços necessários na compensação de *springback* de várias peças do conjunto.

Isso significa dizer que, alterando um pouco nosso processo atual e utilizando as tecnologias disponíveis no mercado, podemos gerar *savings* grandes em horas de engenharia e *tryout* tanto nos painéis estampados quanto

nos conjuntos e subconjuntos. Paradigmas precisam ser vencidos para que isso um dia se torne realidade. Sobre esse ponto de vista, podemos colocar dois pontos como conclusão:

1. Já existem grandes empresas fazendo testes com esse método e obtendo excelentes resultados;
2. A algum tempo atrás quem imaginaria que seria possível tirar um paralama com 85% dos pontos dentro da tolerância dimensional na primeira peça ferramentada, o que hoje se consegue obter de forma sistemática? Por que não podemos acreditar que no futuro isso também possa acontecer com a avaliação de conjuntos e subconjuntos como um todo, incluindo processos de grafagem e união?

Sabemos que se trata de um assunto polêmico e deixamos a cargo de vocês a reflexão sobre este tema. Estamos sempre abertos a discussões, não hesitem em nos contatar!

Obs.: Os cálculos e exemplos mostrados aqui foram executados com o *software* de simulação AutoForm® tanto para os estudos de conformação, grafagem e todos os processos de união e montagem dos conjuntos e subconjuntos.



**Fernando Henrique Terzetti:** Engenheiro de aplicação na AutoForm do Brasil e integrante da equipe técnica responsável pelo suporte a aplicação do software no mercado brasileiro e argentino, possui 10 anos de experiência na indústria automobilística tendo atuado na área de projetos de ferramentas para estamparia e simulação de processos de estampagem. Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação e cursa MBA em Gerenciamento de Projetos. +55 11 4121-1644 / fernando.terzetti@autoform.com.br

## A melhor solução para proteção contra corrosão e abrasão

Camada uniforme dispensando retrabalho posterior

Dureza até 68 hrc

Camada de 1 até 150 micras

Auto Lubrificante

Níquel Duro - Químico

Níquel - Lub

Anodização Dura

Níflon



### Super Finishing



Níquel Duro Químico Níquel Eletrolítico

