

EFICIÊNCIA NA MANUTENÇÃO DE FERRAMENTAIS DE ESTAMPAGEM COM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

POR ELEN C. O. SOARES

A conformação metálica é um processo fundamental na indústria de manufatura, especialmente nos setores automotivo, aeroespacial e metalúrgico, por permitir a fabricação de componentes com alta resistência, precisão dimensional e alto volume de produção. Esse processo consiste na transformação da geometria de chapas metálicas por meio da aplicação de tensões controladas, promovendo alterações em suas propriedades mecânicas (como resistência, dureza e ductilidade) sem comprometer a funcionalidade estrutural da peça.

Na estampagem, a qualidade e a robustez dos ferramentais de conformação são essenciais para manter a eficiência na produção, já que são submetidas diariamente a milhares de ciclos que aceleram o desgaste por pressão, atrito entre superfícies e variações de temperatura. Esses fatores podem comprometer a estabilidade dimensional das peças, exigindo ajustes frequentes para garantir os padrões de qualidade.

Dentro desse contexto, um dos principais desafios é realizar a manutenção sem comprometer a produtividade, já que, em muitos casos, ela é feita de forma empírica, baseada na experiência dos operadores e em sucessivas tentativas de ajuste. Isso leva a paradas frequentes, retrabalho e desperdício de material, prolongando o tempo de intervenção em um ambiente que depende fortemente da disponibilidade dos equipamentos para atender o volume de fabricação estabelecido pelo time de PCP (Planejamento e Controle da Produção). Como consequência, há impacto direto no OEE (*Overall Equipment Efficiency*), gerando atrasos e custos adicionais.

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Visando superar os obstáculos relacionados ao tempo de manutenção, o uso de tecnologias de simulação computacional tem se mostrado uma alternativa eficaz para antecipar pontos críticos e propor soluções com maior precisão. Entre essas tecnologias, destaca-se o AutoForm, reconhecido como um dos principais programas de simulação computacional no setor de conformação e montagem de

conjuntos de chapas metálicas. Inicialmente desenvolvido para apoiar a fase de engenharia, o programa teve sua aplicação expandida significativamente, passando a integrar também as estratégias de manutenção de ferramentais.

O AutoForm atua como uma “*prensa virtual*”, sendo capaz de trabalhar em paralelo às atividades de manutenção corretivas, permitindo simular alterações antes da aplicação prática, e possibilitando ações assertivas, focadas apenas nas áreas que realmente necessitam de intervenção.

Além disso, ele contribui na identificação da causa raiz dos principais problemas que podem ocorrer durante a produção, oferecendo dados precisos que orientam decisões técnicas dentro da manutenção preditiva. Como resultado, há uma otimização do tempo de manutenção, diminuição das paradas de produção, redução de retrabalhos e aumento da confiabilidade do processo.

ESTUDO PRÁTICO

Este artigo apresenta a análise de um caso prático envolvendo a equipe de manutenção de uma fabricante automotiva, durante a estampagem do painel lateral externo. Ao longo da produção, foram identificados pontos críticos de ruptura nas regiões dos vãos das portas dianteira e traseira, além de regiões com afinamento excessivo do material, o que comprometia a integridade estrutural e a qualidade final do componente.

As falhas recorrentes estavam relacionadas às variações nas propriedades mecânicas, à resposta dos ferramentais frente ao ritmo intenso de produção e à complexidade geométrica da peça. Esses fatores, somados ao elevado nível de exigência técnica do painel lateral externo, impactavam diretamente a eficiência operacional e necessitavam de intervenções corretivas frequentes. Diante desse cenário, foi iniciado um ciclo de simulações computacionais com base em dados reais do processo, com o objetivo de compreender com maior precisão as causas das falhas.

A equipe de manutenção desempenhou um papel decisivo na condução do estudo, atuando na validação dos resultados

e na definição das ações corretivas. Formado por técnicos, ajustadores de ferramentais e engenheiros de processo, o grupo colaborou de forma integrada, combinando experiência prática e conhecimento técnico para interpretar os dados, propor ajustes e validar virtualmente as soluções antes da aplicação no ambiente produtivo.

Por meio de um ciclo iterativo de simulação e validação, a abordagem foi estruturada em quatro fases principais: modelagem preliminar, refinamento do modelo, validação das soluções e apresentação dos resultados. Cada etapa foi fundamentada em dados reais do processo produtivo, permitindo uma metodologia mais precisa e eficiente.

MODELAGEM PRELIMINAR

Nesta primeira etapa, foram coletados dados reais do processo de estampagem, incluindo a geometria dos ferramentais, as propriedades do material utilizado e os parâmetros operacionais da prensa. Com base nessas informações, foi criado um modelo virtual no software, com o objetivo de simular o comportamento do material durante a conformação.

Para garantir a acurácia da simulação, foram inseridos os principais dados do material (como limite de escoamento, coeficiente de anisotropia, curva limite de conformação) e o plano de métodos. A geometria do ferramental foi referenciada na superfície liberada para usinagem, complementada por uma malha STL obtida diretamente do ferramental físico. Essa malha foi utilizada como base de comparação para identificar alterações que haviam sido realizadas diretamente no ferramental real, sem atualização no modelo CAD.

A simulação inicial teve como propósito comparar a diferença entre o projeto original e o estado atual do ferramental.

REFINAMENTO DO MODELO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS

Após a construção do modelo de prensa virtual, foi realizada a primeira simulação do processo de estampagem. Essa etapa teve como objetivo verificar o comportamento do material sob as condições atuais de conformação e identificar falhas recorrentes, como rupturas internas, afinamento excessivo e instabilidades dimensionais. Durante a análise dos resultados, foram identificados diversos pontos de ruptura na região dos vãos das portas dianteira e traseira do produto (figura 1), além de áreas com afinamento crítico (figura 2) que, se mantidas, comprometeriam a integridade da peça, tornando-a inviável para a fabricação.

Com essa base, iniciou-se o processo de refinamento da simulação, ajustando os parâmetros para aumentar a precisão e garantir que o modelo refletisse fielmente o comportamento físico do processo.

Foram incorporados dados complementares, como o ensaio do material (incluindo o histograma de propriedades

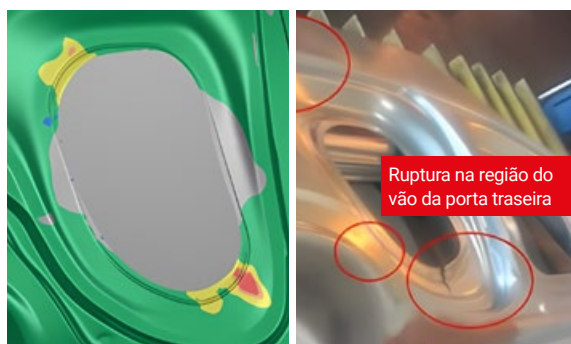


Figura 1 – Advanced formability demonstrando pontos de ruptura

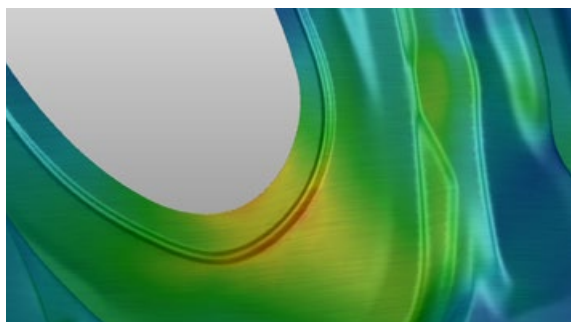


Figura 2 – Max failure com pontos críticos de afinamento no produto

mecânicas), a dimensão real da platina e a pressão da almofada aplicada durante a conformação.

Ainda na fase de análise, foi inserida na simulação uma modificação previamente realizada pela equipe de manutenção no ferramental físico: a adição de um sobremetal no anel interno. Essa intervenção prática teve como objetivo minimizar problemas em regiões críticas da peça, onde estavam ocorrendo rupturas. Ao reproduzir essa alteração no ambiente virtual, foi possível avaliar seu impacto e comparar o resultado do projeto original e a condição atual da ferramenta.

PROPOSIÇÃO DE VALIDAÇÃO DE SOLUÇÕES

A partir das falhas diagnosticadas na simulação e nas análises comparativas entre o modelo CAD e o ferramental físico, foi desenvolvido um plano de ação corretivo com o objetivo de mitigar os problemas recorrentes de ruptura e afinamento excessivo, gerados pela variação das propriedades mecânicas da chapa e a geometria complexa do produto. As soluções propostas foram direcionadas à equipe de manutenção, com foco em ajustes estratégicos para que pudessem ser validados virtualmente antes de qualquer intervenção física.

As correções foram implementadas no modelo virtual, permitindo testar sua eficácia em ambiente simulado e antecipar os efeitos das modificações, reduzindo riscos e custos associados a tentativas físicas.

Primeira Proposta

Inclusão de um furo adicional no *blank* com diâmetro de 60 mm, com o objetivo de aliviar tensões e reduzir o risco de ruptura nas regiões críticas (figura 3).

Observou-se que, embora o ponto de ruptura original tenha sido deslocado, não houve uma melhoria efetiva no desempenho da peça. O ponto de falha continuava crítico e comprometia a integridade do produto, o que indicou que a alteração apenas transferiu o problema, sem resolvê-lo. Por esse motivo, essa alternativa foi descartada do plano de ação final.

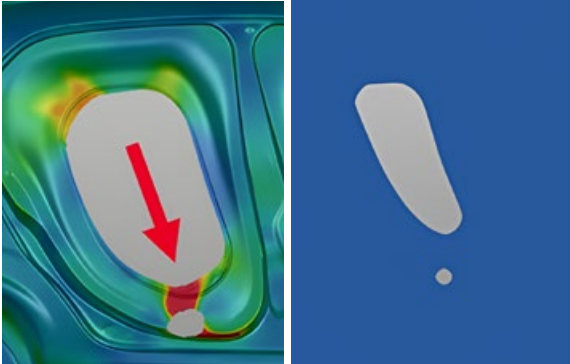


Figura 3 – Análise comparativa entre o furo na platina e a conformação final

Segunda Proposta

O aumento da altura do quebra-rugas no segmento esquerdo, visando melhorar o controle do fluxo de material (figura 4).

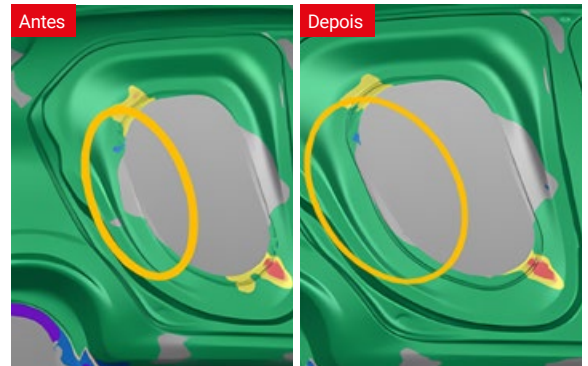


Figura 4 – Visualização do processo antes e depois do aumento do bead esquerdo

O aumento da altura no segmento esquerdo do quebra-rugas promoveu um estiramento mais efetivo do material, resultando em uma melhor distribuição de esforços durante a conformação. Essa modificação contribuiu diretamente para a diminuição dos pontos de ruptura anteriormente identificados na região da porta traseira, reduzindo significativamente o risco de falhas estruturais e proporcionando maior controle

YUDO®
excelência que gera confiança

O poder do controle em suas mãos

Com os Controladores Yudo, você garante estabilidade, resistência e alta tecnologia, tudo isso com o **melhor preço do mercado.**

Yudo: qualidade global, agora ao seu alcance.



Av. Santos Dumont 7855
Zona Industrial Norte
Joinville | SC | Brasil

yudo.com

+55 47 3435-0022

sobre o fluxo do material. Por apresentar resultados consistentes e alinhados com os objetivos do estudo, essa proposta foi incorporada à configuração final aplicada.

Terceira Proposta

Aumento da altura do quebra-rugas no segmento direito, com a mesma finalidade de estabilização do deslocamento do *blank* (figura 5).

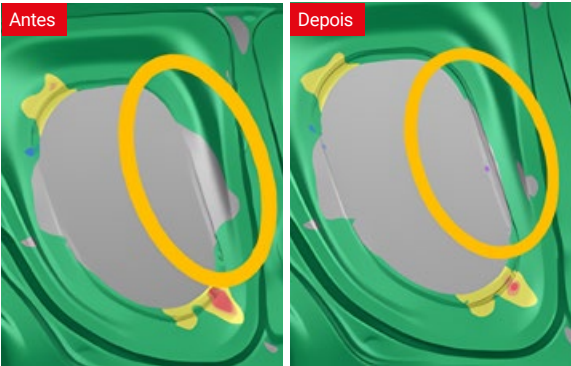


Figura 5 – Visualização do processo antes e depois do aumento do *bead* direito

O aumento da altura no segmento direito do quebra-rugas também promoveu um estiramento mais efetivo do material, contribuindo para uma conformação mais uniforme em determinadas regiões da peça. No entanto, a simulação revelou um efeito colateral importante: houve uma piora em pontos de ruptura em outras regiões do produto, indicando que o ajuste, embora benéfico em parte do processo, acabou gerando uma nova área crítica. Esse resultado evidenciou que a modificação não oferecia uma melhoria global e, por isso, foi considerada não viável para aplicação prática, sendo descartada da configuração final.

Quarta Proposta

Redução da profundidade do anel na região do vão da porta traseira, para suavizar a transição de conformação e diminuir a concentração de esforços (figura 6).

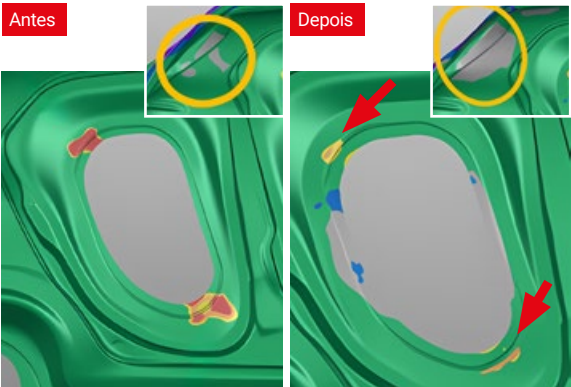


Figura 6 – Visualização do processo antes e depois da redução do anel interno

Otteve-se uma melhora significativa em todos os pontos críticos previamente identificados. No entanto, essa mesma configuração não possibilitou um estiramento mínimo necessário localizado em uma área importante da peça. Esse tipo de falha, embora não comprometa diretamente a estrutura, pode impactar a qualidade visual e funcional do produto. Diante disso, a proposta foi considerada tecnicamente não viável para aplicação prática sem ajustes adicionais.

Quinta Proposta

Diminuição dos furos internos da platina na região do vão da porta traseiro forçando a estrutura e evitando deformações indesejadas (figura 7). Linha verde modificada/ linha vermelha original.

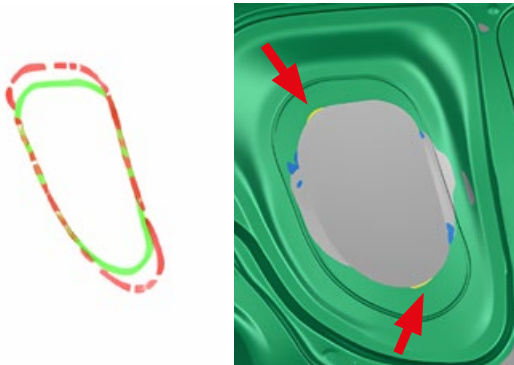


Figura 7 – Visualização do processo com a diminuição dos furos da platina indicada pela linha verde

A proposta de diminuir os furos internos da platina na região do vão da porta traseira teve como objetivo reforçar a estrutura da peça e evitar rupturas indesejadas durante o processo de estampagem. Essa modificação mostrou-se eficaz na redução de afinamentos e na melhora da estabilidade dimensional. A nova configuração apresentou resultados positivos nas simulações, com distribuição mais uniforme das tensões e menor risco de rupturas que se propagavam ao longo do produto.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base na análise das simulações, foi definida a condição final aplicada, considerada a melhor configuração para otimizar a conformação do produto atual. Entre todas as alternativas testadas, duas ações se destacaram por apresentarem resultados consistentes e sem efeitos colaterais negativos: a modificação da altura do quebra-rugas no segmento esquerdo (Proposta 2), que promoveu um estiramento mais efetivo do material e suavizou os pontos de ruptura na região do vão da porta traseira; e a diminuição dos furos internos da platina (Proposta 5), que contribuiu para maior estabilidade dimensional e resistência da peça. Ambas as propostas demonstraram excelente desempenho na simulação, com ganhos significativos na

distribuição de espessura e redução de falhas críticas.

A escolha da condição final foi, portanto, baseada na eficácia técnica, estabilidade do processo e ausência de efeitos adversos, mesclando as duas propostas citadas anteriormente (figura 8).

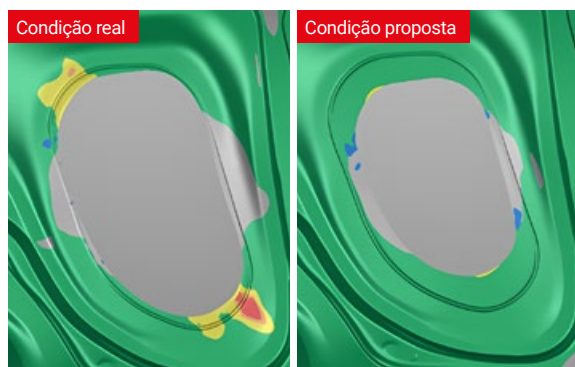


Figura 8 – Comparação entre a condição atual do produto e a otimização proposta final

No cenário atual com base na análise do histograma do material, observou-se que a anisotropia é o fator com maior influência na formação de trincas das regiões críticas, resultando em um elevado índice de refugo. A proposta de modificação aplicada proporcionou uma condição de conformação mais estável, mesmo diante das variações da matéria-prima, reduzindo significativamente a ocorrência de falhas. Essa melhoria refletiu diretamente nos indicadores estatísticos de qualidade, com aumento dos valores de C_p e C_{pk} , demonstrando maior capacidade do processo em manter-se dentro das especificações e com menor dispersão, o que reforça a viabilidade técnica da solução adotada.

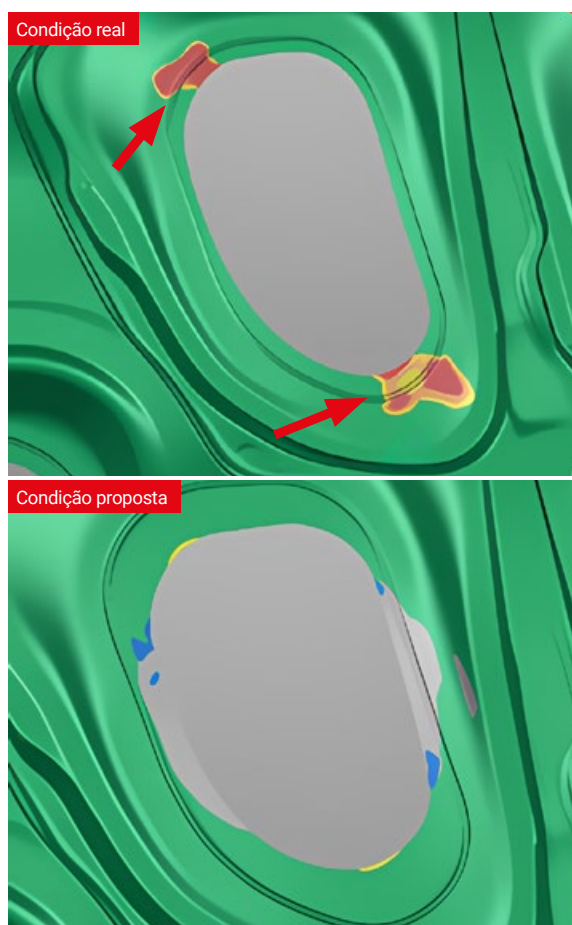


Figura 9 – Análise de capacidade do processo

CONCLUSÃO

A aplicação da simulação computacional ao processo de manutenção corretiva permitiu ganhos expressivos em tempo e qualidade. As simulações realizadas necessitaram entre 15 e 60 minutos, dependendo da proposta calculada. Em contraste com os *tryouts* físicos que demandariam entre 1 e 6 turnos de trabalho (8 horas por turno) dependendo da proposta implementada.

Essa diferença evidencia o potencial da simulação para antecipar falhas, validar soluções e reduzir o número de intervenções físicas necessárias. Como resultado,

observa-se uma redução de custos, com menor incidência de retrabalhos, descarte de material e tempo de parada de máquina.

A abordagem adotada representa um avanço significativo na forma como se conduz a manutenção e o aprimoramento de ferramentais de estampagem, promovendo uma tomada de decisão mais assertiva, mais previsível, eficiente e tecnicamente embasada. Conduzindo essa transformação digital com os princípios da indústria 4.0 e da melhoria contínua. ■



Elen Camilli Oliveira Soares - Engenharia Mecânica pela Universidade São Judas Tadeu. Engenheira de Aplicações Júnior na AutoForm do Brasil, aplicando simulação de conformação para análise de carenagens metálicas e participando da otimização de processos produtivos visando a melhoria da qualidade e eficiência na indústria automotiva. Gerente de projetos na equipe universitária Garra Baja, dedicada ao desenvolvimento de um veículo off-road monoposto para o Baja SAE.
elen.soares@autoform.com.br