

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
JORGY LUCAS TOTTI

ALÍVIO NA TENSÃO DE CORTE EM ESTAMPOS DE ALUMÍNIO

Varginha
2019

JORGY LUCAS TOTTI

ALÍVIO NA TENSÃO DE CORTE EM ESTAMPOS DE ALUMÍNIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Sidnei Pereira.

**Varginha
2019**

JORGY LUCAS TOTTI

ALÍVIO NA TENSÃO DE CORTE EM ESTAMPOS DE ALUMÍNIO

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.º.

Prof.º.

Prof.º.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter iluminado toda minha caminhada e me segurado nos braços, agradeço também a minha família, amigos e o Eng. José Otávio Baldim Machado, pelo grande apoio.

RESUMO

Com a expansão do uso do alumínio, principalmente no ramo de esquadrias metálicas, a necessidade de elaborar novas formas de fixação entre os perfis é grande, gerando assim inúmeras formas de estampagem em diferentes espessuras de parede, porém, tantos tipos e formatos de perfis exigem diferentes formas de ferramentas o que demanda, também, projetos mais complexos gerando ferramentas duráveis e produtivas. A medida mais adequada então, seria desenvolver a ferramenta de estampo de maneira a operar com tensões de corte aliviadas, usando de recursos práticos como escalonamento do corte do punção e a divisão de uma área de corte em áreas menores, como alternativas rápidas e baratas para o problema. Sendo assim, as ferramentas terão vidas úteis muito maiores e facilitarão muito a manutenção preventiva, já que a troca dos elementos de estampo não será mais feita por causa de quebras, mas quando a proximidade do desgaste excessivo for detectada. A de dado será feita dentro de uma das maiores fabricantes de esquadrias do Brasil, a MGM. Com uma grande produção e apelo a produção sem interrupção, essa empresa fornecerá um nicho ideal para o desenvolvimento deste trabalho.

Palavras-chave: Alumínio. Estampagem. Tensões de corte.

ABSTRACT

As the aluminium conquest many application areas, especially in the metal window and doors frame, the necessity to develop new kinds of fixation between the profiles is big, generating so, innumerable stamp ways in diferents wall thickness. But, all these stamp formats needs differents tools that makes necessary too, more complex projects to build more productives and tough tools. So, the better way would be develop a tool that can operate with the cut stress released, using practical resourses like to apply cut angles in the punch or to divide the cut areas in small ones as quick and cheap alternatives to solve the problem. By this way, the tools will have longer life and will make the prevent maintence easyer, becouse the change of the cut components for some fail reason, will not happend anymore. Now, this change is going to happend just in case of wer during the use. All the pratical data will be collect inside of the one of the biggest window and door frames manufacturer of Brazil, the MGM. With a big production and necessity of "no interruption production line", this factory will be the perfect ground to develop this work.

Palavras-chave: *Aluminium. Stamp. Cut stress.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Aspectos gerais	12
Figura 2: Matriz 1	14
Figura 3: Matriz 2.....	15
Figura 4: Punção oblongo.....	16
Figura 5 Punção do furo de Ø5mm	16
Figura 6: Punção do furo de Ø10mm	17
Figura 7: Representação da folga de corte.....	18
Figura 8: Identificação do punção e matriz na folga	19
Figura 9: Perfil 6900.....	22
Figura 10: Matriz pós rompimento.....	23
Figura 11: Representação em sólido do perfil	25
Figura 12: Diâmetro de 10mm.....	26
Figura 13: Oblongo na parede de espessura 1mm.....	27
Figura 14: Diâmetro 0,5mm	28
Figura 15: Talo do topo do perfil.....	29
Figura 16: Esforço de corte na matriz 1 sem nenhum recurso de corte.....	31
Figura 17: Esforço de corte na matriz 2 sem nenhum recurso de corte.....	32
Figura 18: Punção 1 com corte escalonado	33
Figura 19: Punção 2 com o corte escalonado	34
Figura 20: Punção 3 com corte escalonado	34
Figura 21: Esforço de corte na matriz 1	36
Figura 22: Esforço de corte na matriz 2 com punções escalonados	37
Figura 23: Esforços de corte 1 na matriz com punção escalonado.....	38
Figura 24: Esforços de corte 2 na matriz 1 com punção escalonado.....	39
Figura 25: Esforço de corte 2 na matriz 2 com punção escalonado	40
Figura 26: Esforço de corte 3 na matriz 2 com punção escalonado	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 DETALHAMENTO DO PROCESSO	11
2.1 Sobre corte por estampagem	11
2.2 Detalhamento sobre os componentes de corte	12
2.2.1 As matrizes	13
2.2.2 Os punções.....	15
2.2.3 Folga de corte	17
2.2.4 Aço D6.....	19
2.3 Sobre o alumínio	20
2.4 Análise e definição do perfil de amostra	21
2.5 Cálculo do esforço de corte	22
2.6 A falha	23
2.6.1 Fadiga	24
2.6.2 Momento.....	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 Cálculos de esforços de corte com a ferramenta sem modificação	29
3.2 Simulação de fadiga	30
3. 2. 1 Primeiros resultados	31
3.3 O escalonamento dos punções.	33
3.4 Divisão da área de corte	38
4 RESULTADOS	42
5 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se trata de como reduzir as tensões de corte em estampos de alumínio para sanar a quebra de matrizes e punções prematuramente devido a grandes impactos provindos do corte.

Sendo assim, é possível atender grandes áreas de corte no interior estreito de um perfil tubular sem que as matrizes quebrem?

A medida mais adequada, então, seria desenvolver a ferramenta de estampo de acordo com as necessidades do cliente usando de recursos práticos como, escalonamento do corte do punção e a divisão de uma área de corte em áreas menores.

Tal abordagem é devida ao fato de o processo de corte ter vários estágios, tendo de romper o regime elástico e plástico de um material seguindo até a ruptura em questão de segundo. Tamanha exigência pode levar a um fatal efeito nos componentes de corte, gerando vários transtornos a empresa para confeccionar novas unidades no menor tempo possível a fim de prejudicar, ao mínimo, o tempo de produção das esquadrias.

É importante ressaltar que estampo parado acarreta perdas financeiras através, não só de atraso de produção, mas também com mão de obra operacional ociosa e mobilização da ferramentaria na construção de novas peças a serem substituídas ou reparadas.

Estes quesitos podem somar custos de centenas de reais ao longo de apenas horas, que por sua vez podem ser evitados com projetos focados, não só na produtividade, mas também na vida útil das ferramentas, gerando ganhos de até o dobro de tempo produzindo ininterruptamente.

O objetivo aqui é apresentar tecnologias, através da tecnologia no processo de estampagem, para interromper a quebra de matrizes que operam no interior de perfis tubulares usando materiais facilmente encontrados no mercado e recursos básicos de corte.

Este intento será conseguido mediante informações encontradas em referencial teórico e também extraídas do dia a dia de produção de uma das maiores fabricantes de esquadrias do Brasil.

2 DETALHAMENTO DO PROCESSO

A ação será promovida por uma prensa excêntrica, nome este que se dá, segundo a empresa HARLO, pelo fato de seu acionamento ser excêntrico rotativo por um volante. Sendo assim, é uma máquina ideal para esse emprego por conseguir efetuar golpes rápidos e sucessivos.

Com isso, a parte superior da ferramenta será fixada no martelo da prensa e a parte inferior na mesa. A primeira contém os punções instalados e prontos para penetrarem na peça a ser estampada, já a segunda parte contém as matrizes que orientam o perfil na posição correta para que a peça não seja estampada de maneira incorreta.

O perfil então é colocado pelo operador (a) e o acionamento da prensa é realizado. A parte superior da ferramenta, pelo movimento descendente, efetua a operação de estampagem assim como descrito anteriormente.

2.1 Sobre corte por estampagem

O processo de estampo é de fácil concepção. Segundo Penteado (2009), estampagem é o processo de produção realizado por meio de corte ou deformação com a execução de prensagem a frio.

Neste caso do corte, o autor explica que o processo consiste em separar uma porção de chapa metálica, mediante a um golpe de prensa feita a frio.

Em tese, a matriz faz o papel de apoiar a chapa original para que a punção atravesse-a, retirando o material desejado com apenas um único golpe.

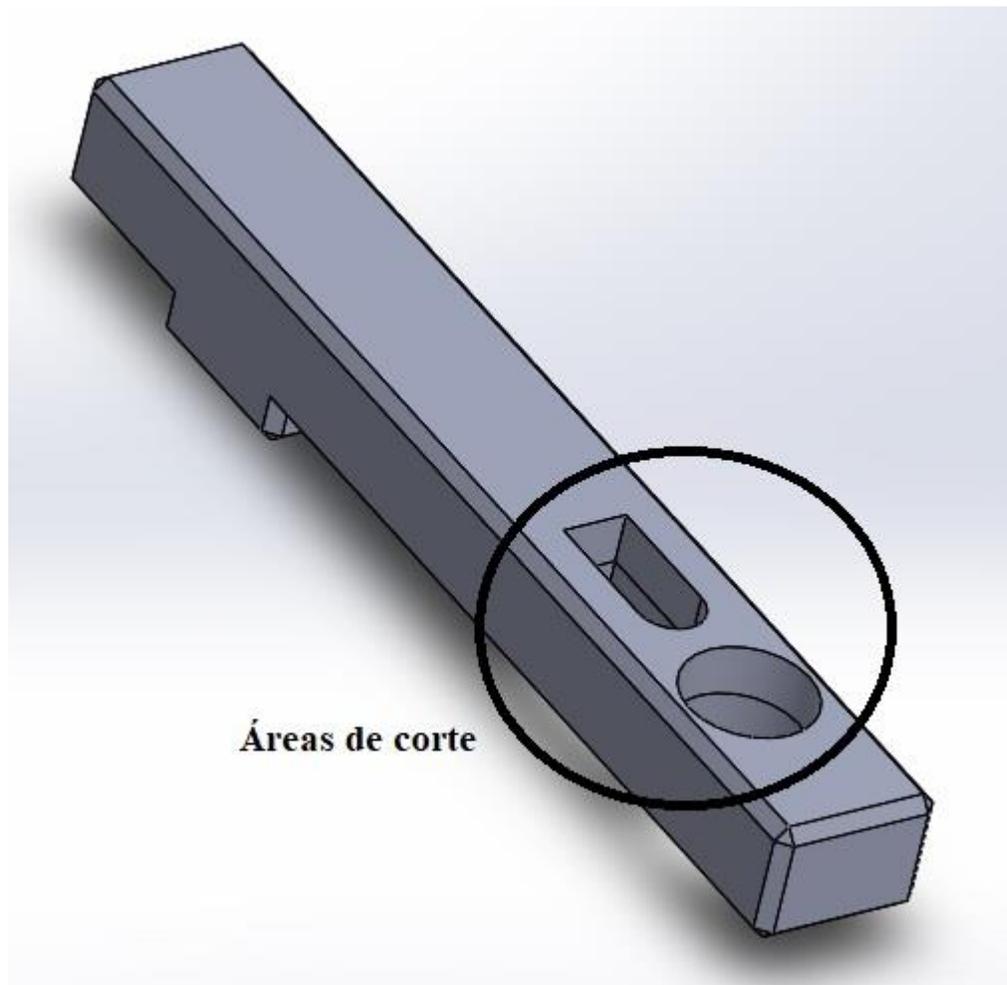
Em perfis não tubulares, sendo assim, de extremidades abertas, a liberdade na construção dos elementos de estampo é bem maior. Pode-se usar do espaço livre, para a construção de peças resistentes e prolongar a vida destes elementos.

Já os perfis tubulares, são formados por contornos fechados, formando tubos, ou bitolas, por isso o nome. Essa característica, por si só, não oferece dificuldade para que possa ser trabalhado, pois existem exemplares de bitolas generosas, propiciando mais espaço a ser ocupado pelos componentes de estampo.

O desafio então, será desenvolver uma configuração de estampagem que possa usar um perfil tubular de bitola estreita sem apresentar problemas de quebra ou falhas por fragilidade da peça.

2.2 Detalhamento sobre os componentes de corte

Figura 1: Aspectos gerais



Fonte: o autor.

Aliado a geometria limitada, os componentes de corte são construídos por aços duros e ainda passam pelo processo de têmpera, deixando-os ainda mais frágeis, porém resistentes ao desgaste.

O material escolhido para a construção das peças que envolvem o corte, foi o D6, aliado ao processo de tempera, é o material ideal para construção de matrizes e punções de corte e repuxo (RODMAN COMERCIAL DE AÇOS, 2019).

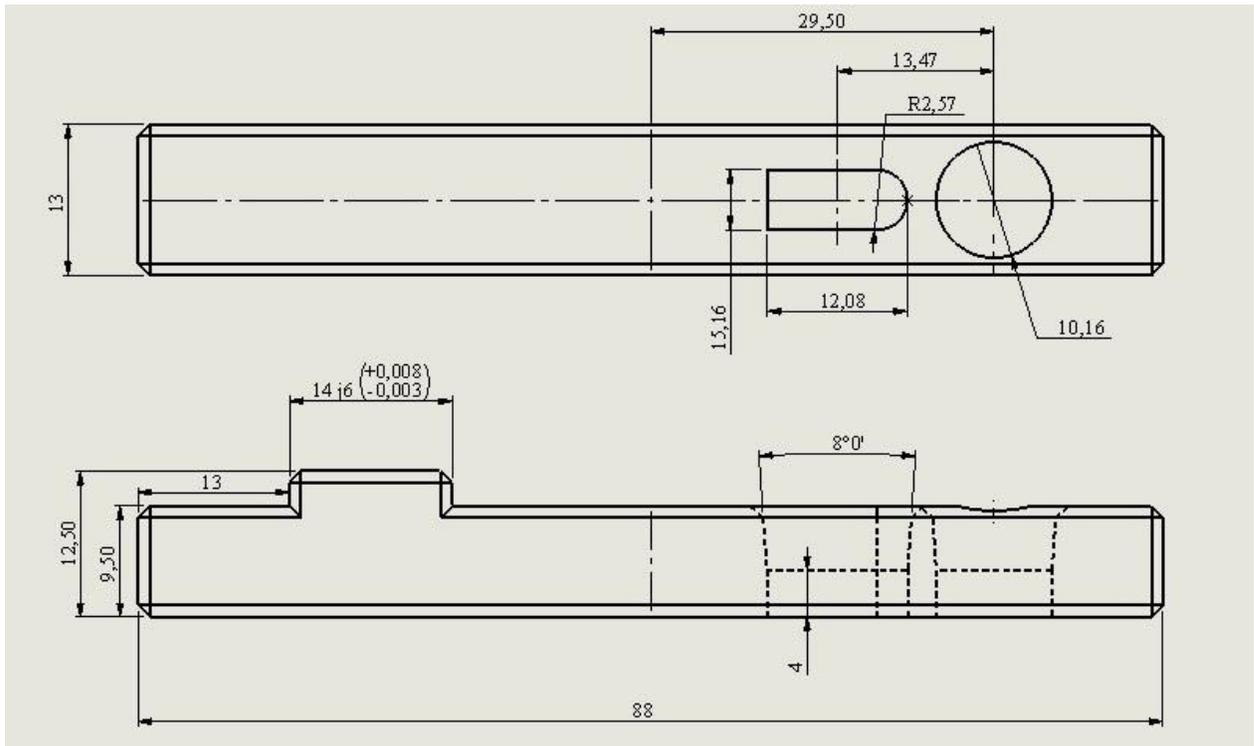
De forma semelhante, no material *Tratamento térmico - Têmpera*, FERMAC (2011) esclarece que Têmpera é um processo de tratamento térmico de aços para aumentar a dureza e a resistência a abrasão dos mesmos. A têmpera tem três etapas, aquecimento, manutenção da temperatura e resfriamento. O aquecimento tem como objetivo obter a organização dos cristais do metal, numa fase chamada austenitização, a manutenção da temperatura é o tempo necessário para estabilizar os cristais na temperatura de têmpera e o resfriamento brusco visa obter a estrutura martensita, que é a estrutura responsável pela característica dura da peça.

O restante da ferramenta pode ser construída em aço sem tratamento especial e com uma porcentagem menor de carbono, como o SAE-1020 e 1045.

2.2.1 As matrizes

As peças que funcionam como matriz nesse processo de estampagem podem ser exemplificadas a seguir por desenhos técnicos feitos no *solidworks*.

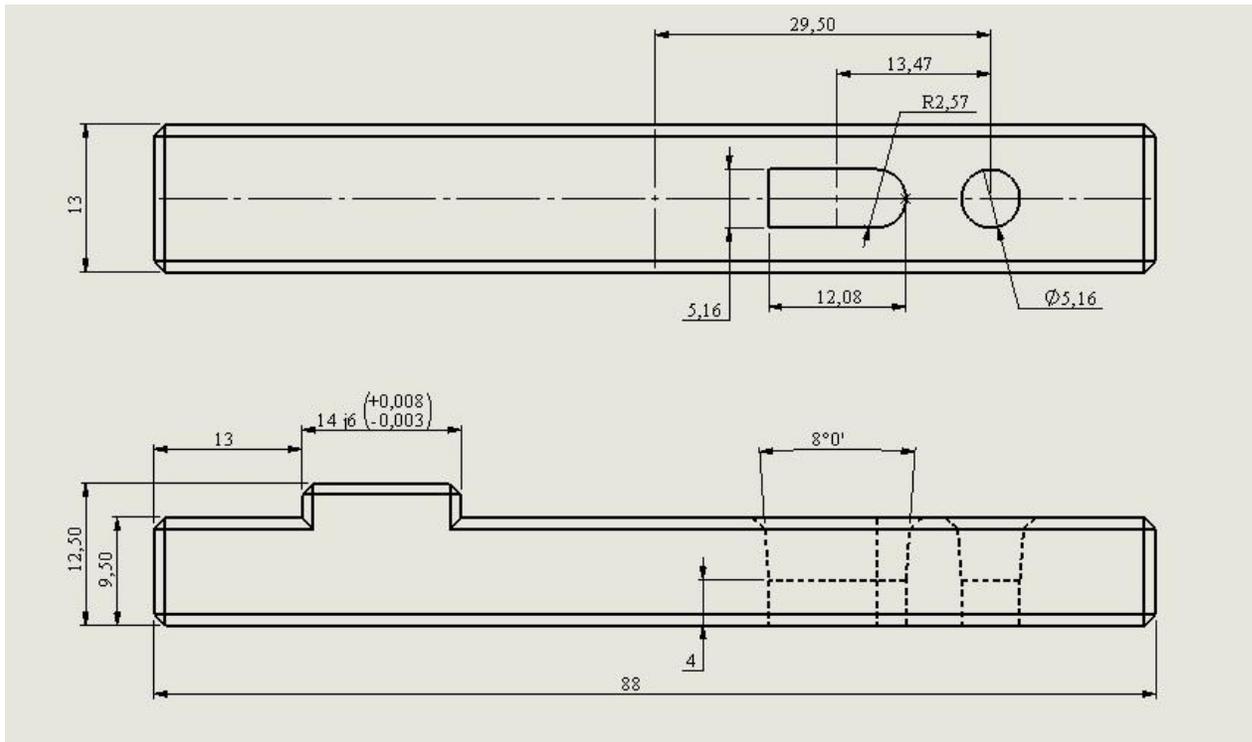
Figura 2: Matriz 1



Fonte: O autor

A primeira delas é responsável por tirar uma circunferência de $\varnothing 10\text{mm}$. Como a folga de corte é aplicada em toda a extensão do diâmetro, a medida recebe o acréscimo de 0,16mm. Ao mesmo tempo que essa circunferência é retirada, um oblongo também é retirado pelo mesmo processo, no mesmo golpe. Por isso, quando posteriores cálculos de esforço de corte forem feitos, os valores dos dois esforços serão somados e aplicados a essa peça.

Figura 3: Matriz 2



Fonte: O autor

Nesta segunda imagem, pode-se notar quase o mesmo trabalho, porém neste caso, o diâmetro removido é duas vezes menor. Assim como mostrado na figura 3, tanto o formato de oblongo, quando as circunferências são removidos do perfil de alumínio com um único golpe e por isso, terá o valo dos dois esforços de corte aplicados a ela também.

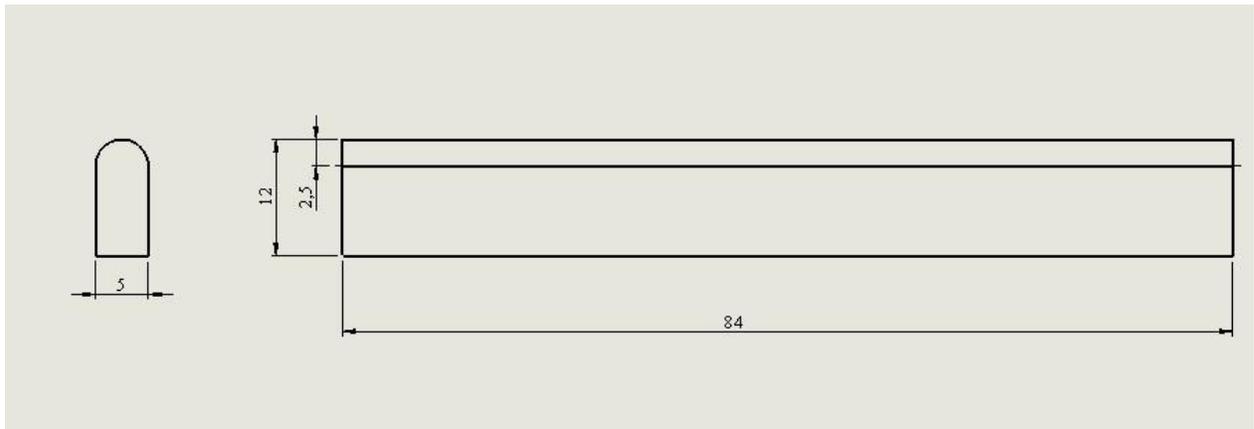
2.2.2 Os punções

Como foi detalhado por PENTEADO (2009) anteriormente, a estampagem precisa de dois elementos para conseguir cortar uma porção da peça original. Essas duas partes são a matriz (previamente apresentada) e o punção.

Feito do mesmo material, o D6 temperado, o punção irá atravessar a matriz, com o mesmo formato de corte, para que a parcela possa ser removida em um único golpe da prensa.

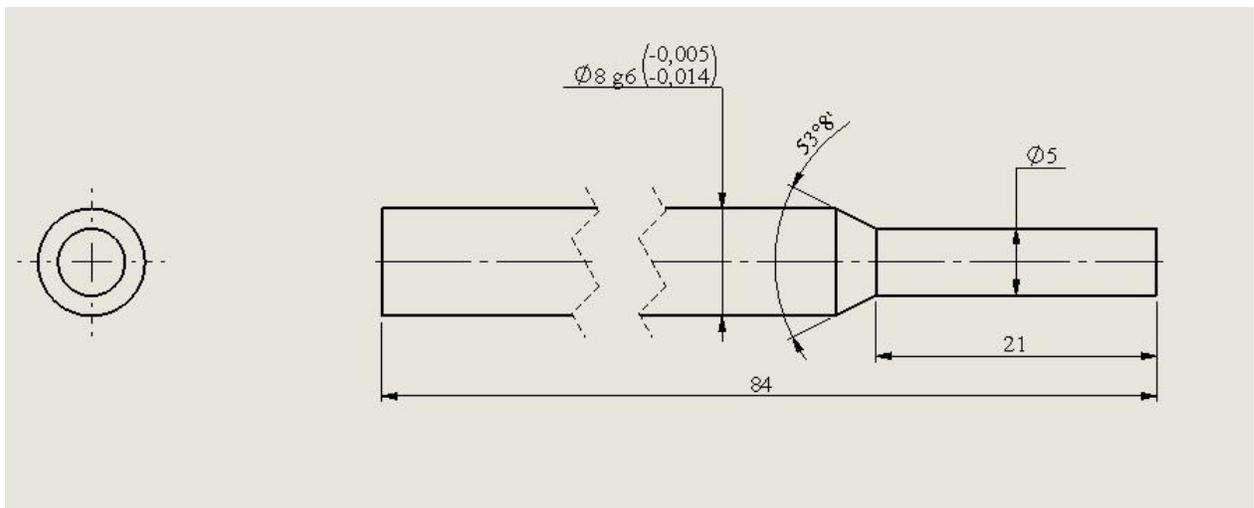
No caso estudado, os punções serão os três exemplificados abaixo pelas imagens.

Figura 4: Punção ablongo

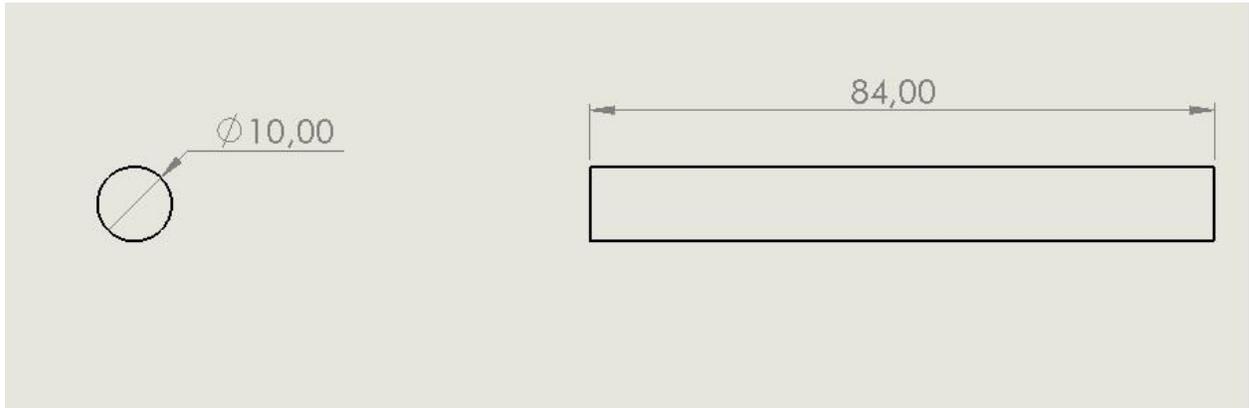


Fonte: O autor

Conforme a figura 4 mostra, esse é o punção responsável pela remoção da seção circular + retângulo, ou como também pode ser chamado, seção em formato oblongo.

Figura 5 Punção do furo de $\varnothing 5\text{mm}$ 

Fonte: O autor

Figura 6: Punção do furo de $\varnothing 10\text{mm}$ 

Fonte: O autor

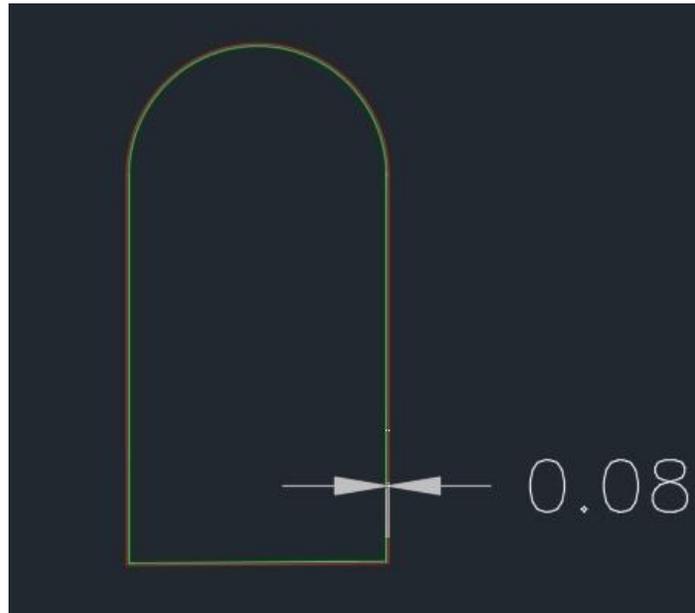
Nesta última figura, um exemplar do punção, responsável pela remoção de um diâmetro com $\varnothing 10\text{mm}$, é exibido. Esta peça foi construída em apenas um corpo, barateando sua compra, ou facilitando sua construção.

2.2.3 Folga de corte

Na figura 5, observa-se a punção responsável pela remoção da circunferência de $\varnothing 5\text{mm}$ que, por condições de resistência, foi construído em dois corpos sendo um corpo de $\varnothing 8\text{mm}$ e um segundo corpo já com a medida necessária para estampar.

Outro aspecto a ser apresentado é a folga nas medias da matriz para que o punção possa cortar o material metálico sem apresentar maiores problemas, a chamada folga de corte que segundo a apostila da UNISTAMP (2011), para corte de alumínio com espessura semelhante a 1mm, deve-se usar 0,08mm de folga entre o punção e a matriz para que o regime elástico do material possa ser rompido sem muito esforço.

Figura 7: Representação da folga de corte



Fonte: O autor

Como se pode notar na figura 3, a matriz tem o mesmo formato do punção, porém é 0,08mm maior em todo seu entorno.

Figura 8: Identificação do punção e matriz na folga



Fonte: O autor

Como pode ser notado pela figura 8, onde se mostra um zoom em uma seção da figura 7, a linha de cor verde representa o punção, a de cor vermelha representa a matriz e o vão livre entre as linhas representa a folga de corte.

2.2.4 Aço D6

Segundo a GGD metals (2019), o D6 (algumas vezes chamado de VC-131) é um aço recomendado para trabalhos a frio, pois pode atingir altas durezas após o processo de têmpera e se tornar muito resistente a ataques abrasivos durante sua utilização.

Com estas características, pode ser usado para superfícies deslizantes de moldes ou outros equipamentos, bem como em elementos de corte para estampas a frio como facas, prensa chapas e, neste caso, matrizes e punções.

2.3 Sobre o alumínio

O alumínio, apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é o metal mais jovem usado em escala industrial. Há sete milênios, ceramistas da Pérsia já produziam seus vasos com um tipo de barro que continha óxido de alumínio, que hoje conhecemos como alumina. Trinta séculos mais tarde, egípcios e babilônios usaram uma outra substância contendo alumínio na fabricação de cosméticos e produtos medicinais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2019).

Sua cronologia mostra que, mesmo nas civilizações mais antigas, o metal dava um tom de modernidade e sofisticação aos mais diferentes artefatos. Não obstante, durante seus primeiros usos, nada se sabia sobre o metal na forma como o conhecemos hoje, já que o alumínio só começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos.

Porém, foi apenas em 1855 em uma exposição em Paris, que Deville apresentaria o primeiro lingote de um material mais leve que o ferro. Peça que teria sido obtida pelo processo de redução eletrolítica de alumina dissolvida em um banho fundido de criolita, processo este que teria sido desenvolvido quase que simultaneamente pelo norte americano, Charles Martin Hall e pelo francês, Paul Louis Toussaint Héroult. Ocorrência comprovada pelo fato de ambos terem registrado a patente da operação quase que na mesma data.

Segundo o mesmo autor no material, Fundamentos e aplicações do alumínio, o alumínio ganhou grande reconhecimento no mercado pelas suas grandes vantagens perante os outros tipos de metais.

Pelo mesmo material, diz-se que o peso específico do alumínio chega ser equivalente a 35% do peso específico do aço, ou 30% do cobre, ou seja, o material apresenta uma grande resistência mecânica, por intermédio de algumas ligas, com um peso relativamente pequeno. Por isso o alumínio se tornou um grande favorito na indústria aeronáutica e automobilística.

A ABAL também diz que, “O alumínio comercialmente puro tem uma resistência à tração de aproximadamente 90 MPa. Sua utilização como material estrutural nesta condição é um tanto limitada, mas através do trabalho a frio, sua resistência mecânica pode ser praticamente dobrada. Aumentos maiores na sua resistência podem ser obtidos com pequenas adições de outros metais como elementos de liga, tais como: silício, cobre, manganês, etc.”

Como a MGM trabalha com estampagem a frio e não o utiliza para fins de estruturas metálicas, a mesma utiliza um perfil da série 6 (liga 6063 para ser mais específico), tal série forma liga com Magnésio e Silício (METALHAGA, 2019).

Esta série apresenta uma alta resistência mecânica quando aliada a um processo de têmpera, segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL) (2007). No caso estudado, a empresa MGM realiza o processo de têmpera T6 em seus perfis, melhorando sua resistência mecânica para que os produtos comercializados por essa empresa possam passar nos testes em laboratório e serem certificados.

Outro ponto citado pelo mesmo autor, é a resistência a corrosão que o alumínio possui, já que os produtos podem ser comercializados em regiões litorâneas, onde o ataque a essas peças por conta da maresia é muito grande.

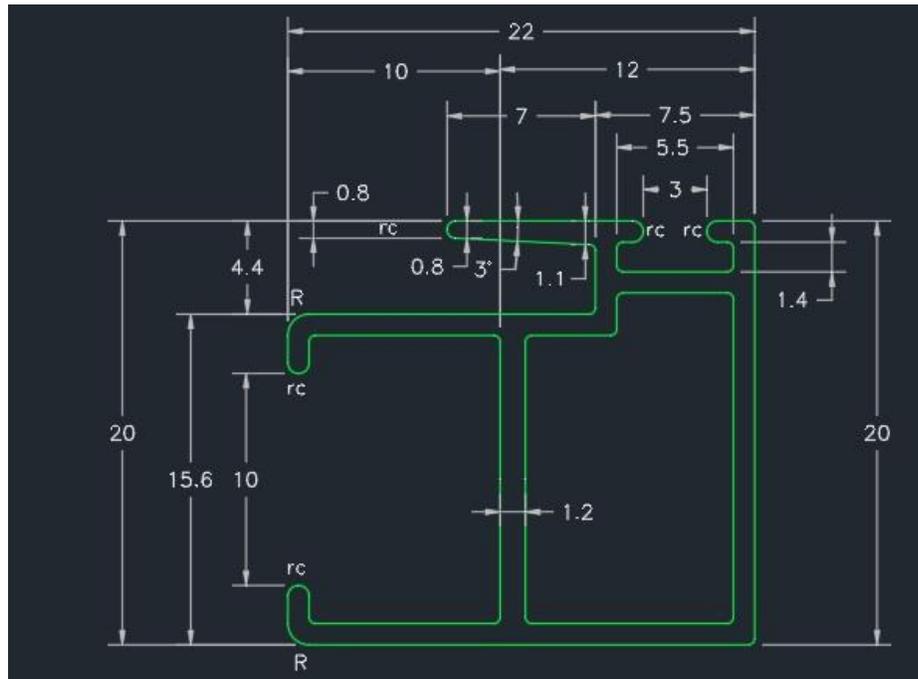
Para que a pesquisa fique mais específica, um contato com a fornecedora destes perfis, no caso a Alumiconte, foi feito para saber melhor as propriedades deste perfil. Sendo assim, foi fornecido pelo setor de engenharia da Alumiconte o valor do limite de resistência por cisalhamento desta liga com já com a têmpera. Tal valor é de 98N/mm² e será chamado de resistência de corte posteriormente na execução de cálculos de esforço de corte.

2.4 Análise e definição do perfil de amostra

Para que os resultados possam ser mensuráveis, foi feito um levantamento nas ordens de serviço da ferramentaria da empresa MGM, localizada em Monsenhor Paulo-MG. Desse levantamento, foi escolhido o perfil que apresenta somar o maior número de ferramentas quebradas e é tratado pelo código, 6900.

Este perfil é de tubular, ou seja, possui um contorno fechado. Essa característica, por si só, não oferece dificuldade para que possa ser trabalhado, porém, neste caso em especial, essa cavidade, ou bitola, apresenta um formato estreito e difícil de caber dentro, uma matriz de corte que possua uma geometria robusta.

Figura 9: Perfil 6900



Fonte: o autor.

A peça tende a se romper, por momento, em torno do eixo onde apresenta geometria mais frágil, caso seja inteiramente fabricado de um único material (HIBBELER,2010)

Neste caso, a matriz irá ser posicionada dentro da seção fechada, localizada mais à direita do desenho, mostrado pela figura 1. Sendo assim, o perfil 6900 limita a construção de uma matriz, devido sua estreita medida de bitola.

2.5 Cálculo do esforço de corte

Segundo o material sobre estampo disponibilizado pelo SENAI (2004), existe um esforço gerado pelo impacto do punção estourando a chapa, até que ela se separe da peça original. Esse esforço pode ser calculado para diferentes finalidades, tendo como principal, o dimensionamento da prensa necessária para a atuação da ferramenta com êxito.

Essa mesma fonte também nos diz que tal esforço, é obtido multiplicando o perímetro da chapa [mm] pela espessura da mesma [mm] pela resistência de corte [N/mm²]. O resultado será dado em [N] para estampagens onde não se aplica angulação de corte nos punções ou matrizes, ou seja, quando toda a parcela de material é removida de uma só vez. Pela mesa fonte, também se

nota a informação de que, quando é aplicado um ângulo aos elementos de corte, reduz-se o esforço de corte em $2/3$, fazendo com que a matriz e o punção funcionem como uma tesoura, cortando o material gradativamente, ao invés de estourá-lo.

2.6 A falha

Segundo os professores, Benazzi Junior e Caversan (2012), o puncionamento consiste em remover uma parcela de um material através de punção e matriz por impacto. Impacto este que gera um grande descarrego de força nos componentes de corte.

Neste caso específico, este golpe gerará um momento na parte inferior da matriz, que por sua vez, vem a se romper no ponto mostrado pela figura 10 logo abaixo.

Figura 10: Matriz pós rompimento



Fonte: o autor.

Na figura, pode se visualizar a matriz que está apenas gasta (unidade superior da imagem) e o exemplar quebrado na parte mais frágil e susceptível ao momento gerado pelo esforço de corte (unidade inferior da imagem)

2.6.1 Fadiga

Segundo a *ENSUS Advanced engineering* (2016), fadiga é um processo progressivo que, através da aplicação de cargas de maneira cíclica, gerando subsequentes deformações plásticas, deteriora o material fazendo surgir trincas e posteriormente a ruptura, após um certo número de ciclos aplicados.

Basicamente, é quando se pega um pedaço de arame e começa a dobrá-lo e desdobrá-lo até que ele se rompa nas mãos. Essa ruptura foi, então, causada pela fadiga do arame, e o número de vezes que se executou a ação de dobrar e desdobrar caracteriza o número de ciclos que essa peça aguentou.

2.6.2 Momento

Como explica SOUZA, Nelson, momento de uma força em relação a um ponto é uma grandeza física que mede a capacidade de uma força em provocar um movimento de rotação no determinado ponto. Essa grandeza pode ser mensurada multiplicando a intensidade da força pela distância entre linha de ação da força e o ponto requerido pela sua intensidade.

No caso do estudo a ser realizado neste trabalho, o momento irá existir pois a força aplicada na matriz se encontra a uma determinada distância do ponto de engaste da peça, gerando assim, uma tendência de giro.

Como a tal força geradora do momento é o próprio esforço de corte, não será necessário o cálculo e explanação de sua atuação na matriz de forma separada, já que a matriz sofrerá com a atuação do momento de maneira diretamente proporcional aos esforços de corte. Complementando, como é o intuito deste trabalho reduzir o esforço de corte, o momento se reduzirá por consequência desta atividade.

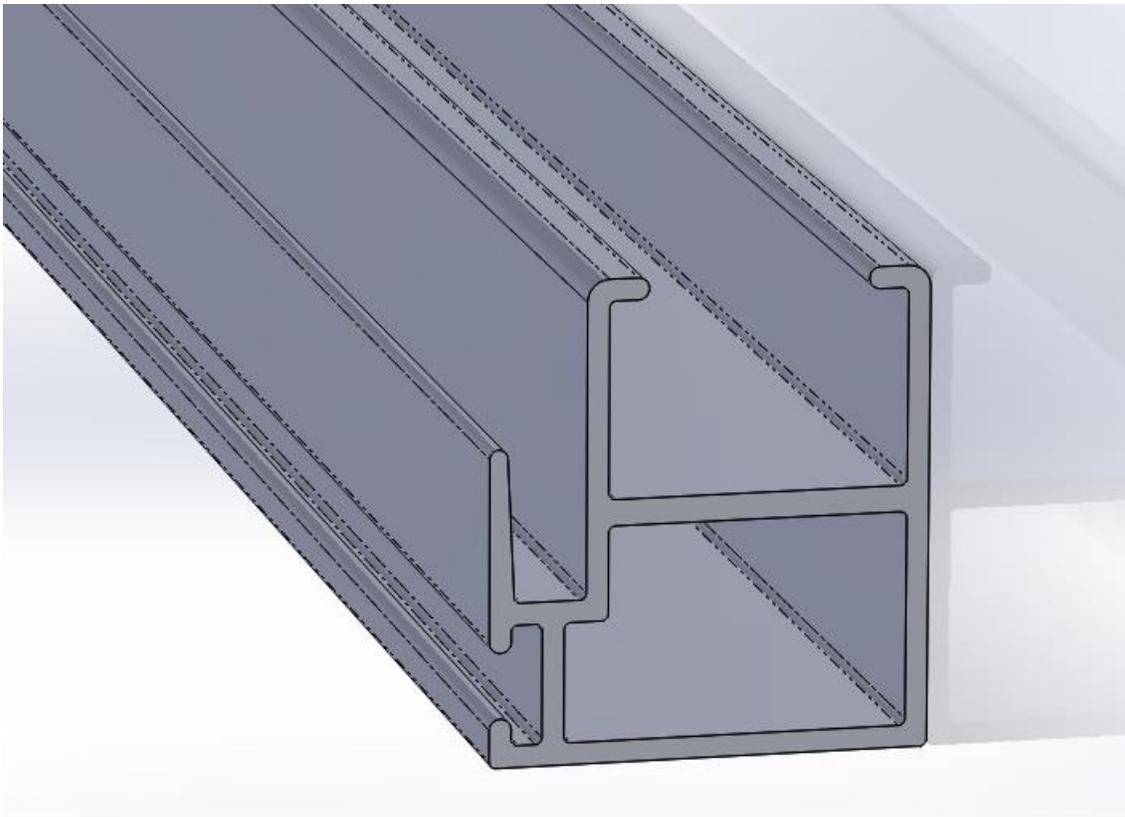
3 METODOLOGIA

Para que se possa entender tudo que será executado neste trabalho, averiguar e mensurar os estados posteriores dos equipamentos, ou seja, antes da resolução do problema, é essencial.

Para isso, deve-se primeiro apresentar o perfil de maneira original, sem as usinagens, já que suas medidas já foram especificadas anteriormente fazendo com que se possa ter a ciência de suas dimensões e dificuldades para estampar.

Por motivos de sigilo industrial, não será exposto neste trabalho a aplicação deste perfil no produto final comercializado pela MGM portas e janelas. Sendo assim, segue abaixo imagens que irão definir melhor a peça que será trabalhada.

Figura 11: Representação em sólido do perfil



Fonte: O autor

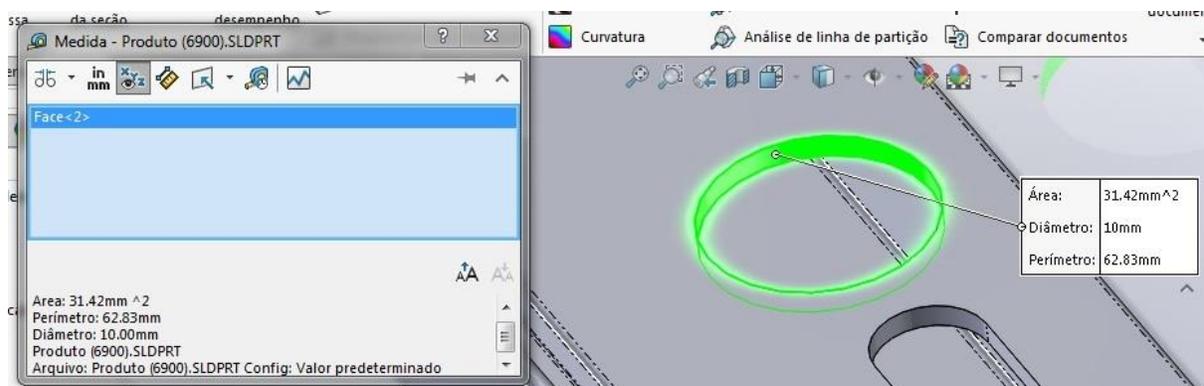
Agora, visto que o perfil de alumínio já foi devidamente compreendido, com a ajuda de um software de desenho e simulação, foram extraídas algumas medidas de suas usinagens para

que se possa, através de cálculos, expor melhor os problemas de geração de tensão na hora de cortar esta peça.

Essa etapa de tomada de dados e cálculos foi essencial para que se pudesse entender, com números, onde o problema é mais evidente e o quão grave é.

A seguir, serão expostas algumas imagens extraídas do software Solidworks, onde os diferentes tipos de usinagens serão chamados de estampagem 1, estampagem 2, etc. Isso se deu pelo fato de facilitar as referências dos cálculos e conexões de informação ao longo do trabalho.

Figura 12: Diâmetro de 10mm



Fonte: O autor

Na figura 12, pode se ter noção da estampagem circular com o diâmetro de 10mm que foi chamada de estampagem número 1.

Como es pode notar, essa etapa consiste em remover uma circunferência do perfil no diâmetro citado. O perímetro total apresentado pelo medidor foi de 31,42mm e a área de corte foi obtida também, com o mesmo valor de 31,42mm².

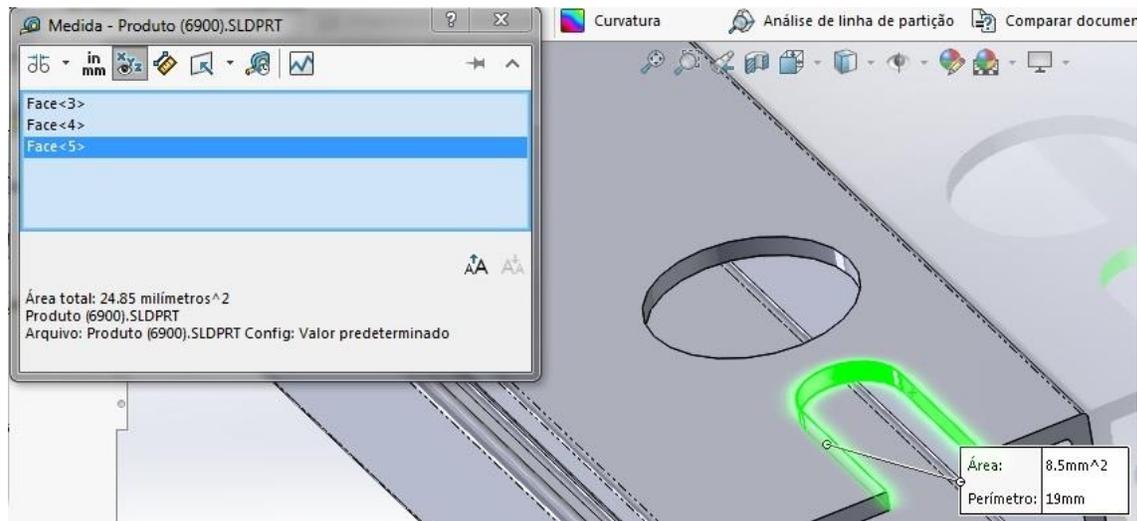
Um detalhe incomum neste software, é que quando a área de corte é selecionada (região sinalizada de verde), o medidor apresenta a medida das duas arestas somadas, inferior e superior, do furo, por isso o valor apresentado na figura 12 é de 62,83mm². Porém, para fins de cálculo, considera-se apenas uma das arestas.

Essa circunferência, como notado, foi estampagem que apresentou maior desafio na conclusão deste trabalho. Por se tratar de um grande diâmetro aliado ao perfil tubular que limita o tamanho da matriz, deixando-a frágil nos cantos, ocorre um grande número de quebra de matrizes.

Assim também, por se tratar de uma grande área de corte muito a frente do ponto de apoio da matriz, ocorre um grande esforço de momento ocorrendo na base dessa matriz, também gerando altos índices de quebra.

A área de corte, aqui mensurada automaticamente, pode também ser obtida pela multiplicação entre o perímetro da figura extraída (neste caso, uma circunferência) e a espessura do material cortado, que aqui é de 1,2mm.

Figura 13: Oblongo na parede de espessura 1mm

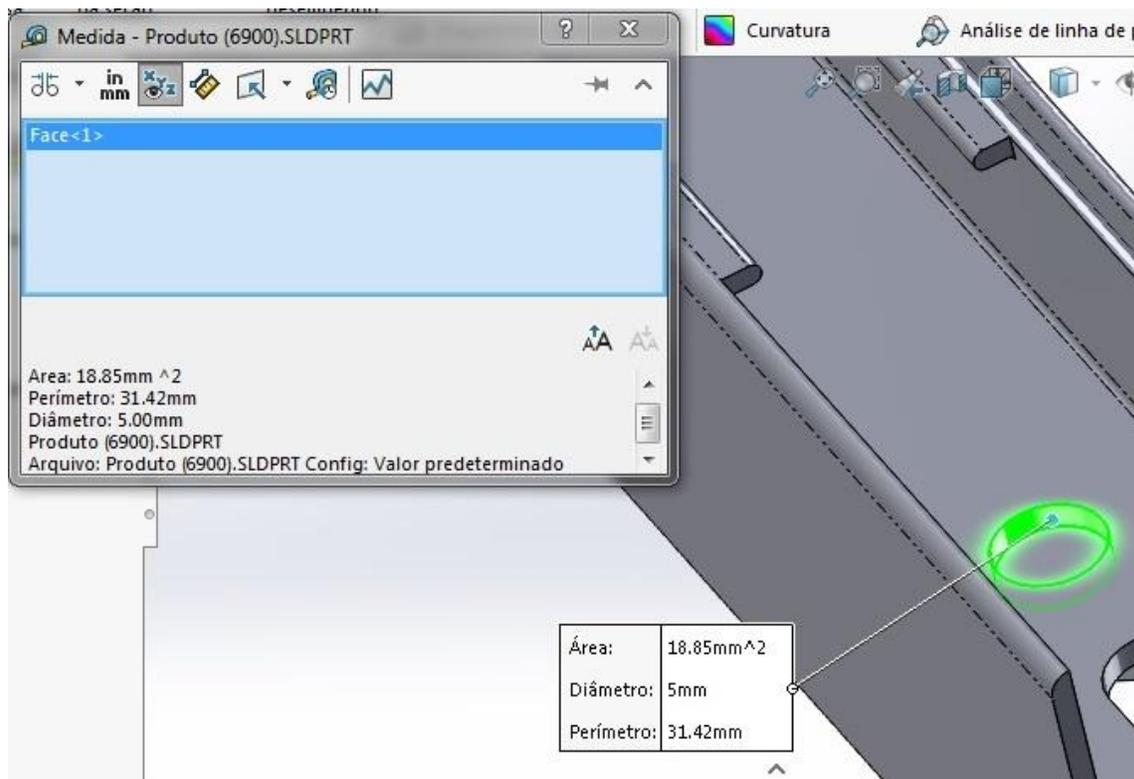


Fonte: O autor

A figura 13 caracteriza-se a estampagem 2 e 3, extraída da peça original, e é um retângulo + meia circunferência, o que dá resultado a uma espécie de oblongo. Tal figura tem uma área de corte de 24,85mm² e um perímetro exato de 24,85mm (os 19mm exibido na imagem, se refere apenas a uma face do pedaço extraído do perfil de alumínio).

Esta forma de oblongo é realizada em duas faces do perfil, sendo assim, como explanado no começo deste trabalho, as paredes são de espessura de 1 e 1,2mm. Como neste caso a estampagem é igual nas duas faces, adotou-se o mesmo perímetro, mas na hora de calcular a área de corte, multiplicou-se este perímetro por 1, obtendo os resultados citados no parágrafo anterior e depois por 1,2, obtendo o resultado de 29,82mm².

Figura 14: Diâmetro 0,5mm

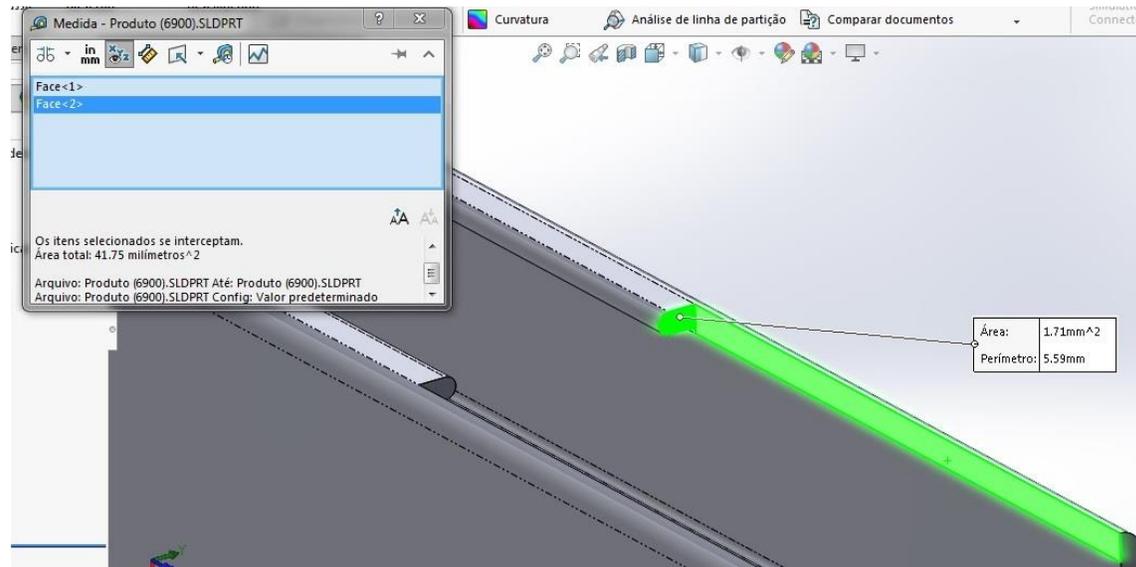


Fonte: O autor

Na figura 14, representando a estampagem 4, pode se notar uma estampagem de um furo menor com uma circunferência de 5mm de diâmetro totalizando uma área de corte de 18,85mm². Que foi constatada como não sendo um grande problema para os elementos de corte.

Novamente o mesmo detalhe de interpretação de medidas do *SolidWorks* é apresentado. O perímetro usado para o cálculo da área de corte é apenas a metade dos 31,42mm apresentado acima, pois, lembrando, quando selecionada a área a ser medida, o software soma os perímetros superiores e inferiores da circunferência.

Figura 15: Talo do topo do perfil



Fonte: O autor

Esta última imagem, a figura 15 representa a estampagem de um pequeno talo retirado do topo do perfil. Como não está em área tubular do perfil, o conjunto matriz e punção para a execução dessa usinagem podem ser construídas de maneira robusta, mesmo tendo que cortar uma grande área de $83,5\text{mm}^2$ ($2 \times 41,75\text{mm}$).

Esta etapa da estampagem não apresenta nenhum histórico de quebra dos elementos de corte. Sendo assim, todas as manutenções foram dadas, neste caso, apenas por desgaste dessas peças, o que ocorre normalmente devido ao uso da ferramenta. Com isso, essa etapa da usinagem foi discriminada na análise realizada neste trabalho.

3.1 Cálculos de esforços de corte com a ferramenta sem modificação

Para início de análise, calculou-se o esforço de corte para as estampagens citadas antes de qualquer alteração. Assim, ficou de fácil comprovação da eficácia da alteração da ferramenta, já que depois, ao refazer os cálculos com toda ferramenta já modificada, pode-se comparar valores.

Abaixo, as variáveis, Ec_1 , Ec_2 , Ec_3 e Ec_4 representam respectivamente os esforços de corte das áreas: furo de $\varnothing 10\text{mm}$, Oblongo 1, oblongo 2 e furo de $\varnothing 5\text{mm}$, que serão obtidas pela equação exibida na introdução deste trabalho.

Para a realização destes cálculos, teve-se em mãos, como informado anteriormente, o valor do limite de resistência por cisalhamento de 98Mpa, as espessuras de 1 e 1,2mm e as áreas de corte.

$$Ec_1 = 31,42 * 1 * 98$$

$$Ec_1 = 3.079,16N$$

$$Ec_2 = 24,85 * 1 * 98$$

$$Ec_2 = 2.435,3N$$

$$Ec_3 = 24,85 * 1,2 * 98$$

$$Ec_3 = 2.922,36N$$

$$Ec_4 = 15,71 * 1,2 * 98$$

$$Ec_4 = 1.847,5N$$

3.2 Simulação de fadiga

Com esses valores em mãos, associou-se com o valor do número de ciclos que a matriz de corte aguentaria com essas forças aplicadas, para tal, realizou-se um teste de fadiga no software ANSYS para constatar o número de golpes que esta peça iria aguentar.

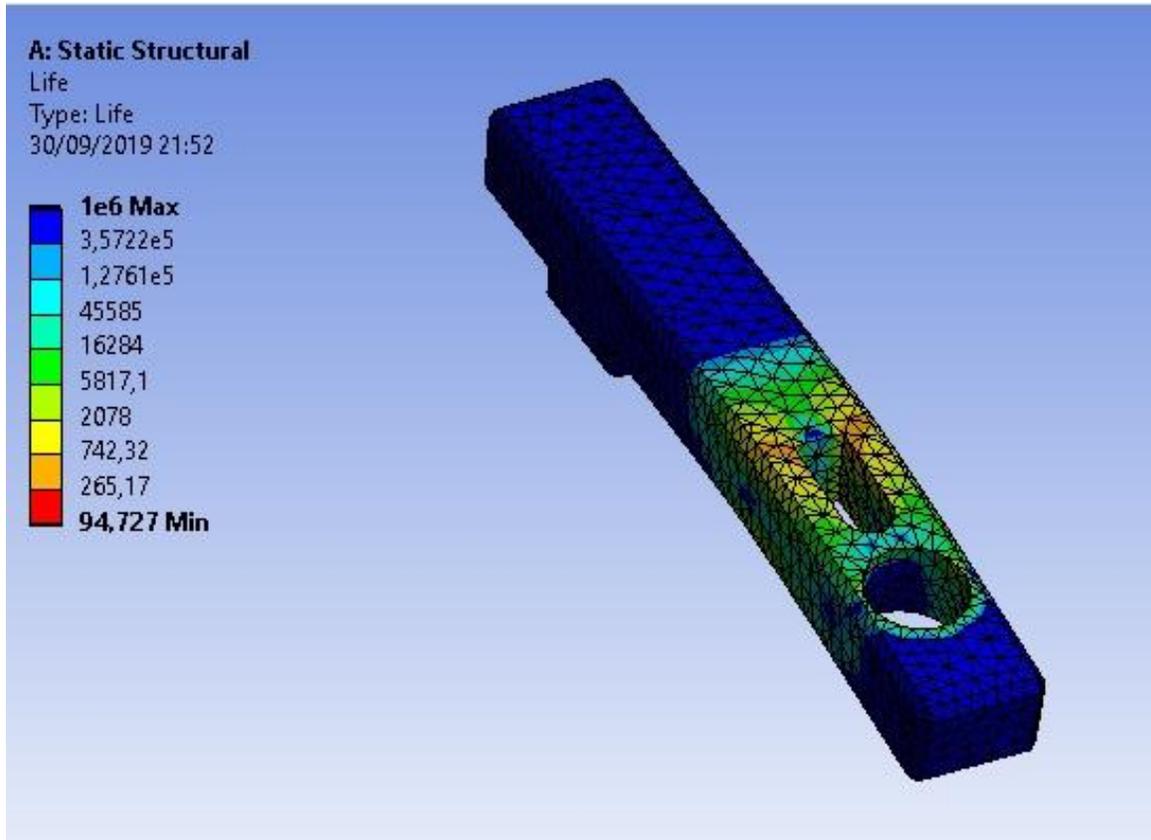
A simulação consiste em posicionar os esforços de corte em formato de cargas, nos pontos onde elas serão aplicadas na matriz, assim, o software dará o número de ciclos que a matriz irá suportar.

Como os esforços de corte já foram calculados, a parte de configurar o ensaio ficou mais fácil, pois com os respectivos valores em mãos, posicionou-se cada esforço em seu devido lugar distribuído nas duas matrizes e executou-se a simulação.

Como a densidade e o módulo de elasticidade do aço variam muito pouco de acordo com o tipo, considerou-se os valores padrão de 7800kg/m³ e 200GPa respectivamente.

3. 2. 1 Primeiros resultados

Figura 16: Esforço de corte na matriz 1 sem nenhum recurso de corte (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)

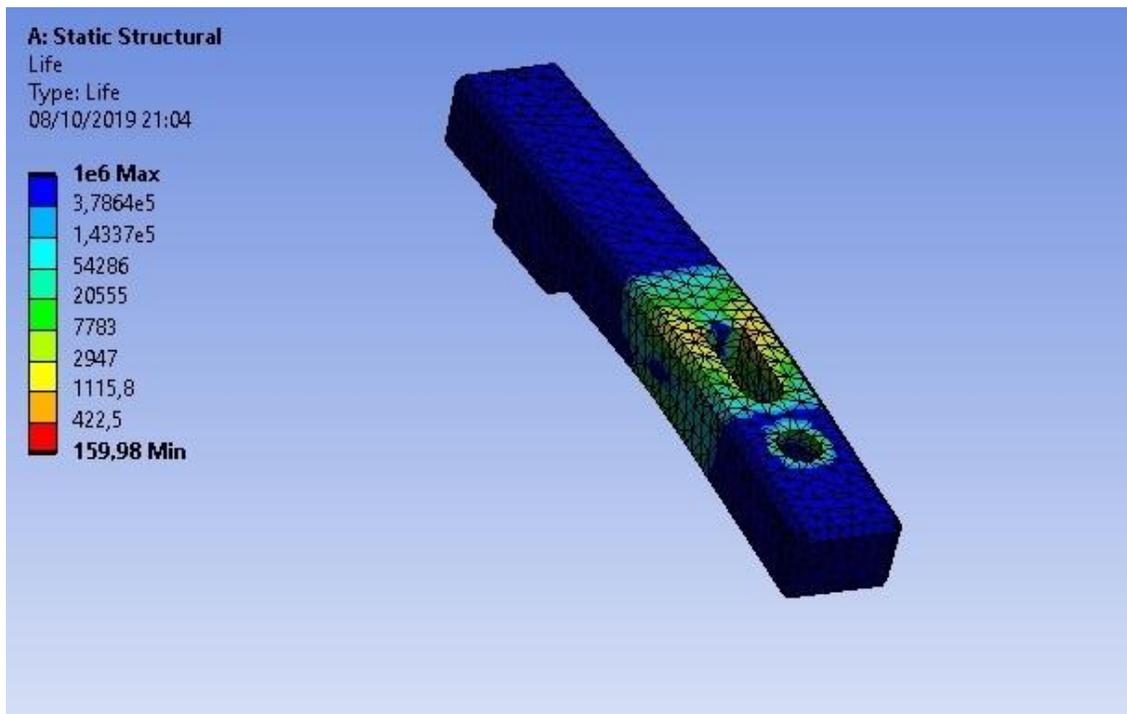


Fonte: O autor

Nesta imagem, pode-se notar claramente onde existe a maior concentração de tensão na peça, que no caso, está representado por uma mancha laranja. Imitando a realidade, a simulação apresentou a região com maior acúmulo de tensão exatamente onde a foto, presente na introdução deste trabalho, mostrou a ruptura.

Também como resultado de uma simulação de fadiga, o *software* mostrou que a primeira matriz testada, suportaria no máximo 94 ciclos, ou seja, a ferramenta faria apenas 94 vezes esta usinagem. Lembrando que essa peça sofre os esforços de corte 1 e 2, devidamente localizados, que resulta em um total de 5.514,46N

Figura 17: Esforço de corte na matriz 2 sem nenhum recurso de corte (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)



Fonte: O autor

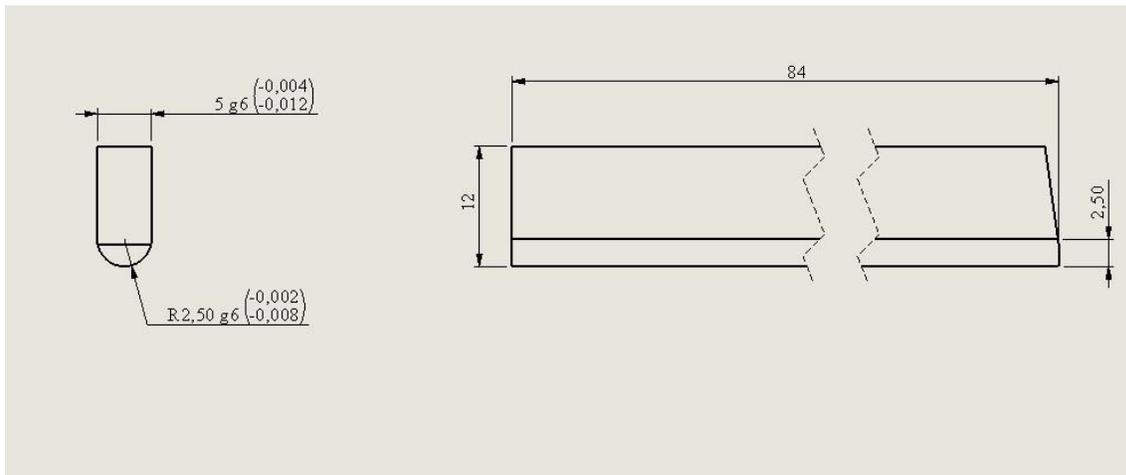
Na segunda matriz, o esforço total sofrido pelo corte do alumínio se deu pela somatória dos esforços de corte 3 e 4, apresentando um total de 4.769,86N. Com essa aplicação de força, notou-se também que a concentração de tensões se dá no mesmo local que na primeira. Ou seja, em um momento de ruptura, ambas as peças sem quebram no mesmo lugar, no começo do rasgo oblongado.

Porém, sendo uma peça onde as áreas de corte são menores, e conseqüentemente os esforços de corte também menores, essa segunda matriz terá uma vida útil um pouco maior que a primeira, sendo de 159, quase 160 ciclos. Mesmo, com esse ganho de algumas batidas a mais, a peça ainda apresenta uma vida útil muito baixa, inviável ao processo.

3.3 O escalonamento dos punções.

Como foi explicado anteriormente, tanto o valor da área de corte quanto o modo como o material é extraído da peça matriz, influenciam diretamente no valor do esforço de corte. Com isso, uma das ferramentas práticas que foram utilizadas foi a alteração do modo de corte, deixando de ser instantâneo para se tornar um corte no estilo tesoura, onde o punção perfura a peça removendo uma pequena área de corte e vem cortando o material progressivamente até o fim da extração da área desejada. Esse método é proporcionado pelo escalonamento do corte através da aplicação de um ângulo na matriz ou, como foi feito, no punção.

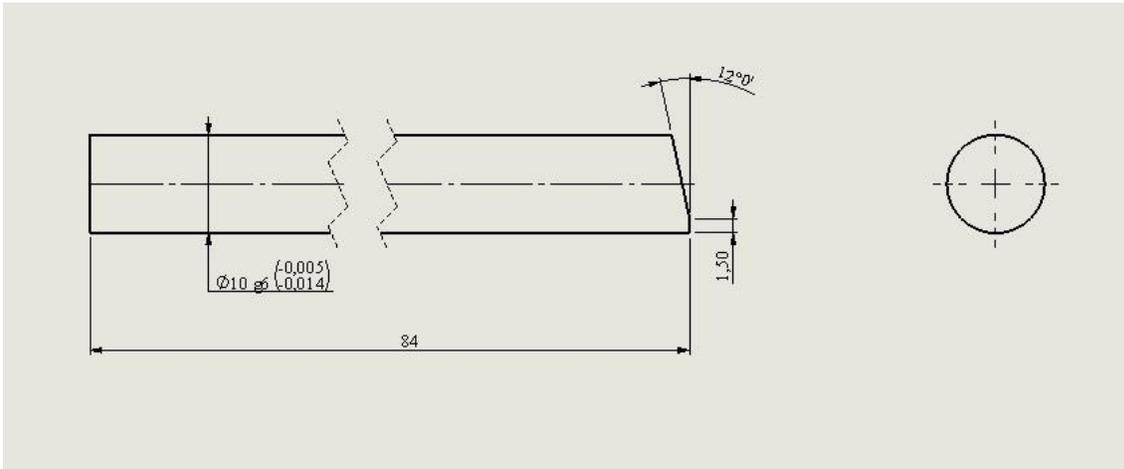
Figura 18: Punção 1 com corte escalonado



Fonte: O autor

Como se pode comparar com a imagem exibida no início do trabalho, a entrada do punção na peça é proporcionada pela ponta do punção que forma uma meia circunferência de raio 2,5mm. Após isso, o corte do restante do material é feito pelas duas arestas de corte subsequentes que estão dispostas em um ângulo de 4° em relação a ponta do punção, deixando assim, o esforço de corte 2/3 menor do que era originalmente com toda a face do punção reta.

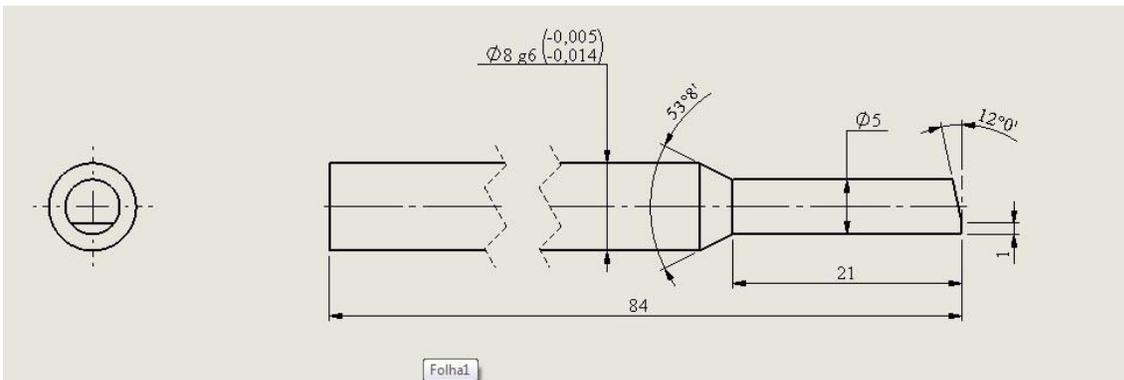
Figura 19: Punção 2 com o corte escalonado



Fonte: O autor

Com os punções circulares aplicou-se a mesma regra de escalonamento de corte, deixando uma área reta, responsável pela entrada da peça no material, e o restante que irá cortar a parede de alumínio progressivamente até que toda a circunferência seja removida.

Figura 20: Punção 3 com corte escalonado



Fonte: O autor

Mesmo aplicando o ângulo de corte nos punções, uma pequena área reta deve ser deixada, sendo responsável pela penetração na peça de alumínio, já que se toda área de corte for angulada, o elemento cortante apresentará uma ponta frágil que se romperá com facilidade durante o uso da ferramenta.

Agora, ficou por conta de apenas reduzir todos os esforços de corte para 1/3 dos resultados apresentados anteriormente, ficando assim:

$$\begin{aligned} \left(\frac{Ec_1}{3}\right) * 1 &= Ece_1 \\ \left(\frac{3079,16}{3}\right) * 1 &= Ect_1 \\ Ec_1 &= 1026,38N \end{aligned}$$

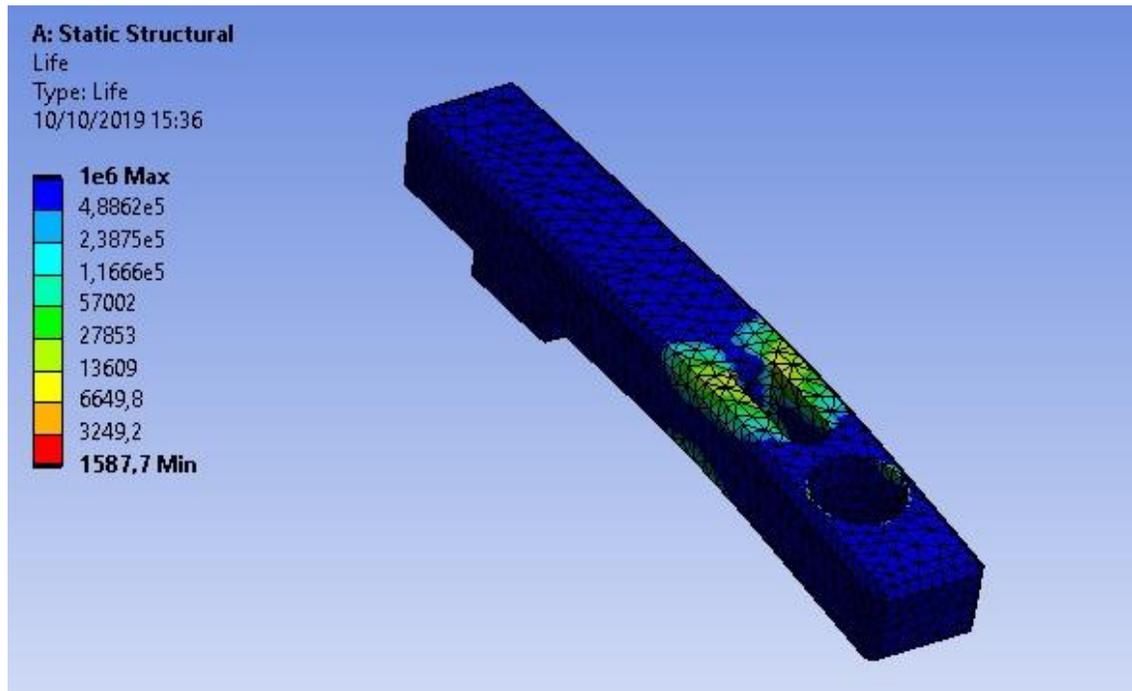
$$\begin{aligned} \left(\frac{Ec_2}{3}\right) * 1 &= Ece_2 \\ \left(\frac{2435,3}{3}\right) * 1 &= Ece_2 \\ Ec_3 &= 811,76N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{Ec_3}{3}\right) * 1 &= Ece_3 \\ \left(\frac{2922,36}{3}\right) * 1 &= Ece_3 \\ Ec_3 &= 974,12N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{Ec_4}{3}\right) * 1 &= Ece_4 \\ \left(\frac{1847,5}{3}\right) * 1 &= Ece_4 \\ Ec_4 &= 615,83N \end{aligned}$$

Agora com esses novos valores calculados já se pode notar a grande mudança que as forças aplicadas nas matrizes sofreram. Diferença essa, que ficou mais clara ainda com uma repetição da simulação ocorrida anteriormente.

Figura 21: Esforço de corte na matriz 1 (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)

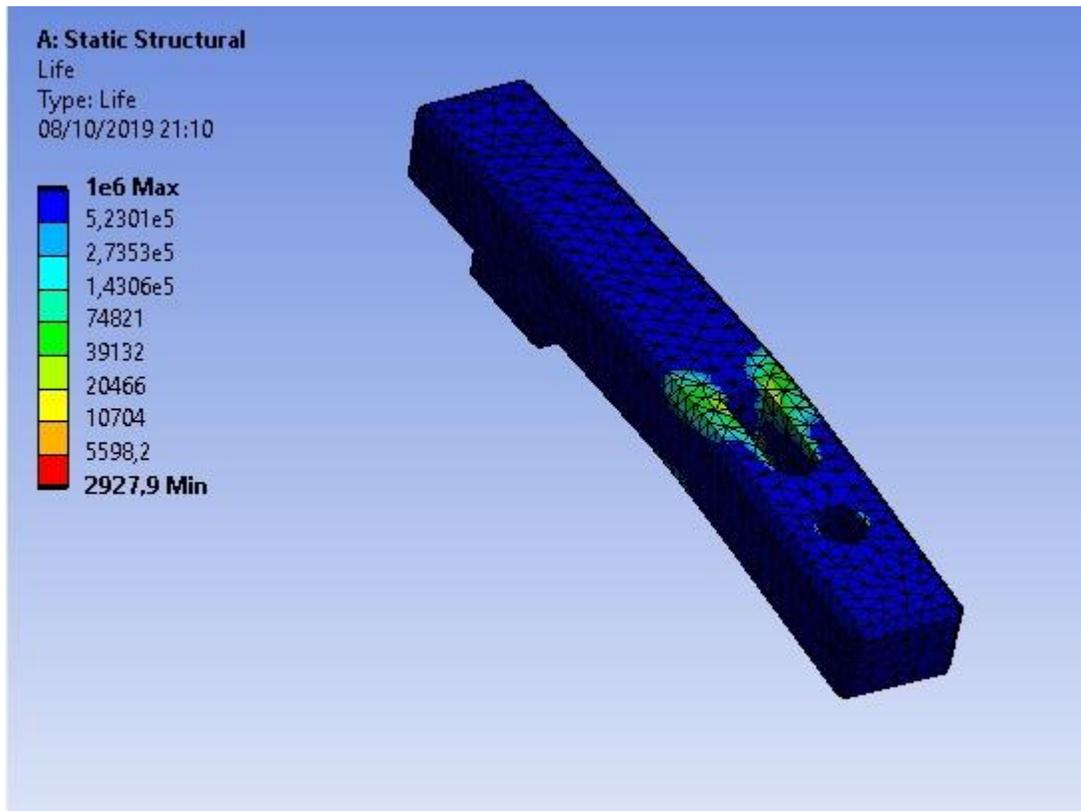


Fonte: O autor

Como notado, graças a grande redução de esforços de corte, na realização da estampagem com o escalonamento da aresta de corte, a matriz saltou de 94 ciclos para 1587 ciclos mínimos de trabalho, o que a nível de produção ainda não é satisfatório, mas mesmo assim, já apresenta uma evolução considerável.

As manchas apresentadas na imagem também mostram que o local da possível ruptura não mudou, mas a concentração de tensões é bem mais branda e também de pouca dissipação ao longo da peça.

Figura 22: Esforço de corte na matriz 2 com punções escalonados (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)



Fonte: O autor

Claramente, também se percebe a grande diferença de desempenho desta peça, que após a aplicação de ângulo de corte, passa a trabalhar com o limite mínimo de ciclos suportados muito superior ao mostrando anteriormente, sendo agora, de 2927 ciclos, quase 2928.

Além deste dado, outra característica que voltou a chamar a atenção foram as manchas indicadoras de tensão, que agora, mostram um esforço concentrado nos mesmos locais, pois a geometria da peça é a mesma, mas agora também de forma reduzida, ou seja, a matriz de corte irá sofrer bem menos com os impactos da estampagem, fazendo então, com que tenha uma vida útil bem superior.

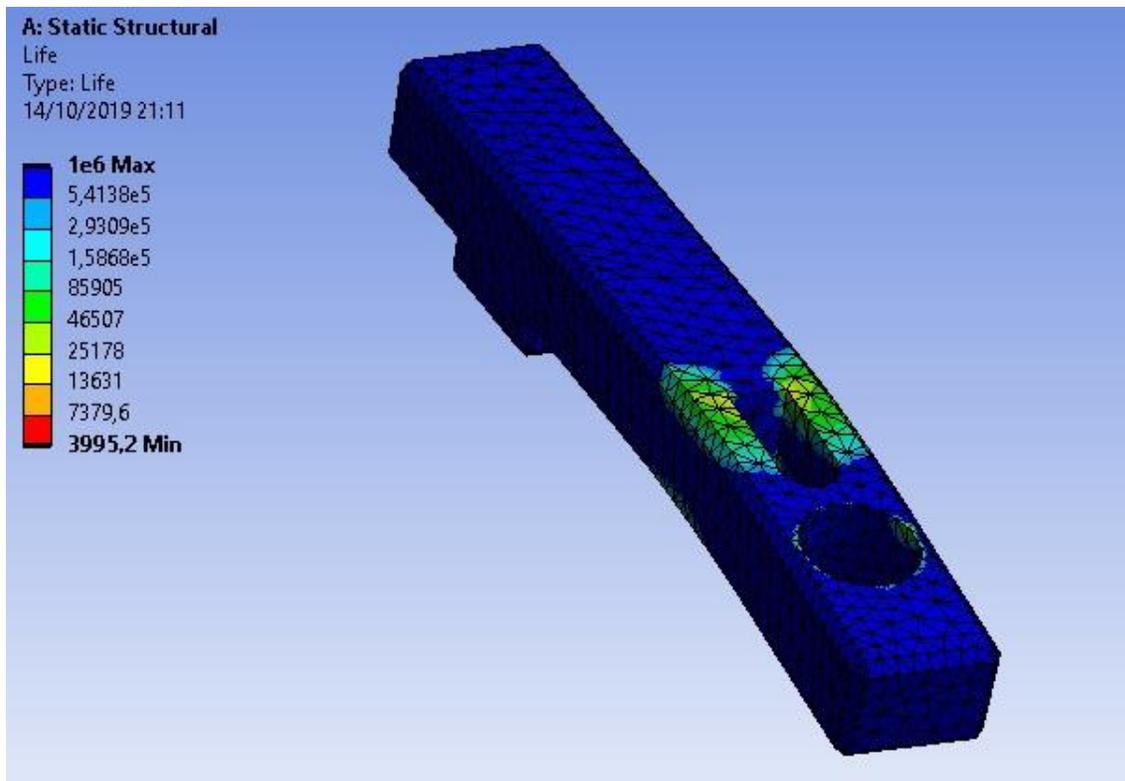
Com esses resultados, conseguiu-se um ganho muito grande em que se diz respeito as tensões aplicadas na matriz de corte. Mas o progresso deste trabalho ainda não chegou ao fim, tendo para ser testado mais um recurso prático fundamental para o prolongar ainda mais a vida desta ferramenta.

3.4 Divisão da área de corte

Como anunciado na introdução, outro recurso que foi utilizado foi a redução da área de corte em cada golpe que a prensa dá. Diferentemente do que se pode pensar, esse recurso se baseia em atrasar a entrada de um dos punções na peça, fazendo que ao invés dos dois punções penetrarem a peça de uma só vez, penetrem um, para depois o outro, reduzindo ainda mais o esforço de corte aplicado na matriz. Tal feito foi alcançado, reduzindo o tamanho de um dos punções até ao ponto de ele somente tocar na peça, quando o primeiro punção já tiver cortado totalmente.

O que se faz então, para simular, é pegar os esforços de cada estampagem ($Ece_1, Ece_2, Ece_3, Ece_4$) e aplicá-los um a um nas matrizes (sendo cada força aplicada no seu devido lugar). E com isso, ganhou-se mais um grande resultado como mostram as figuras a seguir:

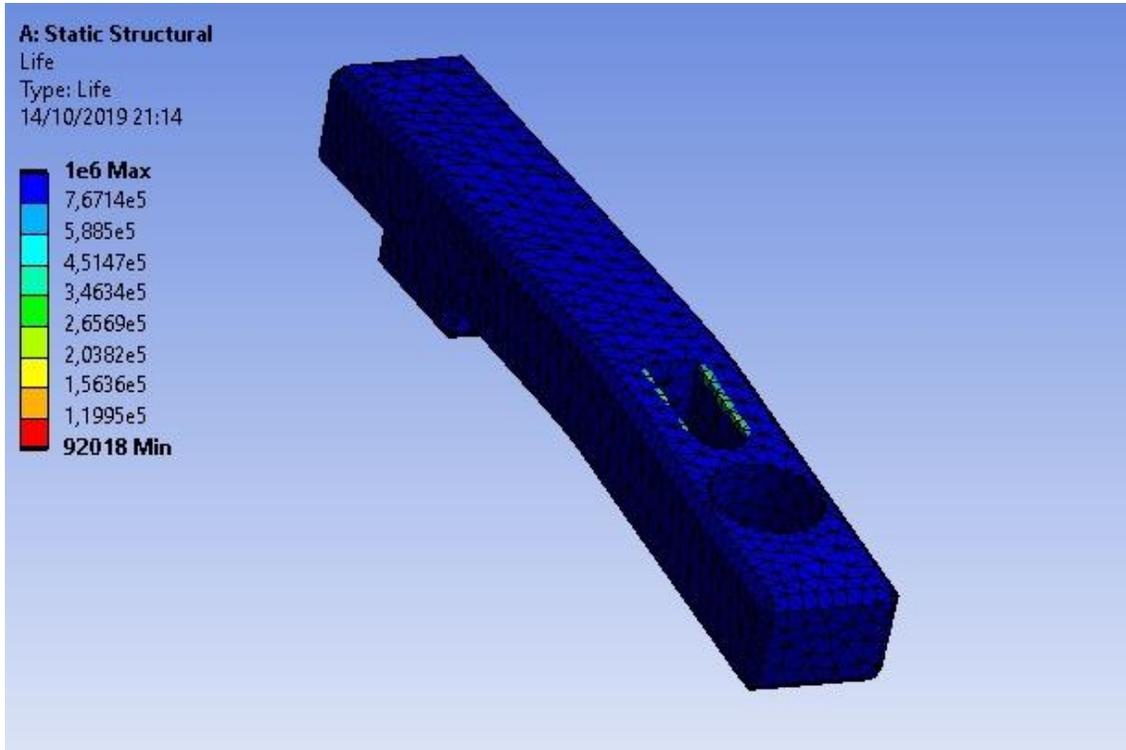
Figura 23: Esforços de corte 1 na matriz com punção escalonado (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)



Fonte: O autor

Como escolhido, o punção circular de diâmetro 10mm penetrou a peça primeiro e sozinho, cortando a circunferência totalmente. Com isso, o software mostra um grande número de ciclos (3995), já que a peça sofreu apenas um dos dois golpes no ato de estampar.

Figura 24: Esforços de corte 2 na matriz 1 com punção escalonado (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)

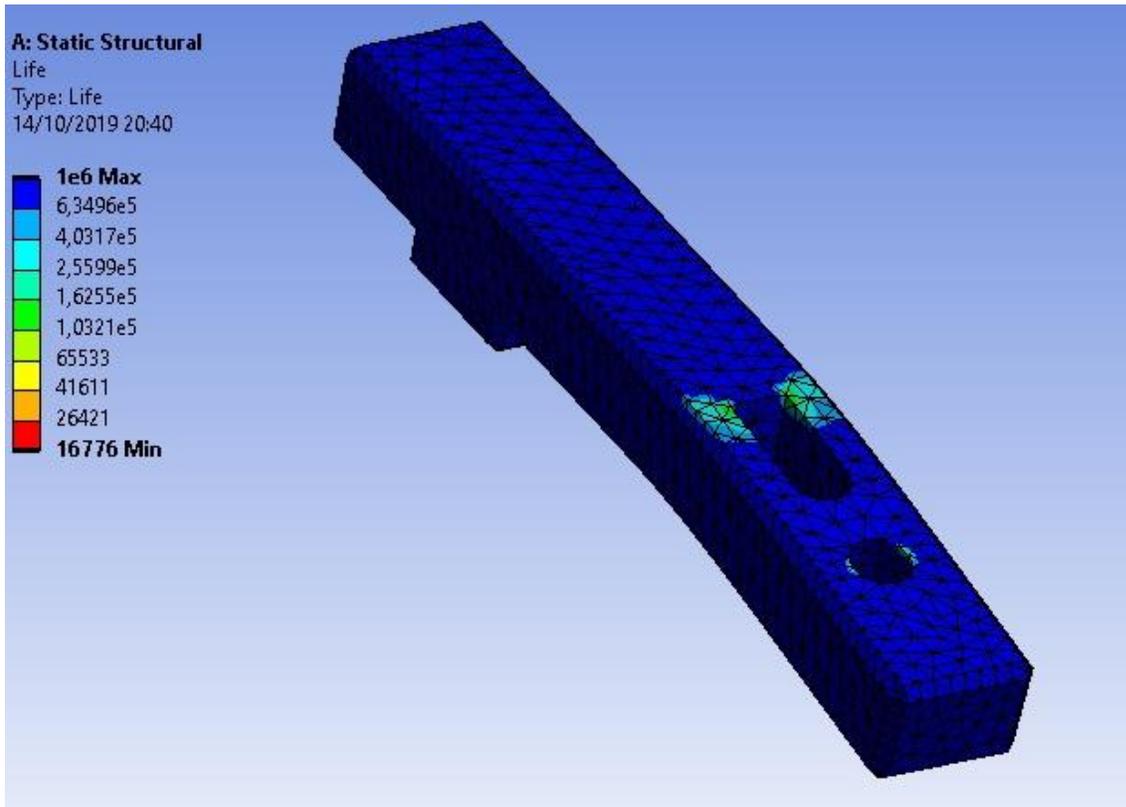


Fonte: O autor

Logo após da circunferência removida, o punção responsável pela extração do oblongo, entrou no perfil de alumínio extraindo sua parcela de material, também de maneira isolada, ou seja, sozinho.

Como pode ser observado, as manchas indicaram um acúmulo bem menor de tensão na área crítica por causa da distância reduzida entre a aresta de corte e a zona crítica, gerando um momento menor e também pelo fato de essa segunda parte apresentar um esforço de corte menor. Com isso, apenas essa extração deixa a matriz com uma vida útil de 92018 ciclos exatamente.

Figura 25: Esforço de corte 2 na matriz 2 com punção escalonado (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)

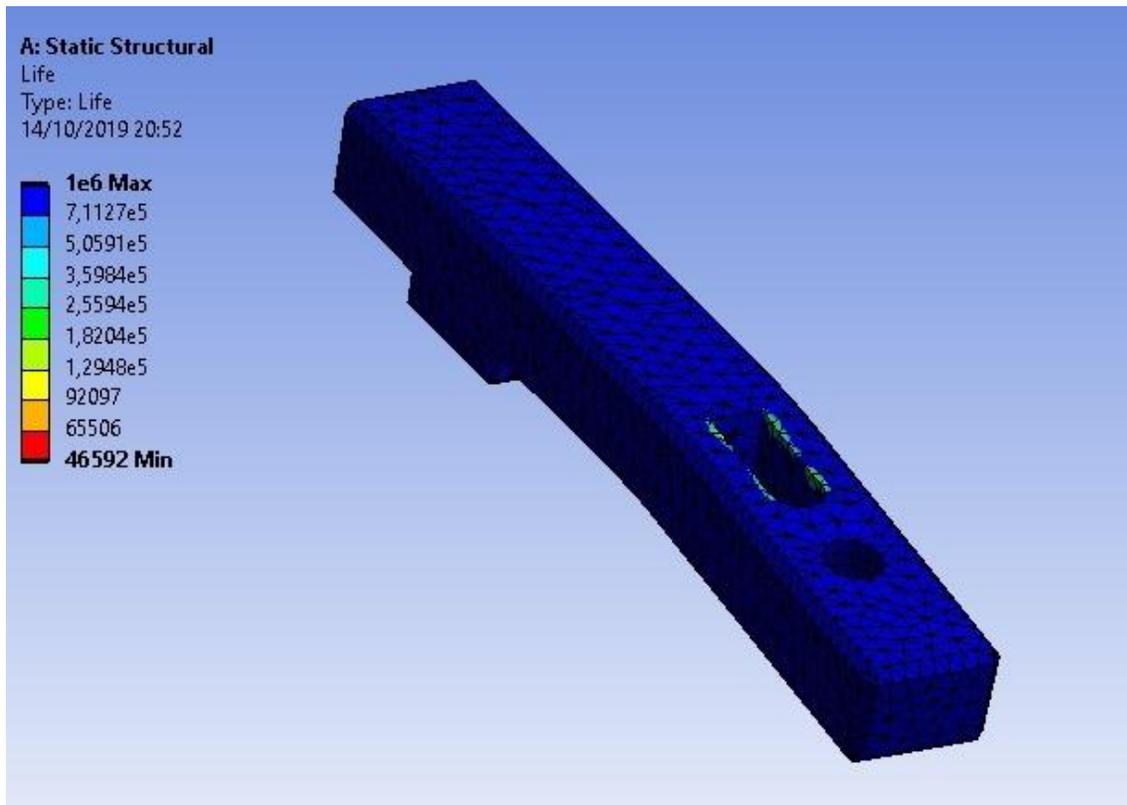


Fonte: O autor

Na segunda matriz, também foi escolhida o furo como primeira parcela de alumínio removida do perfil. Com isso, a simulação apresentou um resultado bastante parecido com a outra peça, porém agora, com efeitos reduzidos, já que o esforço de corte é bem menor.

Sendo assim, o software indica um aparecimento sutil de uma tensão concentrada na área de ruptura da matriz e também informa uma vida de 16776 ciclos apenas operando com esse punção.

Figura 26: Esforço de corte 3 na matriz 2 com punção escalonado (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.)



Fonte: O autor

Assim como na primeira matriz, a segunda teve o rasgo em formato de oblongo retirado por último do perfil de alumínio também. Com isso, apresentou-se um pequeno acúmulo de tensão nas arestas de corte e uma vida de 46592 ciclos.

4 RESULTADOS

Ao final dos estudos realizados, teve-se dois valores de ciclos de vida para cada matriz de corte, um valor maior e outro menor devido aos diferentes valores de esforço de corte e as distâncias dessas arestas de corte dos pontos de engaste. Porém, para que a peça seja útil, ela precisa estar em perfeitas condições como mostradas nos desenhos que estão na introdução deste trabalho.

Com isso, pegou-se os dois menores valores de cada matriz e os adotou como valores definitivos de vida útil desses componentes já que como foi observado nas manchas apresentadas pelo ANSYS, as peças irão se romper no mesmo ponto independente de qual estampagem (furo ou oblongo) forçar mais, por ser a região mais susceptível a esforços.

Sendo assim, a matriz 1, que executa a extração do oblongo e o furo de 10mm de diâmetro, saltou de uma vida útil de ciclos para 3995 ciclos com a aplicação destes recursos de corte. Um ganho de 4250% de vida, 42,5 vezes mais que o projeto inicial que consiste em estampar sem a aplicação de nenhum dos aperfeiçoamentos trabalhados aqui.

Na matriz 2, onde se remove o oblongo e a circunferência de 5mm de diâmetro, a evolução consistiu no salto de 159 para 16.776 ciclos de operação, um ganho ainda maior que na primeira matriz. Com isso, essa peça terá uma vida útil 10550,96% maior que a apresentada no projeto inicial, certa de 105,5 vezes mais trabalho garantido sem quebras.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que após as abordagens que foram realizadas no decorrer da pesquisa, foram alcançados resultados satisfatórios através de análises. Os recursos de estampagem aplicados aqui não apresentam custo extra em sua fabricação, pois os componentes de corte serão usinados pelos mesmos métodos tendo apenas o formato diferente, ou seja, mudando apenas a forma de produzir os componentes de corte, sem ter de comprar ou adicionar nenhum equipamento extra a ferramenta, nem mesmo mudar o modo operante da mesma.

O baixo custo já sendo um ponto positivo, este trabalho mostra também as vantagens técnicas desses recursos, finalizando em evoluções estrondosas e muito animadoras, como exibido.

Todo esse resultado foi obtido a partir de conhecimentos sobre o comportamento das peças estudadas durante o trabalho realizado, como exibido nas simulações efetuadas com o ANSYS. Com esses dados, foi possível chegar em um ponto em comum de quebra entre as 2 matrizes, independente de qual porção da estampagem estava sendo realizada (oblongos ou furos). Depois disso, a pesquisa ficou apenas por levantar dados para provar, de maneira sólida, o grande ganho na medida que o punção foi sendo alterado.

Todo o desenvolvimento se coube em repetir o experimento de maneira idêntica para cada recurso de corte aplicado, deixando excludente qualquer chance de que algum fator fora do foco da pesquisa pudesse alterar.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Fundamentos e aplicações do alumínio**. São Paulo, 2007. 1 v.
- ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.1, Workbench 2019 R2 e Mechanical APDL 2019 R2.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **História do alumínio**, 2019.
<https://www.google.com/search?q=abal+historia+do+aluminio&oq=abal+historia+do+aluminio&aqs=chrome..69i57j69i60.5544j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acesso em: 28 maio. 2019.
- BENAZZI JUNIOR, Ivar. **Tecnologia de estampagem 1: Corte**, 2012. Disponível em:
http://www.eterfs.com.br/material/mecanica/APOSTILA_DE_ESTAMPO_FATEC-220813-2.pdf. Acesso em 25 maio. 2019.
- ENSUS, advanced engineering. **Fadiga – A principal causa raiz das falhas mecânicas – O que é? Como identificar e prevenir?** 2016. Disponível em <http://ensus.com.br/fadiga/>. Acesso em: 21 agosto. 2019.
- FERMAC. **Têmpera**, 2011. Disponível em: <http://tratamentotermico.com/tempera.html>. Acesso em: 28 maio. 2019.
- GGD Metals, **Guia prático aços e metais**, 2019. Disponível em: https://ggdmetals.com.br/wp-content/uploads/2019/04/GuiaGGDMetals_Ferramenta.pdf. Acesso em: 20 setembro. 2019.
- HARLO. **Prensa excêntrica**, (2019). Disponível em: <http://www.harlo.com.br/prensa-excentrica>. Acesso em: 28 maio 2019.
- Hibbeler. R.C. **Resistência dos materiais: 7º edição**. 2010
- METALTHAGA. **Saiba diferenciar os grupos presentes na família de ligas de alumínio**, 2019. Disponível em: <http://metalthaga.com.br/ligas-de-aluminio/>. Acesso em: 20 junho 2019.
- PENTEADO, Fernando, 2009. Disponível em:
<http://bmalbert.yolasite.com/resources/Estampagem.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2019.
- SENAI. **Ferramentaria: corte, dobra e repuxo**. Varginha: Centro de Formação Profissional “Aloísio Ribeiro de Almeida, 2004.
- SOUZA, Nelson. **Momento de uma força em relação a um eixo**, 2019. Disponível em: < <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/mecanica/momento-de-uma-forca-em-relacao-um-eixo.html>>. Acesso em: 28 maio. 2019.

RODMAN COMERCIAL DE AÇOS. **Aço ferramenta VC-131 ou D-6 (trabalho a frio)**, 2019. Disponível em: <http://www.rodmancomercial.com.br/produtos/aco-ferramenta-vc-131-ou-d-6-trabalho-a-frio-> Acesso em: 25.maio.2019.

UNISTAMP. **Folga de corte**, 2011. Disponível em: <<https://rejmaquinas.com.br/pdf/80.pdf>>. Acesso em: 26.maio.2019.