



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António Miguel Meira Loureiro Nogueira

Estudo e desenvolvimento de um sistema
versátil de conformação de palmilhas
metálicas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António Miguel Meira Loureiro Nogueira

Estudo e desenvolvimento de um sistema
versátil de conformação de palmilhas
metálicas

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor João Pedro Mendonça Assunção Silva

DECLARAÇÃO

Nome: António Miguel Meira Loureiro Nogueira

Correio electrónico: a55783@alunos.uminho.pt

Tel./Tlm.: 916840167

Número do Bilhete de Identidade 13497066

Título da dissertação: Estudo e desenvolvimento de um sistema versátil de conformação de palmilhas metálicas

Ano de conclusão: 2013

Orientador(es): João Pedro Mendonça

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Área de Especialização: Tecnologias de Manufatura

Escola: Escola de Engenharia

Departamento: Departamento de Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor João Pedro Mendonça, pela disponibilidade e orientação prestada, críticas e ajudas fundamentais para que a realização desta tese de dissertação corresse da melhor forma possível.

Ao Engenheiro António Abreu, pela ajuda disponibilizada e orientação prestada durante a visitas às instalações da sua empresa, bem como pela oportunidade de realizar este trabalho com a sua colaboração.

Ao Engenheiro Sérgio Costa, pela ajuda prestada em alguns pontos deste trabalho, mais concretamente na parte relacionada com os materiais.

A todos os meus amigos que de certa forma foram os que sempre estiveram disponíveis para qualquer ajuda necessária e por todos os bons momentos passados, que tiveram um papel preponderante para a realização desta dissertação.

Aos meus pais e restante família, que graças a eles é que pude ultrapassar mais uma etapa na minha vida, sempre disponíveis e apoiando-me incondicionalmente, e também pela educação e ajuda prestada.

Finalmente a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a realização desta dissertação.

RESUMO

O projecto de novos componentes, com a finalidade de melhorar outros já existentes, tem vindo a ser um dos processos de engenharia mais utilizado ao longo dos tempos

Com os problemas económicos actuais e com o objectivo de entrar num mercado cada vez mais vantajoso e em maior expansão no nosso país, o sector do calçado, mais propriamente o calçado de segurança, surgiu este trabalho. Através de um processo de baixo custo, com a parceria da empresa António Abreu Metalomecânica, utilizou-se uma prensa mecânica existente nas suas instalações, utilizada na conformação de um componente existente em serrotes manuais, e recorrendo a processos de engenharia, este novo mecanismo tornou-se capaz de, simultaneamente, efectuar a conformação do componente anterior, bem como das palmilhas metálicas, utilizadas no calçado de segurança.

Este novo mecanismo foi criado com o intuito de poder efectuar a conformação dos dois componentes de uma forma simples, versátil e com uma rápida montagem/desmontagem. De referir ainda, que como existem vários tamanhos calçado, este novo mecanismo deve ser capaz de conformar todos os tamanhos de palmilhas existentes.

Pretende-se também com este trabalho o projecto das ferramentas de conformação das palmilhas metálicas, sendo que vai ser dada especial importância ao fenómeno de retorno elástico, fenómeno esse com bastantes custos para a indústria actual, uma vez que é difícil o seu conhecimento prévio. Para o cálculo deste fenómeno, estão a ser realizados cada vez mais estudos, alguns deles adoptados neste trabalho, tornando-se assim mais fácil o projecto das ferramentas de conformação.

Palavras chave: Engenharia Inversa; Conformação de Chapa; Retorno Elástico

ABSTRACT

The design of new components, with the aim to improve existing ones, has been one of the most widely used engineering processes over time.

With the current economic problems and in order to enter in a market more and more advantageous and with a further expansion in our country, the footwear industry, more specifically the safety shoes, this work came to life. Through a low-cost process, in partnership with the company António Abreu Metalomecânica, we used a mechanical press in its existing facilities, used in the conformation of an existing component in bucksaw, and using engineering techniques, this new mechanism became able to simultaneously carry out the shaping of the previous componen , as well as the metal insoles, used in safety shoes.

This new mechanism was created in order to be able to make the conformation of the two components in a simple, versatile and quick assembly/disassembly. Also note that, as there are several footwear sizes, this new mechanism must be capable of forming all sizes of existing insoles

We also intend to work with in the project of the forming tools used to conformate metal insoles , and will be given special importance to the phenomenon of springback, a phenomenon with many costs to the industry today, since it is difficult your prior knowledge . For the calculation of this phenomenon is being made more and more studies, some of them adopted in this work, making the project of the forming tools much easier

Key words: Reverse Engineering; Sheet Metal Forming; Springback

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
Índice de Figuras	XIII
Índice de Tabelas	XVII
Lista de Siglas, abreviaturas e acrónimos	XIX
1. Introdução	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objectivos.....	2
1.3. Estrutura da tese	3
1.4. A empresa António Abreu Metalomecânica.....	3
2. O projecto de ferramentas e peças fabricadas por conformação	5
2.1. Conformação de Metal.....	6
2.1.1 Classificação dos processos de Conformação de metal	7
2.2. Conformação de Chapa	8
2.2.1. Embutidura.....	8
2.2.2. Corte por Arrombamento	13
2.2.3. Dobragem	18
2.3. Ferramentas progressivas.....	25
2.4. Tipos de prensas utilizadas em conformação de chapa	26
2.4.1. Prensas Mecânicas.....	27
2.4.2. Prensas Hidráulicas	29
2.5. Retorno elástico.....	30

2.5.1 Cálculo teórico.....	31
2.5.2 Cálculo computacional.....	32
3. Palmilhas metálicas e descrição do mecanismo existente	35
3.1. Caracterização química do material	36
3.2. Obtenção do modelo digital da palmilha metálica	37
3.1. Condicionantes do equipamento existente.....	38
3.1. Estrutura principal	40
3.2. Armazém de chapa.....	43
3.3. Sistema de guiamento	43
3.4. Sistema de puncionamento.....	44
3.5. Sistema de extracção da peça após conformação.....	45
3.6. Principais problemas do mecanismo existente	46
3.7. Soluções para os problemas existentes	46
3.8. Automatização dos cilindros seleccionados	53
4. Projecto de novo mecanismo	57
4.1. Estrutura principal	57
4.2. Armazém de chapa.....	64
4.3. Sistema de guiamento	65
4.4. Zona de conformação	67
4.5. Sistema de remoção da peça após conformação.....	69
4.6. Análise do mecanismo completo.....	69
4.2. Cálculo do retorno elástico da chapa utilizada	72
4.2.1. Testes práticos	72
4.2.2. Aplicação ao caso em estudo.....	75
5. Considerações Finais	77

5.1. Conclusões.....	77
5.2. Trabalhos Futuros.....	78
Bibliografia.....	79
Anexos.....	81
Anexo A- Extracto do catálogo Fibro, elementos de guia.....	83
Anexo B- Tabelas de auxílio aos dimensionamentos	89
Anexo C- Especificações do cilindro de guiamento	93
Anexo D- Especificações cilindro de extracção.....	95
Anexo E- Simulação em Automation Studio	97
Anexo F- Desenhos Técnicos.....	99

Índice de Figuras

Figura 1- Diagrama representativo dos passos seguidos durante este trabalho.....	5
Figura 2- Gráfico representativo da evolução dos processos de manufactura.....	7
Figura 3- Processo de embutidura e principais constituintes	9
Figura 4- Relação entre os valores de r e a profundidade do embutido (Metals, 1969).	12
Figura 5- Evolução do comportamento da chapa ao longo da operação de corte por arrombamento (SMe, 1965).	13
Figura 6- Técnicas de redução da força de corte.....	17
Figura 7- Alteração da geometria da matriz para redução da força de corte	18
Figura 8- Representação das tensões existentes na dobragem em ar. Adaptado de: (SMe, 1965)	19
Figura 9- Dobragem em V	20
Figura 10- Dobragem de flange com cunho de arraste.....	20
Figura 11- Dobragem em U	21
Figura 12- Dobragem rotativa.....	21
Figura 13- Representação das forças na dobragem de flange com cunho de arraste (SMe, 1965).	23
Figura 14- Raio mínimo de dobragem (Palmeira, 2005).	24
Figura 15- Accionamento não redutor.	28
Figura 16- Accionamento por engrenagens.....	28
Figura 17- Constituintes de uma prensa hidráulica	30
Figura 18- Fenómeno de recuperação elástica (Palmeira, 2005).....	30
Figura 19- Diagrama da relação entre rt e os valores de K para aços austeníticos. (SMe, 1965).	32
Figura 20- Simulação numérica do processo de conformação de chapa.....	33
Figura 21- Representação da curvatura da palmilha metálica.	36

Figura 22- Representação do modelo digital da palmilha	38
Figura 23- Especificações Técnicas da prensa existente	38
Figura 24- Apoio de serrotes manuais	39
Figura 25- Imagem ilustrativa da prensa mecânica em estudo	40
Figura 26- A, B e C, representação das chapas de revestimento	41
Figura 27- A e B, representação das barras.....	42
Figura 28- Representação das quatro barras paralelepípedicas de fixação da chapa a conformar	42
Figura 29- A e B, Armazém de chapa.....	43
Figura 30- A e B, chapa de guiamento	44
Figura 31- A- Imagem real do sistema de puncionamento; B- Modelação em CAD.....	45
Figura 32- A- Imagem real das molas de extracção, B- Representação em CAD.....	45
Figura 33- Elemento guia Fibro.	47
Figura 34- Punção da palmilha metálica e sistema de troca rápida	48
Figura 35- Matriz da palmilha metálica.....	51
Figura 36- Cilindro de guiamento	52
Figura 37- Cilindro de extracção.....	53
Figura 39- Estrutura principal para a conformação da palmilha	59
Figura 40- Estrutura principal para a conformação do apoio do serrote	59
Figura 41- Representação das duas barras de apoio.....	60
Figura 42- Representação das possíveis variações para o armazém de chapa.....	65
Figura 43- Conjunto chapa e cilindro de guiamento	66
Figura 44- Peça de fixação do cilindro de guiamento	67
Figura 45- Ilustração da fixação do cilindro de guiamento	67
Figura 46- Representação da versatilidade da matriz	68

Figura 47- Imagem ilustrativa do resultado final da modelação e dimensionamento do novo mecanismo, vista 1.	70
Figura 48- Imagem ilustrativa do resultado final da modelação e dimensionamento do novo mecanismo, vista 2.	70
Figura 49- Processo de dobragem da chapa.....	73
Figura 50- Chapa após o fenómeno de retorno elástico.	74
Figura 51- Determinação do ângulo de dobra após o retorno elástico da palmilha metálica	75
Figura 52- Valores de tolerâncias em função da classe de qualidade e cota nominal.....	90
Figura 53- Valores de desvios, para as variadas interferências	90
Figura 54- Tabela representativa dos valores de S_p em função da classe escolhida para os parafusos	91
Figura 55- Tabela representativa dos valores de A_t em função do diâmetro nominal do parafuso	91

Índice de Tabelas

Tabela 1- Valores de τ_c kgf/mm ² para cada material (Marcondes, 2008).	16
Tabela 2- Prensas Mecânicas e Hidráulicas (Metals, 1969).	27
Tabela 3- Características Mecânicas do aço utilizado para as palmilhas metálicas.	36
Tabela 4- Composição química do aço utilizado.	37
Tabela 5- Características da prensa mecânica	39
Tabela 6- Componentes da estrutura principal e respectiva massa	61
Tabela 7- Lista de componentes e respectivo material	71

Lista de Siglas, abreviaturas e acrónimos

CAD- Concepção assistida por computador.

CAE- Engenharia assistida por computador.

CAM- Manufatura assistida por computador

AISI- Instituto Americano de ferro e aço

SAE- Society of Automotive Engineers.

FEM- Método dos elementos finitos.



1. Introdução

1.1. Motivação

De maneira a poder ser obtido um novo produto, muitas vezes recorre-se a outros já existentes, melhorando-os e aplicando-lhes conceitos de engenharia de maneira a que estes obtenham as funcionalidades pretendidas. Por isso mesmo têm-se registado uma grande evolução ao ponto de se poder obter um modelo tridimensional de qualquer objecto de uma forma simples, recorrendo a sistemas que cada vez são mais utilizados, como os mecanismos de aquisição de dados, digitalizadoras, máquinas de medição por coordenadas, etc, e a partir daí obter-se um novo modelo de qualquer que seja o componente pretendido.

Estas tecnologias de aquisição de dados, começam hoje em dia a ser exploradas em campos que antes não o eram, nem era possível. Com o aparecimento do desenho computadorizado e de todas as demais ferramentas que de este advieram (CAE e CAM), pode, se necessário, obter-se um novo componente com as devidas alterações, e posteriormente efectuar um estudo intensivo às suas funcionalidades.

Durante este trabalho foi efectuada uma abordagem com as especificações anteriormente referidas, em que um componente já existente, uma prensa mecânica de conformação de chapa, com anomalias detectadas à priori e com o objectivo de lhe conceder uma maior versatilidade e capacidade de executar mais operações do que as que ao início havia sido projectado. Este componente foi caracterizado metrologicamente e após efectuado o seu desenho CAD, melhorado, sendo no fim capaz de executar novas operações, de uma maneira versátil e de fácil desmontagem/montagem.

Um dos processos de manufactura mais antigo e desenvolvido actualmente é o processo de conformação de chapa, sendo que a maior parte dos produtos em metal que são utilizados no nosso dia a dia, desde painéis, computadores, telemóveis, etc, a sua fabricação é efectuada através destes processos. Existem grandes variedades do processo de conformação de chapa, desde a dobragem, embutidura, corte por arrombamento, etc, todos eles bastante complexos e que dependem do controlo de diversas variáveis. Estas variáveis podem ser directamente ligadas



à matéria prima (chapa), como por exemplo a força a aplicar no cerra chapas para que ocorra um escorregamento controlado do material. Existe também o retorno elástico, que é uma das variáveis em dobragem mais estudada e com um controlo bastante complexo, causando muitas vezes bastante prejuízo na indústria. Existem também variáveis ligadas às máquinas auxiliares do processo, ou seja, dependentes do tipo de prensa utilizada, mecânica ou hidráulica.

A base de um processo de conformação de chapa ocorre quando o punção e a matriz entram em contacto, produzindo dessa forma alterações na chapa. A partir do momento que se obtém o componente que se pretende produzir, pode obter-se o seu modelo digitalizado, e assim introduzi-lo num sistema CAD, sendo que a partir do sistema CAD tudo se torna mais fácil, com a utilização de rotinas já criadas para a criação de ferramentas de conformação.

1.2. Objectivos

Com a situação económica actual, associada à exigência que as nossas empresas têm em investir em novos mercados e também a uma necessidade de fabricação de novos materiais e produtos, aptos para competirem com os que são fabricados pelos mercados mais competitivos, tornou-se viável a realização deste trabalho.

A empresa António Abreu Metalomecânica, com produção variada, principalmente vocacionada para estruturas metálicas, mais concretamente expositores, produzindo também outro tipo de peças em metal, destacando-se uma peça que é aplicada em serrotes manuais, decidiu intervir num novo mercado, a indústria do calçado, indústria essa com grande tradição no nosso país e com um crescimento acentuado nos últimos anos.

Nesta sequência, para este trabalho, foi proposta a criação de um mecanismo que fosse capaz de efectuar a conformação de dois componentes, um apoio de um serrote manual, que a prensa já executa, e uma palmilha metálica, sendo que este mecanismo deve ser versátil e de fácil montagem/desmontagem, para que o tempo decorrente entre a conformação dos dois componentes não seja demasiado.

Uma vez que as palmilhas metálicas podem ser dos mais variados tamanhos, este novo mecanismo tem de ser capaz da mesma forma de conseguir conformar todos os tamanhos de palmilhas existentes.



Outro dos objectivos deste trabalho é o projecto das ferramentas que irão executar a conformação da palmilha, sendo que para esse projecto é necessário efectuar também um estudo relativo ao fenómeno de retorno elástico decorrente após a conformação. Para isso foram efectuados testes práticos à chapa da qual irão ser fabricadas as palmilhas metálicas, e foram também efectuados cálculos teóricos, para que o retorno elástico obtido tenha uma melhor fundamentação.

1.3. Estrutura da tese

No decorrer desta dissertação, de início irão ser abordados os fundamentos teóricos no âmbito dos principais temas estudados ao longo do trabalho. De seguida vai ser explicado o trabalho realizado ao longo do projecto, iniciando-se na perspectiva da melhoria de produtos aplicado ao mecanismo anteriormente existente, onde este vai ser detalhado e explicado. Após esta explicação vão ser abordados os principais problemas que foram detectados ao mecanismo, e as soluções para esses mesmos problemas. De seguida procedeu-se à explicação dos novos componentes, projectados e muitos deles dimensionados. Explicação essa que incide também na versatilidade imposta, que permitirá a conformação simultânea das palmilhas metálicas bem como do apoio do serrote manual.

Por fim foram estudados os aspectos relacionados com o comportamento da chapa no decorrer do processo de conformação, estudos esses relacionados com o fenómeno de retorno elástico.

1.4. A empresa António Abreu Metalomecânica

A empresa portuguesa António Abreu Metalomecânica nasceu em 1999 e está sediada em Lousado Famalicão junto ao nó da autoestrada A3. Esta empresa baseia a sua elevada qualidade na experiência em produção industrial para o mercado estrangeiro, especialmente para o exigente mercado alemão. Tudo começou com a fabricação de guarda-chuvas e guarda-sóis da marca mundialmente conhecida KNIRPS em Portugal, através da empresa PLURIMEX sediada em Santo Tirso. O desaparecimento desta empresa, resultou no nascimento da António Abreu Metalomecânica, que diversificou a produção com componentes para as mais diversas indústrias, nomeadamente automóvel, ferramentas e agora calçado, sendo uma empresa altamente flexível ao nível produtivo. Desde sempre tem como prioridade estabelecer um bom



relacionamento comercial com os seus parceiros e clientes comerciais, colocando a qualidade dos produtos como prioridade máxima da empresa.



2. O projecto de ferramentas e peças fabricadas por conformação

Como o objectivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um novo mecanismo que efectuasse a conformação da palmilha metálica, recorrendo como base a componentes já existentes, foram levados em conta conceitos de engenharia para o melhoramento do produto pretendido.

Durante o presente trabalho foi utilizada uma metodologia bastante utilizada em processos de engenharia de melhoramento de produtos. O projecto de um componente baseado num já existente, ou seja, adaptação do mecanismo de conformação do apoio do serrote manual, de maneira a que este possa também efectuar a conformação da palmilha metálica.



Figura 1- Diagrama representativo dos passos seguidos durante este trabalho.



O diagrama anterior representa os passos seguidos na abordagem a este trabalho. Inicialmente teve-se em conta um produto/componente, neste caso a prensa mecânica com os mecanismos associados para conformar os apoios dos serrotes manuais, de seguida foi feita uma análise dimensional do mecanismo, através da medição dos seus componentes. Após essa análise dimensional foi criado o modelo tridimensional CAD recorrendo ao software *Solidworks*. Com o modelo tridimensional criado foram caracterizados os problemas existentes na conformação dos apoios dos serrotes manuais, bem como os problemas que poderiam advir numa posterior conformação das palmilhas metálicas. Com todos os problemas definidos, passou-se para a elaboração das melhorias a implementar, seguindo-se para o desenho CAD do novo mecanismo já com as melhorias implementadas, bem como novas soluções.

Com o novo modelo CAD executado, foi necessário definir os materiais dos novos componentes, finalizando-se assim o projecto do novo mecanismo de conformação das palmilhas mecânicas, adaptado também para a actual função, conformação do apoio de serrotes manuais.

2.1. Conformação de Metal

Conformação de metal consiste em processos de conformação nos quais uma barra de metal ou uma chapa lisa são deformados através do auxílio de uma ferramenta (punção e matriz) (Smith, 1994). O projecto e controlo dos processos está dependente do conhecimento das variáveis que lhes estão adjacentes, entre as quais se destacam as características da matéria prima (chapa ou barra), as condições na interface entre a ferramenta e a matéria prima, as características mecânicas aplicadas à deformação plástica, o equipamento utilizado e as especificações requeridas para o produto final. Todos estes factores influenciam a escolha da forma da ferramenta bem como as condições de processamento.

Com a elevada complexidade de algumas operações de conformação de metal, vários estudos tem sido feitos de maneira a simplificar e a viabilizar estes processos para qualquer que seja a complexidade do produto,.

Conformação de metal é uma das três maiores tecnologias usadas para fabricar produtos em



metal, as outras duas são a fundição e a metalurgia em pó. Porém esta é a mais antiga e mais avançada tecnologicamente em relação às demais.

Esta tecnologia teve um papel preponderante com o desenvolvimento da sociedade. O seu maior crescimento ocorreu com a revolução industrial, onde até aí a produção deste tipo de produtos era principalmente executada ao nível ofical de pequena dimensão, mas com a descoberta de novas fontes de energia, consegue-se produzir a uma escala muito maior. A inovação e automação aumentaram significativamente, aparecendo também produtos com uma maior complexidade. Tudo isto pode ser observado na figura 2, onde se pode constatar o aumento da complexidade dos produtos e o aumento da produção desde a revolução industrial (Jeswiet, 2008).

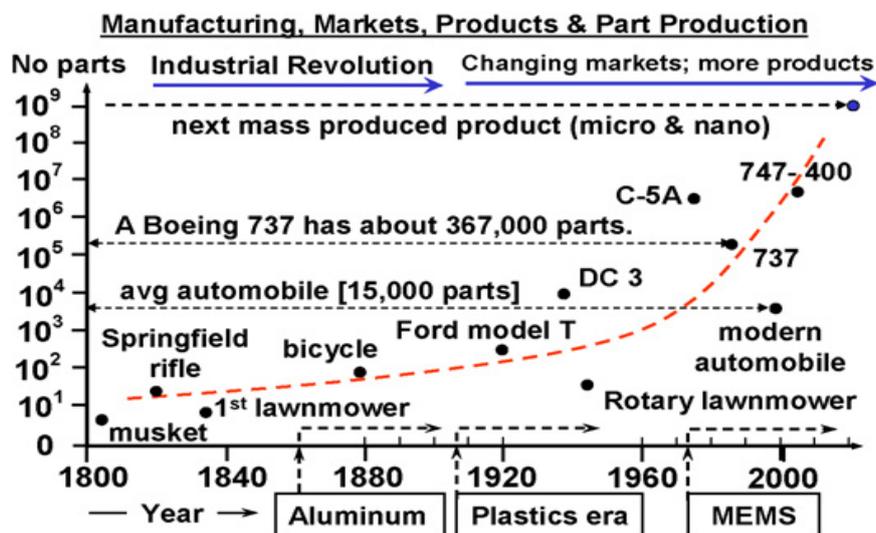


Figura 2- Gráfico representativo da evolução dos processos de manufactura

2.1.1 Classificação dos processos de Conformação de metal

Em conformação de metal a forma inicial da barra ou chapa é obtida através de um punção e uma matriz, podendo essa deformação separar conformação de metal em dois processos diferentes:

-Conformação de chapa;

-Conformação de massa.

Em ambos os processos as superfícies dos materiais deformados, o metal, e as ferramentas



estão em contacto, ocorrendo através dessa interacção o processo de conformação.

Este trabalho irá incidir apenas no processo de conformação de chapa, uma vez que foi apenas esse o processo introduzido no trabalho realizado.

2.2. Conformação de Chapa

Os processos de conformação de chapa são processos de conversão de uma chapa de metal numa peça com a forma desejada, sem ocorrer fractura ou uma excessiva falta de espessura localizada. O processo pode ser simples, como por exemplo a operação de dobragem, ou pode ser bem mais complexo, como quando são interligadas várias operações num só puncionamento, como no caso de utilização de ferramentas progressivas.

Operações de conformação de chapa são tão diversificadas em tipo, extensão e rácio de produção, que não existem testes que validem ao mesmo tempo todos os parâmetros adjacentes a cada processo. Contudo vários são os estudos efectuados de maneira a termos um controlo mais efectivo sob cada variável e conseqüentemente do produto final (Metals, 1969).

Os principais estudos que têm sido realizados de maneira a aprimorar cada vez mais este processo são estudos que envolvem os materiais utilizados, quer das ferramentas, quer da peça a fabricar. Muitos dos estudos envolvem também a simulação através de elementos finitos, podendo esta simulação ir de encontro aos materiais utilizados, às forças envolvidas, folgas permitidas, etc. Outros dos estudos realizados tem a ver com o tipo de prensas a utilizar, ou mecânicas ou hidráulicas, entre muitos outros, sendo que alguns irão ser elaborados ao longo desta dissertação.

De seguida irão ser abordados os principais processos de conformação de chapa, bem como as forças que ocorrem no decorrer dos processos, entre outras variáveis.

2.2.1. Embutidura

O processo de embutidura de chapas de metal é um processo usado para produzir recipientes, onde a chapa é estrangida enquanto a parte central da mesma é pressionada para o interior da abertura da matriz, de maneira a que o metal obtenha a forma desejada.

Este processo geralmente requer o uso de prensas de dupla acção, uma para fixar a chapa contra a parte superior da matriz (cerra-chapas) e outra para executar o movimento do punção para o interior da matriz (Metals, 1969).

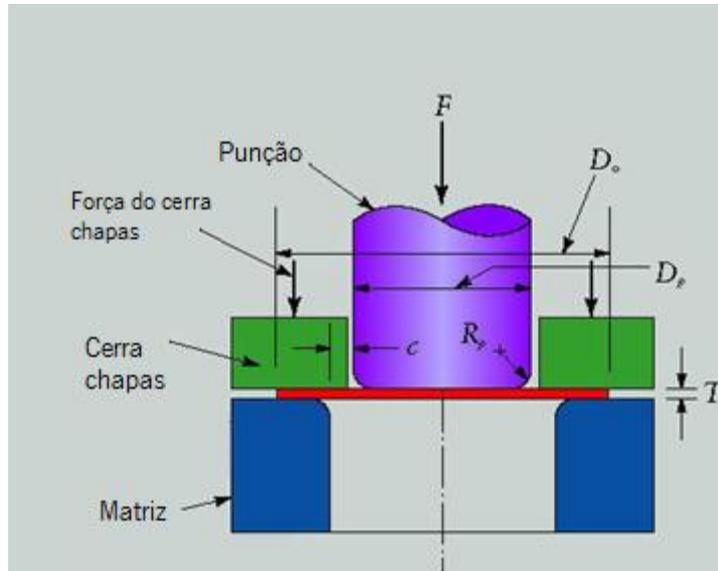


Figura 3- Processo de embutidura e principais constituintes

Este processo é usado de forma a se obterem formas circulares, tais como panelas de cozinha, formas de caixas, ou contentores.

Um dos factores mais importantes a ter em conta no processo de embutidura são as folgas entre punção e matriz, folgas essas que devem ser controladas de forma a ser minimizado o livre movimento da chapa nas faces laterais da matriz e assim evitar que ocorra enrugamento nessa zona.

Uma boa concordância entre o raio da borda inferior do punção e a conseqüente abordagem na matriz, são essenciais para que a chapa seja formada sem rasgar.

Em alguns casos a chapa é totalmente puncionada para o interior da matriz, e conseqüentemente a peça terá a parede lateral com uma forma uniforme. Noutros casos, e na maioria das vezes, é aplicada uma força que comprime a chapa contra a face superior da matriz, o cerra chapas, como podemos verificar na figura 3, representado a cor verde, sendo que assim se pode controlar melhor a área formada e evitar a formação de rugas.



As propriedades consideradas mais importantes nos produtos em chapa projectados para serem embutidos, são:

-**Composição**, com uma quantidade mínima de inclusões e elementos residuais contribuindo para uma melhor embutidura;

- **Propriedades mecânicas**, alongamento, tensão plástica e tensão de encruamento;

-**Propriedades físicas**, incluindo as dimensões, módulo de elasticidade, e qualquer outro requerimento especial para manter a forma depois de ser conformado.

Uma vez depois do processo de embutidura, a chapa pode vir novamente a ser processada para se obterem formas adicionais. Por exemplo a obtenção de um fundo completamente cilíndrico, ou no caso do embutido ser uma caixa, o arredondamento dos seus cantos (Metals, 1969).

Forças envolvidas

No processo de embutidura, a força do cerra chapas é aplicada somente de maneira a que a chapa flua radialmente para o interior da cavidade da matriz, não permitindo assim que ocorra enrugamento da mesma.

A deformação ocorre no rebordo e sobre o lábio da matriz, não ocorrendo deformação sobre o nariz do punção. O processo de embutidura pode ser pensado como análogo à trefilagem, em que uma grande secção é arrastada para uma de menor dimensão, mas de maior comprimento.

A embutidura do metal depende de dois factores:

- A capacidade do material na região de rebordo, de fluir facilmente no plano da chapa sob cisalhamento;
- A capacidade do material da parede lateral resistir à deformação na direcção da espessura (Smith, 1994).

O punção previne o material das paredes laterais de mudar de dimensão na direcção circunferencial. A única forma que o material tem de fluir, devido às forças aplicadas pelo punção, é alongando e reduzindo a sua espessura, sendo assim, a capacidade do material das paredes laterais de suportar a carga imposta ao força-lo de encontro à matriz é determinada pela



sua resistência à redução de espessura, e neste caso um fluxo de força elevada na direcção da espessura da chapa é desejável. Tendo em conta estes dois factores, é também importante em operações de embutidura maximizar o escoamento de material no plano da chapa e maximizar a resistência ao escoamento do material na direcção perpendicular do plano da chapa.

A força de escoamento da chapa de metal na direcção da espessura é de difícil medição, mas o rácio de deformação plástica r compara deformações nas direcções do plano e da espessura, determinando deformações verdadeiras nestas direcções num teste de deformações, r é uma constante dada por:

$$r = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} \quad (1)$$

Onde ϵ_w é a deformação verdadeira na direcção do comprimento e ϵ_t é a deformação verdadeira na direcção da espessura (Metals, 1969).

As chapas de metal são anisotrópicas, sendo assim, as suas propriedades são diferentes em diferentes direcções de material. É assim necessário fazer uma média dos rácios de deformação medidos paralelamente, transversalmente e a 45° da direcção de escoamento da chapa, para se obter uma média do rácio de deformação \bar{r} , este vem dado por:

$$\bar{r} = \frac{r_L + 2r_{45} + r_t}{4} \quad (2)$$

Onde r_L é o rácio de deformação na direcção longitudinal, r_{45} é o rácio de deformação a 45° da direcção de escoamento e r_t é o rácio de deformação na direcção transversal.

Se a força de escoamento é igual na direcção do plano e espessura da chapa, $\bar{r} = 1$. Se a deformação na direcção da espessura é maior que a deformação média na direcção do plano da chapa, então $\bar{r} > 1$. Neste caso, o material resiste a uma diminuição de espessura uniforme. Geralmente, quanto maior o valor de \bar{r} , mais profundo pode ser o embutido, como vemos na figura 4.

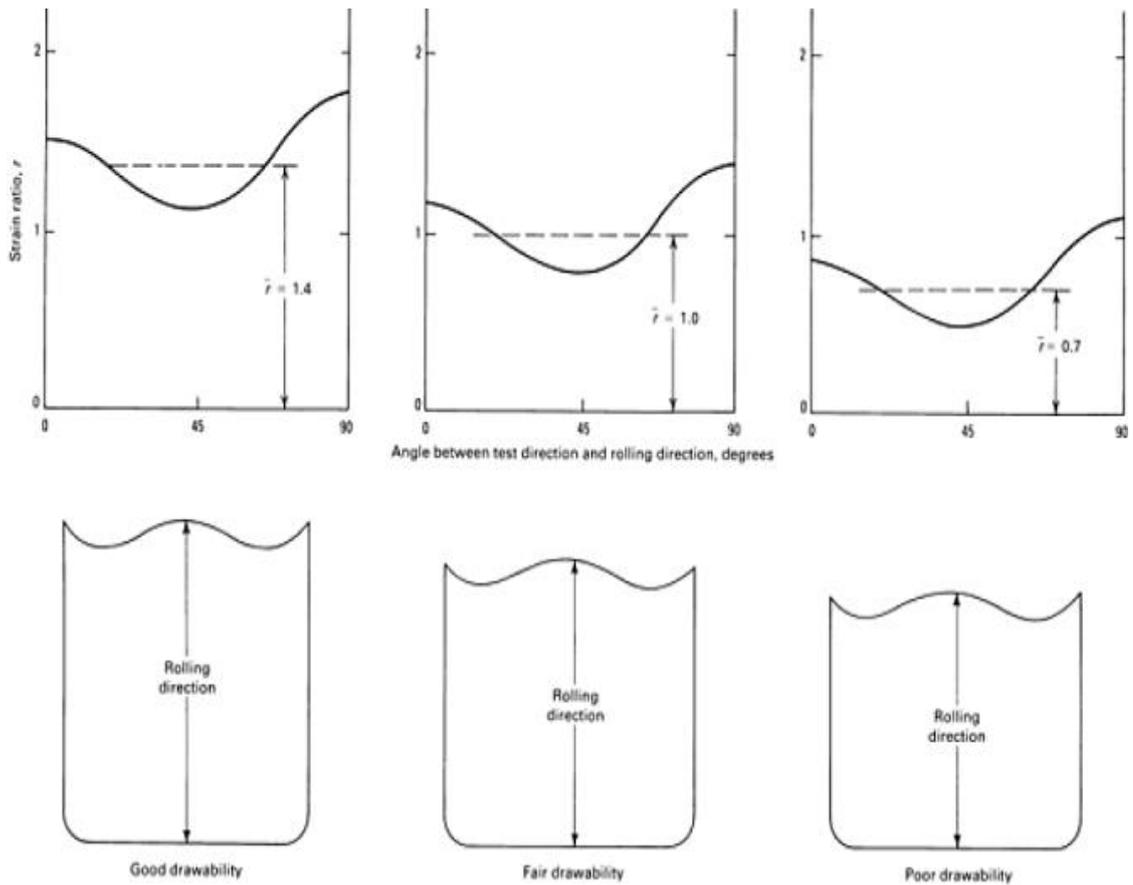


Figura 4- Relação entre os valores de \bar{r} e a profundidade do embutido (Metals, 1969).

Cerra Chapas

O objectivo do cerra-chapas é evitar o aparecimento de rugas nas faces laterais do embutido durante o processo de embutidura.

O cerra chapas deve permitir que a chapa reduza a sua espessura à medida que o punção executa o movimento descendente, puncionando a chapa para o interior da matriz. A quantidade de espessura que pode ser reduzida é expressa por:

$$\frac{t_1}{t} = \sqrt{\frac{D}{D_1}} \quad (3)$$

Onde t é a espessura da chapa, t_1 é a espessura da face lateral do embutido a qualquer instante durante o processo de embutidura, D é o diâmetro da chapa e D_1 é o diâmetro da flange a qualquer instante durante o processo de embutidura.

2.2.2. Corte por Arrombamento

Corte por arrombamento é a operação de conformação de chapa em que o corte de metal é executado através de um punção que penetra a cavidade determinada pela matriz até ao ponto de fractura do metal, provocando-se uma separação brusca de uma porção da chapa.

Inicialmente o metal é sujeito ao mesmo tempo a tensões de tracção e compressão, depois ocorre o corte por arrombamento, onde existe primeiro uma deformação plástica da chapa, de seguida uma redução da área e finalmente ocorre a fractura, como demonstrado na figura 5.

A pressão aplicada pelo punção no metal leva a uma deformação do mesmo para o interior da matriz. Quando o limite elástico do metal é excedido pelos carregamentos ocorridos, uma porção do metal é forçado para a abertura da matriz através de uma deformação na parte inferior da chapa e uma depressão correspondente na parte superior, como demonstrado em A. Com o aumento do carregamento, o punção irá penetrar a chapa através de um certo percurso, forçando assim uma quantidade de metal igual à sua espessura para o interior da matriz, B. Esta penetração ocorre antes da fractura iniciar, esta irá apenas ocorrer na área reduzida, igualmente no lado superior e inferior da chapa, como indicado em C. Quando as fracturas se encontram, do lado superior e inferior, dá-se a separação completa da chapa.

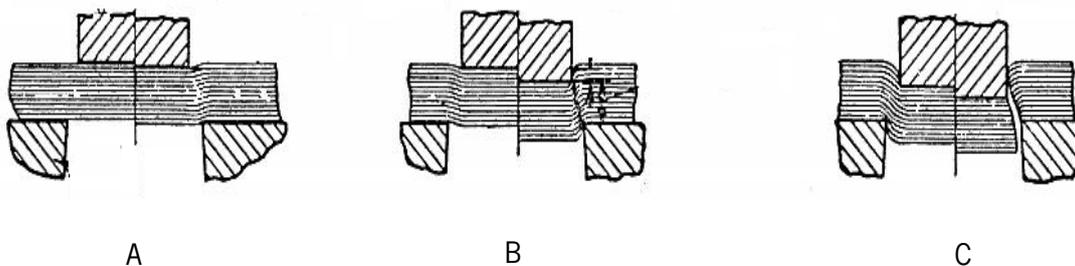


Figura 5- Evolução do comportamento da chapa ao longo da operação de corte por arrombamento (SMe, 1965).

Folgas

Folga é a medida do espaço entre o punção e a matriz. Uma folga apropriada permite que as fracturas do lado superior e inferior da chapa se encontrem de uma maneira apropriada fazendo com que as faces de corte tenham uma boa aparência. A folga tem também influência directa na formação de rebarba e no desgaste na ferramenta, (SMe, 1965). Quando a folga entre o punção



e a matriz é superior à ideal o resultado é o aparecimento de um maior repuxamento, sendo que as deformações também irão ser maiores. Uma folga menor resulta numa maior penetração, provocando tensões maiores e o conseqüente aparecimento de fissuras.

Para um bom acabamento, é necessária a existência de uma folga adequada, sendo que esta é definida em função do tipo de material, espessura e tratamentos térmicos a que a chapa foi submetida. Geralmente os materiais mais duros requerem uma folga maior e permitem uma penetração menor por parte do punção na matriz, já os valores da folga para os materiais mais dúcteis são menores sendo que o valor da penetração do punção na matriz é menor também.

Os valores da folga entre punção matriz variam geralmente entre 5% e 10% da sua espessura, sendo que os materiais mais dúcteis, como o alumínio requer uma folga à volta dos 5% e os materiais mais duros, como o ferro fundido, aço inoxidável, etc, requerem uma folga à volta dos 10% da sua espessura. No corte fino, sendo que este é considerado aquele em que se produzem peças na forma final com superfícies lisas e polidas, sem as irregularidades características do corte por arrombamento, as folgas aí aplicadas variam entre 0,5 e 1% da espessura (Smith, 1994).

Forças

Geralmente a força de corte calcula-se usando a tensão de ruptura do material, incluindo-se também no cálculo a área a ser cortada. O que acontece é que nestes casos existe um substancial factor de segurança implementado.

No cálculo das forças de corte deve-se então utilizar a tensão resistente de cisalhamento do material.

No exemplo do aço AISI-SAE 1010, vemos que este tem uma tensão de ruptura de 386 MPa, e uma tensão de cisalhamento de 290 MPa. A tensão de cisalhamento do material aumenta quando estão a ser conformados materiais a uma alta velocidade de conformação. Nestes casos, sim, deve ser utilizada a tensão de ruptura no cálculo da força de corte, como factor de segurança (Smith, 1994).

A força de corte é calculada através da seguinte formula:



$$F_c \geq p * e * \tau_c \quad (4)$$

Onde :

F_c = Força de corte (Kg)

p = Perímetro da peça a ser cortada (mm)

e = Espessura da chapa (mm)

τ_c = Tensão resistente de cisalhamento ou corte (Kgf/mm^2)

Em geral, os catálogos fornecem apenas a tensão de ruptura à tracção σ_r . Quando τ_c for desconhecido:

$$\tau_c = \left(\frac{3}{4} * \frac{4}{5} \right) * \sigma_r. \quad (5)$$



Tabela 1- Valores de τ kgf/mm² para cada material (Marcondes, 2008).

MATERIAL	RECOZIDO	CRU	
Aço Laminado	0,1%C	25	32
	0.2%C	32	40
	0.3%C	36	48
	0.4%C	45	56
	0.6%C	56	72
	0.8%C	72	90
	1%C	80	105
	Inoxidável	52	60
	Silício	45	56
Alumínio	7÷9	13÷16	
Alpaca (Cu-Ni-Zn)	28÷36	45÷46	
Prata	23,5		
Bronze fosforoso	32÷40	40÷60	
Duralumínio	22	38	
Latão	22÷30	35÷40	
Chumbo	2÷3		
Cobre	18	22	
Estanho	3÷4		
Zinco	12	20	

Técnicas de redução da força de corte

As forças máximas requeridas para cortar o material no processo de corte por arrombamento, podem ser reduzidas alterando a geometria do punção ou da matriz. Esta alteração de geometria passa essencialmente pela inclinação da aresta de corte.

Na figura 6 estão representados três métodos de redução da força de corte, alterando a geometria do punção, principalmente através do desgaste dos ângulos vivos do punção.



Um método simples é formar um ângulo num ponto do punção. Enquanto este método reduz o pico das forças aplicadas pelo punção, este não penetra na chapa de uma maneira uniforme, resultando assim em forças laterais pouco desejáveis (A).

Outro dos métodos é utilizar um punção em V, figura 6 B, este método tem duas vantagens. Equilibrando o carregamento com um punção simétrico, sendo que as forças laterais são evitadas. Este processo também começa o corte nas partes laterais do punção, finalizando a fractura na parte central. Podendo assim serem reduzidas as forças de afastamento na matriz.

Uma desvantagem deste método é que a pressão é concentrada no centro do punção e, quando punçoados materiais finos de alta resistência, o punção pode partir no centro do V.

Para operações em que o punção tem que exercer forças maiores, um punção pontiagudo (figura 6 C) é o mais indicado para reduzir as forças aplicadas. Em caso de uso desta opção, a abertura da matriz pode precisar de ser maior para aguentar qualquer aumento nos carregamentos laterais, adjacentes ao efeito de dobragem inicial. Em ambos os punções B e C, a energia total requerida é maior devido à existência de forças de dobragem, contudo, a força máxima requerida é menor.

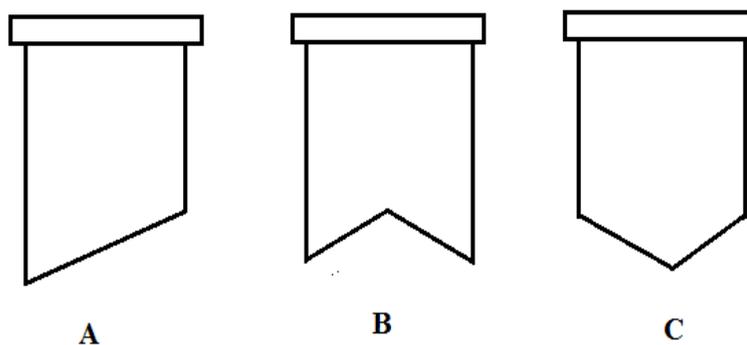


Figura 6- Técnicas de redução da força de corte

Outra das possibilidades de alterações nas ferramentas de corte para a redução da força aplicada é a alteração da geometria da matriz, na figura 7 está ilustrada a alteração da forma da

matriz, sendo que os efeitos adjacentes são os mesmos que na figura 6 C, só que em vez de ser o punção modificado é a matriz que sofre a modificação.

Tanto para a matriz como para o punção existem certas regras que devem ser seguidas, a ferramenta deve ser simétrica e a inclinação máxima dos ângulos criados não deve ser superior a 4°.

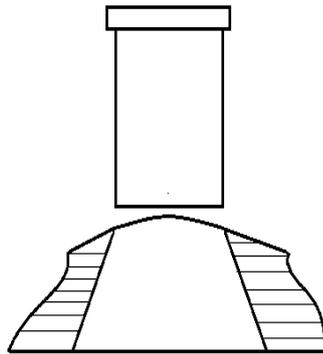


Figura 7- Alteração da geometria da matriz para redução da força de corte

2.2.3. Dobragem

O processo de dobragem é amplamente utilizado na indústria metalomecânica uma vez que este é capaz de produzir um bom acabamento superficial, redução do peso e um baixo custo de fabrico.

Os materiais que sofrem dobragem são feitos em chapa de metal para ganharem rigidez e produzirem uma peça com a forma desejada. O processo mais simples de dobragem é a dobragem em ar, assim chamado porque a matriz não contacta com o lado de fora do raio de curvatura. A parte a ser dobrada é simplesmente apoiada em ambos os lados da dobra e é aplicada uma força a um punção no centro para realizar o trabalho (SMe, 1965).

Na figura 8 temos ilustrado este mesmo processo, em que a chapa é suportada por dois elementos, sendo que a força é aplicada no ponto médio. Aquando da aplicação da força são



criadas tensões de compressão no lado interior da chapa dobrada e tensões de tração no lado exterior. Neste processo de dobragem, quando a força não excede a tensão de cedência do material, a chapa retorna à sua forma original depois de removido o punção, caso este seja excedido a chapa fica com uma forma permanente de dobragem quando o punção é retirado.

O material não é forçado de maneira uniforme, sendo que na zona em que o punção entra em contacto com a chapa existem maiores tensões aplicadas, estas tensões vão diminuindo à medida que nos afastamos desse ponto.

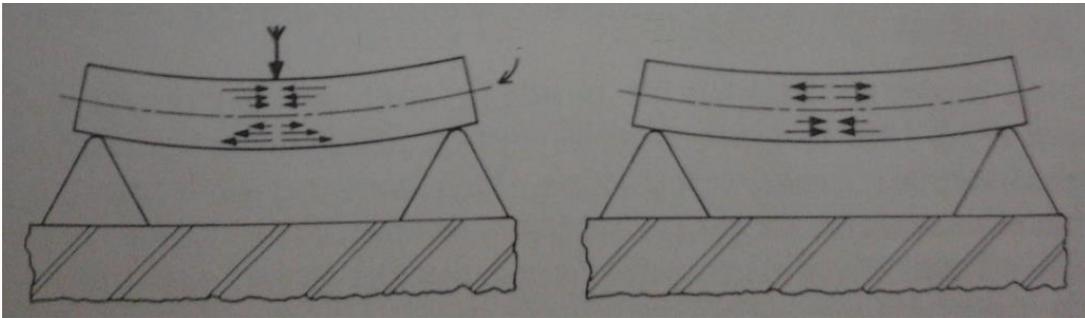
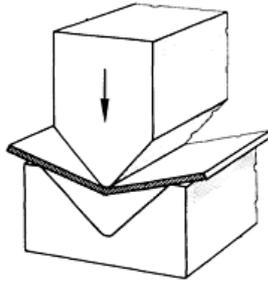


Figura 8- Representação das tensões existentes na dobragem em ar. Adaptado de: (SMe, 1965)

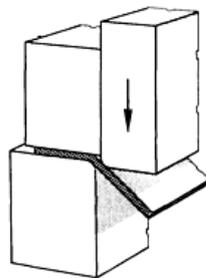
Para além da dobragem em ar existem outros processos de dobragem de chapa, os mais utilizadas na indústria são a dobragem em V, dobragem de flange com cunho de arraste, dobragem em U e dobragem rotativa.

Na dobragem em V são utilizadas ferramentas compostas por uma matriz em forma de V e um punção em forma de cunha. A abertura do V da matriz é, pelo menos, oito vezes a espessura do material. Na dobragem, a peça é colocada sobre o V da matriz, e o punção desce para a pressionar de encontro ao V de maneira a ser formada a curva desejada (Metals, 1969), figura 9.

**Figura 9- Dobragem em V**

Na dobragem de flange com cunho de arraste, como o próprio nome indica, o punção arrasta o metal de maneira a que este fique em torno da matriz inferior. No projecto convencional, o arrastador produz um efeito de cunha na parte superior da dobra para controlar o retorno elástico.

Caso sejam aplicadas forças excessivas de cunhagem, o metal na parte superior da dobra vai ser expelido, resultando assim numa dobra fraca e distorcida, figura 10.

**Figura 10- Dobragem de flange com cunho de arraste**

Na dobragem em U, a largura do mesmo é ajustável por meio de espaçadores. Outro dos aspectos importantes neste processo de dobragem é que a folga lateral deve ser 10% superior à espessura da chapa.

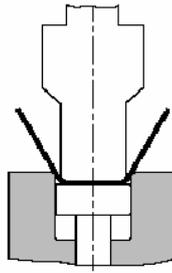


Figura 11- Dobragem em U

Quanto à dobragem rotativa, esta possibilita uma combinação entre uma dobragem de baixa tonelagem providenciada pela dobragem em ar, com a precisão e capacidade de execução de variadas dobras fornecida pela dobragem de flange com cunho de arraste (Smith, 1994).

Como se pode ver na figura 12, numa posição inicial o mecanismo de dobra rotativo entra em contacto com a chapa, de seguida, devido à força executada pela ferramenta superior este executa um movimento rotativo de maneira a contornar tanto a face superior como lateral da ferramenta inferior, executando assim a dobra da chapa.

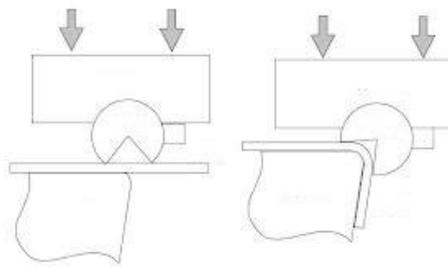


Figura 12- Dobragem rotativa

Forças

No que às forças diz respeito no processo de dobragem, tem que se ter em conta que para cada um dos processos o cálculo das forças envolvidas é diferente.

Para se calcularem as forças resultantes do processo de dobragem em V ou em U, sendo que para este segundo processo ter-se-á que multiplicar o resultado da equação que se segue por 2, seguimos a seguinte fórmula:



$$F = \frac{KLS t^2}{W} \quad (6)$$

Onde:

F= Força de dobragem, N.

K= Factor de abertura da matriz: varia entre 1,20 para uma abertura da matriz 16 vezes a espessura da chapa, até 1,33 para uma abertura da matriz 8 vezes a espessura da chapa.

L= Comprimento da peça dobrada, mm.

S= Resistência à tracção, Pa.

t= Espessura da chapa de metal, mm.

W= Largura do V, ou U, conforme estejamos a calcular a força para o processo de dobragem em V ou U, mm.

Quando se quer calcular as forças envolvidas no processo de dobragem de flange com cunho de arraste tem-se que utilizar a seguinte fórmula:

$$F = K \frac{SLt^2}{A} \quad (7)$$

Onde:

F= Força de dobragem, N.

K= Constante que varia entre 0,167, para valores do ângulo da matriz e folgas elevados e 0,333 para ângulos de matriz mais agudos e prensas de trabalho de alta maleabilidade.

t= Espessura da chapa de metal, mm.

L= Comprimento da dobra, mm.

r1= Raio do punção, mm.



r_2 = Raio da matriz, mm.

C = Folga da matriz, mm.

S = Resistência à tracção, Pa.

Neste processo também tem de se ter em conta a força do cerra chapas, uma vez que este é um elemento importante para que a chapa fique sempre em contacto com a matriz e depois possa ser dobrada apenas na zona desejada, sendo assim esta é calculada por:

$$F_{cc} = \frac{SLt}{3} \quad (8)$$

Onde:

F_{cc} = Força do cerra chapas, N.

S = Resistência à tracção, Pa.

L = Comprimento da flange, mm.

t = Espessura da chapa, mm.

Na figura seguinte pode ver-se representados os elementos necessários para o cálculo das forças envolvida no processo de dobragem de flange com cunho de arraste.

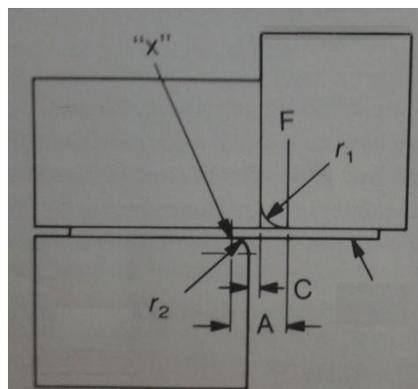


Figura 13- Representação das forças na dobragem de flange com cunho de arraste (SMe, 1965).

Raio mínimo de dobragem

O raio mínimo de dobragem é um valor que depende do ângulo de dobragem, comprimento da dobra, propriedades do material e orientação da dobra relativamente à direcção de laminagem. O raio mínimo de dobragem é maior quanto maior o ângulo da dobra. (ASM)

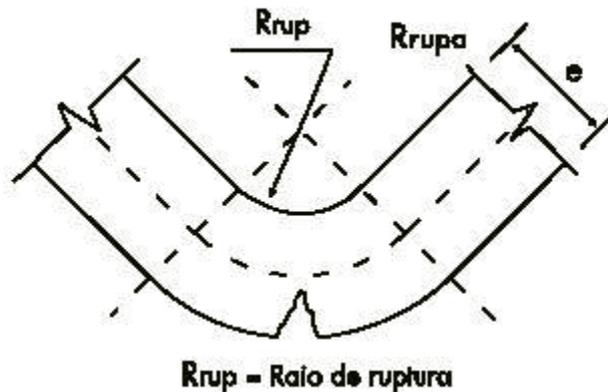


Figura 14- Raio mínimo de dobragem (Palmeira, 2005).

A maior parte dos metais recozidos podem ser dobrados com um raio mínimo igual à espessura da chapa, contudo alguns metais mais macios podem ser dobrados com um raio mínimo com um valor metade da espessura da chapa (Smith, 1994). Peças em que o comprimento da dobra (direcção paralela com o eixo da dobra), é maior oito vezes que a espessura da chapa, possuem um raio mínimo de dobragem geralmente constante.

A têmpera do metal afecta o raio mínimo de curvatura do mesmo. Aços altamente temperados (baixa dureza e alta ductilidade), podem ser dobrados a 180° com um raio afiado, não resultando daí fendas ou rasgões. Os raios de curvatura podem geralmente ser menores para dobras feitas na direcção de laminagem do material, contrariamente às que são feitas paralelamente a esta. Contudo a maior parte das dobras com os cantos mais vivos são feitas em direcções paralelas à direcção de laminagem do material (Metals, 1969).

Para um melhor cálculo do raio mínimo de dobragem este pode ser determinado recorrendo a diagramas existentes. Pelo que sabemos este é determinado em função do material e da espessura da chapa, $r \geq K.e$, em que K é calculado pela equação 9, relativamente às características do material e e representa a espessura da chapa.



$$K = 0,85 \frac{\sigma_r}{\delta} + 0,5 \quad (9)$$

Em que:

σ_r : Tensão de ruptura à tracção do material (kg/mm^2)

δ : Alongamento %

2.3. Ferramentas progressivas

Uma ferramenta progressiva desenvolve uma série de operações em chapas metálicas, com duas ou mais operações durante cada curso de pressão, com o objectivo de desenvolver uma peça consoante o movimento da chapa ao longo da ferramenta.

Cada posto de trabalho desenvolve uma ou mais operações de ferramenta, mas a chapa deve mover-se desde a primeira estação ou etapa, através de cada estação sucessiva para produzir uma peça completa (Jain, 2003).

Uma ou mais etapas inactivas devem ser incorporadas no interior da ferramenta de maneira a que a chapa seja localizada, facilitar a passagem da chapa entre as várias estações ou simplesmente facilitar a construção da ferramenta. O percurso linear da chapa entre cada estação da ferramenta pode ser designado como avanço progressão ou passo, e equivale à distância entre cada estação da ferramenta.

As peças fabricadas com ferramentas progressivas, geralmente têm mais qualidade do que as que são fabricadas com recurso a ferramentas individuais (Cunha, 2207).

Geralmente, a poupança em custos laborais, juntamente com a melhor qualidade das peças estampadas com ferramentas progressivas, têm sido os factores decisivos na justificação do maior custo do material da bobina em comparação ao custo das peças fabricadas em ferramentas individuais.

Sendo assim, a utilização de uma ferramenta progressiva justifica-se, quando:



- O material utilizado tem a espessura necessária para que possa ser guiado ao longo das várias etapas;
- O equipamento auxiliar para a utilização da bobina está disponível ou pode ser justificado;
- O tamanho da ferramenta, determinado pelo tamanho da peça, número de estações e comprimento da chapa, pode ser utilizado nas prensas disponíveis;
- A tonelagem da prensa está disponível;
- Qualidade e requisitos de consistência da peça são altos;
- Existência de requisitos de troca rápida da ferramenta bem como de manufactura flexível (Jain, 2003).

2.4. Tipos de prensas utilizadas em conformação de chapa

Em operações de conformação de chapa, geralmente são utilizadas prensas com dois tipos de accionamento, mecânico ou hidráulico.

Na tabela seguinte é feita uma comparação, tendo por base as principais características a ter em conta na selecção das prensas utilizadas, comparando os dois tipos de accionamento.



Tabela 2- Prensas Mecânicas e Hidráulicas (Metals, 1969).

Tipo de accionamento	Força	Capacidade	Compri mento do curso	Velocidade das lâminas	Controlo	Utilização preferencial
Mecânico	Varia dependendo da posição das lâminas	Máximo prático de relativamente 54 MN (6000 tonf)	Limitado	Maior do que nas hidráulicas e podendo variar. Máxima no ponto médio de puncionamento	Curso completo é usualmente necessário antes da reversão	Preferencialmente utilizadas para operações com pressão máxima perto da parte inferior do curso. Utilizadas também preferencialmente para operações de corte como perfuração e obturação. Utilizadas para operações em que a profundidade de conformação não seja muito elevada, (profundidades até cerca de 12 mm). Boas para elevadas cadências de produção, tais como operações requerendo a utilização de ferramentas progressivas e de transferência
Hidráulico	Relativamente e constante (não depende da posição das lâminas)	445 MN (50000 tonf) podendo ser superior	Capaz de cursos longos (2,5 m)	Velocidades de puncionamento mais lentas. Velocidade uniforme durante todo o curso.	Ajustável, o puncionamento pode ser revertido em qualquer posição.	Boas para operações que requerem uma pressão constante durante todo o curso. Preferencialmente utilizadas para operações embutidura, testes de ferramentas, conformação flexível, conformação de peças com formas irregulares, operações de endireitamento de peças conformadas anteriormente, operações exigindo altas e variáveis forças de funcionamento e operações requerendo puncionamento variáveis e parciais.

2.4.1. Prensas Mecânicas

Na maior parte das prensas mecânicas, um volante é a fonte da maior parte de energia que é aplicada nas lâminas através de manivelas, engrenagens ou cames. O volante trabalha continuamente e é acoplado à embraiagem apenas quando o funcionamento ocorre. Na larga maioria das prensas mecânicas o accionamento do motor está directamente conectado ao eixo de pressão, fazendo com que seja eliminada a necessidade de um volante e embraiagem.

Existem dois tipos de accionamento nas prensas mecânicas, accionamento através de engrenagens e accionamento não redutor. Ambos são utilizados para a transferência de forças de rotação do volante ao eixo principal da prensa.

Accionamento não redutor: Num accionamento não redutor (também conhecido por accionamento de volante), o volante encontra-se no eixo principal e a sua velocidade, em voltas por minuto, controla a velocidade das lâminas. Geralmente a velocidade das prensas com este tipo de accionamento são altas, variando entre 60 e 1000 voltas por minuto.



A energia armazenada no volante deve ser suficiente para assegurar que a redução de velocidade do volante não vai ser maior que 10% por cada punção (Metals, 1969). Caso esta redução não seja conseguida, deve-se recorrer ao uso de uma prensa mecânica de engrenagens.

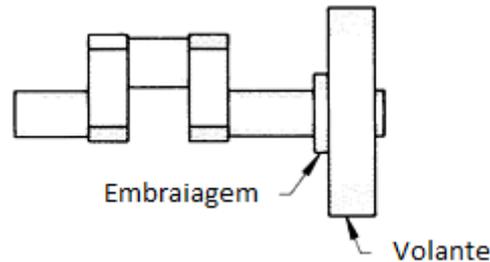


Figura 15- Accionamento não redutor.

Accionamento por engrenagens: Possuem um volante inserido num eixo auxiliar que conduz ao eixo principal através de uma ou mais reduções da engrenagem. Podem ser utilizadas tanto engrenagens de redução única ou múltipla, dependendo do tamanho e tonelagem requeridas. Nas prensas mecânicas de accionamento por engrenagens, existe maior energia disponível no volante para a execução do trabalho comparativamente com as prensas de accionamento não redutor, uma vez que a velocidade do volante é superior.

As engrenagens de redução única desenvolvem velocidades na ordem dos 30 a 100 punçamentos por minuto, já nas de reduções múltiplas as velocidades variam entre 10 a 30 punçamentos por minuto (Metals, 1969).

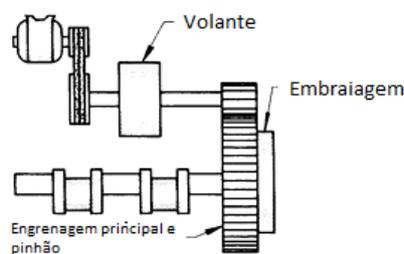


Figura 16- Accionamento por engrenagens



2.4.2. Prensas Hidráulicas

As prensas hidráulicas são umas das máquinas básicas mais antigas. A sua concepção moderna está bem adaptada para trabalhos de conformação, desde a cunha de peças de joalheria até ao forjamento de peças de aviões. As prensas hidráulicas mais modernas são, em alguns casos melhor preparadas para aplicações onde as prensas mecânicas foram anteriormente mais populares (Smith, 1994).

A pressão aplicada em um ou mais pistões fornece a energia numa prensa hidráulica. A maior parte deste tipo de prensas possuem volume variável, pressão variável, uma bomba de pistão concêntrica para fornecer uma abertura e encerramento de rápido deslizamento. Fornece também uma velocidade de trabalho lenta e uma rápida pressão de conformação.

A capacidade de uma prensa hidráulica depende do diâmetro dos pistões hidráulicos e da pressão nominal hidráulica máxima, sendo que este último factor é definido em função da pressão da bomba e mecanismos relacionados.

Existem prensas hidráulicas com capacidades até 445 MN (50000 tonf), mas a maior parte tem capacidades menores que 135 MN (15000 tonf). Tipicamente as prensas hidráulicas tem capacidades entre 900 KN e 9 MN (100 e 1000 tonf).

As lâminas ou mesas das prensas hidráulicas, são actuadas por inúmeras combinações de accionamentos hidráulicos, geralmente têm um funcionamento mais longo que as prensas mecânicas e a sua força pode ser constante ao longo do seu funcionamento. Acumuladores ou bombas de elevado volume podem fornecer um rápido movimento para a lâmina abrir e fechar. Bombas de elevada pressão fornecem uma elevada força de trabalho a baixas velocidades (Metals, 1969).

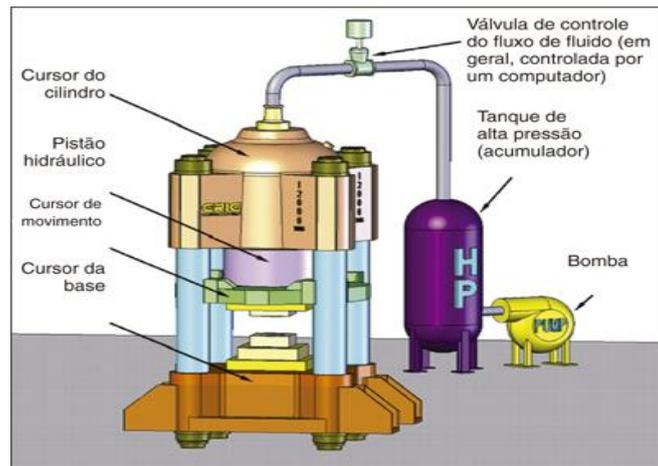


Figura 17- Constituintes de uma prensa hidráulica

2.5. Retorno elástico

O retorno elástico no processo de conformação de chapa pode ser descrito como uma mudança na forma da chapa de metal comparando com a forma das ferramentas que executaram a deformação, depois de o fenómeno ter ocorrido (Xu Jingjing, s.d.).

O retorno elástico pode também ser definido como uma recuperação elástica que ocorre numa peça deformada plásticamente quando esta é libertada das forças que a ferramenta lhe imprime durante o processo de conformação. Na figura 18 temos uma ilustração deste fenómeno, neste caso durante o processo de dobragem.

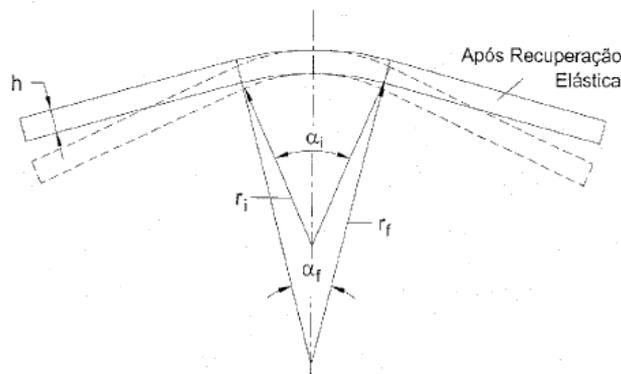


Figura 18- Fenómeno de recuperação elástica (Palmeira, 2005).

O retorno elástico depende de vários factores, entre eles podemos destacar, a liga pela qual o material é constituído, a temperatura a que foi submetido, a espessura da chapa e o raio de



dobragem (Metals, 1969).

Chapas metálicas, tais como aços de alta resistência e ligas de alumínio, estão particularmente vulneráveis para a ocorrência deste fenómeno.

Sendo que este é um dos factores com maior dificuldade de controlo no processo de conformação de chapa, geralmente são utilizadas algumas técnicas para a redução deste fenómeno: sobre dobragem, repetição do punçionamento até a obtenção da forma desejada e o uso de ferramentas com características especiais. A sobre dobragem apenas deforma a peça para um ângulo de dobragem maior, até que este se encontre nos valores desejáveis após o retorno elástico. A repetição do punçionamento, irá introduzir na peça o mesmo que a sobre dobragem, isto através da introdução de deformações plásticas adicionais. Já o uso de ferramentas especiais, geralmente usa o processo de cunhagem no ângulo de dobragem, para que ocorra a deformação do metal plasticamente além do seu limite elástico. Neste último caso é necessário ter em especial atenção, uma vez que deve ser feito um controlo especial sob a espessura da chapa, para que esta não seja muito reduzida, uma vez que caso isso aconteça pode vir a ocorrer a ruptura do material durante a dobragem, ou pode causar essa mesma ruptura quando a peça já está a ser usada na sua função de trabalho.

2.5.1 Cálculo teórico

Para o cálculo do retorno elástico e para que se obtenham a peça com curvatura r e ângulo α desejado, é necessário que o punção apresente um raio r' e a dobra seja feita com um ângulo α' , sendo que:

$$r' = K(r + 0,5e) - 0,5e \quad (10)$$

$$\alpha' = K\alpha \quad (11)$$

Onde e , representa a espessura do material a conformar, e K é um factor de cálculo que depende do material da peça e da relação entre o raio e a espessura da peça (r/e), sendo que, consultando o diagrama da figura 19, se conclui que o retorno elástico é maior nos materiais mais duros.

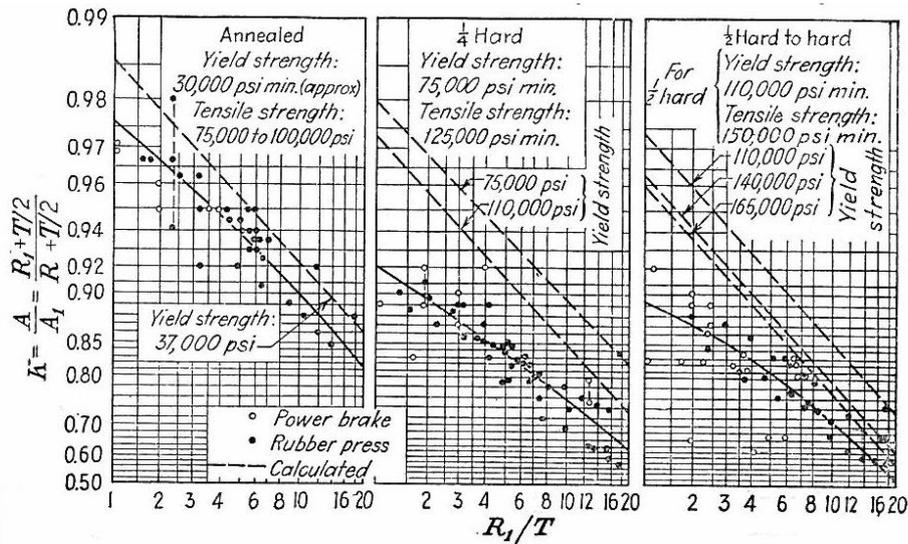


Figura 19- Diagrama da relação entre $\frac{R_t}{T}$ e os valores de K para aços austeníticos. (Sme, 1965).

2.5.2 Cálculo computacional

Nos dias de hoje, com a evolução que tem ocorrido nos programas de CAE é cada vez mais fácil antever, calcular e simular este fenómeno. Vários são os estudos feitos neste domínio, sendo que com o passar dos anos este vai ficando cada vez mais exacto. De entre os estudos feitos destacam-se dois, onde os resultados obtidos são de salientar:

(Xu Jingjing, s.d.), referem que com o seu processo, em que com um modelo matemático baseado nas leis matemáticas aplicadas tanto no cálculo do retorno elástico, bem como aplicado à análise por elementos finitos (FEM), é criado um novo método de reconhecimento de padrões, que quando aplicado ao software (ANSYS/LS-DYNA 5.71) nos fornece dados do retorno elástico, que quando comparados com os resultados experimentais, tem um erro de cálculo de aproximadamente 10%, que quando comparado com resultados anteriores, em que esse erro era de 62%, deixam muito boas indicações em relação à utilização das técnicas de FEM na posteridade.

(Huang Lin, 2007), criaram também um modelo, aplicado neste caso ao software ABAQUS, destaca-se este estudo, uma vez que também obtém resultados bastante aceitáveis, sendo que os erros comparativamente entre métodos experimentais e simulações de FEM, estão entre 5,2% e 8,8%. Neste caso o estudo baseia-se única e exclusivamente em ligas de alumínio, mas tendo em conta a dificuldade que existe na predição deste fenómeno e nas implicações que isto tem



nas empresas, são valores bastante aceitáveis.

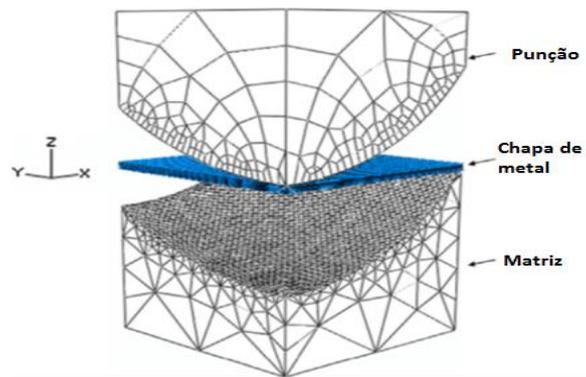


Figura 20- Simulação numérica do processo de conformação de chapa





3. Palmilhas metálicas e descrição do mecanismo existente

As palmilhas metálicas são inserções anti-penetração incorporadas no calçado de segurança, de maneira a que possa oferecer uma protecção na parte inferior do pé.

Hoje em dia existem vários tipos de inserções anti-penetração utilizadas no calçado de segurança, sendo que estas estão divididas em dois grandes grupos principais, inserções simples e inserções compostas. Inserções simples são todas as que são constituídas apenas por um tipo de material, inserções compostas são compreendidas por todas aquelas as que são constituídas por mais que um material ou então que apresentam diferente geometria e espessura em determinadas áreas específicas.

Após um estudo do mercado sobre calçado de segurança, a empresa António Abreu Metalomecânica decidiu apostar no fabrico deste tipo de componentes, sendo que estes como são o tipo de inserções anti-penetração mais consolidadas no mercado, optou por inserções simples, e como o calçado português se apresenta como uma das indústrias mais rentáveis e em contínuo crescimento no nosso país, e tendo em conta também que a empresa se dedica principalmente ao fabrico de componentes metálicos, possuindo já algum *know how* e equipamento disponível, esta aposta não apresenta um risco tão elevado, comparativamente com o outro tipo de inserções disponíveis.

No fabrico deste componente, são efectuados dois tipos de operações de conformação, corte por arrombamento e dobragem. Corte para que a palmilha obtenha o contorno desejado, com a forma do pé, e dobragem, que é um dos aspectos que irão ser estudados no decorrer deste trabalho, uma vez que, por uma questão de conforto, a palmilha deve ter a forma da parte inferior do pé, que se repararmos não tem uma forma completamente plana, mas sim várias cavidades, como podemos ver na imagem seguinte de um exemplo de uma palmilha metálica anti-penetração.



Figura 21- Representação da curvatura da palmilha metálica.

Como se pode verificar na figura anterior, a palmilha não tem uma configuração completamente plana, e o objectivo deste trabalho é também desenvolver um sistema que possa conferir esta configuração à palmilha.

As palmilhas a fabricar pela António Abreu Metalomecânica tem uma espessura de 0,5 mm, e o aço que se pretende utilizar para o desenvolvimento das palmilhas tem as seguintes características mecânicas, características estas providenciadas pelo fornecedor.

Tabela 3- Características Mecânicas do aço utilizado para as palmilhas metálicas.

Módulo de Elasticidade	210 (MPa)
Rácio de Poisson	0,3
Tensão de Cedência	950 (MPa)
Tensão Ruptura	1290 (MPa)
Alongamento (A 5%)	10

3.1. Caracterização química do material

Para uma caracterização mais precisa do tipo de material que vai ser usado na conformação da palmilha metálica, resolveu-se efectuar uma caracterização química do material em causa. Para isso recorreu-se ao laboratório de materiais existente no Departamento de Engenharia Mecânica.



No laboratório, para a execução da caracterização pretendida, utilizou-se a técnica de análise do material por fluorescência de raios X (XRF). Esta é uma técnica precisa, não destrutiva, fiável, requer amostras de manuseamento simples e pode ser utilizada numa vasta gama de elementos, desde sódio até ao urânio, fornecendo um limite de detecção até ao nível do sub-ppm. O aparelho realizado nesta análise foi X'Unique II- com ampola de Ródio (Rh) 80 kV com detector misto de cintilação e de fluxo e cristais LiF220 Ge111.

Após a solicitação desta análise os resultados obtidos para a composição química da chapa foram os presentes na tabela seguinte.

Tabela 4- Composição química do aço utilizado.

Composição química (% peso)						
C	S	Mn	Si	P	Cr	Fe
0,17	< 0,01	1,24	0,27	0,01	0,31	restante

De acordo com os dados fornecidos e através de uma análise, concluiu-se que se trata de um aço de baixa liga, sendo que, de acordo com (Metals, 1969) o aço com as características que vai mais de encontro às apresentadas anteriormente é um aço de baixa liga 94B17, sendo que o único componente que este aço apresenta que não aparece na análise efectuada é o níquel, com uma percentagem de 0,2 a 0,4%.

Também segundo (Metals, 1969), os aços de baixa liga vão de encontro à aplicação que se pretende utilizar neste caso prático, conformação de chapa,

3.2. Obtenção do modelo digital da palmilha metálica

Como o grande objectivo da empresa António Abreu metalomecânica era de reproduzir palmilhas metálicas que já eram fabricadas por outras empresas, obtiveram-se modelos dessas mesmas palmilhas e executou-se a sua digitalização nos laboratórios da Universidade do Minho, recorrendo à digitalizadora Roland LPX 600.

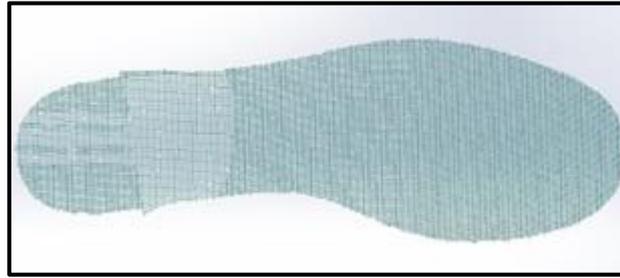


Figura 22- Representação do modelo digital da palmilha

Após a digitalização da palmilha, onde se obteve uma nuvem de pontos da mesma, como demonstrado na figura 22, teve, com o auxílio do software *Solidworks*, de se executar um tratamento dessa nuvem de pontos, eliminando os pontos que se encontravam mais afastados dos locais de maior concentração.

Com o tratamento de pontos executado já se pôde ter o modelo sólido da palmilha metálica, e após isso, com maior facilidade, procedeu-se à modelação do mecanismo de conformação, onde por várias vezes foi necessário recorrer a esse mesmo modelo. Conseguindo-se assim obter a modelação do punção e a matriz com uma maior facilidade.

3.1. Condicionantes do equipamento existente

Nas instalações fabris da empresa António Abreu Metalomecânica, existe uma prensa mecânica que executa a conformação de um apoio existente em serrotes manuais, figura 24, essa prensa tem as seguintes características:



Figura 23- Especificações Técnicas da prensa existente



Através da verificação da chapa com as especificações, conclui-se que as principais características a retirar são as que se apresentam na tabela 5.

Tabela 5- Características da prensa mecânica

Força Máxima	25000 N
Potência do motor	380 V
Ano de construção	1966
Fornecimento de energia eléctrica	220 V
Pressão do ar	6 bar
Peso	1900 Kg



Figura 24- Apoio de serrotes manuais

De início, para um melhor conhecimento de todos os seus componentes e mecanismos de funcionamento, e para se poder ter uma melhor noção metrológica da máquina, iniciou-se o trabalho pela desmontagem, caracterização e posterior desenho de todos os componentes existentes no mecanismo de conformação, acoplada à prensa, que surge na figura seguinte.



Figura 25- Imagem ilustrativa da prensa mecânica em estudo

Para que esta caracterização metrológica fosse feita com rigor e a melhor exactidão possível, utilizaram-se dois instrumentos de medição, um paquímetro digital e uma régua metálica.

Após a conclusão da desmontagem, foi feita uma divisão de sectores de funcionamento da prensa e respectivo mecanismo, em quatro principais subzonas de trabalho:

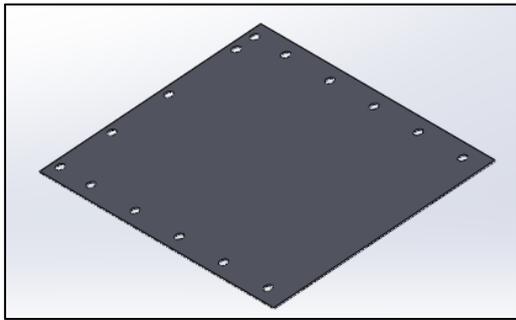
- Estrutura principal;
- Armazém de chapa;
- Sistema de guiamento;
- Zona de conformação;
- Sistema de remoção da peça após conformação.

3.1. Estrutura principal

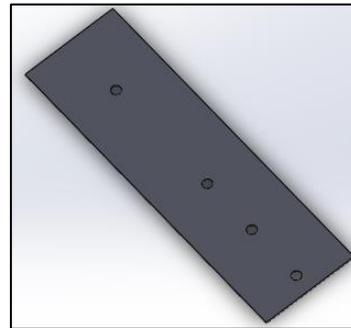
A estrutura principal, como o próprio nome indica é a principal parte deste mecanismo, nela estão fixos outros componentes, tal como o sistema de guiamento e o armazém de chapa, sendo com ajuda preponderante desta estrutura que a chapa é devidamente conformada.



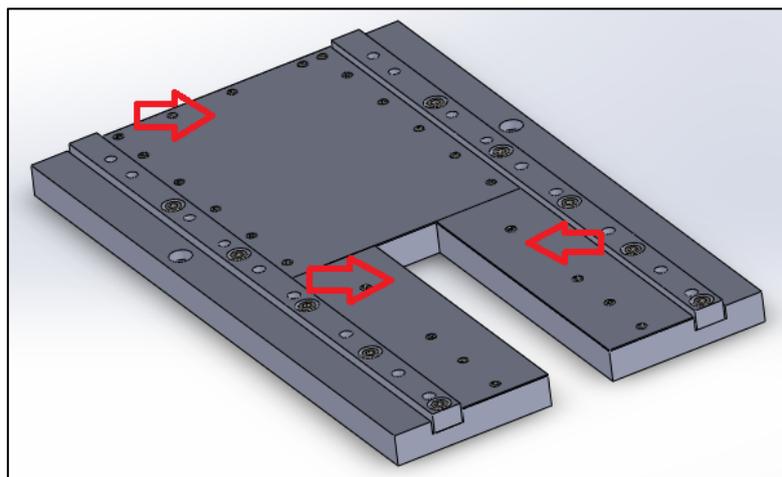
Esta é constituída por 3 chapas de revestimento, sendo que duas possuem uma menor dimensão, e que foram sujeitas a um tratamento térmico para que, ao a chapa ser guiada desde o armazém até à zona de conformação, tanto a chapa a conformar como a estrutura não sofram tanto desgaste.



A



B



C

Figura 26- A, B e C, representação das chapas de revestimento

Como podemos ver na figura 26, estas três chapas encontram-se acopladas à estrutura através de parafusos.

A estrutura principal é também constituída por duas barras, barras estas que tem como principal função delimitar o caminho a percorrer pela chapa que vai ser conformada desde o armazém,

até à zona de conformação. Estas barras servem também de suporte ao armazém, que fica aparafusado em furos existentes nestas.

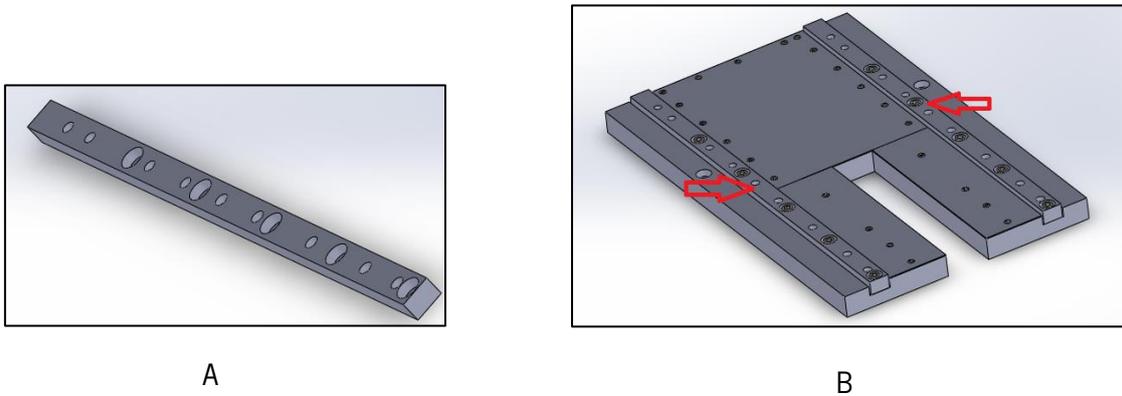


Figura 27- A e B, representação das barras

A estrutura principal encontra-se fixa à estrutura propriamente dita da prensa mecânica através de dois parafusos.

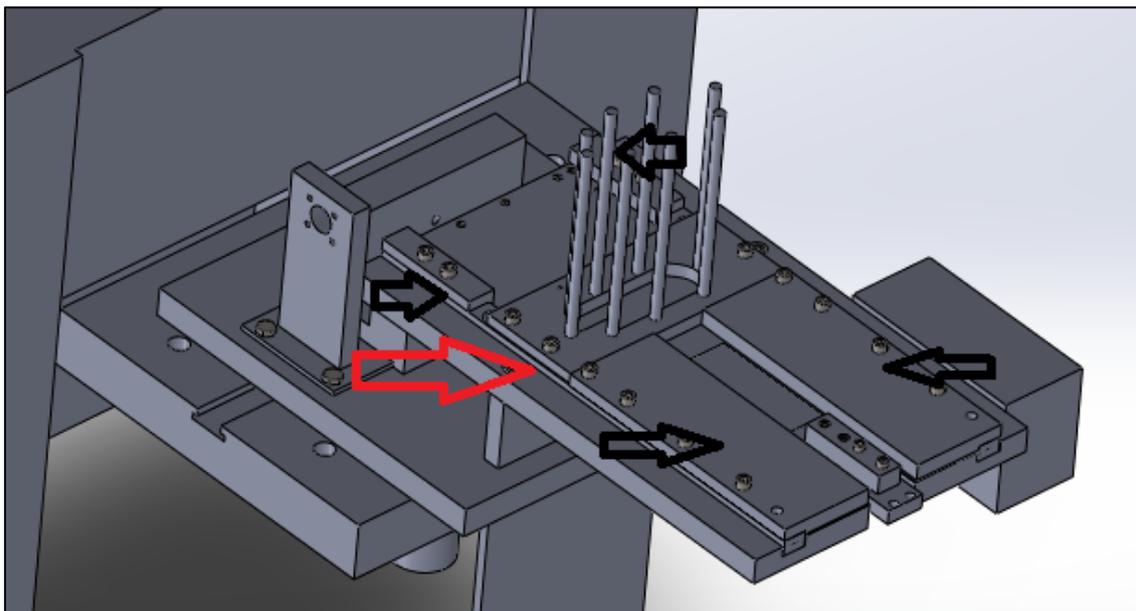


Figura 28- Representação das quatro barras paralelepípedicas de fixação da chapa a conformar

Esta estrutura possui ainda quatro barras paralelepípedicas, indicadas na figura 28 a cor preta, que ajudam na fixação e guiamento tanto da chapa a conformar, como da chapa de guiamento, fazendo com que estas fiquem sempre em contacto com a parte inferior da estrutura principal,

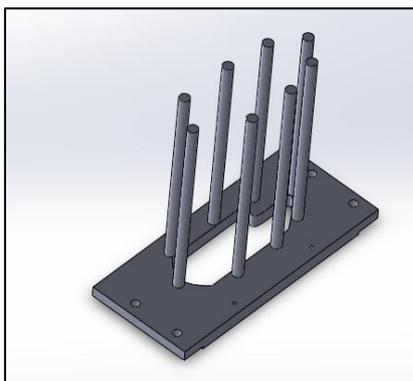


prevenindo assim que ocorram qualquer tipo de desvios do percurso da chapa, que poderiam causar anomalias no funcionamento do mecanismo.

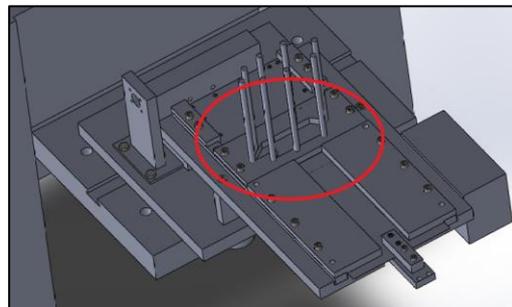
3.2. Armazém de chapa

O armazém de chapa é um compartimento, composto por barras cilíndricas aparafusadas a uma estrutura metálica, que posteriormente está aparafusada à estrutura principal do mecanismo. As barras estão colocadas verticalmente, formando um compartimento. Este compartimento possui a forma das chapas metálicas que aí vão sendo colocadas manualmente à medida que a prensa funciona, neste caso as chapas que vão ser utilizadas na conformação do apoio do serrote manual. Essas chapas foram previamente conformadas por corte por arrombamento numa outra prensa.

À medida que a prensa vai efectuando a conformação, as chapas colocadas no armazém vão caindo na estrutura principal, onde posteriormente o sistema de guiamento as leva até à zona de conformação.



A



B

Figura 29- A e B, Armazém de chapa

3.3. Sistema de guiamento

O sistema de guiamento, tem como função guiamento da chapa desde o armazém até à zona de conformação.

É composto por um cilindro pneumático, acoplado a uma chapa metálica de 1 mm de espessura, que apoiada na estrutura principal e através dos movimentos do cilindro conduz a



chapa para conformar desde o armazém até à zona de conformação. De referir que esta chapa metálica tem na sua zona de contacto com a chapa a conformar a forma dessa mesma zona de contacto, para que este se proceda com uma melhor eficiência.

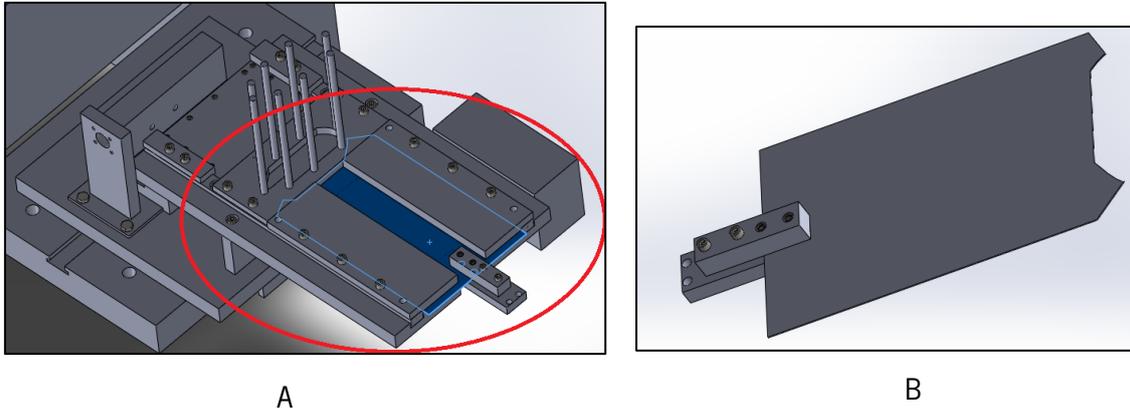


Figura 30- A e B, chapa de guiamento

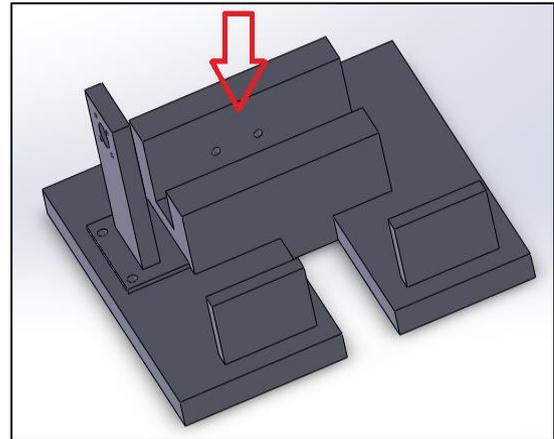
3.4. Sistema de puncionamento

O sistema de puncionamento, é composto pela matriz, punção e cavidade da matriz. É aí que a chapa proveniente do armazém e guiada pelo sistema de guiamento toma a forma pretendida com o funcionamento desta prensa.

Tanto para a matriz como o punção não foram efectuados qualquer desenho 3D, uma vez que seria um trabalho bastante complexo e estes elementos não são importantes para efectuar o projecto da palmilha, sendo que na figura 31 estão representados estes componentes, bem como o desenho da cavidade da matriz, que irá servir como suporte da mesma, e também de apoio à estrutura principal.



A



B

Figura 31- A- Imagem real do sistema de punção; B- Modelação em CAD

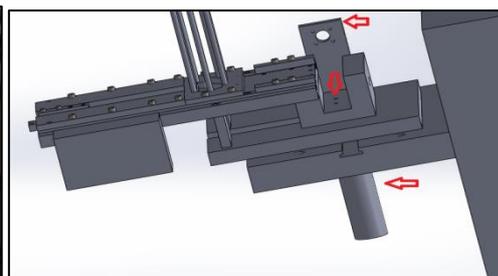
3.5. Sistema de extracção da peça após conformação

O sistema de extracção da peça, também é um sistema bastante importante neste mecanismo, uma vez que remove a peça da zona de conformação, e permite que uma nova chapa aí seja depositada, para que esta seja conformada de igual forma.

Este sistema é constituído por duas partes principais, molas de extracção e um cilindro pneumático de extracção. As molas de extracção são comprimidas pelo movimento descendente do punção, durante o punção da chapa. Quando o punção sobe, o efeito de descompressão das molas faz com que a peça conformada seja retirada da cavidade da matriz, entrando depois em acção o cilindro pneumático, que extrai as peças do cimo da matriz. Podemos ver este sistema de seguida na figura 32, sendo que em A está representada uma imagem real e em B o desenho CAD. O cilindro pneumático não está representado nos desenhos 3D uma vez que vai ser substituído no novo mecanismo de conformação da palmilha.



A



B

Figura 32- A- Imagem real das molas de extracção, B- Representação em CAD



3.6. Principais problemas do mecanismo existente

Quando foi efectuada a desmontagem do mecanismo, posterior desenho tridimensional e em discussão com alguns operários e engenheiros da fábrica, foram definidos alguns problemas que deviam ser corrigidos no novo mecanismo.

O mais importante de todos, é o centramento do punção relativamente à matriz. De cada vez que a matriz ou punção eram substituídos, devido a falhas técnicas, tais como desgaste excessivo ou mesmo ruptura. Quando era novamente necessário recomeçar a produção, o punção e a matriz tinham que ser novamente centrados, trabalho esse que era bastante moroso, e onde tinham de ser efectuadas medições e testes para que quando o mecanismo entrasse novamente em funcionamento, não ocorresse nenhuma avaria, nem ocorresse a ruptura de algum destes componentes, pondo em perigo a integridade física dos operários.

Outro dos pontos que requeria alteração, tinha igualmente respeito ao punção e matriz, neste caso, nos sistemas de troca destes componentes, uma vez que os existentes eram bastante complexos e também porque, uma vez que este mecanismo irá também efectuar a conformação das palmilhas metálicas, é necessário efectuar essa troca com bastante mais frequência e quanto menor for o tempo demorado neste processo, maiores serão em consequência os lucros da empresa.

Ao ser efectuada a desmontagem do mecanismo, reparou-se também no mau estado dos cilindros pneumáticos aí existentes, em consonância com o engenheiro responsável chegou-se à conclusão que estes também deveriam ser substituídos, uma vez que o problema não era só o mau estado de conservação, mas também a idade dos mesmos, que nunca até aqui haviam sido substituídos.

Estes são os principais problemas do mecanismo, sendo que muitas mais alterações foram efectuadas, mas estas numa perspectiva da versatilidade que este deverá ter para a conformação dos dois componentes propostos.

3.7. Soluções para os problemas existentes

No caso do problema do centramento do punção relativamente à matriz, recorreu-se à utilização de um componente existente no mercado. Após uma pesquisa efectuada, para a escolha do



produto que melhor iria satisfazer as necessidades deste trabalho, resolveu-se utilizar um elemento de guia Fibro, anexo A. Este componente é constituído por duas placas, uma superior e outra inferior, onde irão ser fixos tanto o punção como a matriz, guiados por quatro guias, como podemos verificar na figura seguinte, que tanto vão ter a função de guiamento de uma placa relativamente à outra, como irão fazer que, quando efectuada a substituição de qualquer um dos elementos, punção ou matriz, não ocorra qualquer movimentação em nenhuma das placas, fazendo que ao serem repostos novamente estes elementos, estejam automaticamente centrados, poupando algum tempo em medições e testes.

Como se pode ver na figura 33, nas placas superior e inferior, foram efectuados alguns furos, furos esses para que o punção e a matriz possam ser fixados devidamente. Sendo que na placa inferior foram executados furos tanto para a fixação da matriz de conformação da palmilha metálica como para a o apoio do serrote.

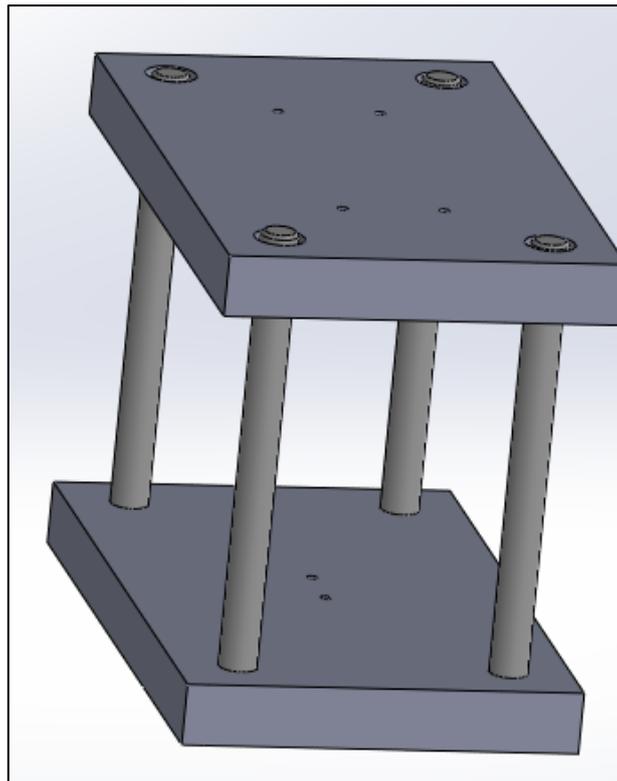


Figura 33- Elemento guia Fibro.

Relativamente aos sistemas de troca rápida de punção e matriz foram projectados novos sistemas, para que esta tarefa ocorra de uma forma rápida e sem colocar em perigo o restante processo de conformação.

No que ao punção diz respeito, como se pode ver na figura 34, inicialmente foi fixo à placa superior, um bloco com uma calha inserida, calha essa em que posteriormente irá ser colocado cada um dos punções, para a função desejada.

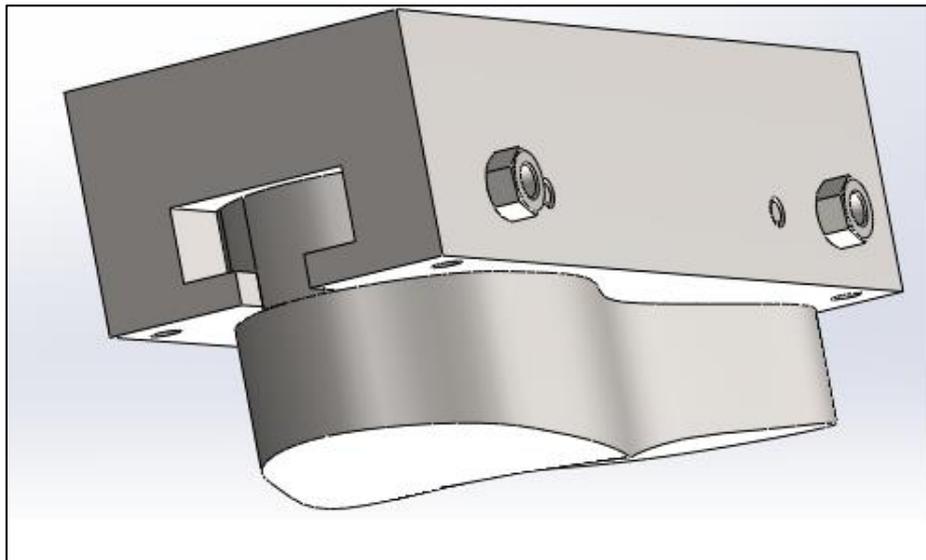


Figura 34- Punção da palmilha metálica e sistema de troca rápida

Para a fixação dos punções na calha, e para que estes estejam devidamente centrados, recorrer-se-á à utilização de dois parafusos e dois pinos de centramento, representados na figura anterior, componentes que são suficientes para uma boa fixação e centramento do punção. Os pinos, para além de servirem como elementos de referência e funcionamento, aguentam grande parte dos esforços provenientes dos impactos operacionais e devem ser superdimensionados, fabricados em aço 1010/20, cementados e rectificados. Estes dois elementos, irão proporcionar uma troca rápida para a função desejada, onde irá ser apenas necessário retirar os dois pinos de centramento e os dois parafusos.

Como também se pode ver na figura anterior irão também ser colocados quatro parafusos de fixação da calha à placa superior do sistema guia Fibro. Estes como fixam toda a estrutura do punção foram dimensionados através de um método em que se aplica uma força exterior ao



parafuso, força essa que são 25170 N, 25000 N da força aplicada pela prensa mecânica, mais 170,52 N que é a força que o peso do punção e do apoio com calha provocam, sendo assim:

Primeiro calculam-se os valores de pré-tensionamento, em que :

$$Fi = 0,9Fp \quad (12)$$

Neste caso para ligações não permanentes.

$$Fp = At * Sp \quad (13)$$

Sendo que At e Sp são valores tabelados, Anexo B, figuras 54 e 55 se se escolher uma classe de 10.9 que permite um dimensionamento mais rígido e com uma variação do diâmetro de parafusos entre M5 a M36, e ao mesmo tempo se se escolherem quatro parafusos M20, ter-se-á que Sp vai ser $830e^6 \text{ m}^2$ e At $245e^{-6}$, em que:

$$Fp = 203,35e^3 \text{ e } Fi = 183e^3$$

De seguida calcula-se o valor da constante de rigidez do parafuso para a zona roscada, através da fórmula:

$$Kt = \frac{At * E}{lt} \quad (14)$$

Sendo que lt é o comprimento do parafuso, Kt vai ser igual a $461e^6$, como o parafuso é completamente roscado, a constante de rigidez para a zona lisa vai ser igual à da parte roscada, Kd vai ser também igual a $461e^6$.

Como se tem uma união com várias constantes de rigidez, a constante de rigidez total é calculada por:

$$\frac{1}{Km} = \frac{1}{K1} + \frac{1}{K2} + \frac{1}{K3} + \frac{1}{K4} \quad (15)$$

Como cada valor de $K1$, $K2$, $K3$ e $K4$ são iguais, $1,1e^9$, então Km vai ter o valor de $115e^6$.

De seguida efectuou-se o cálculo da carga aplicada no parafuso, Pb , que se calcula por:



$$Pb = \frac{Kb * P}{Kb + Kt} \quad (16)$$

Com os valores de cada uma das incógnitas, onde P representa a carga exterior aplicada à ligação, que como se pode ver anteriormente é de 25170,52N, Pb irá ser $20e^3$ N.

Com este valor, calcula-se o valor da carga resultante no parafuso Fb , que é calculada por:

$$Fb = Pb + Fi \quad (17)$$

Então Fb vai ter o valor de $203e^3$ N

De seguida pode-se calcular o valor da tensão no parafuso:

$$\sigma b = \frac{Fb}{At} \quad (18)$$

Então, $\sigma b = 829e^6$ MPa

O valor limite de σb é a designada tensão de prova, e tem que ser inferior a Sp , como é constatado.

Por fim é calculado o factor de carga n , através de:

$$n = \frac{Sp * At - Fi}{Pb} \quad (19)$$

Efectuando o cálculo tem-se que n vai ter um valor de 1,015, como $n > 1$ garante que a tensão no parafuso é maior que a tensão de prova, então pode-se afirmar que estes parafusos aguentam as forças para as quais foram dimensionados.

No caso da matriz, o processo será diferente, como se pode ver na imagem seguinte, sendo que para já ainda só foi projectado para a matriz da palmilha metálica, uma vez que ainda não é sabido ao certo o local da colocação das furações na matriz do apoio do serrote, e porque em principio vai ser necessário executar algumas alterações no atravancamento desse elemento. No



caso da matriz para a palmilha metálica a sua fixação será providenciada através de parafusos, devidamente colocados, de modo a que esta fique centrada relativamente ao punção.

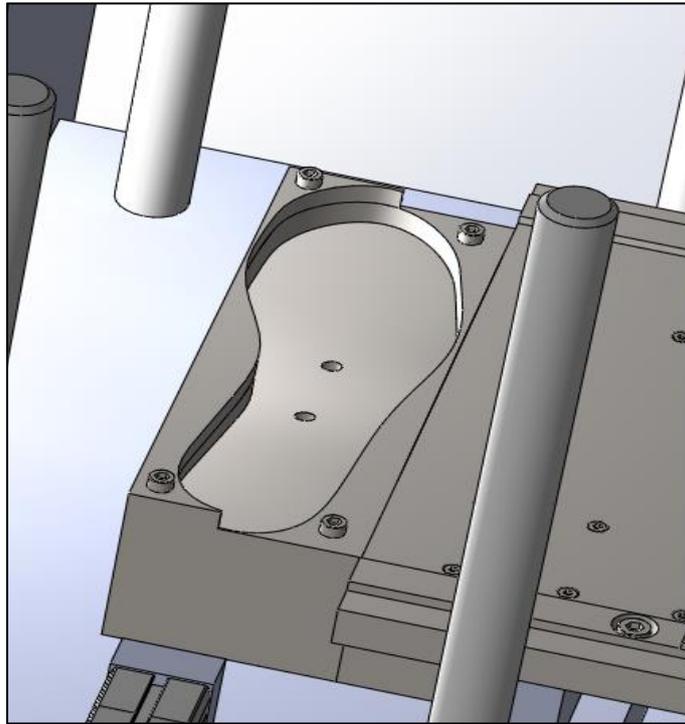


Figura 35- Matriz da palmilha metálica

O último problema detectado na desmontagem do mecanismo prendeu-se no estado dos dois cilindros existentes, o que leva a chapa desde o armazém até à zona de conformação e o que retira a peça conformada dessa mesma zona após a conformação.

Uma vez que estes iriam ter de ser substituídos, tomou-se a decisão de recorrer a elementos que garantissem um bom funcionamento do mecanismo, e ao mesmo tempo que respeitassem a versatilidade que se pretende implementar, para isso recorreu-se a dois cilindros da marca Festo.

No primeiro caso, transporte da chapa desde o armazém de chapa até à zona de conformação, optou-se pela escolha de um cilindro com guias lineares integradas, representado na figura 37, cilindro este que de acordo com as necessidades do nosso mecanismo irá ter um diâmetro do êmbolo de 20 mm e um curso 300 mm.



As principais características deste cilindro é que possui uma dupla acção, de avanço e recuo, buchas de fricção e anéis de amortecedores elásticos no fim de curso. Uma das principais vantagens da sua utilização, é um funcionamento sem qualquer tipo de vibrações e uma fixação e montagem sem necessidade de se recorrer a acessórios.

Outras das características a destacar deste cilindro, são:

- Guias de precisão com grande segurança anti giro e capacidade de suportar momentos e forças transversais elevadas;
- Utilização de buchas de fricção especialmente adequadas para esforços laterais.
- As guias e as quatro buchas deslizantes possibilitam também grande rigidez.

Mais características deste cilindro podem ser consultadas no anexo C.

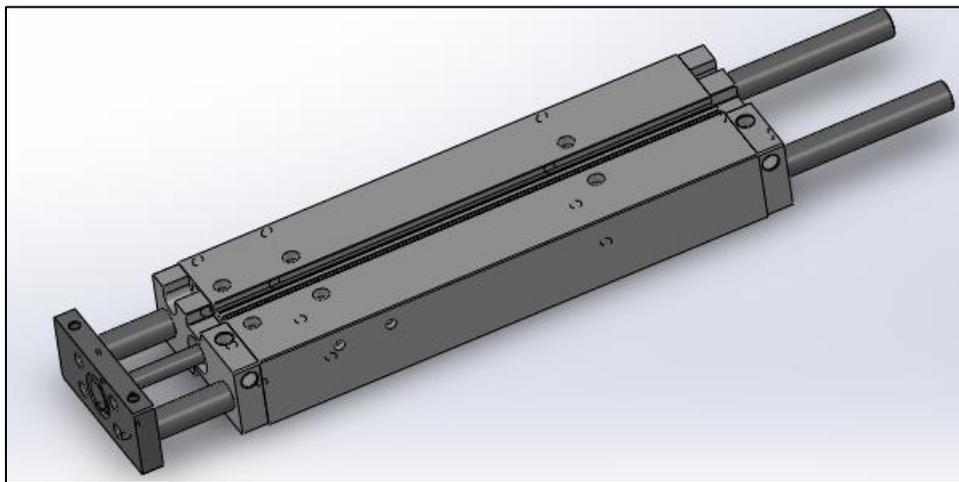


Figura 36- Cilindro de guiamento

Relativamente ao cilindro que irá extrair a peça conformada da zona de conformação, seleccionou-se também um cilindro pneumático da marca Festo, sendo que este é um cilindro ADN/AEN.

Este cilindro, como podemos ver na figura 37, possui um único êmbolo, com um curso de 200 mm e um diâmetro do êmbolo de 50 mm.



As principais características a destacar, são:

- Existência de anéis de retenção para a absorção de energia residual existente e para aumentar tanto o ciclo de vida do produto, como a velocidade de trabalho;
- Ciclos de vida do produto elevada, também devido à existência de factores mínimos de fricção;
- Baixo peso, uma vez que possui rolamentos e tampas feitas de materiais poliméricos.

Mais características podem ser consultadas no anexo D.

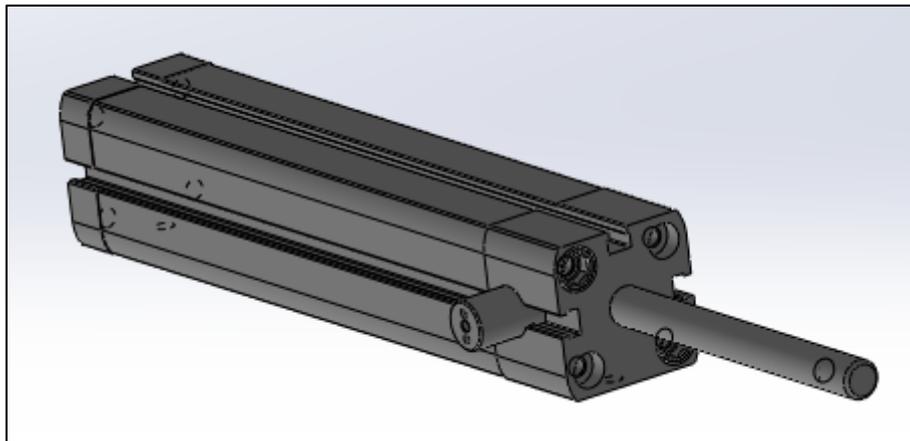


Figura 37- Cilindro de extracção

3.8. Automatização dos cilindros seleccionados

Uma vez que foram seleccionados dois cilindros para substituir os anteriormente existentes, resolveu-se então efectuar o grafcet dos mesmos, bem como a validação computacional, onde foi realizada a simulação dos mesmos no software Automation Studio™.

Na imagem seguinte, está demonstrado o grafcet do mecanismo, que vai ser explicado posteriormente, e onde A representa o cilindro de guiamento, B o sensor fim de curso existente que controla os punctionamentos na conformação, sendo que no grafcet e posterior validação computacional se comporta como os outros cilindros e que se vai manter intacto, uma vez que



se encontra em melhor estado que os cilindros anteriormente analisados, e finalmente C, que representa o cilindro de extracção (José Machado, 2010).

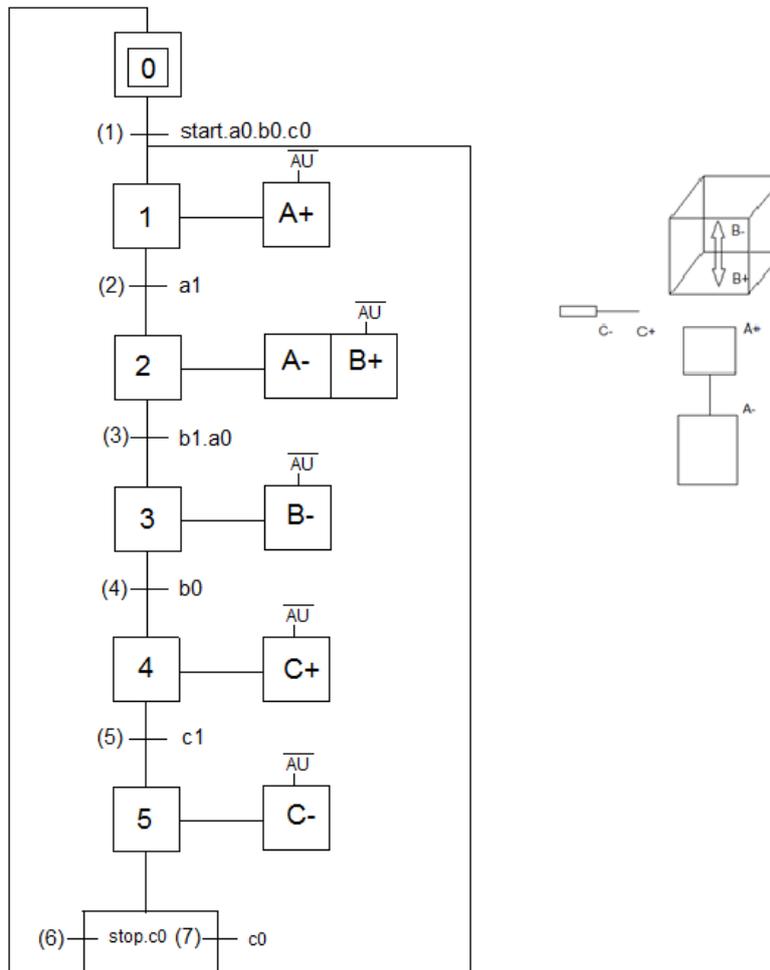


Figura 38- Grafcet e exemplo ilustrativo do funcionamento do mecanismo

De acordo com o grafcet conclui-se que, quando é pressionado o botão start e os sensores de fim de curso de cada cilindro, a0, b0 e c0 detectam que todos eles se encontram na posição inicial o cilindro guiamento passa de A- para A+, de seguida o sensor a1 detecta que o cilindro A se encontra na posição A+ fazendo com que A e B ao mesmo tempo passem para A- e B+. Após o sensor b1 e a0 detectarem que os cilindros A e B se encontram em A- e B+, o cilindro B passa para B-. Após o sensor b0 detectar o retorno do cilindro B para B-, entra em funcionamento o



cilindro C, passando para C+, extraindo assim a peça da zona de conformação. Logo de seguida o sensor c1 vai detectar o cilindro C está em C+ fazendo com que este retorne a C-. Por fim se não for executada nenhuma acção e o cilindro C se encontrar em C-, com o sensor c0, reinicia-se o ciclo. Se for pressionado o botão stop e o sensor c0 estiver a detectar C em C-, será necessário pressionar start novamente para que o mecanismo comece a funcionar novamente.

Visto que foi elaborado o grafcet do funcionamento do mecanismo, de seguida foi efectuada a tradução algébrica pelo método da cascata do mesmo, de maneira a poder ser efectuada a sua simulação computacional. Inicialmente foi elaborada a sequência de movimentos, após esta efectuou-se a definição analítica dos sinais de pilotagem do selector e por fim a definição analítica dos comandos dos movimentos.

Sequência dos movimentos

S1	S2	S3	S4	S5
A+	A- B+	B-	C+	C-
<u>c0</u>	<u>a1</u> a0	<u>b1</u>	<u>b0</u>	<u>c1</u>

Definição analítica dos sinais de pilotagem do selector

$$P1 = c0.S5$$

$$P2 = a1.S1$$

$$P3 = b1.S2$$

$$P4 = b0.S3$$

$$P5 = c1.S4$$

Definição analítica dos comandos dos movimentos

$$A+ = S1$$

$$A- = S2$$

$$B+ = S2$$

$$B- = S3$$

$$C+ = S4$$

$$C- = S5$$



Com estes dados foi então efectuada a validação do sistema pneumático no software Automation Studio, presente no anexo D.



4. Projecto de novo mecanismo

No capítulo seguinte irão ser abordados todos os componentes existentes no novo mecanismo, dando-se especial ênfase à versatilidade do mesmo, bem como às principais melhorias implementadas. Através de um estudo e projecto mais intenso, foram efectuados alguns dimensionamentos dos principais componentes.

Para uma melhor compreensão do seu funcionamento, este também foi dividido pelos mesmos sectores de funcionamento do que já existia, sendo assim tal como anteriormente vamos ter os seguintes sectores de funcionamento:

- Estrutura principal;
- Armazém de chapa;
- Sistema de guiamento;
- Zona de conformação;
- Sistema de remoção da peça após conformação.

4.1. Estrutura principal

A nova estrutura principal apresenta algumas alterações relativamente à anterior. Neste novo design deste componente esta continua a ser constituída por uma chapa de revestimento e duas barras a delimitar o percurso da chapa desde o armazém até à zona de conformação, sendo que relativamente à anterior estrutura deixaram de existir duas chapas de revestimento, devido à estabilidade oferecida pelo novo cilindro pneumático de guiamento, que não permite que a chapa de guiamento, na zona anterior ao armazém de chapa entre em contacto com a estrutura principal, sendo desnecessário a colocação dessas duas chapas. Relativamente às duas barras que delimitam o percurso da chapa desde o armazém até à zona de conformação, a sua configuração também foi alterada, sendo que agora têm um tamanho mais reduzido.

Outra das alterações executadas prende-se com o facto de se oferecer a versatilidade pretendida entre a conformação da palmilha metálica e do apoio do serrote, para isso na estrutura principal, as duas barras que delimitam o percurso entre o armazém e a zona de conformação e onde esse mesmo armazém está acoplado, tanto podem ser colocadas com uma distância de 270 mm para a conformação da palmilha, que é também a largura do armazém da palmilha, como



também podem ser distanciados por 202 mm que é a largura da chapa que após conformada dá forma ao apoio do serrote.

Neste caso, como se está perante um escorregamento entre duas superfícies, sendo que o percurso de escorregamento está delimitado, para que não haja interferência no movimento, foi efectuado o dimensionamento da distância entre as duas barras, durante o percurso da chapa de guiamento da palmilha.

Sendo assim, sabendo que a normalização de desvios para encaixes com medidas de elevado valor varia entre $H11/h11$ e $H11/h9$ (<http://www.mitcalc.com/>, s.d.), tem-se que, para o caso da conformação da palmilha metálica, e admitindo como desvios normalizados para este tipo de situação, $H11/h9$:

Sabendo que a cota nominal é, $CN = 270mm$, interpretando o escorregamento, como se no caso de um furo se tratasse, $270H11$, então,

$$CN = 270mm, \text{Qualidade: IT11}$$

Consultando a figura 53, presente em anexo E, $TF = 320 \mu m$.

Neste caso, como se está a normalizar uma interferência na posição H, consultando a figura 54 presente também no anexo E, sabe-se que $DI = 0 mm$.

Sendo assim, o desvio inferior, $DI = 0 mm$, e o desvio superior, $DS = DI + TF$, então, $DS = 0 + 320 = 320 \mu m$

Logo o valor normalizado para o a cota anterior é $270 H11 = 270_0^{+0,32}$

No capítulo destinado para o sistema de guiamento, vão ser apresentados os cálculos para a normalização da cotagem da chapa de guiamento, que vem na sequência dos cálculos anteriores.

No caso da chapa de revestimento que permaneceu, esta também pode conter duas configurações diferentes, sendo que tanto pode ter a largura da distância entre as duas barras para a conformação da palmilha, como pode ter a largura do da chapa que irá dar forma ao apoio do serrote manual. Quando esta está a ser utilizada para a conformação da palmilha,



como se pode ver na figura 39, os encaixes das barras para a conformação do serrote ficam ocultos, para que o processo ocorra sem problemas.

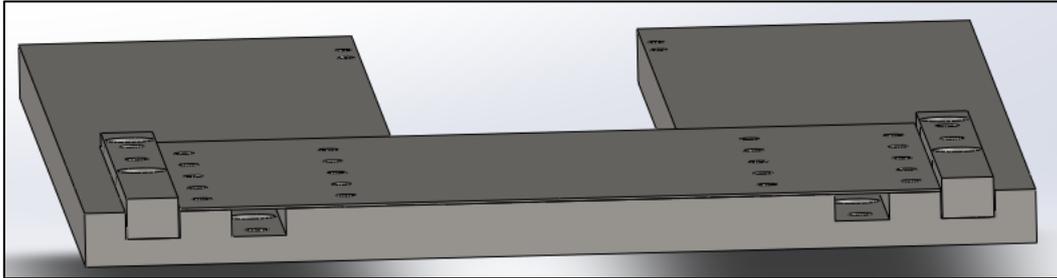


Figura 39- Estrutura principal para a conformação da palmilha

Já na figura 40, verifica-se como é que fica a configuração da estrutura principal, com as barras e as chapas de revestimento colocadas para a conformação do apoio do serrote manual.

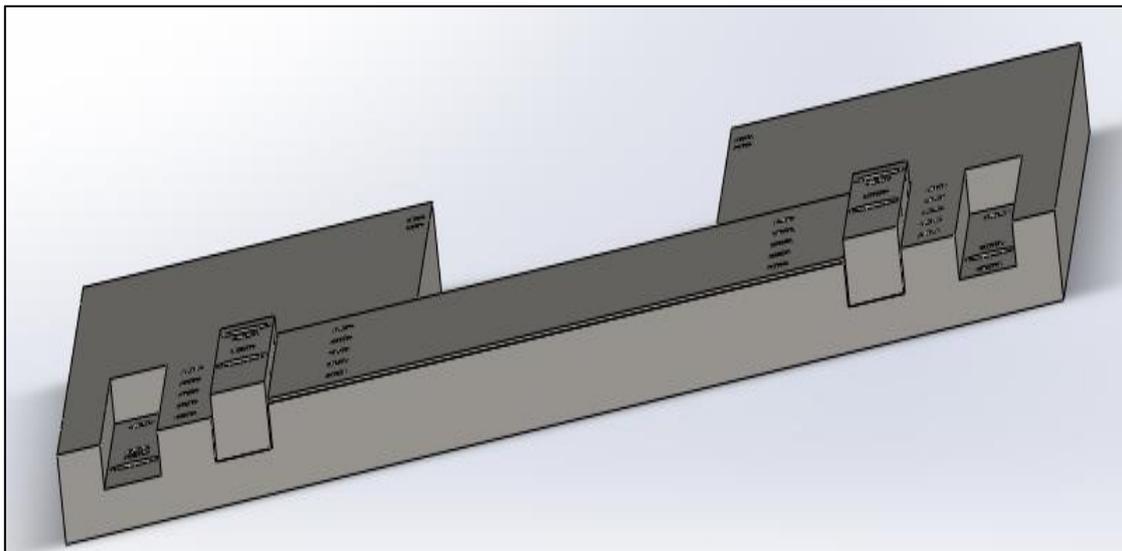


Figura 40- Estrutura principal para a conformação do apoio do serrote

Devido à modificação de alguns elementos, o tamanho da estrutura principal teve que ser alterado, sendo que neste momento é de 666 mm, 100 mm maior do que o da anterior, e não pode ser apoiado nos mesmo pontos que anteriormente, por isso mesmo, decidiu-se avaliar a necessidade da existência de duas barras para que a estrutura se mantivesse intacta e sem a possibilidade de ocorrência de vibrações.



Como se pode ver na figura 41 estas barras situar-se-iam na zona do cilindro pneumático de guiamento, sendo que iriam sofrer um bi-encastramento, tanto na estrutura principal, como no chão da fábrica, sendo fixas através de parafusos.

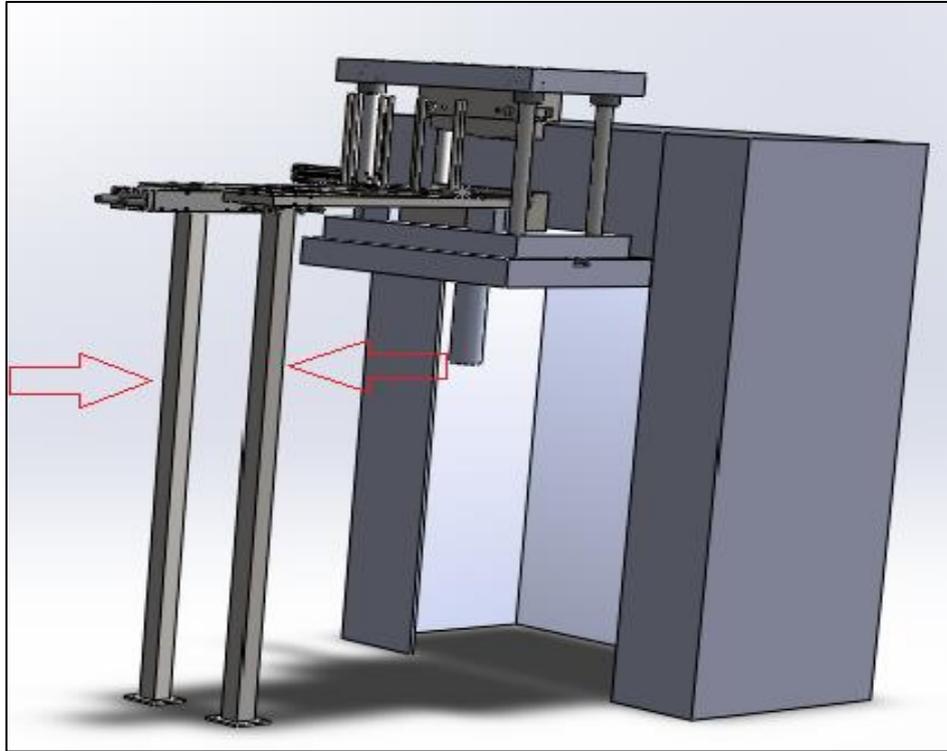


Figura 41- Representação das duas barras de apoio

Para o dimensionamento das duas barras foi necessário saber o peso que estas iriam sofrer, para isso foi determinada a massa de cada componente acoplado à estrutura principal e daí calculada a massa total, passando-se posteriormente para o dimensionamento das barras à encurvadura.

Como se pode ver na tabela 6, a massa total que as barras teriam de suportar seria de 66.24 kg, sendo que os componentes que mais interferem neste valor são a estrutura principal em si e as palmilhas que se encontram no armazém, com valores de 25,778 kg e 27,2 kg, sendo que a massa de cada componente se encontra discriminada na tabela 6.

O cálculo da quantidade de palmilhas presente no armazém, foi feito tendo em conta que cada palmilha tem 0,5 mm de espessura e a altura entre a base do armazém e o topo dos cilindros



do armazém é de 207 mm, sendo assim, fica-se com um valor de 400 palmilhas que o armazém consegue conter.

Tabela 6- Componentes da estrutura principal e respectiva massa

Componente	Quantidade	Massa (kg)
Estrutura principal	1	25,778
Chapa de revestimento	1	0,554
Parte inferior do armazém	1	0,992
Pinos de delimitação do armazém	8	0,124
Barras de apoio do armazém e delimitação do caminho da chapa	2	0,996
Chapa de guiamento	1	0,572
Apoio cilindro pneumático de guiamento de chapa	2	0,258
Cilindro pneumático de guiamento de chapa	1	5,3
Palmilhas armazenadas no armazém	400	0,068
Parafuso de fixação de chapa de revestimento	20	0,0001
Parafuso de fixação do armazém	4	0,0015
Parafuso de fixação das barras de de apoio do armazém e delimitação do caminho da chapa	4	0,0015
Parafuso de fixação da chapa de guiamento	2	0,001
Parafuso de fixação do apoio do cilindro à estrutura principal	4	0,001
Parafusos de fixação do apoio do cilindro ao cilindro	4	0,001
Massa total		66,24 kg



Após o conhecimento da massa da estrutura principal e todos os componentes que nela estão inseridos calcular o valor das secções das barras que teriam que suportar este peso, através do dimensionamento à encurvadura.

Sendo a massa total da estrutura principal, $m = 66,24 \text{ kg}$, o peso a suportar pelas barras vai ser igual a $P = m * g$, ou seja $P = 66,24 * 9,8$; $P = 649,2 \text{ N}$, como vão ser colocadas duas barras, a força do peso a suportar por cada barra irá ser $\frac{649,2}{2} = 324,6 \text{ N}$, no dimensionamento à encurvadura de barras de aço temos de ter em conta que o factor de segurança irá ser $n = 2,5$, e sendo que o material escolhido foi um aço, em que este tem um módulo de elasticidade de $E = 210000 \text{ MPa}$. (Silva, 2008)

Nestes casos tem-se que o dimensionamento à encurvadura mais eficiente ocorre quando a resistência à encurvadura é igual nos dois planos de simetria, sendo que isto acontece quando as esbeltezas são iguais.

Encurvadura no plano xy:

$$r^2_z = \frac{I_z}{A} = \frac{\frac{1}{12}ba^3}{ab} = \frac{a^2}{12} \quad (20)$$

$$r_z = \frac{a}{\sqrt{12}} \quad (21)$$

Encurvadura no plano xz:

$$r^2_y = \frac{I_y}{A} = \frac{\frac{1}{12}ab^3}{ab} = \frac{b^2}{12} \quad (22)$$

$$r_y = \frac{b}{\sqrt{12}} \quad (23)$$

$$\frac{L_{e,y}}{r_y} = \frac{2L}{b\sqrt{12}} \quad (24)$$



Num dimensionamento mais eficiente:

$$\frac{Le,z}{rz} = \frac{Le,y}{ry} \quad (=) \quad \frac{0,7L}{a\sqrt{12}} = \frac{2L}{b\sqrt{12}} \quad (=) \quad \frac{a}{b} = \frac{0,7}{2} \quad (=)$$

$$\frac{a}{b} = 0,35$$

Agora já se pode proceder ao cálculo do dimensionamento das secções da barra:

$$P_{cr} = m * P = 2,5 * 324,6 \text{ e } \frac{a}{b} = 0,35$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{(0,35b)b} \text{ e } \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(Lr/r)^2}, \text{ logo;}$$

$$\frac{811,5}{(0,35b)b} = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{(1104/b)^2}, \text{ onde se conclui que } b = 1,08 \text{ mm e sendo assim, } a = 0,378 \text{ mm}$$

Destes resultados conclui-se que não é necessária a existência destas duas barras, uma vez que os valores para as secções da barra são muito pequenos. Por um factor de segurança, decidiu-se mesmo assim reforçar o encastramento da estrutura principal na sua parte dianteira, onde esta está aparafusada, sendo que assim, fica com quatro parafusos, em vez dos dois previamente estipulados.

Para garantir que esses quatro parafusos aguentavam com a força exercida pelo peso da estrutura, estes foram dimensionados, através de um dimensionamento como no caso anterior aplicado no caso da fixação do punção à placa superior. Sabendo que é pretendido aplicar quatro parafusos M8, e como a fixação não precisa de ter uma classe tão apertada, optaram-se por parafusos de classe 4,6.

Sendo assim, $A_t = 36,6e^{-6} \text{ mm}^2$ e $S_p = 225e^6$, através destes valores e utilizando as mesmas equações que anteriormente, tem-se que $F_p = 8235$ e $F_i = 7411$.

Com estes valores já se pode calcular a constante de rigidez para a parte roscada, sendo $K_t = 252e^6$, como no caso anterior, em que o parafuso é completamente liso, $K_b = 252e^6$.



Como se pretende da mesma forma introduzir nesta ligação quatro parafusos, então a constante de rigidez total, $Km = 61,1e^6$.

Sendo que a força aplicada ao parafuso, corresponde ao peso da estrutura em si, e como já calculamos anteriormente, $P = 649,2$ N, então já podemos calcular a carga aplicada no parafuso, utilizando a equação 16 teremos que $Pb = 324,6$ N.

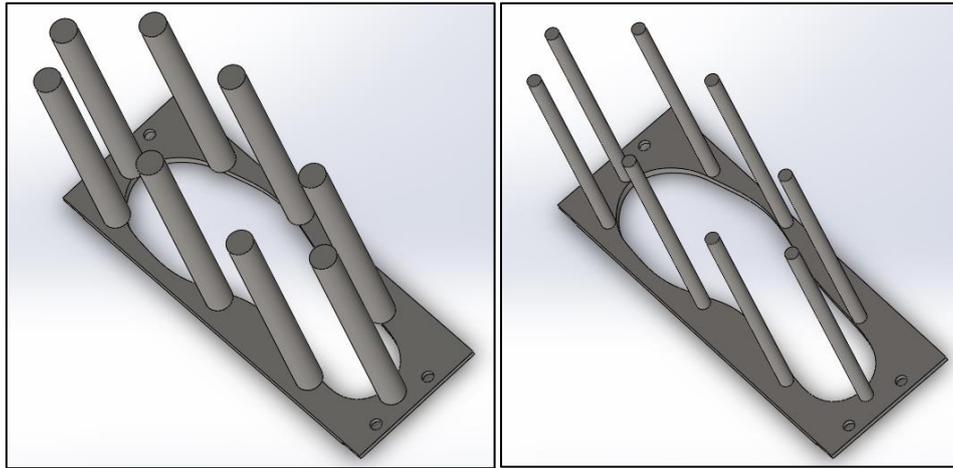
De seguida passa-se ao cálculo da carga aplicada em cada parafuso, através da equação (15), onde $Fb = 7735$.

E por fim, o cálculo dos principais componentes, onde se verifica se o parafuso se adapta ou não ao pretendido. Através das equações, 18 e 19, tem-se que $\sigma b = 211,4e^6$ MPa e $n = 2,5$. Com os argumentos anteriormente referidos, pode-se concluir que para esta ligação se pode utilizar um parafuso M8 de classe 4,6, uma vez que a tensão do parafuso é inferior à força de prova Sp e $n > 1$.

4.2. Armazém de chapa

Em relação ao novo armazém de chapa, apenas foi abordada uma questão preponderante, como existem vários tamanhos de palmilhas, como se poderia desenvolver um sistema que fosse versátil ao ponto de este sistema se adaptar a cada tamanho.

Um exemplo do novo sistema desenvolvido está representados na figura 42, onde em A se encontra o armazém de chapa preparado para palmilhas de tamanho inferior às que estão em B.



A

B

Figura 42- Representação das possíveis variações para o armazém de chapa

Este é um sistema que permite, tal como é objectivo, adaptar este mecanismo à conformação dos vários tamanhos de palmilhas, através de uma troca rápida de alguns elementos, neste caso as 8 barras cilíndricas que delimitam a cavidade do armazém. Estas barras encontram-se aparafusadas à base do armazém, sendo assim a troca entre os vários tamanhos das palmilhas processa-se de uma forma rápida e simples. Quando for pretendida a conformação de palmilhas maiores colocam-se as barras de maior diâmetro, caso seja pretendida a conformação de palmilhas de menor tamanho, colocam-se barras de maior diâmetro, com um tamanho que possibilite que a palmilha quando se encontra no armazém esteja devidamente fixa e que à medida que as chapas que se encontram primeiro para conformar vão sendo conformadas, esta vá percorrendo o seu caminho sem causar qualquer perturbação ao bom funcionamento do mecanismo.

4.3. Sistema de guiamento

O novo sistema de guiamento, como todos os outros, caracteriza-se pela sua versatilidade e capacidade de adaptação às peças a conformar. Para além de possuir um novo cilindro pneumático, anteriormente abordado, é possível com este novo sistema, de uma forma rápida alternar entre a conformação da palmilha metálica e do apoio do serrote manual.

Como anteriormente referido, foram efectuadas as normalizações para a cotação da chapa de guiamento, sabendo que esta apresenta um desvio $h9$.



Sabendo que a largura desta é de 270 mm, então:

$$CN = 270mm, \text{Qualidade: IT9}$$

Consultando a tabela da figura 52, presente no anexo B, $TF = 130 \mu m$.

Como também se está a normalizar uma interferência na posição H, consultando a tabela da figura 53 em anexo B, sabemos que $DS = 0 mm$.

Sendo assim, o desvio superior, $DS = 0 mm$, e o desvio inferior, $DI = DS + TF$, então, $DI = 0 + 130 = 130 \mu m$

Logo o valor normalizado para a cota anterior é $270 H11 = 270_{-0,13}^0$

Como se pode ver na figura 43, a chapa de guiamento encontra-se fixa na parte móvel do cilindro pneumático através de dois parafusos, sendo que quando for necessário alternar entre a conformação das duas chapas por parte deste mecanismo, apenas é necessário trocar entre cada uma chapa de guiamento disponível.

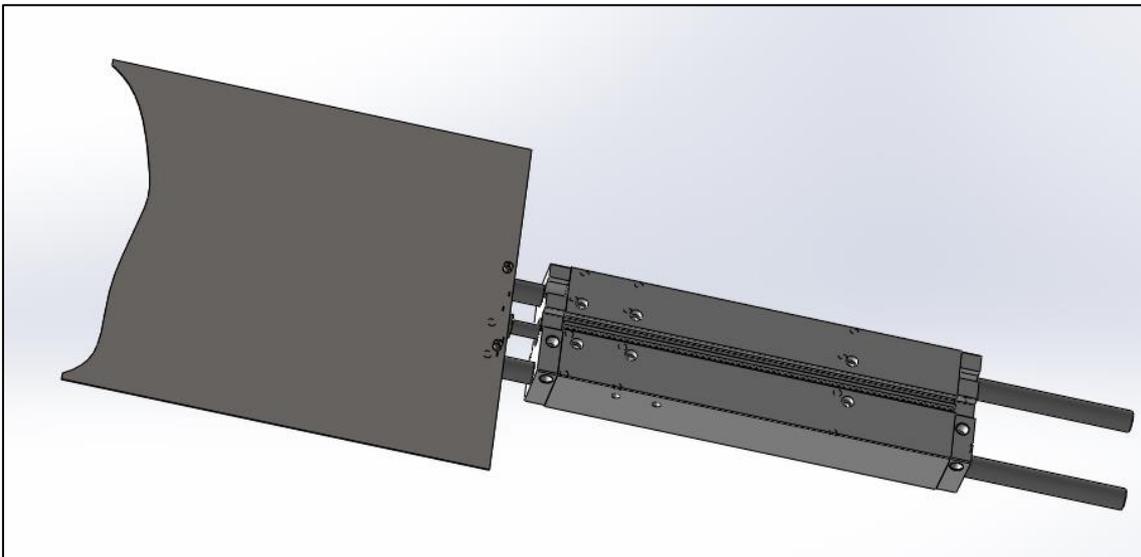


Figura 43- Conjunto chapa e cilindro de guiamento

Outra das modificações implementadas é a forma como o cilindro é fixo na estrutura principal. A solução encontrada foram dois apoios em forma de U, figura 44, que são aparafusados tanto ao



cilindro, com posteriormente à estrutura principal, fazendo com que a fixação deste componente fique garantida, como pode ser comprovado na figura 45 .

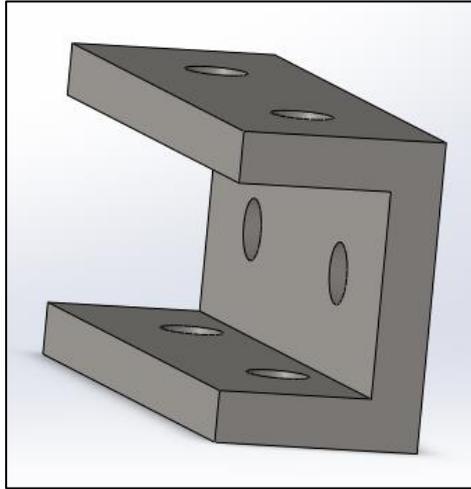


Figura 44- Peça de fixação do cilindro de guiamento

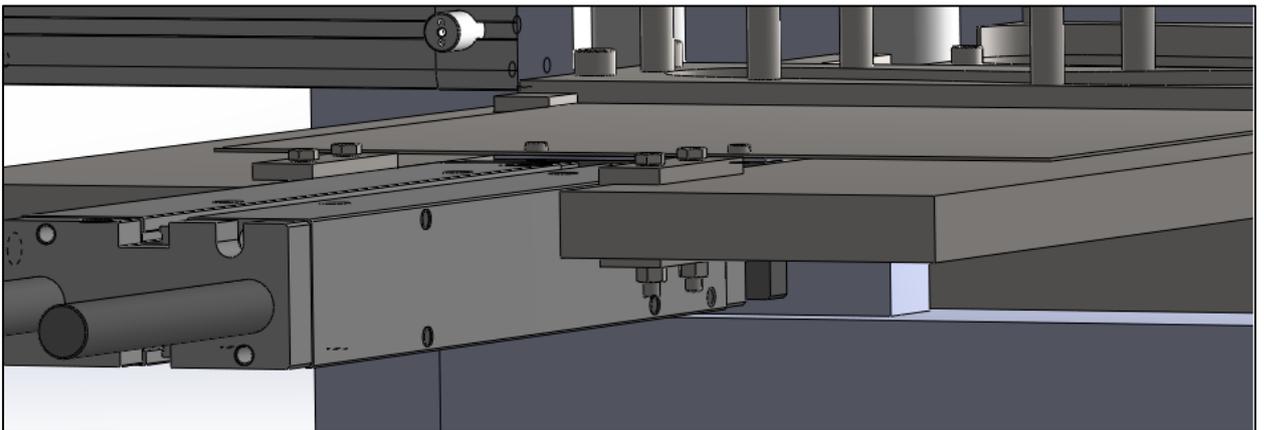


Figura 45- Ilustração da fixação do cilindro de guiamento

4.4. Zona de conformação

A zona de conformação foi a parte do novo mecanismo que sofreu mais alterações, desde o corpo principal do seu funcionamento, até modificações no que ao sistema de encaixe do punção e da matriz dizem respeito.

Enquanto que o sistema de encaixe da matriz e do punção e o novo sistema de troca rápida destes mecanismos já foram abordados, e estudados anteriormente neste trabalho, novos problemas foram surgindo ao longo do trabalho relativamente a estes componentes.



Como abordado anteriormente, foi desenvolvido um sistema de troca rápida punções existentes, tanto para os vários tamanhos de palmilhas metálicas existentes, como para o apoio do serrote manual. Mas relativamente a este tema surge uma questão bastante importante, como desenvolver um sistema de fácil execução e ao mesmo tempo de baixo custo, que permite executar uma troca rápida entre as várias matrizes para a conformação dos vários tamanhos de palmilhas metálicas.

Para a resolução deste problema, desenvolveu-se um sistema que obedecesse a todos estes requisitos, onde a estrutura principal da matriz que tem a forma da palmilha de maior tamanho se mantém sempre posicionada na zona de conformação, e onde posteriormente vão sendo colocadas tiras, com a forma da matriz de maneira a que o espaço excedente na conformação da palmilha de menor tamanho seja preenchido, e aí sim, a chapa guiada pelo sistema de guiamento e proveniente do armazém de chapa, fica acomodada de forma adequada na matriz que tem o tamanho desejado para a sua conformação. Na figura 46 pode-se ver a forma destes novos componentes, e perceber melhor como estes são interligados na zona de conformação, mais propriamente na matriz, satisfazendo na plenitude os objectivos para os quais foram projectados.

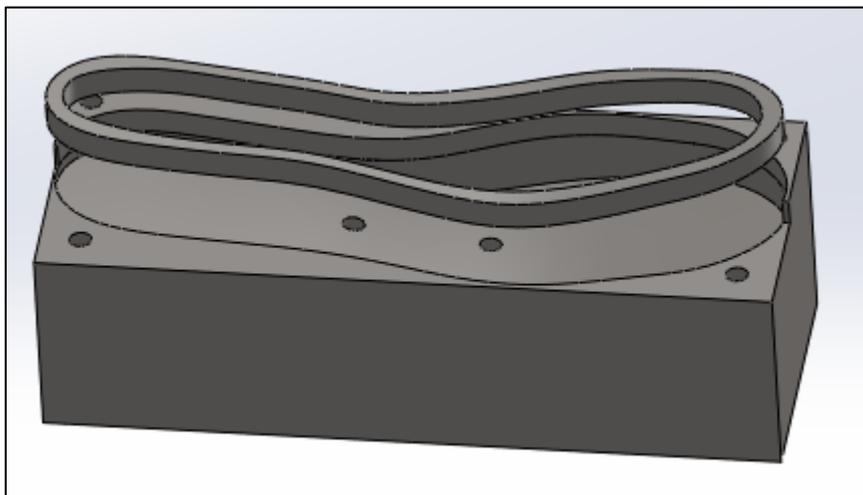


Figura 46- Representação da versatilidade da matriz

Relativamente ao material tanto da matriz como do punção, optou-se por um aço ao carbono, uma vez que este material é o mais usado neste tipo de aplicações, sendo que ambos vão ser previamente tratados termicamente, uma vez que assim aguentam mais facilmente os esforços de compressão decorrentes do puncionamento da chapa.



Outro dos casos em estudo na zona de conformação, foi a escolha devida dos parafusos para a fixação do bloco com a calha inserida, onde posteriormente vão ser acoplados os diversos tipos de punções, na parte superior do sistema guia Fibro, e também os parafusos que fixam os variados punções neste bloco. Estes componentes foram devidamente dimensionados anteriormente no capítulo 3.6 , uma vez que no decorrer do funcionamento do mecanismo, vão estar sujeitos a variados esforços, devido á quantidade de forças existentes no decorrer do funcionamento da chapa, e uma vez que estes são os únicos componentes que estão a suportar o peso do punção.

4.5. Sistema de remoção da peça após conformação

Este foi o sistema que menos alterações sofreu. Como constactado anteriormente foi substituído o cilindro que remove a chapa, mas o mecanismo em si funciona da mesma forma. Após a conformação da chapa, a mola de extracção que é comprimida no decorrer do puncionamento, sofre uma descompressão, fazendo com que a chapa saia da cavidade da matriz, sendo que posteriormente entra em acção o novo cilindro, extraindo dessa forma a palmilha, ou o apoio do serrote mecânico da zona de conformação, e permitindo que o ciclo recomece novamente, com a conformação de uma nova chapa metálica.

4.6. Análise do mecanismo completo

Após a conclusão da modelação e dimensionamento do novo mecanismo que consegue conformar a palmilha metálica e o apoio do serrote manual, chegou-se à conclusão que este trabalho foi feito de uma forma positiva e dentro dos prazos à partida propostos.

No fim de toda a modelação foram criados *renders* de todo o mecanismo, nestas imagens detalhadas que se podem ver de seguida, figura 47 e 48 consegue-se perceber os diferentes materiais que foram seleccionados para cada componente. A carcaça da prensa propriamente dita, está representada com uma cor mais avermelhada, para se poder ter um contraste com o mecanismo modelado ao longo desta dissertação.

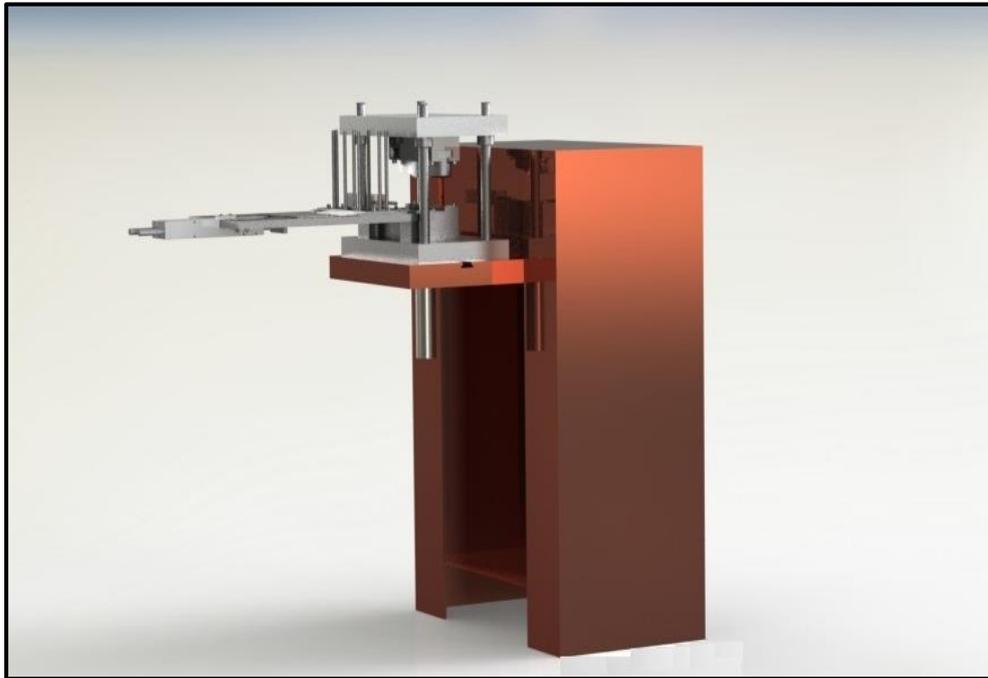


Figura 47- Imagem ilustrativa do resultado final da modelação e dimensionamento do novo mecanismo, vista 1.

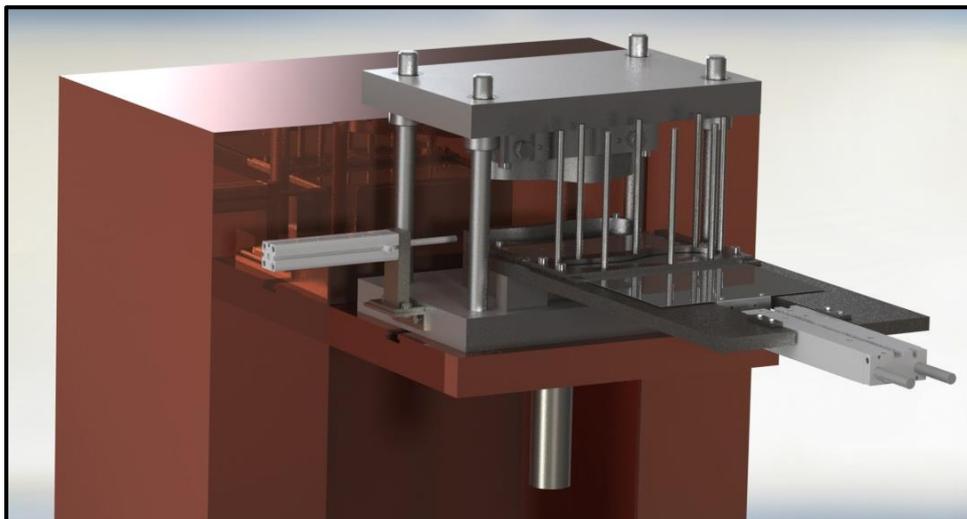


Figura 48- Imagem ilustrativa do resultado final da modelação e dimensionamento do novo mecanismo, vista 2.

Na tabela 7 estão descritos todos os componentes existentes no novo mecanismo, bem como a quantidade e o material em que são fabricados.



Tabela 7- Lista de componentes e respectivo material

Componente	Quantidade	Material
Estrutura principal	1	Ferro Fundido
Base de armazém	2	Ferro Fundido
Guias delimitadoras de armazém	8	Ferro Fundido
Chapa de guiamento	2*	Aço com tratamento térmico
Chapa de revestimento	2*	Aço com tratamento térmico
Barras de delimitação do percurso da chapa	2	Ferro Fundido
Encaixe do cilindro de guiamento	2	Ferro Fundido
Corpo do cilindro guiamento	1	Alumínio
Haste do cilindro guiamento	1	Aço
Encaixe cilindro de extracção	1	Ferro Fundido
Corpo do cilindro extracção	1	Liga de alumínio anodizado
Haste do cilindro de extracção	1	Aço alta liga
Placa superior do sistema Fibro	1	Aço
Placa inferior sistema do Fibro	1	Aço
Guias do sistema Fibro	4	Aço com tratamento superficial
Encaixe das guias nas placas sistema Fibro	4	Bronze
Suporte sistema de molas de extracção	1	Ferro Fundido
Punção	1**	Aço com tratamento térmico
Matriz	1**	Aço com tratamento térmico
Encaixe com calha do punção na placa superior	1	Ferro Fundido
Parafuso de encaixe do apoio do punção na placa superior de classe 10.9 M20	4	Aço inoxidável martensítico com baixo teor em carbono
Parafuso de encaixe da estrutura principal na placa inferior do sistema Fibro de classe 4.6 M8	4	Aço inoxidável com baixo ou médio teor em carbono



*Existem duas chapas de guiamento e duas chapas de revestimento, sendo que uma delas está adaptada para a conformação das palmilhas metálicas, e a outra para a conformação do apoio do serrote manual, e apenas uma delas pode estar funcionamento com o mecanismo.

**No caso dos punções e matrizes, podem existir vários destes componentes, tudo dependendo da quantidade de tamanhos de palmilhas metálicas que se pretendem conformar.

Nesta tabela só foram referidos e detalhados os parafusos que foram dimensionados, uma vez que se consideraram os mais importantes. Muitos mais existem, sendo que alguns deles também foram referenciados anteriormente.

4.2. Cálculo do retorno elástico da chapa utilizada

Após ter sido executado todo o projecto do mecanismo para a conformação dos componentes pretendidos, tornou-se apropriado efectuar o cálculo do retorno elástico da chapa utilizada no fabrico das palmilhas metálicas.

Para isso efectuaram-se testes práticos e cálculos teóricos para um melhor estudo do comportamento da chapa num processo de dobragem, no decorrer deste estudo tentaram-se adoptar as melhores práticas no que a este tema dizem respeito, tendo para isso em conta que a determinação deste fenómeno, como anteriormente já foi referido, tem demasiadas variáveis a ter em conta, e como tal, torna-se bastante difícil, mas ao mesmo tempo importante um anterior conhecimento do mesmo, para um melhor projecto das ferramentas no decorrer da operação.

4.2.1. Testes práticos

Os testes práticos para a determinação do retorno elástico da chapa utilizada, foram efectuados nas instalações fabris da empresa António Abreu Metalomecânica. Para isso recorreu-se à utilização de uma quinadora e de uma amostra da chapa, anteriormente detalhada, como ajuda e reprodução do processo de dobragem que posteriormente irá ser efectuado pelos punções projectados para o novo mecanismo.



Este processo foi dividido em 3 passos, inicialmente colocou-se a quinadora em processo manual, para assim poder efectuar a paragem do processo quando pretendido, de seguida foi colocada a chapa no local adequado para a quinagem da mesma. Após se efectuar o pruncionamento, o punção da quinadora foi parado no local do seu fim de curso, e aí foi medido o ângulo que a chapa obtém, sem que ocorra retorno elástico, como se pode verificar na figura 49. Onde a cor vermelha foi medido o ângulo formado pelas duas secções da chapa, com um valor de 100° , ficando registado como o ângulo da chapa sem que ocorra retorno elástico.

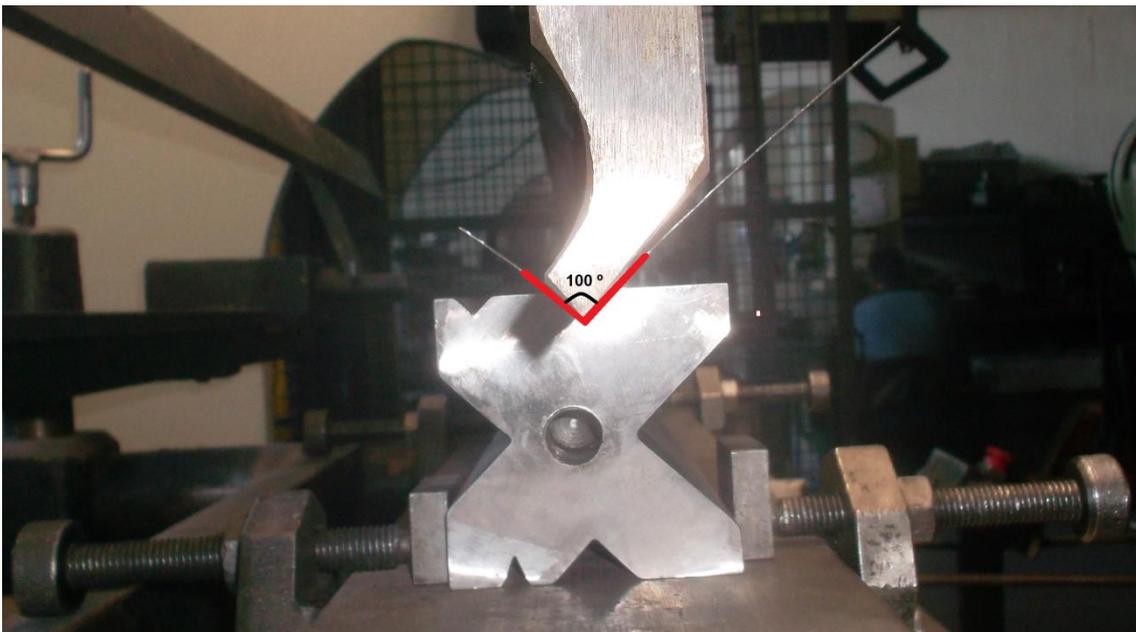


Figura 49- Processo de dobragem da chapa.

Após ser retirado o punção, verificou-se a ocorrência do fenómeno em estudo, sendo que o ângulo da chapa medido neste caso, figura 50 a vermelho, foi de 122° , sendo que, como se pode concluir, a chapa sofre um retorno elástico de 22° em relação ao ângulo que sofreu aquando no puncionamento.

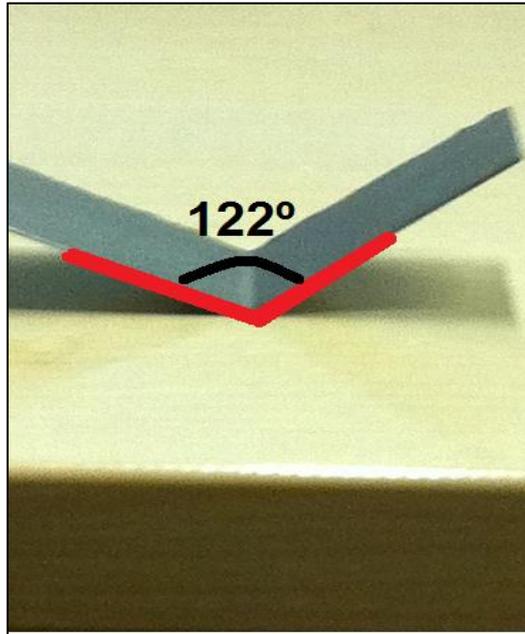


Figura 50- Chapa após o fenómeno de retorno elástico.

De seguida foi efectuado o cálculo teórico para os valores utilizados no cálculo prático, para que possam ser efectuados as devidas análise de resultados e para um posterior calculo teórico para o caso em estudo, o punção e matriz utilizados na conformação da palmilha metálica.

Sabendo que segundo (Palmeira, 2005), o raio de quinagem é calculado através da equação :

$$r \geq \frac{5}{32} V \quad (25)$$

Onde, v representa a abertura da matriz de quinagem utilizada, que no nosso caso é de 50 mm, então $r \geq 7,8 \text{ mm}$.

Utilizando o diagrama da figura 19, presente no capítulo 5, e sabendo que a espessura da chapa é de 0,5 mm, como se utiliza um aço de baixa liga com 1290 Mpa de tensão de ruptura, como explicado anteriormente, então $K = 0,75$.

No diagrama de determinação de K apenas são considerados aços inoxidáveis tanto austeníticos, havendo também tabelas para aços martensíticos e aços de embutidura. Como neste caso se utiliza um aço de baixa liga com uma tensão de ruptura de 1290 Mpa, utiliza-se o diagrama de aços austeníticos, uma vez que a ensão de ruptura é a mais aproximada.



Para o cálculo do ângulo que a chapa deverá tomar, utilizando então a equação 11, presente no capítulo 2.5.1, sabendo que $\alpha' = 100^\circ$ e $K = 0,75$, conclui-se então que $\alpha = 133^\circ$. Obtendo-se assim um retorno elástico de 33° , contra os 22° obtidos no teste prático.

4.2.2. Aplicação ao caso em estudo

Com o cálculo teórico efectuado de acordo com os testes práticos, foram então efectuados os cálculos de qual seria o retorno elástico no caso prático em estudo, palmilha metálica, para isso, como se pode ver na figura 51, e segundo (SMe, 1965), foi criada uma circunferência, com raio de 42,38 mm que representa a dobra delimitada pela mesma, sendo que a segunda circunferência representa a dobra seguinte.

Posteriormente foi traçada uma linha de tamanho igual ao raio e criados dois pontos na margem da circunferência sendo que um se situa na intercepção das duas circunferências e o outro alinhado com este mas do lado oposto. Por fim uniram-se estes dois pontos à linha anteriormente criada e foi determinado o ângulo da dobra que a palmilha tem que ficar nesse local após o retorno elástico.

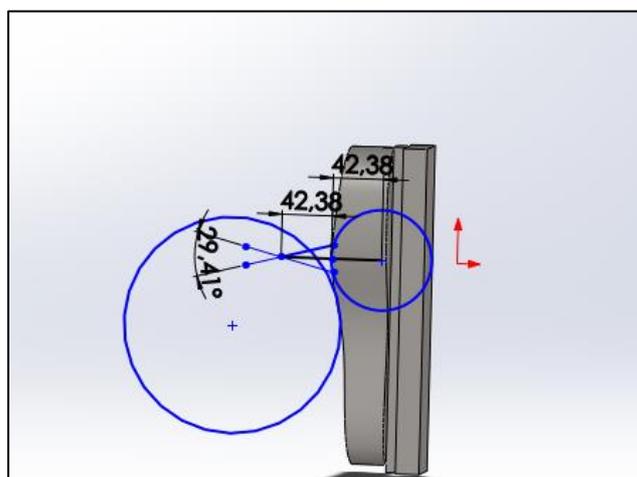


Figura 51- Determinação do ângulo de dobra após o retorno elástico da palmilha metálica

De seguida, como anteriormente feito, calculou-se o ângulo que a ferramenta irá ter para que após o retorno elástico a palmilha fique com os $29,41^\circ$ aqui determinados.



Utilizando novamente a equação 11 presente no capítulo 2.5.1, sendo que α é 29,41, tem-se que α' irá ser de 19,1°, e r' , ou seja, o raio que o punção deverá apresentar igual a 27,5 mm em vez dos 42,38 apresentados antes do retorno elástico.

Admitindo um erro de se estar a utilizar um aço para o qual não existem valores exactos tabelados de K, fez-se uma interpolação para saber o erro associado a estes valores de retorno elástico obtidos no caso da dobra efectuada a 19,1°, que após os cálculos será de 3,12°, sendo que o ângulo do punção vai ser de 22,22°.

5. Considerações Finais

Com as debilidades que a nossa indústria apresenta e como medida para fazer face aos problemas económicos actuais, a empresa António Abreu Metalomecânica decidiu, graças ao *Know How* e equipamento disponível em processos de conformação de chapa, apostar no sector do calçado, mais propriamente no sector do calçado de segurança, através da produção de palmilhas metálicas anti penetração. Uma vez que este sector está em clara expansão no nosso país e é dos mais viáveis economicamente.

Para a produção destas palmilhas, tomou por base componentes já existentes no mercado, mas que ainda tem algum défice de produção no nosso país, e para efectuar a conformação destes, decidiu aproveitar uma prensa mecânica já existente nas suas instalações, com o objectivo que esta produza simultaneamente e de uma forma versátil tanto o componente que produzia anteriormente, apoios de serrotes manuais, bem como as novas palmilhas metálicas. Este novo mecanismo, deverá também ser capaz de produzir os vários tamanhos de palmilhas metálicas existentes e pretendidos.

5.1. Conclusões

O trabalho apresentado nesta dissertação teve por ponto de partida o objectivo de produção de inserções anti-penetração metálicas (palmilhas metálicas) e uma prensa mecânica existente que desenvolve, por processos de conformação de chapa, um componente existente em serrotes manuais.

O principal objectivo era o desenvolvimento de um mecanismo, tendo por base o anteriormente existente, que pudesse, de uma forma versátil, efectuar a conformação dos dois componentes, as palmilhas metálicas e o componente existente em serrotes manuais.

Após uma análise e revisão bibliográfica aos principais processos de conformação de chapa, bem como ao fenómeno de retorno elástico, fenómeno este bastante importante ao longo do trabalho, efectuou-se uma análise à palmilha metálica, componente que se pretende produzir. Nesta análise foi efectuada uma caracterização química do material utilizado, caracterização esta que veio revelar-se importante num posterior estudo do retorno elástico da chapa aplicada à



palmilha, uma vez que foi efectuado o projecto das ferramentas utilizadas na conformação da mesma. Neste capítulo foi também efectuada uma abordagem à forma como o modelo digital da palmilha foi obtido, sendo que este também foi necessário no projecto das ferramentas bem como de alguns componentes do novo mecanismo.

Efectuou-se também uma determinação das debilidades apresentadas pelo mecanismo anterior, onde foram seleccionados e desenvolvidos novos componentes.

Com estas debilidades definidas conseguiu-se desenvolver o mecanismo pretendido, onde neste trabalho, estão discriminados os principais componentes, onde foram também efectuados dimensionamentos e cálculos de maneira a obtermos uma melhor validação do mesmo.

A determinação do fenómeno de retorno elástico para o material pretendido foi também efectuado com a melhor precisão e segurança possível. Sendo que para isso foram executados testes práticos e cálculos teóricos.

5.2. Trabalhos Futuros

Futuramente, e no decorrer deste trabalho, justifica-se a realização do projecto do mecanismo e ferramentas de corte da palmilha, processo este também bastante importante no seguimento do trabalho executado até aqui

Salienta-se ainda, a necessidade de se efectuarem testes mais precisos e detalhados ao fenómeno de retorno elástico, onde a recorrência a simulações computadorizadas se tornavam bastante positivas, sendo que o trabalho aí despendido tornaria o estudo deste fenómeno altamente justificado.



Bibliografia

Cunha, S. A. Q. e., 2207. *Organização e Estruturação de um Sector de Maquinagem CNC*. Braga: s.n.

Ferreira, L. M., 2012. *Toleranciamento dimensional e estados de superfície*. Guimarães: Desenho de Construções Mecânicas.

Homem, N. M. M. d. S. T., 2009. *Estratégias Automáticas de Modelação em Processos de Engenharia Inversa*, Aveiro: s.n.

<http://www.mitcalc.com/>, s.d. [Online]

Available at: <http://www.mitcalc.com/doc/tolerances/help/en/tolerancestxt.htm>

[Acedido em 10 Setembro 2013].

Huang Lin, W. M. C. C. J. X., 2007. FEM Analysis of Spring-backs in Age Forming of Aluminum Alloy Plates. *Chinese Journal of Aeronautics*, 19 Setembro, pp. 564-569.

Jain, B. N., 2003. *Progressive Die Sequence Design and Blank Shape Determination in Stamping*, United States of America: Ohio State University.

Jeswiet, J., 2008. Metal Forming Progress Since 2000. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 1*, pp. 2-17.

José Machado, J. F. d. S., 2010. *Automação II*. Guimarães: Universidade do Minho.

Marcondes, P., 2008. [Online]

Available at: <http://pt.scribd.com/doc/143654228/Apostila-Proj-Ferram-TM297>

[Acedido em 10 Fevereiro 2013].

Metals, A. S. f., 1969. *Metals Handbook Vol.4, Forming and Forging*. United States of America: American Society for Metals.

Metals, A. S. f., 1969. *Metals Handbook Volume 20, Material Selection and Design*. United States of America: American Society for Metals.

Palmeira, A. A., 2005. [Online]

Available at:

<http://www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Processos%20de%20Fabricacao%20IV/Cap%207%20-%20Dobramento.pdf>

[Acedido em 30 Março 2013].

Silva, F. S., 2008. *Capítulo 10 - Encurvadura*. Guimarães: s.n.

Silva, L. F. d., s.d. *Orgãos de Máquinas I - Parafusos*. Guimarães: s.n.



SME/FTA, 1994. *Progressive Dies, Principles and Practices of Design and Construction*. United States of America: SME.

SMe, 1965. *Die Design Handbook*. United States of America: McGraw-hill Book Company.

Smith, D. A., 1994. *Fundamentals of Pressworking*. United States of America: SMe.

Xu Jingjing, W. X. Z. P. W. Y., s.d. *Springback Prediction in Sheet Metal Forming Combined Finite Element Method With Data Mining Technique*, Shanghai: School of Science, Shanghai University.



Anexos





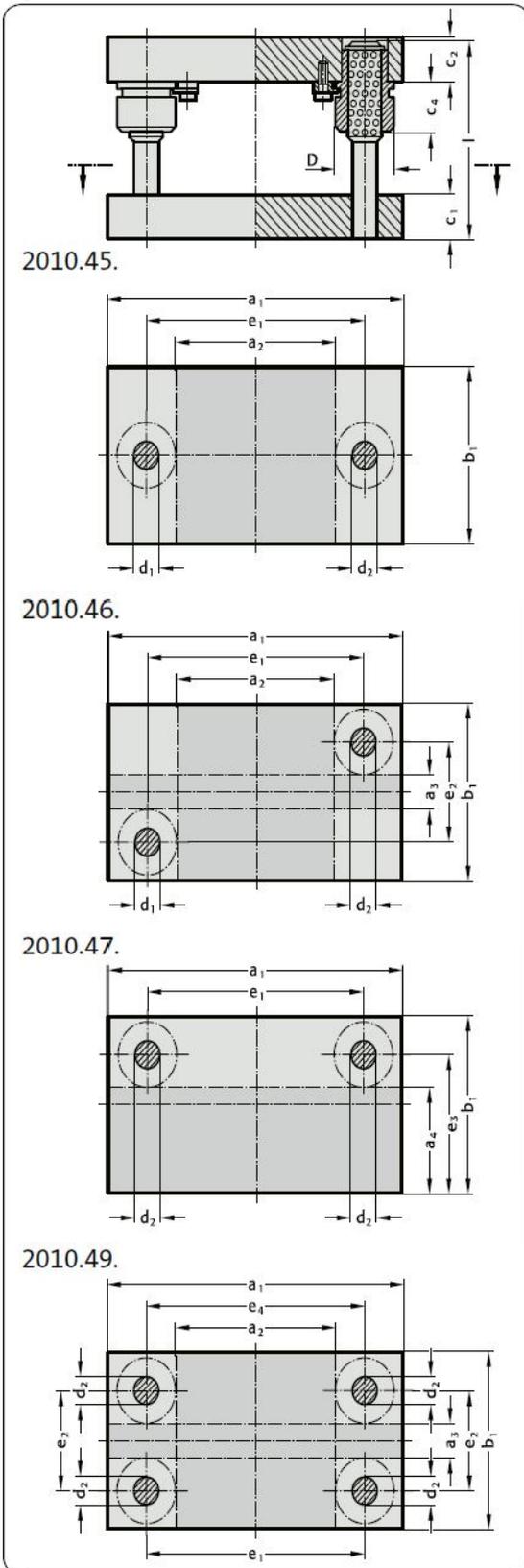
Anexo A- Extracto do catálogo Fibro, elementos de guia



FIBRO

2010.45. 2010.47.
2010.46. 2010.49.

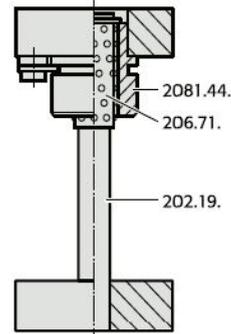
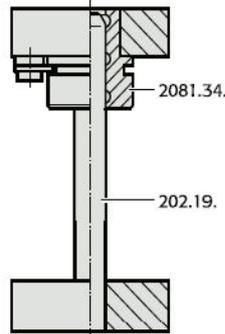
Standard All-Steel Die Sets
similar DIN 9868/ISO 11415
without stripper



Standard Guide Systems

Headed Sintered
Ferrite Bushes,
carbonitrided

Headed Ball
Bearing Bushes



2010.□□.□□□□.□.834.

2010.□□.□□□□.□.862.

Description:

FIBRO Standard All-Steel Die Set: offer the choice between sintered ferrite sliding guides and those of the ball bearing type to DIN-ISO. Both come with headed guide bushes. These are seated in push-fit bolster bores and retained there by screw clamps. On request, All-Steel Die Sets can also be fitted with any other FIBRO Guide Elements – for combination possibilities see page A 30.

FIBRO will furthermore supply die sets with special machining features to customers' drawings.

Execution:

External contours milled, thickness surfaces ground

a_1 or $b_1 \leq 630 = \begin{matrix} +0.4 \\ +0.2 \end{matrix}$

a_1 or $b_1 > 630 = \begin{matrix} +0.6 \\ +0.2 \end{matrix}$

Ordering example see opposite fold out page



Standard All-Steel Die Sets
similar DIN 9868/ISO 11415
with stripper

FIBRO
2010.45. 2010.46.
2010.49.

Typ		2010.45.				2010.46.				2010.49.						
Order No	Part .I	.II	.III	.IV	.V	Guides										
Type	Size	P.*	type	ext. dims. a ₁ × b ₁	work area a ₂ × b ₁	work area a ₁ × a ₃	c ₁ +2	c ₂ +2	c ₃ +2	c ₄	c ₅	d ₁ /d ₂ × l	D	e ₁	e ₂	e ₄
2010.	1608.1.			160 × 80	60 × 80	-	32	32	25	12	12	19/20 × 180	39	100	-	-
	1610.1.			160 × 100	60 × 100	-	32	32	25	12	12	19/20 × 180	39	100	-	-
	1612.1.			160 × 125	60 × 125	-	32	32	25	12	12	19/20 × 180	39	100	-	-
	1616.1.			160 × 160	60 × 160	160 × 60	32	32	25	12	12	19/20 × 180	39	100	100	103
2010.	2010.1.			200 × 100	70 × 100	-	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	120	-	-
	2010.2.						40	32								
	2010.3.						32	40								
	2010.4.						32	32								
2010.	2012.1.			200 × 125	70 × 125	-	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	120	-	-
	2012.2.						40	32								
	2012.3.						32	40								
	2012.4.						32	32								
2010.	2016.1.			200 × 160	70 × 160	-	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	120	-	-
	2010.2.						40	32								
	2010.3.						32	40								
	2010.4.						32	32								
2010.	2012.1.			200 × 125	70 × 125	-	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	120	-	-
	2012.2.						40	32								
	2012.3.						32	40								
	2012.4.						32	32								
2010.	2016.1.			200 × 160	70 × 160	-	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	120	-	-
	2010.2.						40	32								
	2010.3.						32	40								
	2010.4.						32	32								
2010.	2020.1.			200 × 200	70 × 200	200 × 70	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	120	120	123
	2020.2.						40	32								
	2020.3.						32	40								
	2020.4.						32	32								
2010.	2512.1.			250 × 125	120 × 125	-	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	170	-	-
	2512.2.						40	32								
	2512.3.						32	40								
	2512.4.						32	32								
2010.	2516.1.			250 × 160	120 × 160	-	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	170	-	-
	2516.2.						40	32								
	2516.3.						32	40								
	2516.4.						32	32								
2010.	2520.1.			250 × 200	120 × 200	250 × 70	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	170	120	173
	2520.2.						40	32								
	2520.3.						32	40								
	2520.4.						32	32								
2010.	2525.1.			250 × 250	120 × 250	250 × 120	40	40	25	25	12	24/25 × 200	46	170	170	173
	2525.2.						40	32								
	2525.3.						32	40								
	2525.4.						32	32								
2010.	3116.1.			315 × 160	165 × 160	-	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	225	-	-
	3116.2.						50	40								
	3116.3.						40	50								
	3116.4.						40	40								
2010.	3120.1.			315 × 200	165 × 200	315 × 50	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	225	110	228
	3120.2.						50	40								
	3120.3.						40	50								
	3120.4.						40	40								
2010.	3125.1.			315 × 250	165 × 250	315 × 100	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	225	160	228
	3125.2.						50	40								
	3125.3.						40	50								
	3125.4.						40	40								
2010.	3131.1.			315 × 315	165 × 315	315 × 165	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	225	225	228
	3131.2.						50	40								
	3131.3.						40	50								
	3131.4.						40	40								
2010.	4020.1.			400 × 200	250 × 200	400 × 50	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	310	110	313
	4020.2.						50	40								
	4020.3.						40	50								
	4020.4.						40	40								
2010.	4025.1.			400 × 250	250 × 250	400 × 100	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	310	160	313
	4025.2.						50	40								
	4025.3.						40	50								
	4025.4.						40	40								
2010.	4031.1.			400 × 315	250 × 315	400 × 165	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	310	225	313
	4031.2.						50	40								
	4031.3.						40	50								
	4031.4.						40	40								



Standard All-Steel Die Sets
similar DIN 9868/ISO 11415
with stripper

FIBRO
 2010.45. 2010.46.
 2010.49.

Order No	Part .I .II .III.IV .V				ext. dims.	work area	work area	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	d ₁ /d ₂ × l	D	e ₁	e ₂	e ₄
Type	Size	P.*	Guides type		a ₁ × b ₁	a ₂ × b ₁	a ₁ × a ₃	±2	±2	±2							
2010.	4040.1.	.	.	.	400 × 400	250 × 400	400 × 250	50	50	32	32	12	30/32 × 224	53	310	310	313
	4040.2.	.	.	.				50	40								
	4040.3.	.	.	.				40	50								
	4040.4.	.	.	.				40	40								
2010.	5025.1.	.	.	.	500 × 250	330 × 250	500 × 80	50	50	32	32	15	38/40 × 224	63	400	150	403
	5025.2.	.	.	.				50	40								
	5025.3.	.	.	.				40	50								
	5025.4.	.	.	.				40	40								
2010.	5031.1.	.	.	.	500 × 315	330 × 315	500 × 145	50	50	32	32	15	38/40 × 224	63	400	215	403
	5031.2.	.	.	.				50	40								
	5031.3.	.	.	.				40	50								
	5031.4.	.	.	.				40	40								
2010.	5040.1.	.	.	.	500 × 400	330 × 400	500 × 230	50	50	32	32	15	38/40 × 224	63	400	300	403
	5040.2.	.	.	.				50	40								
	5040.3.	.	.	.				40	50								
	5040.4.	.	.	.				40	40								
2010.	5050.1.	.	.	.	500 × 500	330 × 500	500 × 330	50	50	32	32	15	38/40 × 224	63	400	400	403
	5050.2.	.	.	.				50	40								
	5050.3.	.	.	.				40	50								
	5050.4.	.	.	.				40	40								
2010.	6331.1.	.	.	.	630 × 315	430 × 315	630 × 115	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	510	195	513
	6331.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	6331.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	6331.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	6340.1.	.	.	.	630 × 400	430 × 400	630 × 200	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	510	280	513
	6340.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	6340.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	6340.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	6350.1.	.	.	.	630 × 500	430 × 500	630 × 300	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	510	380	513
	6350.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	6350.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	6350.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	6363.1.	.	.	.	630 × 630	430 × 630	630 × 430	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	510	510	513
	6363.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	6363.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	6363.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	7140.1.	.	.	.	710 × 400	510 × 400	710 × 200	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	590	280	593
	7140.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	7140.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	7140.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	7150.1.	.	.	.	710 × 500	510 × 500	710 × 300	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	590	380	593
	7150.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	7150.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	7150.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	7163.1.	.	.	.	710 × 630	510 × 630	710 × 430	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	590	510	593
	7163.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	7163.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	7163.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	8040.1.	.	.	.	800 × 400	600 × 400	800 × 200	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	680	280	683
	8040.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	8040.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	8040.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	8050.1.	.	.	.	800 × 500	600 × 500	800 × 300	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	680	380	683
	8050.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	8050.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	8050.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				
2010.	8063.1.	.	.	.	800 × 630	600 × 630	800 × 430	63	63	40	36	18	48/50 × 280	77	680	510	683
	8063.2.	.	.	.				63	50				48/50 × 280				
	8063.3.	.	.	.				50	63				48/50 × 250				
	8063.4.	.	.	.				50	50				48/50 × 250				

*P. = thickness combinations

Ordering Code (example):

Type of Die Set	=	2010.45.
Ext. Dimensions = 400 × 250	=	4025.
Combination P*: c ₁ = 50, c ₂ = 50	=	1.
Guides: headed sintered guide bushes	=	835.
Awork area 2	=	2
Order No	=	2010.45.4025.1.835.2

Advisory: Ordering Code

Hole pattern for the screw clamps depends on positioning of working surface, determined by part V (five) of the Order No, for example: 2010.49.2520.4.865.1 .2



FIBRO

2010.45. 2010.47.
2010.46. 2010.49.

Standard All-Steel Die Sets
similar DIN 9868/ISO 11415
without stripper

Type	Size	P.*	Guides type	ext. dims. a ₁ × b ₁	work area a ₂ × b ₁	work area a ₁ × a ₃	work area a ₁ × a ₄	C ₁ ±2	C ₂ ±2	C ₃ S	C ₄ K	d ₁ /d ₂ × l	D	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄
2010.	1608.1.			160 × 80	60 × 80	-	-	32	32	20	36	19/20 × 160	39	100	-	-	-
	1610.1.			160 × 100	60 × 100	-	160 × 50	32	32	20	36	19/20 × 160	39	100	-	70	-
	1612.1.			160 × 125	60 × 125	-	160 × 75	32	32	20	36	19/20 × 160	39	100	-	95	-
	1616.1.			160 × 160	60 × 160	160 × 60	160 × 110	32	32	20	36	19/20 × 160	39	100	100	130	103
2010.	2010.1.			200 × 100	70 × 100	-	-	40	40	36	56	24/25 × 180	46	120	-	-	-
	2010.2.							40	32								
	2010.3.							32	40								
	2010.4.							32	32								
2010.	2012.1.			200 × 125	70 × 125	-	200 × 60	40	40	36	56	24/25 × 180	46	120	-	85	-
	2012.2.							40	32								
	2012.3.							32	40								
	2012.4.							32	32								
2010.	2016.1.			200 × 160	70 × 160	-	200 × 95	40	40	36	56	24/25 × 180	46	120	-	120	-
	2016.2.							40	32								
	2016.3.							32	40								
	2016.4.							32	32								
2010.	2020.1.			200 × 200	70 × 200	200 × 70	200 × 135	40	40	36	56	24/25 × 180	46	120	120	160	123
	2020.2.							40	32								
	2020.3.							32	40								
	2020.4.							32	32								
2010.	2512.1.			250 × 125	120 × 125	-	250 × 60	40	40	36	56	24/25 × 180	46	170	-	85	-
	2512.2.							40	32								
	2512.3.							32	40								
	2512.4.							32	32								
2010.	2516.1.			250 × 160	120 × 160	-	250 × 95	40	40	36	56	24/25 × 180	46	170	-	120	-
	2516.2.							40	32								
	2516.3.							32	40								
	2516.4.							32	32								
2010.	2520.1.			250 × 200	120 × 200	250 × 70	250 × 135	40	40	36	56	24/25 × 180	46	170	120	160	173
	2520.2.							40	32								
	2520.3.							32	40								
	2520.4.							32	32								
2010.	2525.1.			250 × 250	120 × 250	250 × 120	250 × 185	40	40	36	56	24/25 × 180	46	170	170	210	173
	2525.2.							40	32								
	2525.3.							32	40								
	2525.4.							32	32								
2010.	3116.1.			315 × 160	165 × 160	-	315 × 85	50	50	45	63	30/32 × 200	53	225	-	115	-
	3116.2.							50	40								
	3116.3.							40	50								
	3116.4.							40	40								
2010.	3120.1.			315 × 200	165 × 200	315 × 50	315 × 125	50	50	45	63	30/32 × 200	53	225	110	155	228
	3120.2.							50	40								
	3120.3.							40	50								
	3120.4.							40	40								
2010.	3125.1.			315 × 250	165 × 250	315 × 100	315 × 175	50	50	45	63	30/32 × 200	53	225	160	205	228
	3125.2.							50	40								
	3125.3.							40	50								
	3125.4.							40	40								
2010.	3131.1.			315 × 315	165 × 315	315 × 165	315 × 240	50	50	45	63	30/32 × 200	53	225	225	270	228
	3131.2.							50	40								
	3131.3.							40	50								
	3131.4.							40	40								
2010.	4020.1.			400 × 200	250 × 200	400 × 50	400 × 125	50	50	45	63	30/32 × 200	53	310	110	155	313
	4020.2.							50	40								
	4020.3.							40	50								
	4020.4.							40	40								
2010.	4025.1.			400 × 250	250 × 250	400 × 100	400 × 175	50	50	45	63	30/32 × 200	53	310	160	205	313
	4025.2.							50	40								
	4025.3.							40	50								
	4025.4.							40	40								
2010.	4031.1.			400 × 315	250 × 315	400 × 165	400 × 240	50	50	45	63	30/32 × 200	53	310	225	270	313
	4031.2.							50	40								
	4031.3.							40	50								
	4031.4.							40	40								



<p>FIBRO 2010.45. 2010.47. 2010.46. 2010.49.</p>	<p>Standard All-Steel Die Sets similar DIN 9868/ISO 11415 without stripper</p>
-----------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------

Order No	Part .I	.II	.III	IV	V	ext. dims.	work area	work area	work area	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	d ₁ /d ₂ × l	D	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄
Type	Size	P*	Guides type			a ₁ × b ₁	a ₂ × b ₁	a ₁ × a ₃	a ₁ × a ₄	±2	±2	S	K						
2010.	.4040.1.					400 × 400	250 × 400	400 × 250	400 × 325	50	50	45	63	30/32 × 200	53	310	310	355	313
	.4040.2.									50	40								
	.4040.3.									40	50								
	.4040.4.									40	40								
2010.	.5025.1.					500 × 250	330 × 250	500 × 80	500 × 165	50	50	45	71	38/40 × 200	63	400	150	200	403
	.5025.2.									50	40								
	.5025.3.									40	50								
	.5025.4.									40	40								
2010.	.5031.1.					500 × 315	330 × 315	500 × 145	500 × 230	50	50	45	71	38/40 × 200	63	400	215	265	403
	.5031.2.									50	40								
	.5031.3.									40	50								
	.5031.4.									40	40								
2010.	.5040.1.					500 × 400	330 × 400	500 × 230	500 × 315	50	50	45	71	38/40 × 200	63	400	300	350	403
	.5040.2.									50	40								
	.5040.3.									40	50								
	.5040.4.									40	40								
2010.	.5050.1.					500 × 500	330 × 500	500 × 330	500 × 415	50	50	45	71	38/40 × 200	63	400	400	450	403
	.5050.2.									50	40								
	.5050.3.									40	50								
	.5050.4.									40	40								
2010.	.6331.1.					630 × 315	430 × 315	630 × 115	630 × 215	63	63	50	80	48/50 × 250	77	510	195	255	513
	.6331.2.									63	50			48/50 × 250					
	.6331.3.									50	63			48/50 × 224					
	.6331.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.6340.1.					630 × 400	430 × 400	630 × 200	630 × 300	63	63	50	80	48/50 × 250	77	510	280	340	513
	.6340.2.									63	50			48/50 × 250					
	.6340.3.									50	63			48/50 × 224					
	.6340.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.6350.1.					630 × 500	430 × 500	630 × 300	630 × 400	63	63	50	80	48/50 × 250	77	510	380	440	513
	.6350.2.									63	50			48/50 × 250					
	.6350.3.									50	63			48/50 × 224					
	.6350.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.6363.1.					630 × 630	430 × 630	630 × 430	630 × 530	63	63	50	80	48/50 × 250	77	510	510	570	513
	.6363.2.									63	50			48/50 × 250					
	.6363.3.									50	63			48/50 × 224					
	.6363.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.7140.1.					710 × 400	510 × 400	710 × 200	710 × 300	63	63	50	80	48/50 × 250	77	590	280	340	593
	.7140.2.									63	50			48/50 × 250					
	.7140.3.									50	63			48/50 × 224					
	.7140.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.7150.1.					710 × 500	510 × 500	710 × 300	710 × 400	63	63	50	80	48/50 × 250	77	590	380	440	593
	.7150.2.									63	50			48/50 × 250					
	.7150.3.									50	63			48/50 × 224					
	.7150.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.7163.1.					710 × 630	510 × 630	710 × 430	710 × 530	63	63	50	80	48/50 × 250	77	590	510	570	593
	.7163.2.									63	50			48/50 × 250					
	.7163.3.									50	63			48/50 × 224					
	.7163.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.8040.1.					800 × 400	600 × 400	800 × 200	800 × 300	63	63	50	80	48/50 × 250	77	680	280	340	683
	.8040.2.									63	50			48/50 × 250					
	.8040.3.									50	63			48/50 × 224					
	.8040.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.8050.1.					800 × 500	600 × 500	800 × 300	800 × 400	63	63	50	80	48/50 × 250	77	680	380	440	683
	.8050.2.									63	50			48/50 × 250					
	.8050.3.									50	63			48/50 × 224					
	.8050.4.									50	50			48/50 × 224					
2010.	.8063.1.					800 × 630	600 × 630	800 × 430	800 × 530	63	63	50	80	48/50 × 250	77	680	510	570	683
	.8063.2.									63	50			48/50 × 250					
	.8063.3.									50	63			48/50 × 224					
	.8063.4.									50	50			48/50 × 224					

*P. = thickness combinations

Ordering Code (example):

Type of Die Set = 2010.45.
 Ext. dimensions = 400 × 250 = 4025.
 Combination P*: c₁ = 50, c₂ = 50 = 1.
 Guides: headed sintered guide bushes = 834.
 work area 2 = 2
 Order No = 2010.45.4025.1.834.2

Advisory: Ordering Code

Hole pattern for the screw clamps depends on positioning of working surface, determined by part V (five) of the Order No, for example: 2010.49.2520.4.862.1



Anexo B- Tabelas de auxílio aos dimensionamentos



Property Class	Size Range, Inclusive	Minimum Proof Strength, [†] MPa (Sp)	Minimum Tensile Strength, [†] MPa (Sut)	Minimum Yield Strength, [†] MPa (Sy)	Material	Head Marking
4.6	M5-M36	225	400	240	Low or medium carbon	4.6
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Low or medium carbon	4.8
5.8	M5-M24	380	520	420	Low or medium carbon	5.8
8.8	M16-M36	600	830	660	Medium carbon, Q&T	8.8
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Medium carbon, Q&T	9.8
10.9	M5-M36	830	1040	940	Low-carbon martensite, Q&T	10.9
12.9	M1.6-M36	970	1220	1100	Alloy, Q&T	12.9

Figura 54- Tabela representativa dos valores de Sp em função da classe escolhida para os parafusos

Nominal Major Diameter d	Coarse-Pitch Series			Fine-Pitch Series		
	Pitch p	Tensile-Stress Area A _t	Minor-Diameter Area A _s	Pitch p	Tensile-Stress Area A _t	Minor-Diameter Area A _s
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

Figura 55- Tabela representativa dos valores de At em função do diâmetro nominal do parafuso





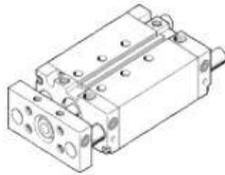
Anexo C- Especificações do cilindro de guiamento



Cilindro guia DFM-20- -B

Código da peça: 532316
Sob encomenda pelo Contact Center – 11 5013-1800
Produto standard

FESTO



Ficha técnica

Especificações técnicas gerais – os valores individuais dependem da sua configuração.

Característica	Valores
Curso	20 ... 400 mm
Diâmetro do êmbolo	20 mm
Modo de operação da unidade de acionamento	elemento de fixação
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso PPV: Amortecimento pneumático regulável nas posições finais de curso Amortecedor de impacto, curva característica suave
Posição de instalação	Nos dois lados
Guia	Guia de deslizamento Guia de esferas recirculante
Princípio construtivo	Guia
Deteção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Vedações resistentes a temperaturas de até 120°C
Pressão de trabalho	2 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Categoria ATEX para ambiente explosivo a gás	II 2G
Tipo de proteção contra a combustão de gás inflamável	c T4
Temperatura do ambiente potencialmente explosivo	-20°C ≤ Ta ≤ +70°C
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	0 2
Temperatura ambiente	-20 ... 120 °C
Força teórica a 6 bar, retorno	141 N
Força teórica a 6 bar, avanço	188 N
Conexões alternativas	Veja desenho do produto
Conexão pneumática	M5
Informação sobre material, tampão	Liga de alumínio
Informação sobre material, vedações	NBR
Informação sobre material, corpo	Liga de alumínio
Informação sobre material, haste	Aço alta liga, inoxidável



Anexo D- Especificações cilindro de extracção

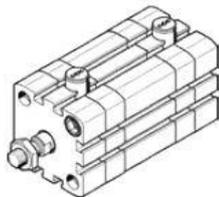


Cilindro compacto ADN-50- -EL-

Código da peça: 548218
Sob encomenda pelo Contact Center – 11 5013-1800
Produto standard

Conforme ISO 21287, para detecção de posição com haste com rosca interna ou externa, com trava de posição final integrada.

FESTO



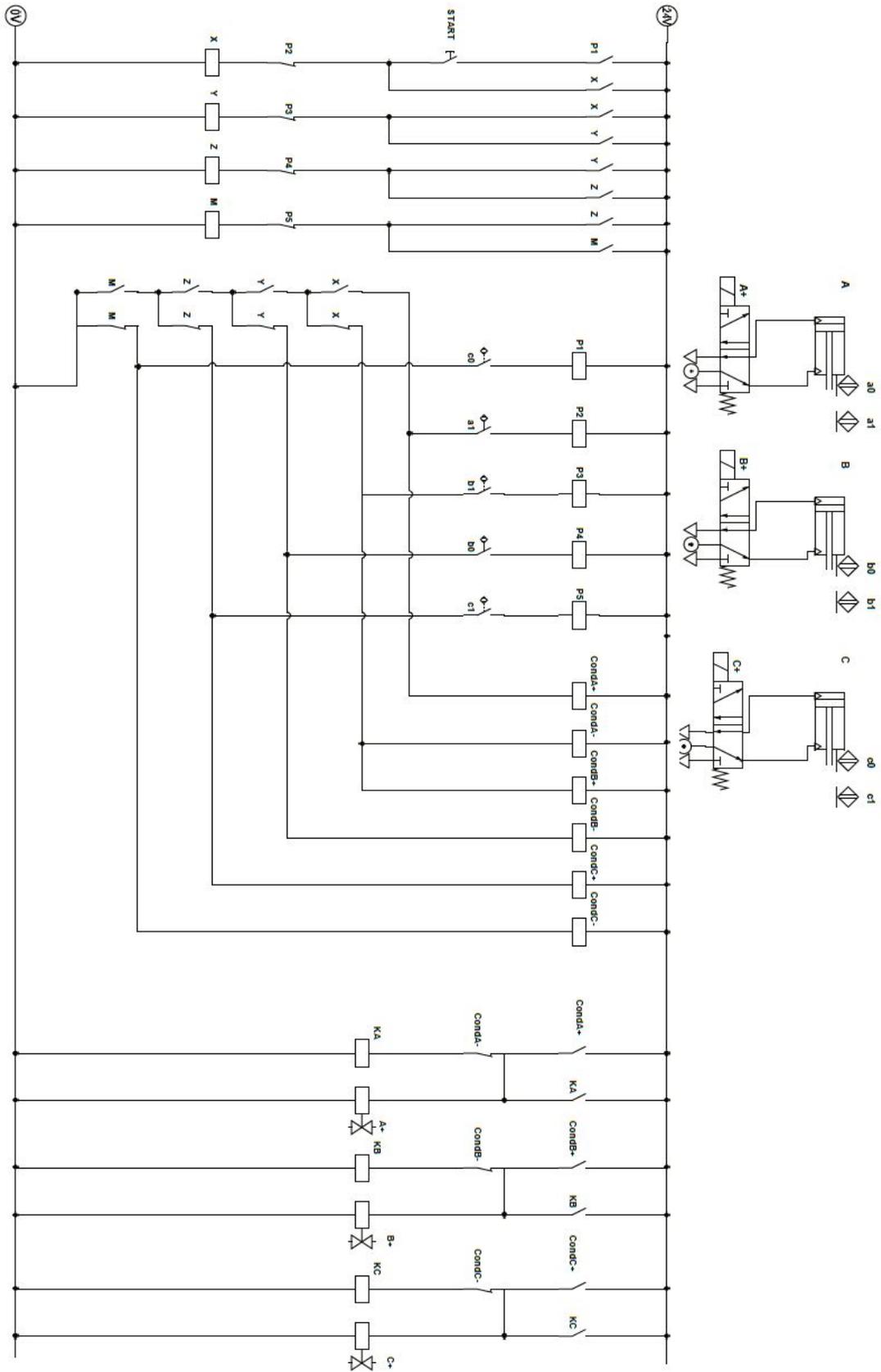
Ficha técnica

Especificações técnicas gerais – os valores individuais dependem da sua configuração.

Característica	Valores
Curso	10 ... 400 mm
Diâmetro do êmbolo	50 mm
Rosca da haste	M12x1,25
Com base na norma padrão	ISO 21287
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Extremidade da haste	rosca interna
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Camisa do cilindro
Detecção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Travamento: nas posições finais Com trava na posição final traseira Com trava na posição final dianteira Haste prolongada com rosca externa rosca especial na haste Haste prolongada plaqueta de identificação marcada com laser
Pressão de trabalho	1,5 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energia de impacto nas posições finais	1 J
Força teórica a 6 bar, retorno	1.057 N
Força teórica a 6 bar, avanço	1.178 N
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	16 g
Tipo de fixação	com rosca interna com acessórios
Conexão pneumática	G1/8
Observações sobre material	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Liga de alumínio anodizado
Informação sobre material, haste	Aço alta liga
Informação sobre material, camisa do cilindro	Liga de alumínio anodizado liso

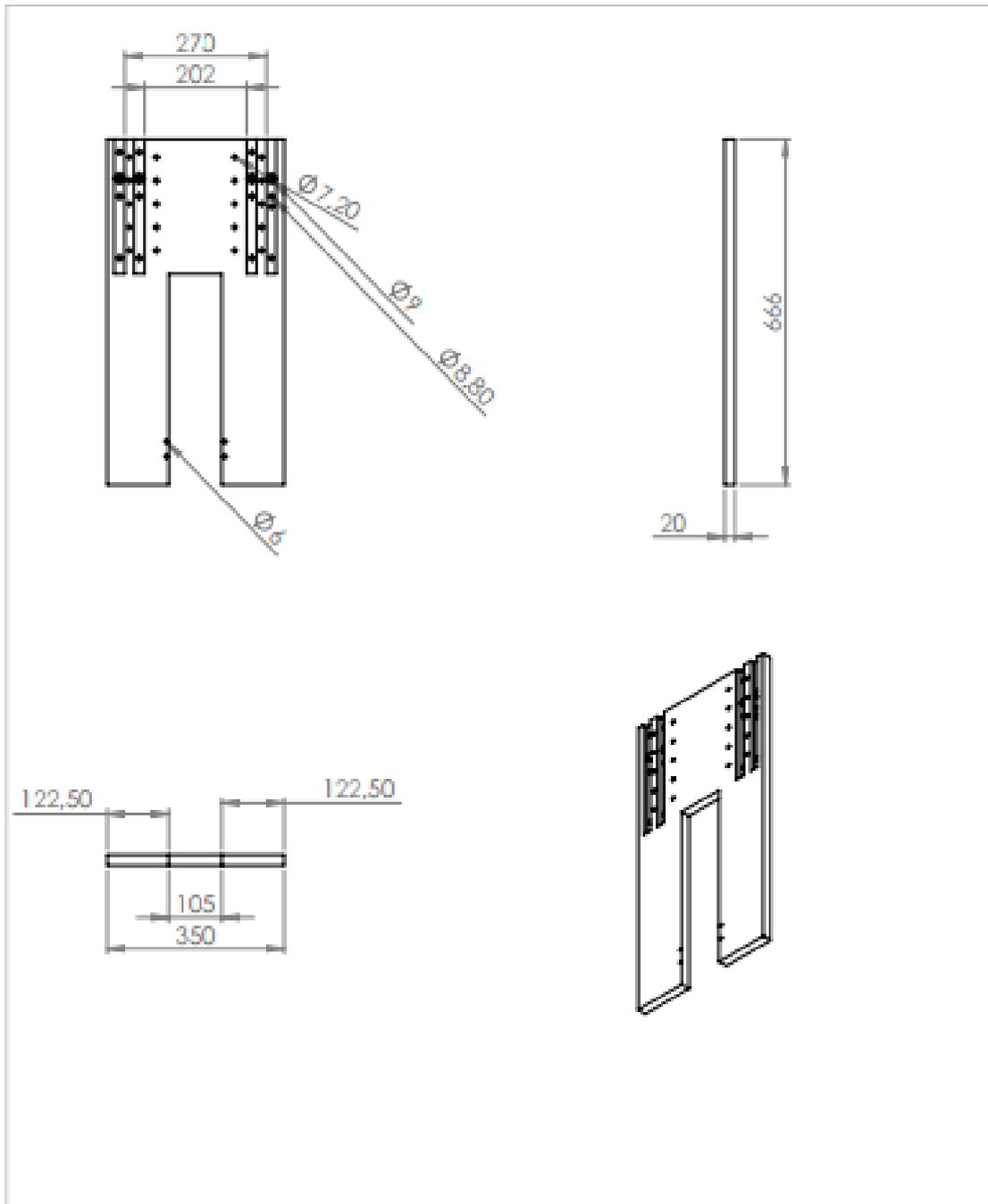


Anexo E- Simulação em Automation Studio

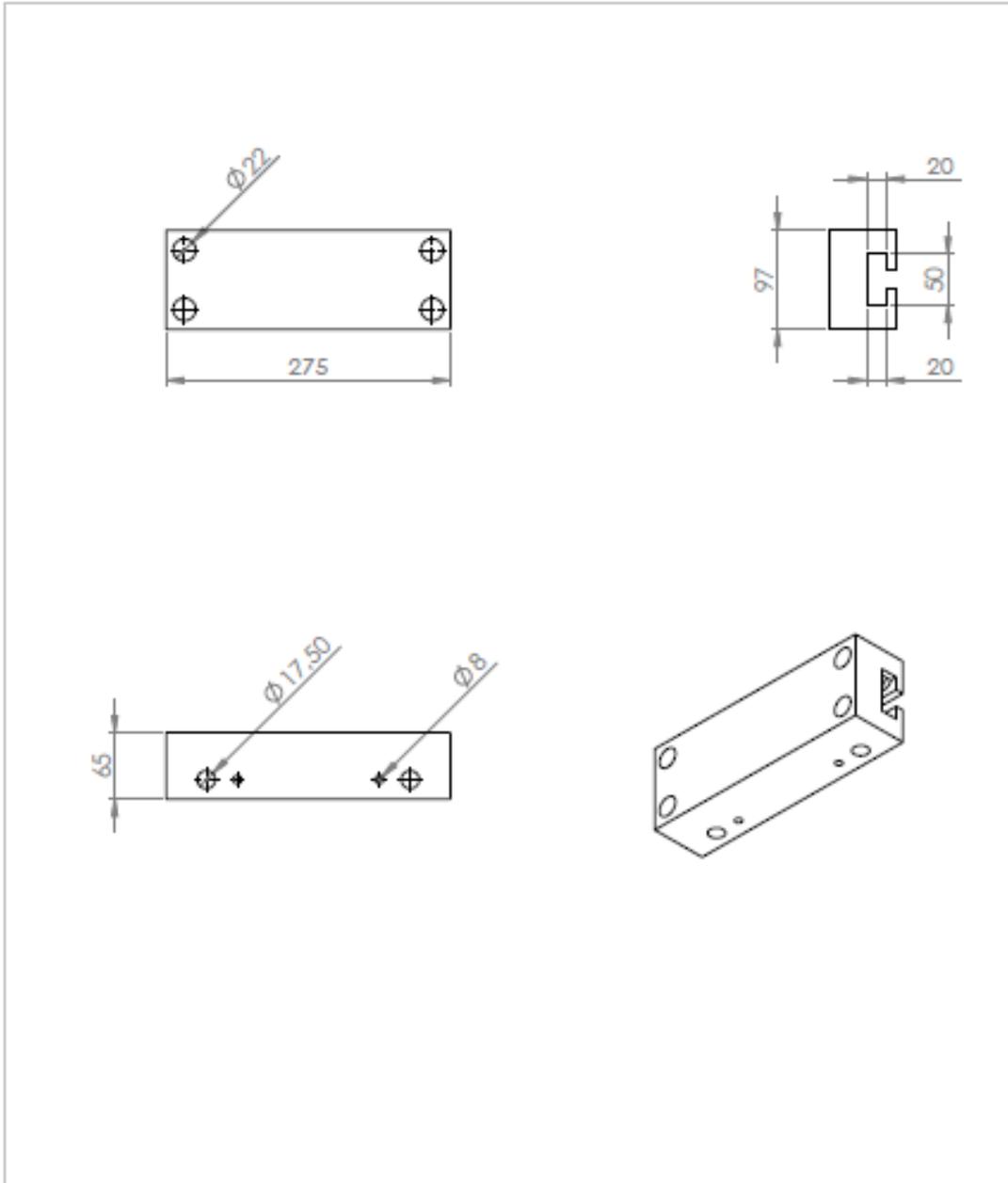




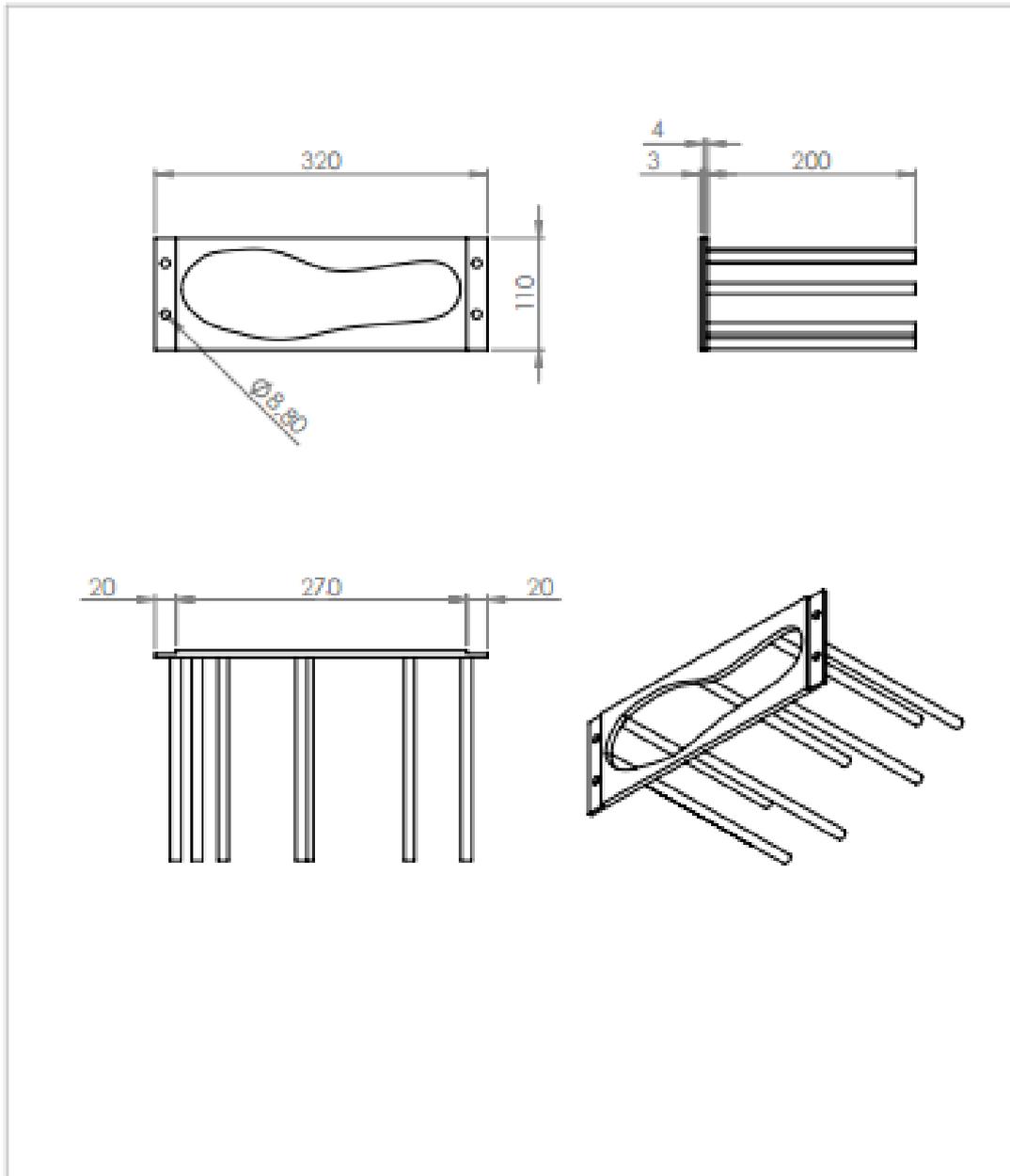
Anexo F- Desenhos Técnicos



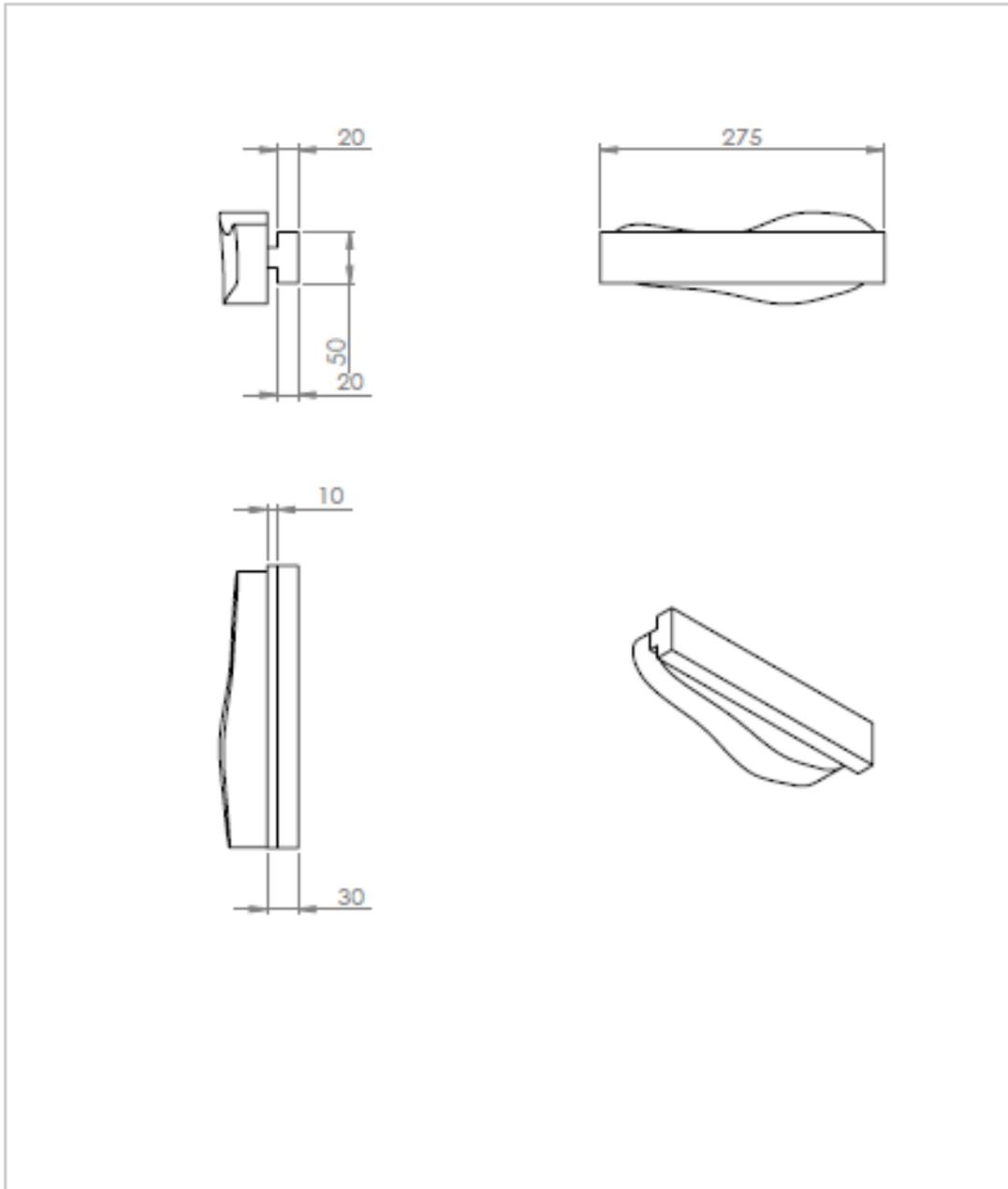
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES LINEAR ANGULAR		FINISH		DO NOT SCALE DRAWING		FINISH	
Designer DWG APPV MPD CLA	Name	Assinatura	Data	Title <h2 style="text-align: center;">Estrutura Principal</h2>			
			MATERIAL		A4		
			Price		Number		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Nome	Assinatura	Data			Título: Apoio do Punção		
Quantidade							
CHETO							
APPROV							
MFO							
CLA				MATERIAL:	A4		
				REVISÃO:	Escala 1:2	SHEET 1 OF 1	



QUANTO CRIAR O PROJETO: QUANTO O PROJETO FORNECER TOLERÂNCIAS: LINHAS ANGULARES				Feito		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						Title			
						Armazém de chapa			
Grande Médio Pequeno CA	Nome	Assinatura	Data					A4	
				Materiais					
				Preço		Escala 1:1		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Name				Assinatura		Data		Title	
Desenho								<h1>Punção</h1>	
CHED									
APPROV									
MFG									
Q.A.						MATERIAL:		A4	
						Peso		Folha 13	
								SHEET 1 OF 1	