



Projeto de uma ferramenta específica para cravação de terminais elétricos

TIAGO ANDRE MOURA DE CASTRO

julho de 2016



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de uma ferramenta específica para cravação de terminais elétricos

Tiago André Moura de Castro



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de uma ferramenta específica para cravação de terminais elétricos

Tiago André Moura de Castro

1090800

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e coorientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP

JÚRI**Presidente****Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto***Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto***Orientador****Doutor Francisco José Gomes da Silva***Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto***Coorientador****Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho***Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto***Arguente****Doutor António Paulo Monteiro Baptista***Professor Associado com Agregação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*

Agradecimentos

São devidos agradecimentos à Ricardo & Barbosa, Lda. por me ter fornecido os dados necessários para o início da minha tese e me ter apoiado neste desafio mesmo após a minha saída. Agradeço em particular aos meus ex-colegas Alípio Ramos e Lourenço Queirós e ao Eng.º Fernando Campos, com quem aprendi bastante na minha passagem pela R&B. Agradeço ainda a disponibilidade do Eng.º Francisco Silva para o esclarecimento de todas as dúvidas que foram aparecendo ao longo do desenvolvimento desta Tese, contando igualmente com o apoio do Eng.º Raul Campilho.

Agradeço ainda à minha família, especialmente aos meus pais, pelo suporte prestado ao longo de toda a minha vida académica.

Resumo

A necessidade contínua de incrementar a produtividade em todos os sectores leva a que sejam utilizados equipamentos cada vez mais sofisticados, permitindo novas técnicas de abordagem dos processos de fabrico, velocidades mais elevadas e maior precisão no produto final.

No entanto, quase todos os equipamentos necessitam de ferramentas adequadas, que tirem partido efetivamente das potencialidades dos equipamentos disponíveis. A Engenharia tem aqui um papel extremamente importante, já que terá de conceber as ferramentas atendendo à satisfação de um elevado número de requisitos, que passam genericamente por tirar o máximo partido dos fatores tecnológicos proporcionados pelos equipamentos, cumprir com a cadência de produção necessária, assegurar a qualidade estipulada, garantir a segurança dos colaboradores que com ela trabalham e permitir uma fácil montagem e afinação, reduzindo assim os tempos de preparação e as possibilidades de fabrico de peças fora das especificações.

Este trabalho foi desenvolvido em torno de uma necessidade real, tendo sido estipulados os requisitos necessários pelo cliente e tendo sido elaborado todo o projeto da ferramenta em torno desses mesmos requisitos. Foi efetuada uma otimização da ferramenta ainda na fase de anteprojecto, permitindo minimizar o seu custo e maximizar o seu rendimento e aptidão para o fim em vista. Os materiais foram cuidadosamente selecionados, tendo em vista a utilização de cada componente e a relação custo-benefício. Foi ainda efetuada uma orçamentação da mesma, assim como um plano de instruções para a operação e manutenção da ferramenta.

Deste modo, este trabalho é o resumo de grande parte do conhecimento adquirido, quer ao longo da vida académica, quer ao longo da experiência profissional.

Palavras-chave

Ferramentas dedicadas, Engenharia, Projeto mecânico, Seleção de materiais, Orçamentação, Retorno do investimento, FMEA.

Abstract

The continuous need for swelling productivity in all sectors leads to the use of increasingly sophisticated equipment, enabling new approach techniques of manufacturing processes, higher speeds and greater accuracy in the final product.

However, almost all of the equipments require appropriate tools, which effectively take advantage of the available equipment potential. Engineering has an extremely important role in this matter, since it will have to develop the tools regarding the satisfaction of a large number of requirements, which are generally planned to take full advantage of the technological factors provided by equipments, to comply with the production rate needed, ensuring the quality required, the safety of employees who work with tools and allow easy assembly and adjustment, thereby reducing preparation times and the possibility to produce parts out of specification.

This work was developed around a real need, having been stipulated the requirements needed by the client and having been elaborated the whole tool project around these same requirements. A tool optimization was undertaken still at the preliminary draft stage, allowing to minimize its costs and to maximize its performance and fitness for purpose. The materials have been carefully selected, aims at the use of each component and the cost-benefit ratio. The budgeting was also presented, as well as a plan for the operation and maintenance of the tool.

Thus, this work is the great summary of the knowledge acquired, either along the academic life or throughout working experience.

Keywords

Focused tools, Engineering, Mechanical design, Materials selection, Budgeting, Payback, FMEA.

Lista de Símbolos e Abreviaturas

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
AlCrN	Nitreto de Crómio-Alumínio
AlTiN	Nitreto de Titânio-Alumínio
APS	<i>Atmospheric Plasma Spraying</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
C	Carbono
Co	Cobalto
Cr	Crómio
CrN	Nitreto de Crómio
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
E.U.A.	Estados Unidos da América
EAWS	<i>Electric Arc Wire Spray</i>
EDM	<i>Electrical Discharge Machining</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
HVOF	<i>High Velocity Oxy-Fuel</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MEF	<i>Mechanical End Feed</i>
Mo	Molibdénio
MSF	<i>Mechanical Side Feed</i>
Ni	Níquel
PACVD	<i>Plasma-Assisted Chemical Vapor Deposition</i>
PEF	<i>Pneumatic End Feed</i>
PMI	Ponto Morto Inferior
PMMA	Polimetil-metacrilato (Acrílico)
PMS	Ponto Morto Superior
PSF	<i>Pneumatic Side Feed</i>

PVD	<i>Physical Vapor Deposition</i>
R&B	Ricardo & Barbosa
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
TiCN	Carbo-Nitreto de Titânio
TiN	Nitreto de Titânio
V	Vanádio
W	Tungstênio

Lista de unidades

E	Módulo de <i>Young</i>
G	Módulo de Elasticidade Transversal
GPa	<i>Giga Pascal</i>
HRC	Dureza <i>Rockwell (Escala C)</i>
HV	Dureza <i>Vickers</i>
I	Momento de Inércia
k	Constante de Rigidez da Mola
kN	<i>Kilo Newton</i>
kW	<i>Kilo Watt</i>
mm	Milímetro
MPa	<i>Mega Pascal</i>
N	<i>Newton</i>
Pa	<i>Pascal</i>
R _a	Rugosidade Média
R _c	Resistência ao Corte
R _m	Tensão de Rotura
R _{p0,2}	Tensão Limite Convencional de Elasticidade a 0,2%
σ _{adm}	Tensão Admissível
μm	Micrómetro

Glossário de Termos

<i>Die-form</i>	Forma resultante da cravação do terminal elétrico
<i>End Feed</i>	Alimentação frontal
Esbelteza	Relação entre a dimensão da base e da altura
<i>Kanban</i>	Produto semi-acabado (<i>stock</i> intermédio)
Microconstituente	Constituente do material a nível microscópico
<i>Micro-cut</i>	Corte realizado na zona de cravação do terminal para verificação da qualidade
Microestrutura	Forma de disposição da microestrutura
Recristalização	Alteração do tamanho do grão e dos microconstituintes
<i>Side Feed</i>	Alimentação lateral

Índice de Figuras, Gráficos, Tabelas e Quadros

Figuras

Figura 2.1 – Microestrutura dendrítica, própria de alguns processos de solidificação	33
Figura 2.2 – Microestrutura ferrítica-perlítica de um aço laminado a quente	33
Figura 2.3 – Representação esquemática do aparecimento de fissuras numa chapa dobrada	34
Figura 2.4 – Representação esquemática de conformação utilizando punções rotativos.....	35
Figura 2.5- Representação esquemática do fenómeno de duplo corte	36
Figura 2.6 – Legenda das folgas de corte	37
Figura 2.7 – Corte convencional vs Corte fino – componentes e acabamento	42
Figura 2.8 – Pormenor de acabamento – corte fino vs corte convencional	43
Figura 2.9 – Sequência de operações no processo de corte fino	44
Figura 2.10 – Princípio do processo de Laminagem	46
Figura 2.11 – Princípio do processo de Forjamento em Matriz Aberta	47
Figura 2.12 – Princípio do processo de Forjamento em Matriz Fechada	47
Figura 2.13 – Princípio do processo de Extrusão Direta	48
Figura 2.14 – Princípio do processo de Extrusão Inversa	48
Figura 2.15 – Princípio do processo de Quinagem	49
Figura 2.16 – Princípio do processo de Corte em prensa	50
Figura 2.17 – Princípio do processo de Trefilagem	51
Figura 2.18 – Princípio do processo de Embutidura	51
Figura 2.19 – Prensa mecânica (à esquerda) e prensa hidráulica (à direita)	52
Figura 2.20 – Prensa de montantes direitos (à esquerda) e prensa em colo de cisne (à direita)	53
Figura 2.21 – Cálculo da espessura da matriz em função do tipo de matriz e esforços aplicados	57
Figura 2.22 – Elementos de um ferramenta de estampagem/corte	62
Figura 2.23 – Representação esquemática de ferramenta simples	66
Figura 2.24 – Representação esquemática de ferramenta de duplo efeito	67
Figura 2.25 – Representação esquemática das facas de avanço	68
Figura 2.26 – Exemplos de utilização de centradores	68
Figura 2.27 – Ferramenta progressiva	69
Figura 2.28 – Ferramenta tipo transfer	70
Figura 2.29 – Corte numa ferramenta combinada	72
Figura 2.30 – Punções e matrizes segmentados	72
Figura 2.31 – Exemplos de terminais elétricos (acima) e de um conector (em baixo)	79
Figura 2.32 – Representação das diferentes direções de alimentação dos terminais	81
Figura 2.33 – Terminal de cravação lateral	82
Figura 2.34 – Terminal de cravação frontal	82
Figura 2.35 – Fita de terminais elétricos	83

Figura 2.36 – Fissuração na zona de cravação do condutor (à esquerda) e de cravação do isolamento (à direita)	84
Figura 2.37 – Exemplo de deformações em terminais	84
Figura 2.38 – Representação esquemática de riscos no terminal provocados na cravação	85
Figura 2.39 – Esquema de <i>Micro-cut</i> de uma cravação com força reduzida	85
Figura 2.40 – Esquema de <i>Micro-cut</i> de uma cravação com força em excesso	85
Figura 2.41 – Esquema de <i>Micro-cut</i> de cravação assimétrica	86
Figura 2.42 – Esquema de <i>Micro-cut</i> de cravação incompleta	86
Figura 2.43 – Esquema de <i>Micro-cut</i> de cravação com espaços vazios por preencher	86
Figura 2.44 – Representação esquemática de um <i>micro-cut</i> de uma cravação bem executada	87
Figura 3.1 – Logotipo da Ricardo & Barbosa Lda.	89
Figura 3.2 – Instalações da R&B México (à esquerda) e da R&B Portugal (à direita)	89
Figura 3.3 – Exemplo de terminais utilizados na indústria de cablagens	90
Figura 3.4 – Terminal elétrico antes e após a cravação	91
Figura 3.5 – Detalhe da "dobra A" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação.....	91
Figura 3.6 – Detalhe da "dobra B" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação.....	92
Figura 3.7 – Detalhe da "dobra C" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação.....	92
Figura 3.8 – Detalhe da "dobra D" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação	93
Figura 3.9 – Porção de bobina desenrolada, pronta a alimentar o aplicador (pré-cravação).....	93
Figura 3.10 – Sequência de cravação de um terminal elétrico.....	94
Figura 3.11 – Terminal antes (à direita) e após (à esquerda) a cravação.....	95
Figura 3.12 – Ponto morto inferior dos punções – com pormenor do <i>die-form</i>	95
Figura 3.13 – Efeito “boca de sino” na cravação	97
Figura 3.14 – Detalhe da espessura do terminal e do passo entre furos para alimentação.....	98
Figura 3.15 – Detalhe da zona de cravação do isolamento (à esquerda) e do cobre (à direita).....	98
Figura 3.16 – Comprimento das secções a cravar – isolamento (à esquerda) e cobre (à direita)	99
Figura 3.17 – Dobras a realizar nesta fase, com destaque para dobra A e dobra B.....	99
Figura 3.18 – Representação esquemática fo fenómeno de “edge rolling”	100
Figura 3.19 – Dimensões das dobras A (à esquerda) e B após cravação (à direita).....	100
Figura 3.20 – Dobras a realizar nesta fase, com destaque para dobra C e dobra D.....	101
Figura 3.21 – Representação esquemática de “edge bending”	102
Figura 3.22 – Dimensões das dobras C e D após cravação	103
Figura 3.23 – Largura das dobras C e D	103
Figura 3.24 – Perímetro abrangido pelo corte da chapa	104
Figura 3.25 – Solução de guiamento do porta-punções típica da R&B	112
Figura 3.26 – Descentramento das forças de cravação na ferramenta da R&B.....	113
Figura 3.27 – Representação da incapacidade de adaptação na alimentação da ferramenta R&B.....	114
Figura 3.28 – Representação do sistema de pilotagem da ferramenta R&B	115
Figura 3.29 – Mecanismo de ajuste do passo/avanço do sistema de alimentação.....	116

Figura 3.30 – Estrutura da ferramenta "Solução C" – Guiamento do porta-punções.....	117
Figura 3.31 – Centramento do porta-punções na ferramenta.....	117
Figura 3.32 – Sistema modular (alimentação e matrizes)	118
Figura 3.33 – Pilotagem do sistema de alimentação pneumática por sensores óticos	119
Figura 3.34 – Representação esquemática do sistema de ajuste do passo/avanço	120
Figura 3.35 – Dimensões gerais da ferramenta	121
Figura 3.36 – Representação da construção modular da alimentação de terminais.....	122
Figura 3.37 – Parafuso de ajuste do efeito boca-de-sino.....	123
Figura 3.38 - Vista em corte do mecanismo de ajuste do efeito "boca-de-sino"	124
Figura 3.39 – Representação da cabeça de regulação R&B.....	124
Figura 3.40 – Pormenor do ajuste da altura de cravação do isolamento	125
Figura 3.41 – Detalhe de funcionamento do cerra-chapas	125
Figura 3.42 – Detalhe da conformação das dobras C e D	126
Figura 3.43 – Detalhe de funcionamento do punção de fixação do fio.....	127
Figura 3.44 – Detalhe das molas do punção de fixação do fio	127
Figura 3.45 – Detalhe dos punções a realizar a cravação	128
Figura 3.46 – Detalhe do par punção/matriz de corte do excesso de bobina (assinalado a azul).....	128
Figura 3.47 – Pormenor da matriz de corte do excesso de bobina	129
Figura 3.48 – Pilotagem do sistema de alimentação no PMS.....	129
Figura 3.49 – Avanço do sistema de alimentação	130
Figura 3.50 – Pormenor do sistema de ajuste do avanço.....	131
Figura 3.51 – Unha de alimentação e restante conjunto.....	131
Figura 3.52 – Pilotagem do sistema de alimentação no PMI.....	132
Figura 3.53 – Recuo do sistema de alimentação	132
Figura 3.54 – Representação esquemática da ligação do cilindro pneumático.....	133
Figura 3.55 – Tipo de acabamento da extremidade da mola helicoidal	137
Figura 3.56 – Prensa Mecânica <i>Schäfer</i> EPS 3000	140
Figura 3.57 – Fixação da ferramenta para a simulação	141
Figura 3.58 – Esquema de forças aplicadas na simulação	141
Figura 3.59 – Visão geral da tensão equivalente de <i>von Mises</i>	142
Figura 3.60 – Pormenor das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> aplicadas no cerra-chapas.....	143
Figura 3.61 – Tensões equivalentes de <i>von Mises</i> aplicadas no <i>die-form</i> do punção de cravação do cobre.....	143
Figura 3.62 – Deformações gerais da ferramenta.....	144
Figura 3.63 – Deformações nas zonas sob maior tensão (em pormenor)	145
Figura 3.64 – Representação das forças aplicadas na metade superior da ferramenta	147
Figura 3.65 – Subconjuntos da ferramenta	154
Figura 3.66 – Componentes do módulo de estrutura	154
Figura 3.67 – Componentes do módulo de cravação (sem componentes normalizados).....	155
Figura 3.68 – Componentes <i>standard</i> do módulo de cravação	156
Figura 3.69 – Componentes do módulo de alimentação (sem componentes normalizados)	157

Figura 3.70 – Componentes <i>standard</i> do módulo de alimentação	158
Figura 3.71 – Componentes do módulo do cilindro pneumático	159
Figura 3.72 – Posicionamento da base	188
Figura 3.73 – Fixação da matriz principal na base	188
Figura 3.74 – Acoplamento da matriz de cravação na matriz principal	189
Figura 3.75 – Colocação da matriz secundária A	189
Figura 3.76 – Colocação da matriz secundária B	190
Figura 3.77 – Colocação da tampa traseira	190
Figura 3.78 – Colocação da matriz auxiliar de corte e do batente do terminal	191
Figura 3.79 – Colocação da matriz de corte da bobina	191
Figura 3.80 – Colocação da base do sistema de alimentação de bobina	192
Figura 3.81 – Fixação da base do calcador	192
Figura 3.82 – Montagem dos componentes calcadores da bobina	193
Figura 3.83 – Montagem dos componentes calcadores da bobina na base do calcador	193
Figura 3.84 – Acoplamento da guia da bobina na base do sistema de alimentação	194
Figura 3.85 – Posicionamento da placa de alinhamento do mecanismo de alimentação	194
Figura 3.86 – Acoplamento do guiamento da mola I na placa de alinhamento	195
Figura 3.87 – Posicionamento dos componentes TC032A, TC032C e mola I no TC031	195
Figura 3.88 – Colocação da estrutura do alimentador	196
Figura 3.89 – Colocação dos componentes do batente do retorno da alimentação	196
Figura 3.90 – Colocação dos componentes de ajuste do passo de alimentação	197
Figura 3.91 – Colocação do travão da unha	197
Figura 3.92 – Colocação da unha de alimentação	198
Figura 3.93 – Colocação da base-guia de entrada da bobina	198
Figura 3.94 – Posicionamento do calcador de entrada da bobina	199
Figura 3.95 – Colocação das molas G	199
Figura 3.96 – Montagem do cilindro pneumático	200
Figura 3.97 – Fixação do acoplamento	200
Figura 3.98 – Colocação do punção de fixação do cobre	201
Figura 3.99 – Posicionamento do punção de cravação do isolamento	201
Figura 3.100 – Posicionamento do punção de cravação do cobre	202
Figura 3.101 – Fixação dos punções no porta-punções	202
Figura 3.102 – Montagem do batente do punção de isolamento	203
Figura 3.103 – Montagem do cerra-chapas	203
Figura 3.104 – Montagem do conjunto de punções e cerra-chapas na base superior	204
Figura 3.105 – Montagem da cabeça de regulação	205
Figura 3.106 – Montagem do suporte do refletor	205
Figura 3.107 – Colagem do refletor	206
Figura 3.108 – Montagem das colunas-guia	206
Figura 3.109 – Montagem do conjunto superior	207

Figura 3.110 – Colocação dos sensores de retro-reflexão	207
Figura 3.111 – Introdução da bobina de terminais no sistema de alimentação.....	208
Figura 3.112 – Centramento (longitudinal) do terminal na matriz de cravação.....	209
Figura 3.113 – Centramento (transversal) do terminal na matriz de cravação	209
Figura 3.114 – Alinhamento do sistema de avanço/recuo da alimentação.....	210
Figura 3.115 – Alinhamento da unha de alimentação na bobina.....	210
Figura 3.116 – Ajuste do passo e do ponto inicial do sistema.....	211
Figura 3.117 – Principal dimensão de controlo do componente TC002.....	212
Figura 3.118 – Principal dimensão de controlo do componente TC001.....	213
Figura 3.119 – Principais dimensões de controlo dos punções de cravação, de isolamento (à esquerda) e do cobre (à direita).....	214

Gráficos

Gráfico 2.1 – Evolução das propriedades mecânicas durante o trabalho a frio (à esquerda) e durante o tratamento de recozido (à direita)	40
Gráfico 2.2 – Representação do ciclo de trabalho a frio – recozido e os seus efeitos nas propriedades mecânicas e microestrutura	41
Gráfico 2.3 – Ábaco de cálculo da espessura da matriz	56
Gráfico 2.4 – Definição da folga punção/matriz em função da espessura e material da chapa	59
Gráfico 2.5 – Distribuição do mercado dos maiores fabricantes de cablagens automóveis do mundo	81
Tabela 2.1 – Gama de temperaturas de trabalho	38
Tabela 2.2 – Definição das folgas e dimensões da placa da matriz	58
Tabela 2.3 – Limites geométricos da peça	60
Tabela 2.4 – Distâncias mínimas de corte (em mm)	61
Tabela 2.5 – Ajuste deslizante para aplicação cuidada e de exatidão	65
Tabela 2.6 – Exemplos de materiais utilizados nas ferramentas	74
Tabela 2.7 – Tratamentos de superfície – Revestimentos usualmente aplicados aos componentes mais solicitados em ferramentas.....	78

Tabelas

Tabela 3.1 – Recuperação elástica (angular) em função da espessura da chapa e do raio da dobra	102
Tabela 3.2 – Quadro resumo dos esforços em cada cravação	104
Tabela 3.3 – Vantagens/ Desvantagens das hipóteses equacionadas.....	108
Tabela 3.4 – Quadro resumo classificativo das soluções apresentadas.....	111
Tabela 3.5 – Molas utilizadas na ferramenta.....	134
Tabela 3.6 – Dimensionamento das molas a utilizar na ferramenta.....	138
Tabela 3.7 - Cálculo da força resultante e sua localização	146

Tabela 3.8 – Matriz de seleção de materiais – definição das propriedades	150
Tabela 3.9 – Matriz de seleção de materiais – fator de <i>performance</i>	152
Tabela 3.10 – Sequência operatória do componente TC001	160
Tabela 3.11 – Sequência operatória do componente TC002	160
Tabela 3.12 – Sequência operatória do componente TC003A.....	161
Tabela 3.13 – Sequência operatória do componente TC003B.....	161
Tabela 3.14 – Sequência operatória do componente TC004	162
Tabela 3.15 – Sequência operatória do componente TC005	163
Tabela 3.16 – Sequência operatória do componente TC006	164
Tabela 3.17 – Sequência operatória do componente TC007	164
Tabela 3.18 – Sequência operatória do componente TC008	165
Tabela 3.19 – Sequência operatória do componente TC009	165
Tabela 3.20 – Sequência operatória do componente TC010	166
Tabela 3.21 – Sequência operatória do componente TC011	166
Tabela 3.22 – Sequência operatória do componente TC012	166
Tabela 3.23 – Sequência operatória do componente TC013	167
Tabela 3.24 – Sequência operatória do componente TC014	168
Tabela 3.25 – Sequência operatória do componente TC015	169
Tabela 3.26 – Sequência operatória do componente TC016	170
Tabela 3.27 – Sequência operatória do componente TC017	171
Tabela 3.28 – Sequência operatória do componente TC018	172
Tabela 3.29 – Sequência operatória do componente TC019	172
Tabela 3.30 – Sequência operatória do componente TC020	173
Tabela 3.31 – Sequência operatória do componente TC021	173
Tabela 3.32 – Sequência operatória do componente TC022	174
Tabela 3.33 – Sequência operatória do componente TC023	174
Tabela 3.34 – Sequência operatória do componente TC024	175
Tabela 3.35 – Sequência operatória do componente TC025	175
Tabela 3.36 – Sequência operatória do componente TC026A.....	176
Tabela 3.37 – Sequência operatória do componente TC026B	176
Tabela 3.38 – Sequência operatória do componente TC027	177
Tabela 3.39 – Sequência operatória do componente TC028	177
Tabela 3.40 – Sequência operatória do componente TC029	178
Tabela 3.41 – Sequência operatória do componente TC030	179
Tabela 3.42 – Sequência operatória do componente TC031	180
Tabela 3.43 – Sequência operatória do componente TC032A.....	180
Tabela 3.44 – Sequência operatória do componente TC032B.....	181
Tabela 3.45 – Sequência operatória do componente TC032C.....	181
Tabela 3.46 – Sequência operatória do componente TC032D.....	182
Tabela 3.47 – Sequência operatória do componente TC032E	182

Tabela 3.48 – Sequência operatória do componente TC033	183
Tabela 3.49 – Sequência operatória do componente TC034	183
Tabela 3.50 – Sequência operatória do componente TC035	184
Tabela 3.51 – Sequência operatória do componente TC036A.....	184
Tabela 3.52 – Sequência operatória do componente TC036B.....	185
Tabela 3.53 – Sequência operatória do componente TC037	185
Tabela 3.54 – Sequência operatória do componente TC038	186
Tabela 3.55 – Sequência operatória do componente TC042	187
Tabela 3.56 – Orçamentação do componente TC001	215
Tabela 3.57 – Orçamentação do componente TC002	216
Tabela 3.58 – Orçamentação do componente TC003A.....	216
Tabela 3.59 – Orçamentação do componente TC003B.....	217
Tabela 3.60 – Orçamentação do componente TC004	217
Tabela 3.61 – Orçamentação do componente TC005	218
Tabela 3.62 – Orçamentação do componente TC006.....	219
Tabela 3.63 – Orçamentação do componente TC007	219
Tabela 3.64 – Orçamentação do componente TC008.....	220
Tabela 3.65 – Orçamentação do componente TC009	221
Tabela 3.66 – Orçamentação do componente TC010.....	221
Tabela 3.67 – Orçamentação do componente TC011	222
Tabela 3.68 – Orçamentação do componente TC012	222
Tabela 3.69 – Orçamentação do componente TC013.....	223
Tabela 3.70 – Orçamentação do componente TC014.....	223
Tabela 3.71 – Orçamentação do componente TC015.....	224
Tabela 3.72 – Orçamentação do componente TC016.....	225
Tabela 3.73 – Orçamentação do componente TC017	225
Tabela 3.74 – Orçamentação do componente TC018.....	226
Tabela 3.75 – Orçamentação do componente TC019.....	227
Tabela 3.76 – Orçamentação do componente TC020.....	227
Tabela 3.77 – Orçamentação do componente TC021	228
Tabela 3.78 – Orçamentação do componente TC022	228
Tabela 3.79 – Orçamentação do componente TC023.....	229
Tabela 3.80 – Orçamentação do componente TC024.....	229
Tabela 3.81 – Orçamentação do componente TC025.....	230
Tabela 3.82 – Orçamentação do componente TC026A.....	230
Tabela 3.83 – Orçamentação do componente TC026B.....	231
Tabela 3.84 – Orçamentação do componente TC027	231
Tabela 3.85 – Orçamentação do componente TC028.....	232
Tabela 3.86 – Orçamentação do componente TC029.....	232
Tabela 3.87 – Orçamentação do componente TC030.....	233

Tabela 3.88 – Orçamento do componente TC031	233
Tabela 3.89 – Orçamento do componente TC032A.....	234
Tabela 3.90 – Orçamento do componente TC032B.....	234
Tabela 3.91 – Orçamento do componente TC032C.....	235
Tabela 3.92 – Orçamento do componente TC032D	235
Tabela 3.93 – Orçamento do componente TC032E	236
Tabela 3.94 – Orçamento do componente TC033	236
Tabela 3.95 – Orçamento do componente TC034	237
Tabela 3.96 – Orçamento do componente TC035	237
Tabela 3.97 – Orçamento do componente TC036A.....	238
Tabela 3.98 – Orçamento do componente TC036B.....	238
Tabela 3.99 – Orçamento do componente TC037	239
Tabela 3.100 – Orçamento do componente TC038	239
Tabela 3.101 – Orçamento do componente TC039	240
Tabela 3.102 – Orçamento do componente TC040	240
Tabela 3.103 – Orçamento do componente TC041	240
Tabela 3.104 – Orçamento do componente TC042	241
Tabela 3.105 – Orçamento de parafusaria	242
Tabela 3.106 – Resumo de custos totais da ferramenta	243
Tabela 3.107 – Análise de falhas da ferramenta	244

Quadros

Quadro 4.1 – Análise SWOT da solução desenvolvida.....	248
--	-----

Índice

Lista de Símbolos e Abreviaturas.....	xiii
Glossário de Termos	xv
Índice de Figuras.....	xvii
1. Introdução	29
1.1. Enquadramento	29
1.2. Objetivos.....	30
1.3. Metodologia	30
1.4. Estrutura	31
2. Revisão Bibliográfica.....	33
2.1. Introdução à conceção de ferramentas para corte e conformação em prensa.....	33
2.1.1. Princípio do processo	38
2.1.1.1. Princípio do processo – Conformação	38
2.1.1.2. Princípio do processo – Corte.....	41
2.1.2. Variantes dos processos de conformação e de corte	46
2.1.3. Tipos de prensas.....	52
2.1.4. Conceitos ligados ao projeto de ferramentas.....	54
2.1.4.1. Partes principais que constituem uma ferramenta	62
2.1.4.2. Princípio de funcionamento	64
2.1.4.3. Tolerâncias usualmente aplicadas na construção de ferramentas	64
2.1.5. Tipos de ferramentas.....	66
2.1.5.1. Ferramentas simples.....	66
2.1.5.2. Ferramentas de duplo efeito	67
2.1.5.3. Ferramentas progressiva	67
2.1.5.4. Ferramentas tipo transfer.....	70
2.1.5.5. Ferramentas combinadas	71
2.1.5.6. Ferramentas com punções e matrizes de segmentos.....	72
2.1.6. Materiais usados em ferramentas	73
2.1.6.1. Aços usados no fabrico de ferramentas de corte e cravamento.....	75
2.1.6.2. Tratamentos e revestimentos normalmente utilizados nos componentes mais solicitados	76
2.2. A indústria de cablagens.....	79
2.2.1. Conceito de cablagem	79
2.2.2. Mercado mundial de cablagens.....	80
2.2.3. Tipos de ferramentas de cravação existentes no mercado.....	81
2.2.4. Principais problemas relacionados com o funcionamento das ferramentas de corte e cravação....	83
3. Desenvolvimento.....	89
3.1. Caracterização da empresa.....	89
3.2. Objetivos do trabalho prático	90

3.3. Caracterização do trabalho a efetuar pela ferramenta.....	93
3.4. Requisitos fundamentais do projeto	96
3.4.1. Requisitos gerais da ferramenta	96
3.4.2. Requisitos específicos do cliente	97
3.5. Estabelecimento do conceito geral.....	105
3.5.1. Estudo das partes críticas, em termos de solicitação	106
3.5.2. Estudo das partes críticas, em termos de desgaste	106
3.6. Anteprojecto: soluções possíveis	107
3.7. Seleção da solução entendida como mais favorável	111
3.8. Projeto da ferramenta	112
3.8.1. Estabelecimento do conceito geral.....	116
3.8.1.1. Melhorias em relação à “Solução A”	116
3.8.1.2. Restantes particularidades da “Solução C”	120
3.8.1.2.1 Dimensões gerais da máquina.....	120
3.8.1.2.2 Sistema de guiamento	121
3.8.1.2.3 Construção modular	121
3.8.1.2.4 Ajustes e afinações da ferramenta	122
3.8.1.2.5 Sequência operacional (passo a passo)	125
3.8.1.2.6 Especificações do cilindro pneumático utilizado	133
3.8.1.2.7 Dimensionamento das molas necessárias.....	134
3.8.1.2.8 Seleção da prensa a utilizar	139
3.8.2. Dimensionamento das partes críticas.....	140
3.8.3. Cálculo do descentramento da força resultante sobre a base superior	145
3.8.4. Seleção dos componentes normalizados.....	147
3.9. Seleção de materiais e respetivos tratamentos.....	149
3.9.1. Seleção de materiais para os componentes críticos.....	149
3.9.2. Seleção dos tratamentos a aplicar aos componentes críticos	152
3.10. Listagem de peças e acessórios	153
3.11.1 Sequência operatória dos componentes do módulo de estrutura	160
3.11.2 Sequência operatória dos componentes do módulo de cravação.....	162
3.11.3 Sequência operatória dos componentes do módulo de alimentação	174
3.11.4 Sequência operatória dos componentes do módulo do cilindro pneumático	187
3.12. Instruções de montagem e afinação	188
3.12.1 Instruções de montagem.....	188
3.12.2 Instruções de afinação.....	208
3.13. Instruções de controlo	212
3.13.1 Controlo dos componentes	212
3.13.2 Controlo de montagem	215
3.14. Orçamentação	215
3.15. Análise FMEA e Instruções de manutenção	244

4. Conclusões.....	247
5. Referências	249
5.1 Bibliografia.....	249
5.2 Outras Fontes de Informação	251
ANEXO I	253
ANEXO II	345
ANEXO III	361
ANEXO IV	367
ANEXO V	377

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A indústria metalomecânica portuguesa tem visto a sua qualidade reconhecida mundialmente. Ultimamente, a indústria aeronáutica passou a ser uma prioridade no investimento mas, anteriormente, o sector automóvel já se tinha destacado pela qualidade no fabrico dos mais diversos componentes para este tipo de indústria. Mas, mesmo antes disso, a indústria metalomecânica portuguesa já se tinha destacado em várias áreas, nomeadamente na construção naval, ferroviária, sistemas de movimentação para portos e para a indústria, e também através da indústria de moldes, cunhos e cortantes. Aliás, esta indústria advém da necessidade de apoiar outros tipos de indústria caracteristicamente portuguesas, como o fabrico de calçado e a área corticeira.

Efetivamente, a indústria de moldes, cunhos e cortantes tem desde há várias décadas, um prestígio que atravessou fronteiras. Mesmo antes de se dedicar à indústria automóvel de uma forma mais intensa, a indústria de moldes já exportava muita da sua produção para países bastante mais desenvolvidos, que reconheciam na nossa indústria a qualidade e competitividade que não encontravam em outros mercados. Conjuntamente com a indústria de moldes, também os cunhos e cortantes se desenvolveram muito favoravelmente, embora tendencialmente em ferramentas de pequeno e médio porte, mas com níveis de exigência muito elevados.

É neste contexto que este trabalho é desenvolvido. Várias multinacionais instaladas no nosso país, dedicadas à produção de componentes para a indústria automóvel, geram trabalho de forma direta, através das suas próprias necessidades, mas promovem também a exportação de ferramentas e moldes para as fábricas do mesmo grupo no estrangeiro. As exigências em termos de qualidade, a competência tecnológica e a competitividade da nossa indústria, permite que uma grande parte das ferramentas necessárias possa ser desenvolvida e/ou fabricada no nosso país, respeitando todos os requisitos impostos pelos clientes mais exigentes.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal proceder ao projeto de uma ferramenta específica para a aplicação de terminais de pequena dimensão destinados a cablagens elétricas para a indústria automóvel, que obedeça aos seguintes requisitos:

- Projetar uma ferramenta que cumpra com rigor as funções exigidas pelo cliente;
- Selecionar e utilizar os materiais mais adequados a cada uma das partes da ferramenta;
- Elaborar a sua sequência de fabrico;
- Proceder à sua orçamentação.

1.3. Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Contacto com Ricardo & Barbosa, Lda., no sentido de proceder ao levantamento dos dados necessários ao projeto;
- Recolha do desenho das peças a cravar;
- Análise das especificações do cliente;
- Identificação das maiores dificuldades de realização e elaboração de plano de como superar as dificuldades;
- Anteprojeto da ferramenta, sujeito a diferentes opções;
- Pesquisa bibliográfica sobre possíveis soluções em ferramentas ligadas ao mesmo tipo de operação;
- Seleção da melhor solução obtida no anteprojeto;
- Realização do projeto final;
- Seleção de materiais e tratamentos térmicos a aplicar em cada um dos componentes da ferramenta;
- Elaboração da sequência de fabrico de cada um dos componentes;
- Estimativa de tempos associados ao fabrico de cada componente;
- Orçamentação de cada componente;
- Seleção e orçamentação de componentes normalizados;
- Orçamentação global;
- Elaboração do plano de montagem da ferramenta;
- Elaboração do plano de instruções de utilização;
- Elaboração do plano de manutenção;
- Acompanhamento da fabricação e levantamento dos problemas sentidos;
- Redação da presente dissertação.

1.4. Estrutura

A estrutura deste trabalho está assente essencialmente em duas partes: uma Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com o tema, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e periódicos científicos dedicados à matéria, e o desenvolvimento do trabalho prático propriamente dito, com a referência às diferentes soluções encontradas, às razões de seleção do modelo adotado para ser desenvolvido, assim como o tratamento e análise crítica dos resultados.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Introdução à concepção de ferramentas para corte e conformação em prensa

Os processos de corte e conformação têm bastante importância na tecnologia moderna, uma vez que permitem obter peças mais compactas e com melhores características mecânicas, aproveitando as propriedades de ductilidade, maleabilidade e tenacidade de alguns materiais, permitindo conferir uma pré-forma ou até mesmo a forma final.

Uma das principais vantagens do processo de conformação é a possibilidade de eliminar vazios e uma microestrutura do tipo dendrítica (figura 2.1) que podem surgir nas peças obtidas por fundição, e conseqüentemente reduzir a resistência mecânica.



Figura 2.1 – Microestrutura dendrítica, própria de alguns processos de solidificação ¹

Ao exercer forças de compressão, parte integrante deste processo, a matriz dúctil flui para essas zonas com vazios, ligando toda a estrutura e melhorando as propriedades mecânicas da peça produzida, apresentando uma estrutura mais idêntica à da figura 2.2. Por essa razão as peças fundidas são normalmente seguidas de um processo de conformação, resultando num aumento da tenacidade (Dieter, 1961).



Figura 2.2 – Microestrutura ferrítica-perlítica de um aço laminado a quente ²

¹ Retirado de: <http://www.infomet.com.br/imagens/acos/cap9/Fig108.jpg>

² Retirado de: <http://assets.cimm.com.br/noticias/imagem/Image/Alalala.jpg>

Nem todos os materiais reagem da mesma forma às deformações impostas; para a mesma deformação, poderá ocorrer a rotura de alguns materiais e de outros não. Esta característica é denominada por conformabilidade dos materiais, ou seja, a capacidade do metal ou liga metálica ser deformada plasticamente sem apresentar defeitos ou fraturas na peça processada. Os limites de conformabilidade são geralmente definidos pela fratura dúctil, ou seja, num material mais dúctil o rompimento deverá ocorrer mais tarde, enquanto que num material mais rígido esse ponto acontecerá mais cedo.

A fratura dúctil ocorre entre os grãos que rodeiam as inclusões (que dependendo do seu volume, forma, natureza e distribuição, poderão reduzir bastante a resistência à fratura dúctil), criando falhas ou fissuras que se propagam por deformação plástica até atingir o nível macroscópico, como se pode ver na figura 2.3 (Hosford, *et al.*, 2007).

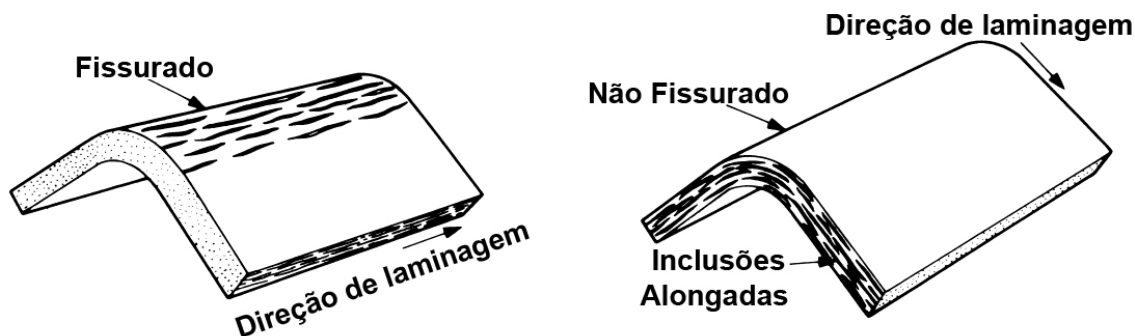


Figura 2.3 – Representação esquemática do aparecimento de fissuras numa chapa dobrada ³

A deformação plástica dos materiais provoca o seu endurecimento, denominado por encruamento, e é influenciado pela estrutura cristalina do metal, a sua natureza química e a sua pureza, assim como a orientação, forma, dimensão e condições superficiais do cristal metálico e ainda pela temperatura no processo de deformação. Este fenómeno, característico da deformação a frio, traduz-se num aumento da resistência mecânica do material, resultando num aumento da tensão de cedência e rotura, assim como da dureza, conduzindo, por outro lado, a uma diminuição da ductilidade e da tenacidade. Para além das alterações a nível mecânico, também as propriedades físicas variam, como a densidade e a condutibilidade elétrica, que diminuem com o aumento do encruamento, o que poderá ser preponderante em componentes para conduzir corrente elétrica (Bresciani, 2011).

³ Adaptada de: <http://www.slideshare.net/legendsundar/sheet-metworking-1>

Em todos os processos de conformação, quando retiradas as forças responsáveis pela deformação plástica do material, ocorre um fenómeno denominado por recuperação elástica, provocado pelas tensões residuais que se instalam na peça. Esta recuperação parcial de geometria pode ser compensada pelo *design* do punção/matriz, através de, por exemplo, punções rotativos (Figura 2.4), que por intermédio do movimento de rotação, permitem que exista uma força aplicada que comprime a chapa contra a matriz desde o início da operação, prolongando a sua ação mesmo noutras direções.

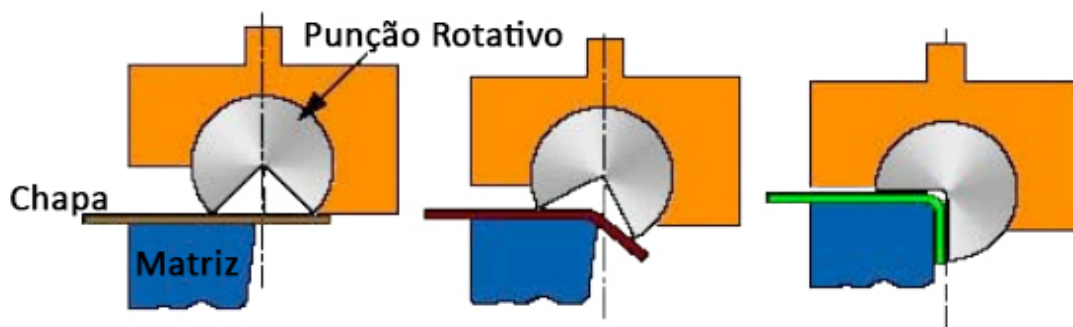


Figura 2.4 – Representação esquemática de conformação utilizando punções rotativos⁴

Caso o retorno elástico seja muito elevado, pode ainda ser contornado através do método da tensão sobreposta, aplicando uma tensão superior à que seria necessária, provocando uma deformação maior na peça, mas que após a recuperação elástica atinge o resultado pretendido (Hosford, *et al.*, 2007).

No caso concreto do corte, é um processo que se baseia na separação de contornos de chapa ou banda, por intermédio de uma prensa, cujos elementos fundamentais são as matrizes e os punções, que são o que irá dar a forma desejada ao material.

Para além da chapa, o processo também é utilizado no corte de varão, barra, tubo ou perfis estruturais, e é habitualmente realizado a frio, ou a morno quando a espessura da peça ou o seu comportamento mecânico frágil o exija. É um processo que praticamente não influencia as características mecânicas das peças produzidas, permitindo obter boa precisão dimensional e acabamento a um baixo custo e com possibilidade de elevada cadência, dependendo do tipo de alimentação.

Geralmente, este processo carece de maquinagem *à posteriori*, apesar de evoluções recentes no corte em prensa permitirem eliminar este passo, com o chamado corte fino ou corte de precisão.

⁴ Adaptado de: Kalpakjian, Serope. Manufacturing Process for Engineering Materials. 2003.

Conforme foi dito anteriormente, este processo normalmente carece de acabamento, que será proporcional a parâmetros como a folga entre o punção e a matriz, a chapa a cortar e o desgaste da ferramenta, resultando em reduzida rebarba, que é o critério de qualidade preponderante (Duarte, *et al.*, 2003). Numa peça obtida por estampagem é normal que a parede não seja lisa, ao contrário do que acontece no arranque de aparta, uma vez que o corte se dá em três estágios – inicialmente existe uma faixa de deformação, seguida de uma faixa onde ocorre o corte puro, culminando numa faixa de arrancamento (mais adiante estas três fases de corte serão vistas com mais detalhe). A altura da rebarba formada por este arranque de material não deverá ultrapassar 5 a 10% da espessura da chapa em corte, caso contrário, é um indicador que a ferramenta se encontra desgastada (Silva, 2003).

Dos parâmetros referidos anteriormente, as folgas serão um dos mais importantes. Se forem utilizadas folgas demasiado grandes, as peças irão apresentar rebarbas na aresta de corte, resultantes do maior repuchamento e a chapa poderá encravar devido ao empeno provocado pelo aumento do momento fletor. Por outro lado, se as folgas forem demasiado reduzidas, implicará um desgaste rápido das arestas de corte, ou poderá ainda resultar no fenómeno de duplo corte (decorrente do aumento da força necessária para a operação) que provoca na superfície de corte um “degrau” (figura 2.5) – este efeito é mais comum no corte em guilhotina, quando existe desalinhamento entre as lâminas de corte (Silva, 2004).

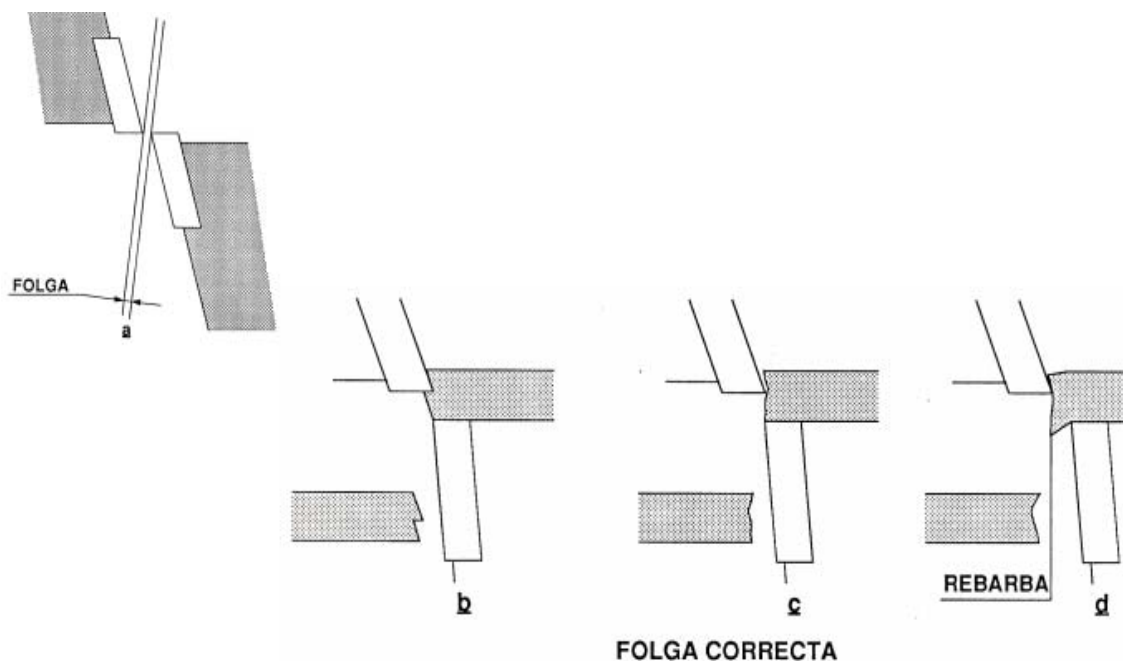


Figura 2.5- Representação esquemática do fenómeno de duplo corte ⁵

⁵ Retirado de: Silva, Francisco. *Conformação Plástica - Processos*. 2004.

Segundo Oehler (1993), as folgas que deverão ser utilizadas entre o punção e matriz são:

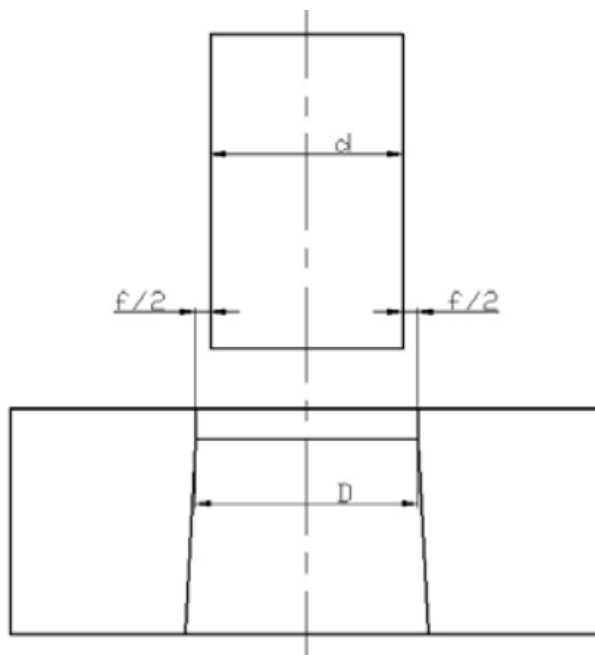


Figura 2.6 – Legenda das folgas de corte ⁶

$$\frac{f}{2} = 0,005 \cdot e \cdot \sqrt{R_c} \quad (p/e \leq 3 \text{ mm})$$

$$\frac{f}{2} = (0,010 \cdot e - 0,015) \cdot \sqrt{R_c} \quad (p/e \geq 3 \text{ mm})$$

Sendo f a folga de corte ($f = D - d$), D a dimensão do furo da matriz, d a dimensão do punção, e a espessura da chapa (com todas estas dimensões em mm) e R_c a resistência ao corte do material em kgf/mm^2 (Benazzi, 2007) (Oehler, et al., 1993).

Como referido anteriormente, folgas de corte reduzidas aumentam o desgaste das arestas de corte. Mas também o aumento da espessura de material a cortar e a tensão de rotura do mesmo provocam esse efeito nos punções e matrizes. Isso deve-se ao aumento do trabalho necessário para realizar o corte, que está diretamente relacionado com o aumento da temperatura (e resultante aumento do desgaste), uma vez que se trata de um processo adiabático, ou seja, que gera calor. Contudo, mesmo em ligas boas condutoras de calor, se o processo for realizado a uma velocidade elevada, o material pode não ter capacidade de escoar o calor, por isso, a velocidade é também um parâmetro a ter em conta neste processo, principalmente quando se tratam de elevadas cadências (Rodrigues, et al., 2010).

⁶ Retirado de: Benazzi, Ivar. Tecnologia de Estampagem. 2007.

2.1.1. Princípio do processo

2.1.1.1. Princípio do processo – Conformação

Os processos de conformação permitem, para além de obter a forma desejada, melhorar as propriedades mecânicas, através da alteração dos microconstituintes, do refinamento do grão e do encruamento controlado.

Normalmente distinguem-se estes processos em trabalho a quente e em trabalho a frio, sendo que no caso do trabalho a quente, o controlo da temperatura e da tensão aplicada permite que o processo de recuperação plástica ocorra simultaneamente com o de deformação, o que não acontece no trabalho a frio, onde não há controlo da recuperação. No trabalho a quente, o encruamento e a distorção da estrutura são suprimidos pela formação de uma matriz livre de tensões, resultante da recristalização. Este aquecimento permite que o processo seja realizado a um fluxo de tensão constante, cujo valor está inversamente relacionado com a temperatura de operação, fazendo com que normalmente seja necessária muito mais energia a frio do que a quente. Isto deve-se à ausência de encruamento no trabalho a quente, e como tal, a energia necessária no processo não varia com a deformação, resultando numa peça livre de tensões, em que são permitidas maiores deformações sem que ocorra fratura (Tschachtsch, 2006).

Quando se refere o trabalho a quente, não significa necessariamente que seja uma temperatura elevada, uma vez que depende da temperatura de recristalização do material, que está normalmente relacionada com o ponto de fusão do metal em causa (Tabela 2.1). Por exemplo, o chumbo e o estanho, que recristalizam a baixa temperatura, são trabalhados a quente quando processados à temperatura ambiente; por outro lado, uma temperatura de trabalho de 1090°C, que para o aço já é considerada uma temperatura de trabalho a quente, para o tungsténio é considerado trabalho a frio (Hosford, *et al.*, 2007) (Kalpakjian, *et al.*, 2009).

Tabela 2.1 – Gama de temperaturas de trabalho ⁷

GAMA DE TEMPERATURAS HOMÓLOGAS PARA VÁRIOS PROCESSOS

Processo	T/T_f
Trabalho a frio	< 0,3
Trabalho a morno	0,3 a 0,5
Trabalho a quente	> 0,6
	T – Temperatura de trabalho T_f – Temperatura de fusão

⁷ Adaptado de: Kalpakjian, Serope, Schmid, Steven R. e Musa, Hamidon. Manufacturing Engineering and Technology. s.l. : Pearson, 2009

O trabalho a quente também tem as suas desvantagens, uma vez que o aquecimento da peça a trabalhar pode provocar reações com a atmosfera circundante (por exemplo, o titânio), o que poderá não representar um problema sério em alguns casos, mas que por vezes obriga à utilização de um gás inerte para criar uma atmosfera protetora. A não utilização deste tipo de cuidados com a atmosfera circundante pode provocar a descarbonização ou a oxidação da superfície das peças, obrigando a que a superfície seja trabalhada posteriormente, o que dificulta por vezes a obtenção das dimensões pretendidas. Uma vez que a deformação é maior na superfície, o grão acaba por ser mais refinado junto da mesma, mas de grande dimensão quanto mais para o interior da peça se considerar, devido a ser a última zona a arrefecer, e por estas razões, a secção do material não é tão homogénea como numa peça trabalhada a frio e posteriormente recozida (Dieter, 1961).

No trabalho a quente, a temperatura mínima depende da combinação de dois fatores, do tempo de exposição à temperatura e da deformação (quantidade e velocidade), sendo que o processo de recristalização resultante do aquecimento deverá sempre acompanhar o encruamento provocado pela deformação. Por isso, numa peça em que a deformação é grande e conseqüentemente houve um grande encruamento, a temperatura a que se iniciará a recristalização será menor.

A temperatura máxima a que se pode realizar o trabalho a quente é limitada pela fusão do material ou pela sua oxidação excessiva, situando-se geralmente 38°C abaixo desse ponto, temperatura suficiente para permitir uma desagregação do microconstituente de mais baixo ponto de fusão (Tschaetsch, 2006).

Para atenuar os problemas do trabalho a quente referidos acima, existem duas hipóteses: na primeira, o trabalho a quente é efetuado em vários passos, sendo os primeiros realizados a uma temperatura bastante superior à temperatura mínima de trabalho a quente, de forma a manter a energia necessária para realizar a deformação o mais baixa possível, evitando a perda de ductilidade provocada pelo encruamento, prejudicial para as propriedades mecânicas pretendidas. Isto obriga a que o último passo, aquele em que haverá maior deformação, seja realizado a uma temperatura baixa, imediatamente acima da temperatura de recristalização, o que permite obter uma microestrutura fina, aproximando esta etapa do processo ao trabalho a frio.

A segunda hipótese será realizar um trabalho a frio, provocando a perda de ductilidade, como se pode ver no lado esquerdo do gráfico 2.1, seguindo-se um tratamento de recozido para recuperar as propriedades iniciais, segundo o lado direito do mesmo gráfico. A realização deste procedimento em pequenas etapas de conformação, sempre de forma a evitar danos na peça trabalhada, seguida do tratamento de recozido, permite evitar os problemas de homogeneidade do trabalho a quente, mantendo propriedades idênticas (Kalpakjian, *et al.*, 2009).

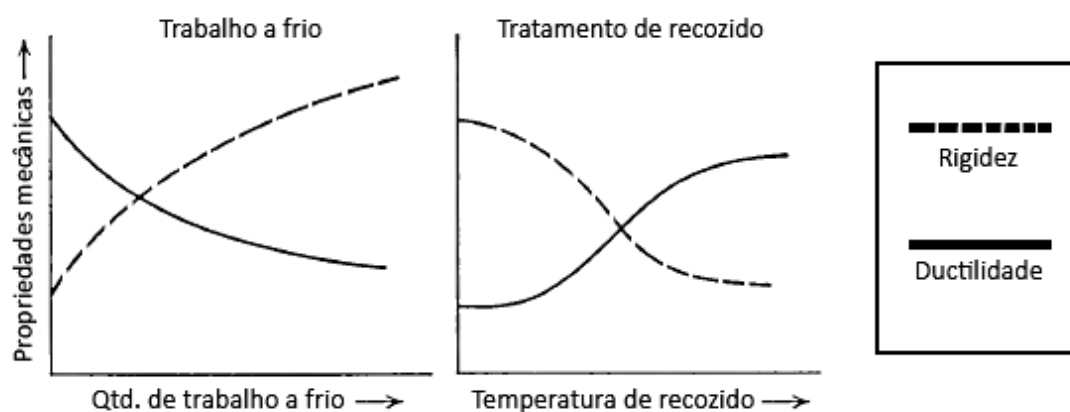


Gráfico 2.1 – Evolução das propriedades mecânicas durante o trabalho a frio (à esquerda) e durante o tratamento de recozido (à direita) ⁸

Ao submeter a peça a um processo de trabalho a frio a sua microestrutura altera-se, sendo constituída por grãos mais alongados e estreitos, que contribuem para um estrutura mais rígida, mas bastante menos dúctil. Para atenuar esse efeito, e atingir propriedades mecânicas idênticas às iniciais, poderá ser realizado um tratamento de recozido, conforme demonstrado anteriormente no gráfico 2.1.

⁸ Adaptado de: Dieter, George E. *Mechanical Metallurgy*. New York, Toronto, London : McGraw-Hill Book Company, 1961.

No gráfico 2.2 é possível observar as alterações a nível do grão e sua influência direta nas propriedades mecânicas ao longo deste processo de trabalho a frio – recozido cíclico, sendo o gráfico representativo de apenas um ciclo.

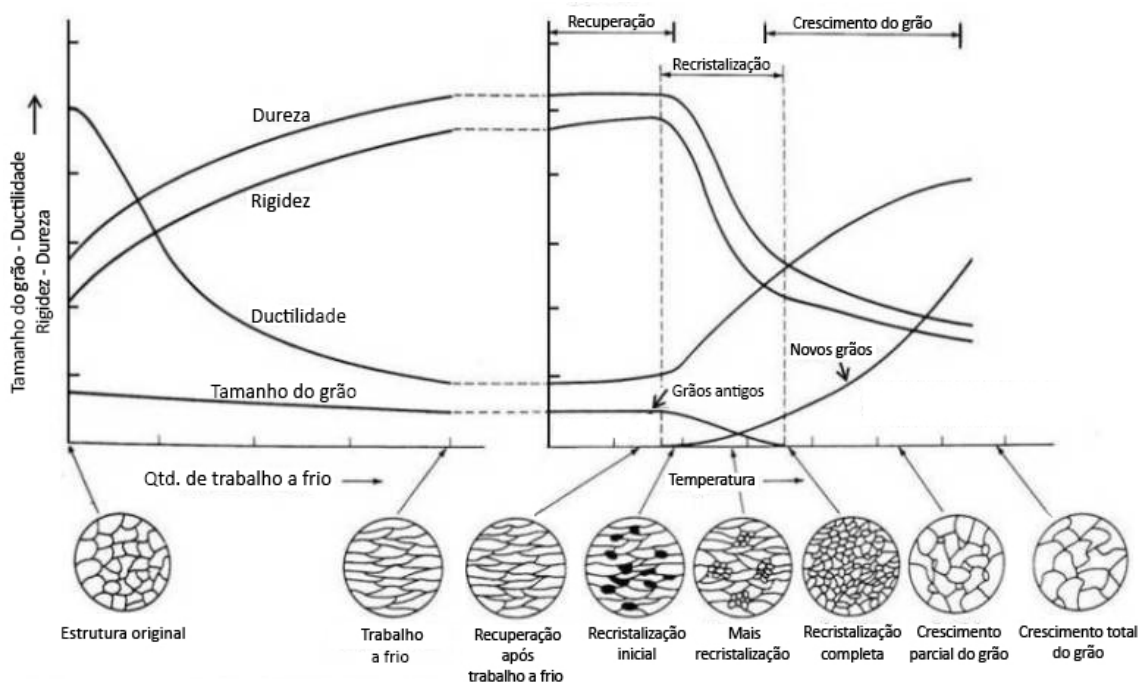


Gráfico 2.2 – Representação do ciclo de trabalho a frio – recozido e os seus efeitos nas propriedades mecânicas e microestrutura⁹

Caso se pretenda alterar a rigidez e ductilidade da peça a obter, habitualmente é realizado um último passo de deformação a frio, seguido do tratamento de recozido. De facto, é mais fácil atingir as propriedades desejadas desta forma do que recozendo uma peça totalmente deformada a frio, devido à rapidez com que se inicia o processo de recristalização.

Este tipo de processo, à semelhança do trabalho a quente, pode ter um custo extra associado à proteção gasosa (por criação de vácuo ou utilização de gases inertes), o que não retira versatilidade, quando comparado com o processo de trabalho a quente (Dieter, 1961).

2.1.1.2. Princípio do processo – Corte

No que diz respeito ao corte, do ponto de vista da mecânica do processo, existem três momentos distintos. Num primeiro momento o punção encosta a chapa contra a matriz, esmagando o material, obrigando-o a sair pelo furo da matriz. Esta fase denomina-se por isso de esmagamento. De seguida ocorre o corte propriamente dito, em que a contínua descida do punção gera uma elevada tensão de corte no material, originando uma superfície de corte puro. No final, o material encontra-se ligado por uma porção de material muito reduzida, e não é suficiente para resistir à tensão tangencial provocada pelo punção na chapa.

⁹ Adaptado de: <http://practicalmaintenance.net/wp-content/uploads/Schematic-Representation-of-the-Cold-worked-and-Anneal-Cycle-1.jpg>

Deste modo, ocorre a rotura, havendo separação das partes metálicas por arrancamento da fração de material empurrada pelo punção. Estas três fases provocam três zonas distintas no corte, uma zona de deformação, uma de corte puro e outra de arrancamento (Brito, 1981).

A precisão deste tipo de processo, normalmente, é da ordem da décima de milímetro, e está diretamente relacionada com:

- O tipo de ferramenta utilizada;
- O guiamento da ferramenta e o estado de funcionamento da prensa;
- O estado de desgaste da ferramenta;
- A seleção da folga – para folgas radiais superiores a 15% a precisão decresce drasticamente;
- A distância entre peças ou entre a peça e o bordo da chapa.

Para além das limitações geométricas, deverá ser realizado um dimensionamento dos componentes intervenientes no processo, os punções e a matriz (Duarte, *et al.*, 2003).

Como referido anteriormente, este tipo de processo pode carecer de operações de acabamento e, como tal, lentamente tem vindo a aparecer um processo denominado corte fino ou corte de precisão, que dispensa quaisquer acabamentos, dada a sua precisão dimensional em toda a espessura da peça, reduzindo os custos de qualquer processo adicional. No corte fino é utilizada uma máquina hidráulica e uma ferramenta especial, que comprime previamente o material antes e durante o corte, nas linhas de recorte da peça através do cerra-chapas com aresta de retenção e a almofada, ou seja, são três movimentos independentes: um para o punção, outro para o cerra-chapas e outro para a almofada, o que obriga a utilizar uma prensa de triplo efeito (figura 2.7).

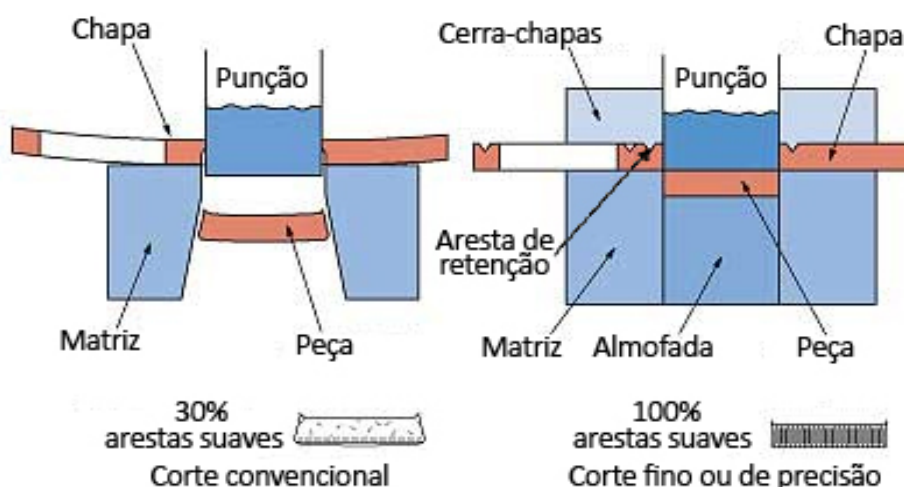


Figura 2.7 – Corte convencional vs Corte fino – componentes e acabamento ¹⁰

¹⁰ Adaptado de: http://www.dcross.co.nz/files/1374639322_Diagram%201.jpg e http://www.dcross.co.nz/files/1374639339_Diagram%202.jpg

Esta ferramenta é necessariamente mais rígida e precisa do que uma ferramenta comum, o que também faz com que seja mais dispendiosa, apesar de vir a aparecer cada vez mais nos últimos anos, sobretudo no ramo automóvel.

No corte de precisão é utilizada uma prensa especial, que tem como função comprimir o material durante toda a operação de corte, que decorre lentamente (0,2 a 1,1 m/min), mas com pressões superiores ao convencional e um décimo da folga radial entre a matriz e o punção. Como resultado, as peças apresentam rugosidades consideravelmente mais baixas (com R_a entre 0,3 e 1,5 μm), tolerâncias mais apertadas, geometrias mais complexas e uma redução das distâncias mínimas de corte.

A sua aplicação é diversificada, desde a indústria aeroespacial, à indústria têxtil, passando pela indústria automóvel, mas o corte fino não deve ser encarado como um substituto do corte convencional, mas sim como complementar, uma vez que representa um custo duas a três vezes superior e tempos de execução 30 a 80% mais elevados. Considerando estas particularidades, o corte fino é rentável quando é necessário produzir peças não realizáveis pelo processo convencional, eliminar operações de acabamento, ou para executar o corte de materiais de elevada dureza (tensão de rotura, R_m , entre 800 e 1100 MPa).

Conforme foi referido anteriormente, as velocidades lentas de operação, permitem que o material se escoe plasticamente, o que não provoca uma rotura da superfície de corte. Isto permite obter paredes de peças com um excelente estado superficial em toda a espessura ,como se pode observar na figura 2.8 (Rocha, et al., 1990).



Figura 2.8 – Pormenor de acabamento – corte fino vs corte convencional ¹¹

¹¹ Adaptado de: <http://precomp.se/en/technology/technology-areas/fineblanking>

O processo de corte fino divide-se em seis partes distintas (figura 2.9):

a) Alimentação da banda. A corrediça do punção e do cerra-chapas estão no ponto morto superior, abrindo espaço livre para o avanço da banda, entre o punção e a matriz.

b) Compressão da banda. O punção e o cerra-chapas comprimem o material contra a matriz e a almofada, fazendo com que a aresta de retenção penetre na chapa, comprimindo a banda em toda a sua extensão.

c) Corte da peça. O punção desloca-se através da chapa, parando no limite correspondente à espessura da mesma, não penetrando a matriz. Nesta fase as forças exercidas pela almofada e pelo cerra-chapas mantêm-se constantes.

d) Separação da banda. Após a conclusão do corte, a corrediça do punção recua, separando-se da banda.

e) Libertação da banda. O cerra-chapas recua e liberta a banda.

f) Extração da peça. A banda avança e a peça que se encontrava no interior da matriz é extraída pela almofada.

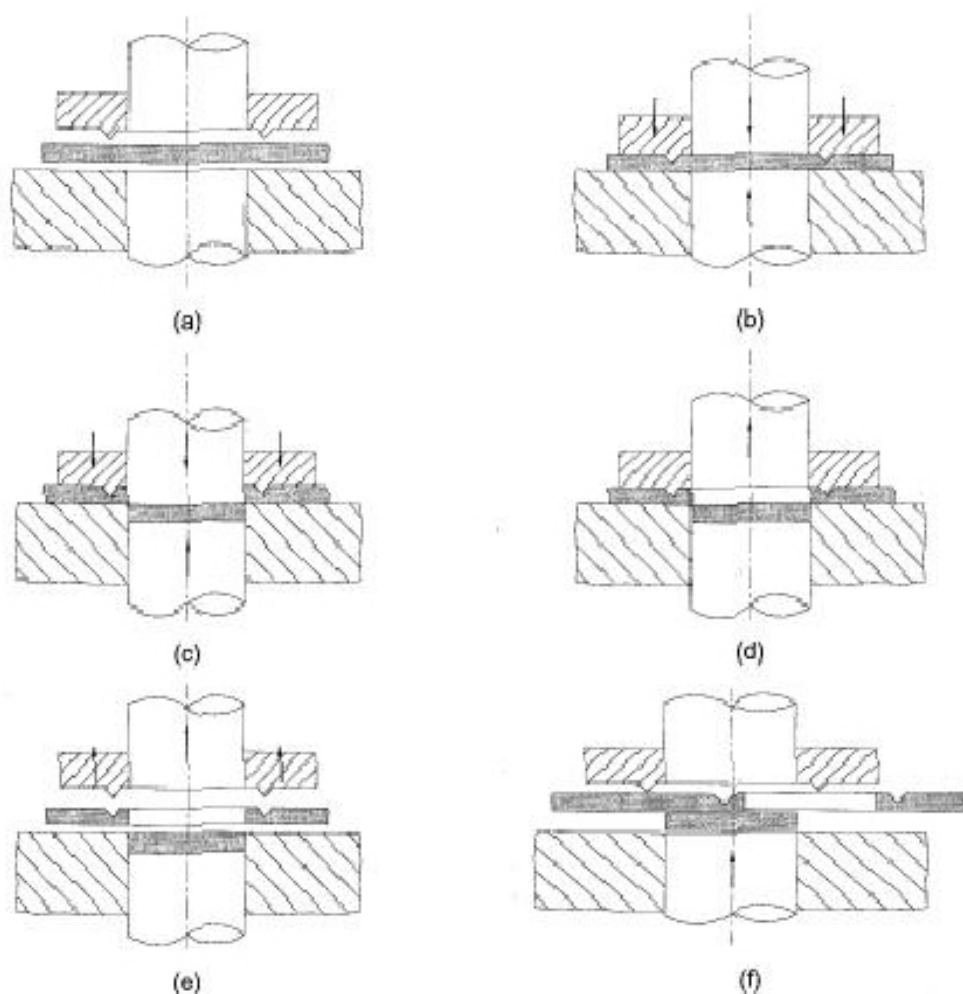


Figura 2.9 – Sequência de operações no processo de corte fino ¹²

¹² Retirado de: http://wiki.ued.ipleiria.pt/wikiEngenharia/images/6/65/Cort_prec.jpg

O corte fino apresenta algumas limitações construtivas que, apesar de serem menos do que no corte convencional, podem ser igualmente problemáticas e, como tal, devem ser consideradas. Em toda a aresta de corte, existe a tendência para surgir o chamado “raio de corte”, ou seja, um dos bordos da superfície de corte fica arredondado, sendo que este fenómeno tende a aumentar proporcionalmente com a espessura da peça, com a redução da dureza do material e ainda com a existência de ângulos agudos na aresta de corte. O usual é este bordo arredondado ser cerca de 10 a 20% da espessura da chapa, podendo chegar a 30% em situações mais adversas. Outra das limitações do processo é a obtenção de zonas salientes e reentrantes com ângulos vivos. Estas zonas deverão assim conter raios de concordância que nunca deverão ser demasiado pequenos, sob pena de provocar fissuração nas paredes das peças e um desgaste exagerado dos punções. Posto isto, o raio de concordância mínimo deverá ter em conta a espessura, as características físicas e mecânicas, e as propriedades metalúrgicas.

Apesar de as distâncias mínimas entre eixos, ou seja, entre duas aberturas, serem inferiores à do corte convencional, a dimensão de corte mínima está limitada a 60% da espessura da chapa, o que ainda assim é superior à operação convencional, que se encontra limitada ao valor da espessura da chapa. Ou seja, numa chapa de 10 mm, o menor furo possível de realizar, ou a distância mínima ao bordo da peça, é de 6 mm.

Para além das limitações construtivas, o processo encontra-se limitado ao nível de materiais a cortar, dependendo das propriedades físicas, químicas e estruturais dos mesmos. Para obtenção de bons resultados, os aços deverão ter um teor de carbono inferior a 0,7%, a tensão de rotura, R_m , deverá estar entre 300 e 600 MPa, a estrutura deverá ser de forma globular e grão fino e a espessura da chapa deverá estar compreendida entre 0,3 e 15 mm (Rocha, *et al.*, 1991).

2.1.2. Variantes dos processos de conformação e de corte

A aplicação dos processos de corte e conformação é bastante diversificada, como tal, existem algumas variantes do processo, dependentes do tipo de forças que são aplicadas durante o mesmo e do tipo de produto a obter, que se enquadram nas seguintes categorias:

1. Laminagem – Consiste em fazer passar metal por dois rolos fazendo com que este deforme plasticamente, podendo ser realizado a frio ou a quente. É o processo de fabrico de metais mais utilizado, uma vez que permite uma elevada reprodutibilidade e cadência. Os rolos provocam elevadas tensões de compressão, assim como elevadas tensões de corte na superfície, devido à fricção entre eles e o metal. Em casos mais complexos, este processo permite obter barras e perfis de forma irregular (Bresciani, 2011).

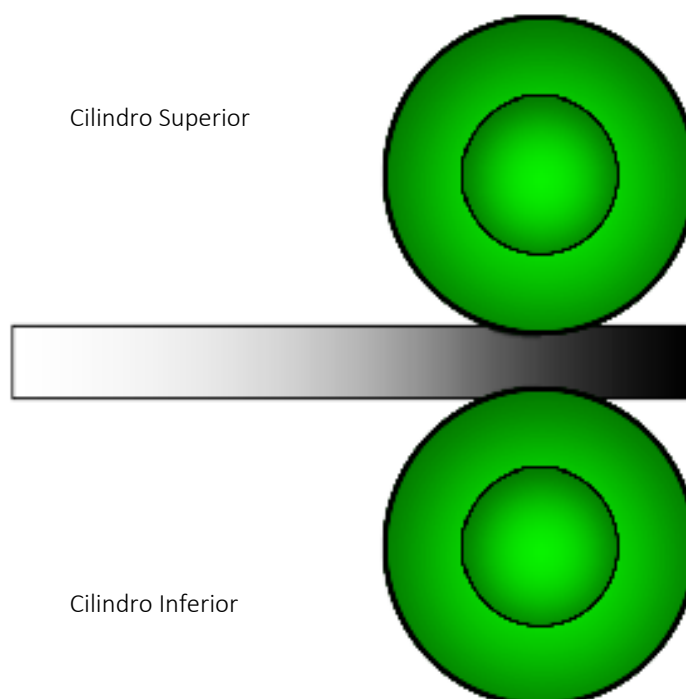


Figura 2.10 – Princípio do processo de Laminagem ¹³

¹³ Adaptado de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA6pwAF/processos-fabricacao>

2. Forjamento – É um processo de obtenção de peças metálicas com base na aplicação de pressão e que pode ocorrer a quente ou a frio. O forjamento pode realizar-se em matriz aberta (Figura 2.11) para peças de geometria mais simples, de grandes dimensões ou para reduzidas cadências, ou então em matriz fechada (Figura 2.12) para peças com tolerâncias mais apertadas, ou fabricadas em grandes séries. Neste caso, as peças são geralmente maquinadas antes de serem colocadas na matriz, para facilitar um correto posicionamento na mesma (Brito, 2005).

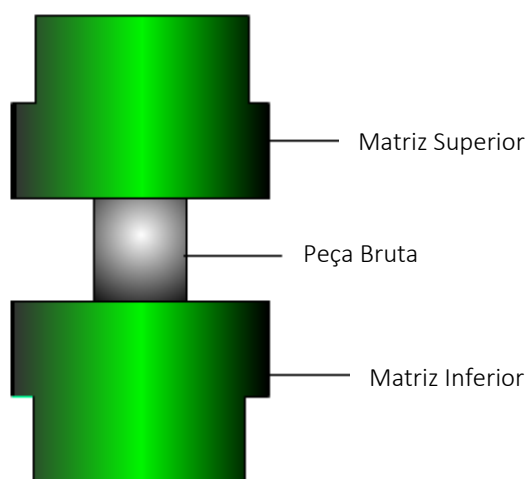


Figura 2.11 – Princípio do processo de Forjamento em Matriz Aberta ¹⁴

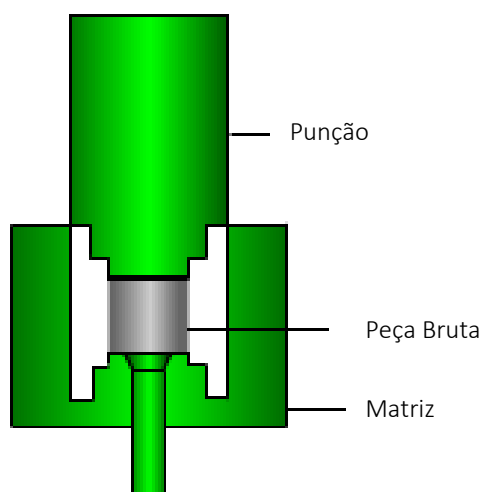


Figura 2.12 – Princípio do processo de Forjamento em Matriz Fechada ¹⁵

¹⁴ Adaptado de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6pwAF/processos-fabricacao>

¹⁵ Adaptado de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6pwAF/processos-fabricacao>

3. Extrusão – Consiste em fazer passar um bloco de metal por uma fieira, reduzindo a sua secção sob elevada pressão. Permite obter barras cilíndricas ou tubos mas, dependendo do material, pode ser possível extrudir formas mais complexas. Normalmente, para facilitar o processo, o metal é extrudido a temperaturas altas, reduzindo a sua resistência à deformação. A extrusão pode ser direta (Figura 2.13) ou inversa (ou indireta) (Figura 2.14), dependendo se a saída de material se dá no sentido do movimento do êmbolo, ou no sentido contrário. Normalmente, na extrusão inversa, o que se verifica é que o punção fica estático, enquanto a matriz avança com o material no seu interior. Isto reduz a força provocada pela fricção entre o material e a parede da matriz, uma vez que não há movimento relativo entre eles (Rossi, 1979).

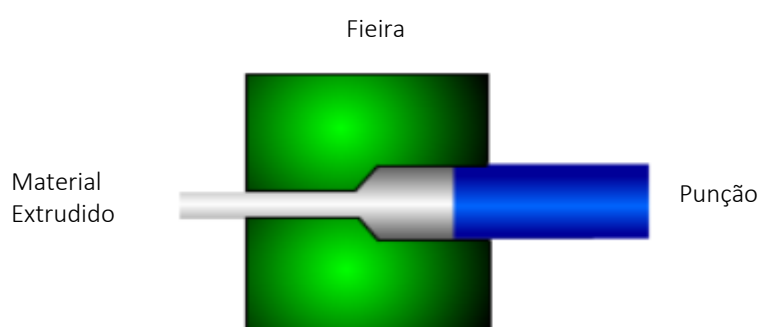


Figura 2.13 – Princípio do processo de Extrusão Direta ¹⁶

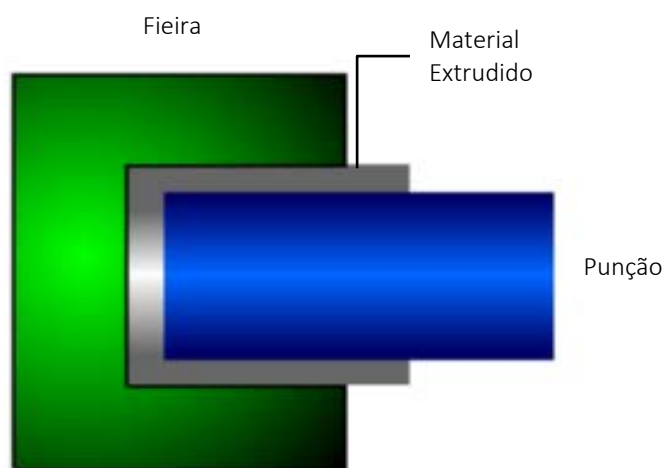


Figura 2.14 – Princípio do processo de Extrusão Inversa ¹⁷

¹⁶ Adaptado de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA6pwAF/processos-fabricacao>

¹⁷ Adaptado de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA6pwAF/processos-fabricacao>

4. Quinagem – É um processo que permite obter geometrias planificáveis (cilíndricas, cónicas ou prismáticas) deformando plasticamente uma chapa. A máquina onde o processo é realizado, denominada por quinadora, caracteriza-se por possuir uma mesa comprida e estreita, onde é possível acoplar uma grande variedade de ferramentas. Aplica-se sobretudo a pequenas séries de fabrico, apesar do avanço tecnológico permitir que se integre à produção em série.

Um dos principais parâmetros deste processo consiste no raio de curvatura da chapa quinada. Para raios de curvatura muito reduzidos (quando comparados com a espessura da chapa) poderão surgir valores muito elevados de tensões tangenciais nas fibras do raio exterior da chapa (raio maior), podendo ocorrer fissuração ou até mesmo fratura da chapa. Deste modo, é habitual definir um raio mínimo, dependente da espessura da chapa, que se caracteriza por ser o menor raio que é possível realizar na dobra de uma chapa de um determinado material, sem que este fissure a sua superfície exterior (Rodrigues, *et al.*, 2010).

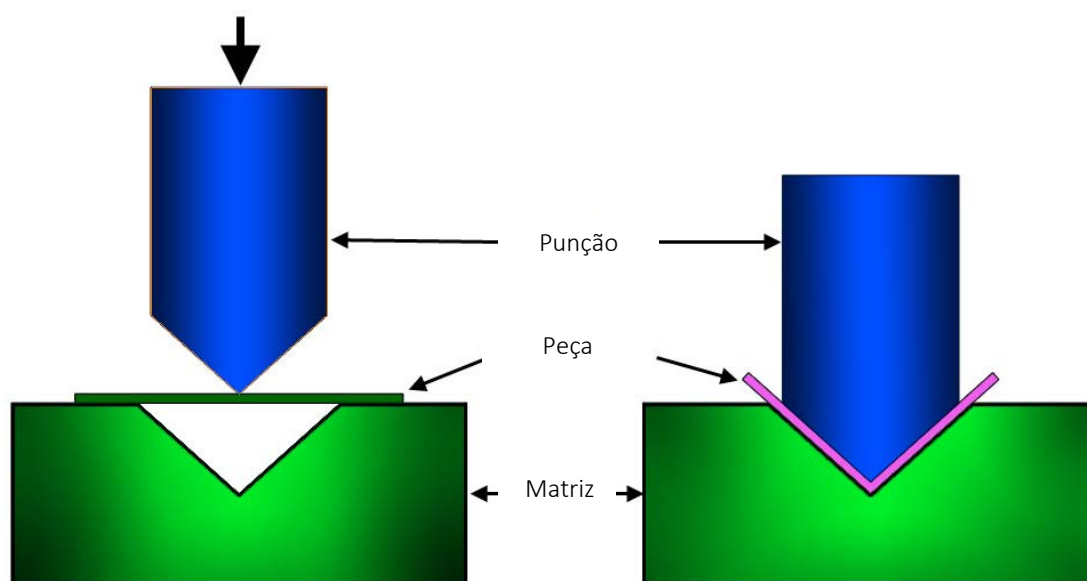


Figura 2.15 – Princípio do processo de Quinagem ¹⁸

¹⁸ Adaptado de: <http://msvs-dei.vlabs.ac.in/images/SheetMetal/bending.jpg>

5. Corte em prensa – É um processo onde uma chapa metálica sofre separação através do movimento relativo de duas lâminas. Basicamente, é provocada uma deformação plástica entre as arestas de corte, provocando a rotura da chapa, propagando-se de forma a separar completamente o material. Entre as arestas de corte existe uma folga (uma das variantes mais importantes deste processo) que depende do material e do seu estado, deverá estar compreendida entre um intervalo que otimize a força necessária para o corte e a qualidade conseguida por este. Para materiais mais frágeis, a folga deverá ser menor, uma vez que a sua deformação plástica é menor; para materiais mais dúcteis, como é necessária uma maior deformação plástica para atingir rotura, a folga deverá ser maior, assim como a penetração do punção (Rocha, et al., 1990).

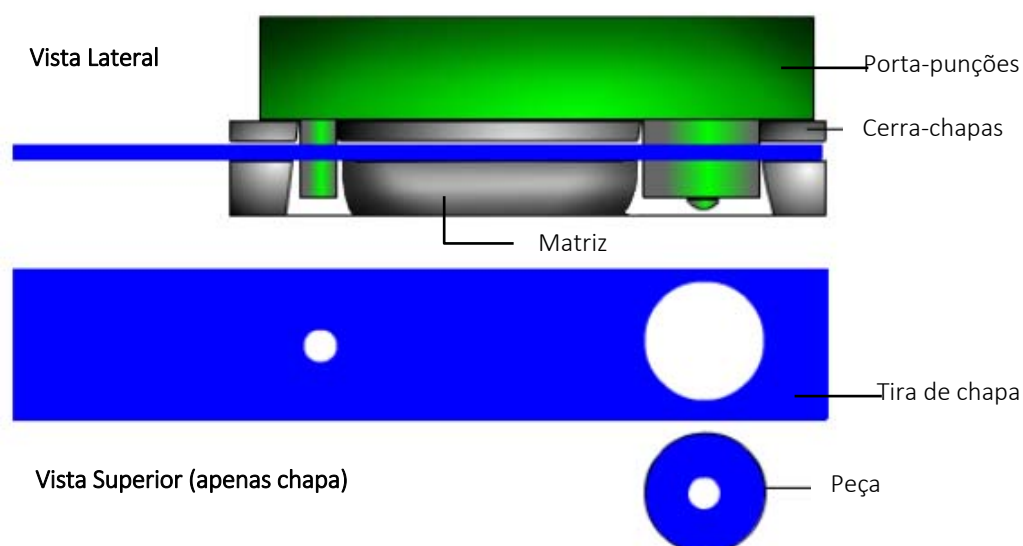


Figura 2.16 – Princípio do processo de Corte em prensa ¹⁹

¹⁹ Adaptado de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA6pwAF/processos-fabricacao>

6. Trefilagem – É um processo um pouco semelhante à extrusão que permite obter barras, tubos e cabos mas, em vez do material ser comprimido contra uma fieira, é tracionado, e a fieira (habitualmente em carboneto de tungstênio para prolongar a sua vida útil) normalmente tem uma forma cônica.

Ao atravessar a fieira o diâmetro do material vai diminuindo, enquanto que o seu comprimento vai aumentando, obtendo um produto com excelente controlo dimensional e bom acabamento superficial (Rodrigues, et al., 2010).

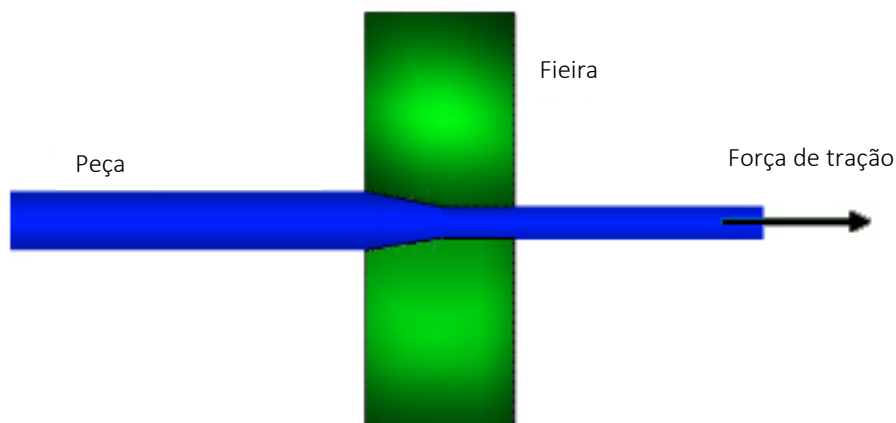


Figura 2.17 – Princípio do processo de Trefilagem ²⁰

7. Embutidura – Consiste em criar formas de relevo a partir de uma chapa plana. A chapa plana é colocada sobre a matriz e pressionada por um punção de maneira a conferir a forma desejada, deformando plasticamente a chapa (Brito, 2005).

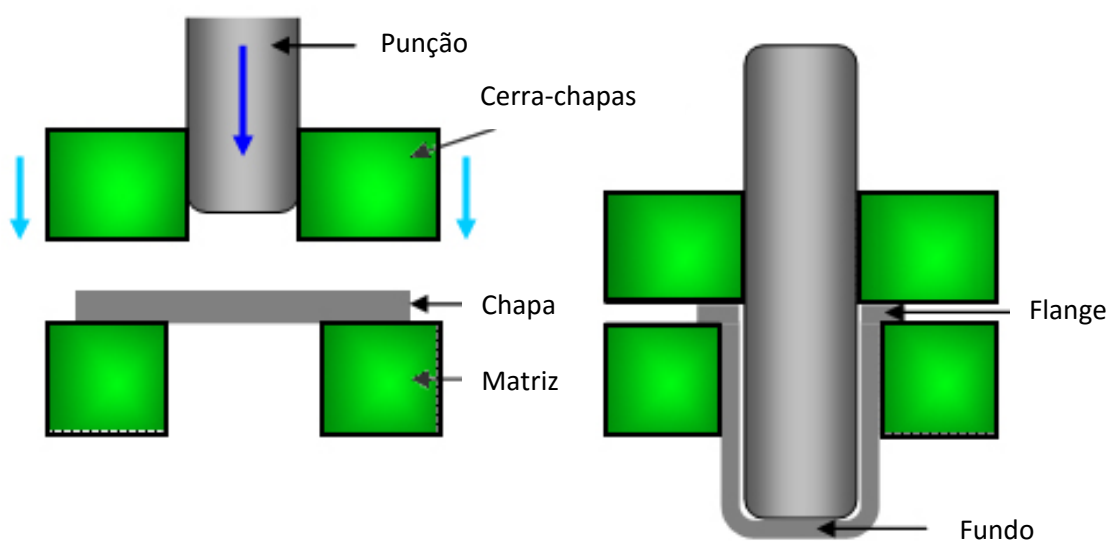


Figura 2.18 – Princípio do processo de Embutidura ²¹

²⁰ Adaptado de: <http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?w=&h=&cache=cache&media=drawing.png>

²¹ Adaptado de: <http://deepdrawing-natlmfg.blogspot.pt/>

2.1.3. Tipos de prensas

Para realizar o corte nas ferramentas é necessário fornecer a força necessária para vencer a resistência da chapa. Essa força é conseguida por intermédio de prensas, responsáveis pelo movimento vertical das corrediças. As prensas, genericamente, são compostas por uma estrutura de montantes ou então por colunas que ligam a parte superior e a parte inferior, denominadas por capitel e mesa, respetivamente, possuindo ainda um ou mais carros móveis. Distinguem-se primeiramente pela sua forma de atuação, que pode ser do tipo mecânico, pneumático, ou hidráulico (figura 2.19). Dentro dessa classificação, podem ainda ser subdivididas em função dos seus movimentos, dependendo do número de carros móveis, em prensa de simples efeito, que apenas realiza um movimento na direção da mesa (mais usual), de duplo efeito, que tem dois carros móveis que se deslocam em direção à mesa ou ainda triplo efeito, na qual é adicionado um carro móvel, mas que se move na direção oposta, em direção aos outros dois carros móveis. Isto permite, por exemplo, efetuar estampagem inversa, enquanto os outros dois carros móveis estão parados. Dependendo ainda da direção do movimento dos carros móveis, as prensas podem ser classificadas em atuação vertical ou horizontal (Rodrigues, *et al.*, 2010) (Silva, 2004).



Figura 2.19 – Prensa mecânica (à esquerda) e prensa hidráulica (à direita) ²²

²² Adaptado de: <http://catalog.wlimg.com/1/51662/full-images/c-type-mechanical-press-machine-1108954.jpg> e <http://cfnewsads.thomasnet.com/images/large/012/12395.jpg>

No que respeita à estrutura, as prensas podem ser classificadas em, montantes direitas, “colo de cisne”, colunas e mesa ajustável (Figura 2.20). As prensas de montantes direitas são mais apropriadas para capacidades elevadas (geralmente acima das 400 ton.) ou elevadas cadências (300/400 golpes por minuto). As prensas em “colo de cisne” são mais baratas que as anteriores e possuem melhor acessibilidade à mesa da prensa, uma vez que não existem montantes a obstruir o caminho (Rodrigues, *et al.*, 2010).



Figura 2.20 – Prensa de montantes direitas (à esquerda) e prensa em colo de cisne (à direita) ²³

Relacionada às suas funções, a prensa pode ainda ser classificada como prensa para cortar e embutir; prensa para dobrar e puncionar, e ainda, prensa de forjamento. Por fim, pode também classificar-se pelo seu comando: prensa de balancé manual; prensa de fricção; prensa de excêntricos (mais usual); prensa de cambota e prensa de rótula.

Para seleccionar a prensa correta é preciso determinar a força necessária para realizar o corte, a dimensão da ferramenta, o curso necessário e o modo de trabalho (Silva, 2004; Suchy, 2006).

²³ Adaptado de: <http://www.jp-mf.com/produtos/prensas-mec/>

2.1.4. Conceitos ligados ao projeto de ferramentas

O projeto de ferramentas engloba uma série de fases/operações que se dividem essencialmente em:

1. Definição das dimensões do material;
2. Definição da matriz;
3. Definição do punção de corte;
4. Definição dos punções de perfuração ou puncionamento;
5. Configuração da placa porta-punções;
6. Definição dos furos-piloto;
7. Configuração das guias da banda de chapa;
8. Definição do esbarro manual;
9. Definição do esbarro automático;
10. Definição do extrator ou placa-guia;
11. Definição dos elementos de ligação;
12. Estabelecimento dos elementos de guiamento da ferramenta;
13. Desenho cotado da ferramenta;
14. Lista de material;

Para além dos pontos acima referidos, o projetista deste tipo de ferramentas deve ter em atenção o dimensionamento no que respeita à geometria, respeitando as distâncias mínimas na banda de chapa (distâncias mínimas entre operações, distância aos bordos da chapa e entre peças), tendo sempre em mente a utilização racional da chapa. Os punções e as matrizes, componentes críticos destas ferramentas, devem ser dimensionados de acordo com sistemas de cálculo analíticos e ainda através de gráficos e ábacos.

Sempre que possível, o projectista deverá considerar a utilização de componentes normalizados, de modo a baixar o custo e tornar o projecto de mais fácil execução.

Uma maneira simples de garantir uma utilização proveitosa da chapa é, por exemplo, recortar vários modelos da peça em cartolina e experimentar várias disposições, de modo a reduzir ao mínimo os desperdícios de chapa, facilitar as operações de corte e ainda conseguir melhor qualidade. Por vezes, pode justificar-se a alteração da geometria da peça para atingir um melhor aproveitamento de chapa.

Dimensionamento do punção

Para o dimensionamento dos punções, deverá ser verificado o risco de encurvadura, recorrendo para tal à fórmula de *Euler* (sendo L_0 , o comprimento característico de encurvadura, em mm; E , o módulo de Young, em MPa (= N/mm²); I , o momento de inércia, em mm⁴; F_c , (força de corte, em N) , de onde pode ser deduzida a seguinte expressão:

$$L_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{F_c}} \quad (1)$$

Esta expressão permite definir o valor do comprimento máximo característico de encurvadura, que se relaciona com o comprimento efetivo do punção, L , igualmente em mm. Diversos autores sugerem factores de relação entre L_0 (que é um comprimento fictício) e L (comprimento efetivo):

- Osmar de Brito (1981) considera que se deve considerar $L = L_0$ sempre que o índice de esbelteza, λ , seja superior a 100 (unidade adimensional). No caso de ser utilizada placa extractora, L_0 deverá ser multiplicado por $\sqrt{2}$, ou seja:

$$L = \sqrt{2}L_0 \quad (2)$$

- o índice de esbelteza é dado por (sendo A , a área do punção, em mm²):

$$\lambda = L_0 \sqrt{\frac{A}{I}} \quad (3)$$

- De forma mais conservadora, Provenza (2001) sugere metade do comprimento, ou seja:

$$L = \frac{L_0}{2} \quad (4)$$

- No caso de ser utilizada placa extractora, L_0 deverá ser dividido por 0,75.

- Em qualquer um dos casos, deverá ser sempre considerado um fator de segurança generoso, tendo em conta a importância deste componente e os danos que a sua rotura provoca.

Dimensionamento da matriz

No dimensionamento da matriz, o cálculo não é tão linear, dependendo dos seguintes fatores:

- forma de extração das peças;
- altura mínima da matriz determinada pelo esforço de corte;
- altura da zona activa da matriz, que por sua vez depende dos materiais a cortar, da capacidade de produção desejada e da folga dada no projecto.

Nos casos em que a matriz esteja totalmente apoiada e o material a cortar apresente uma tensão de rotura de no máximo 600 MPa, é possível recorrer ao gráfico 2.3, que permite calcular a altura da matriz, tendo como dados apenas o perímetro de corte e a espessura da chapa a cortar.

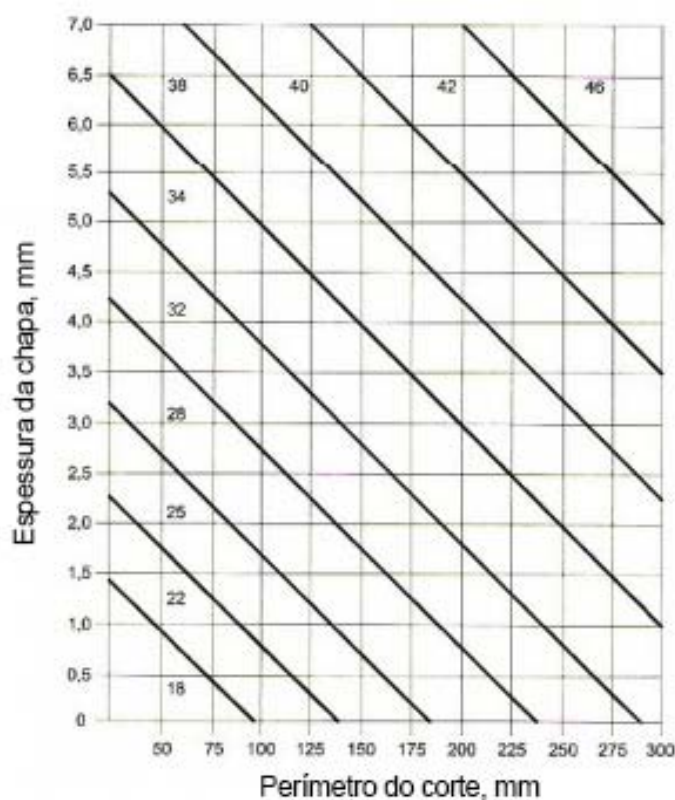


Gráfico 2.3 – Ábaco de cálculo da espessura da matriz ²⁴

Em alternativa, poderá ser usado um método analítico mais abrangente, consultando para tal a figura 2.21 para definir o tipo de situação, que tem como variáveis a força de corte, F_c (em N), a distância de aplicação da força (espessura da chapa), L , a largura (b) ou diâmetro da matriz (d) – sendo todas estas dimensões em mm, e ainda a tensão admissível da chapa, σ_{adm} (em MPa).

²⁴ Retirado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica*, Vol. 1. 2003.

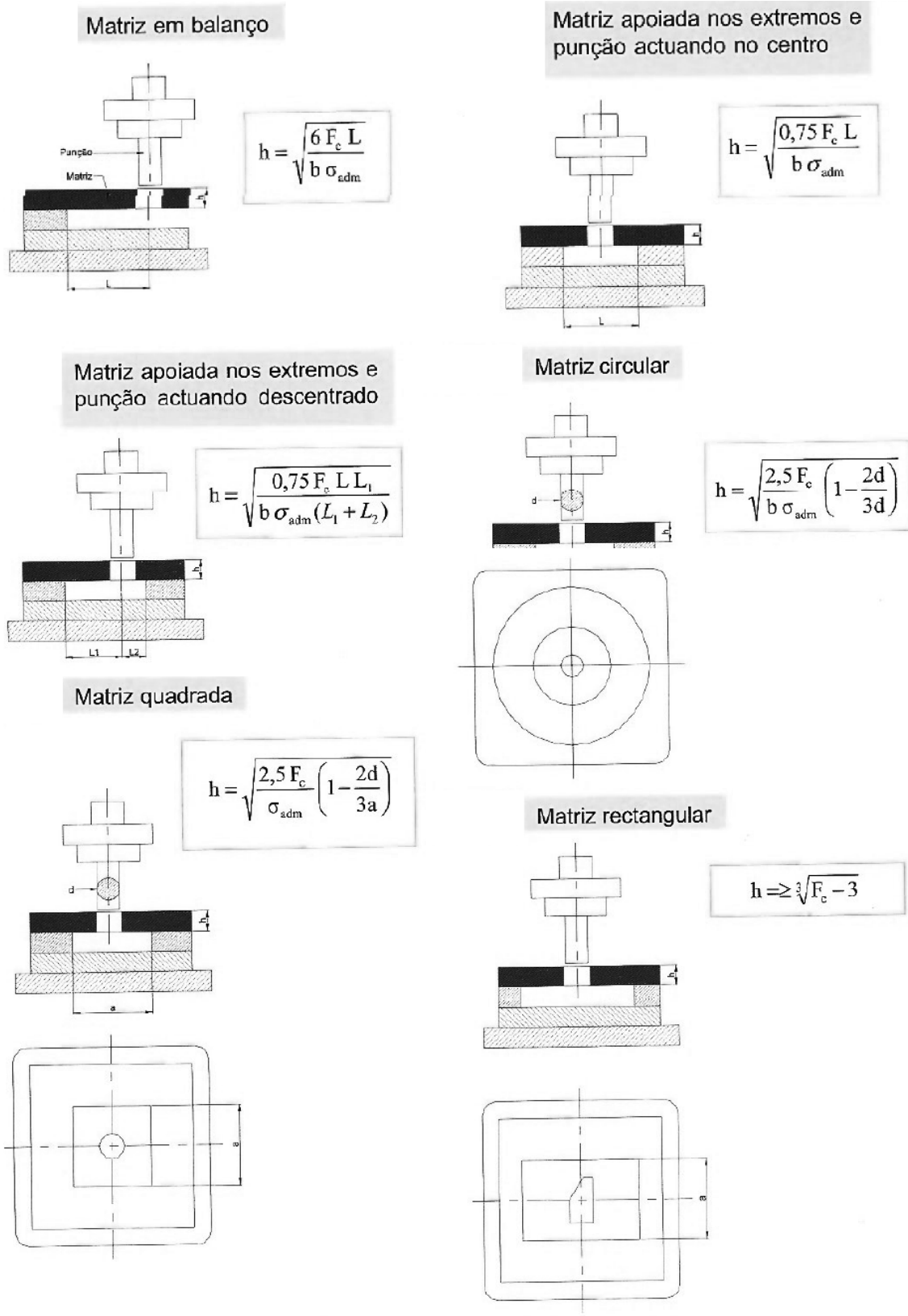


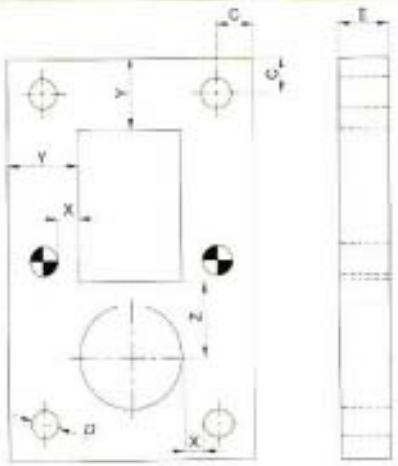
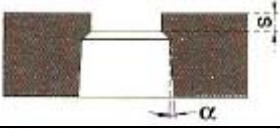
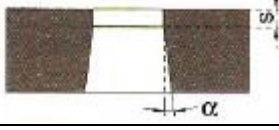
Figura 2.21 – Cálculo da espessura da matriz em função do tipo de matriz e esforços aplicados ²⁵

²⁵ Retirado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica, Vol. 1.* 2003.

Por último, antes de definir as folgas, resta dimensionar a placa da matriz, recorrendo para tal à tabela 2.2, onde é possível determinar também as dimensões das colunas guia (diâmetro, D) e a sua posição (C), assim como distâncias à extremidade da placa da matriz (Y) e a sua espessura (E) – sendo todas estas dimensões em mm.

Como dados de entrada na tabela 2.2, estão o perímetro de corte (P) e a espessura da chapa a cortar (e) – com ambas as dimensões em milímetros, o ângulo de saída (α) e a força de corte, F (em N).

Tabela 2.2 – Definição das folgas e dimensões da placa da matriz ²⁶

D	3 – 6	60 – 12	12 – 20					
X	6	10	13					
F (ton)	10	15	20	20	50	90	120	
E (mm)	16	16	22	28	34	40	46	
C (mm)	9 – 10	12 – 13	14 – 15	17 – 18	21 – 23	29 – 30	34 – 35	
C' (mm)	11 – 12	14 – 15	17 – 18	21 – 22	26 – 27	36 – 37	41 – 42	
Y (mm)	1,2 a 3 x E para matrizes pequenas			Obs: Para matrizes inteiriças ou encaixadas pode-se tomar 0,8 x E				
Z (mm)	2 a 3 x E para matrizes grandes $\alpha \times e$ (e = espessura da chapa em mm)							
				e – Espessura da chapa, mm				
Valores de α				0,2 – 0,5	0,8 – 1	0,2 – 0,5	1,2 – 1,5	2,8 – 3,5
P , perímetro de corte (mm)	16	4 – 10	2,5 – 3	1,7 – 2	1,2 – 1,5	0,8 – 1		
	30	5 – 13	3 – 4	2 – 3	1,5 – 1,8	1,4 – 1,5		
	60	6 – 15	4 – 5	3 – 3,5	2,2 – 2,6	1,8 – 2		
	100	8 – 20	5 – 6	4 – 4,2	3 – 3,5	2 – 2,5		
	150	10 – 25	6 – 7	4,5 – 5	3,2 – 4	2,8 – 3		
	200	15 – 30	7 – 8	5 – 6	3,8 – 5	3,5 – 4		
300	15 – 35	7,5 – 9	5,5 – 6,5	5 – 6,2	4 – 4,6			
Tipo de Saída				Espessura da chapa, mm	Altura da zona ativa, s	Ângulo, α	Aplicações	
				<2	2 x e	0° – 30	Para corte de chapas mais macias	
				>2	1 x e	1°		
				<2	2 a 3 x e	2°	Para corte de chapas mais duras	
				>2	1 a 2 x e	3°		

²⁶ Adaptado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica*, Vol. 1. 2003.

Dimensionamento das folgas

A seleção da folga punção/matriz é um dos parâmetros mais importantes no processo de corte, tendo uma relação direta com a qualidade e o aspeto do produto, bem como a duração das ferramentas. Uma folga exagerada poderá provocar demasiadas rebarbas, acompanhadas por um ângulo de rutura grande, sinal de que a separação se está a dar essencialmente por arrancamento. No caso contrário, em que a folga é reduzida, o desgaste da ferramenta será acentuado. O ideal é a folga entre o punção e a matriz estar compreendida entre os 5 e os 13% da espessura da chapa. Caso se pretenda recortar a peça (separação da peça da banda de chapa), a folga deverá ser dada no punção, isto é, a matriz fica com a dimensão nominal; caso se pretenda efetuar um furo na banda de chapa, o punção fica com a dimensão nominal e a folga é dada na matriz.

Como se pode ver no gráfico 2.4, a folga a dar entre o punção e a matriz deverá aumentar de acordo com o aumento da espessura (em mm) e a resistência ao corte, R_c (em MPa), que expressa a força, F_c (em N) necessária para provocar corte numa determinada área de chapa, definida pelo perímetro de corte multiplicado pela espessura da chapa (ambas as dimensões em mm). Geralmente, R_c é igual a 80% da tensão de rotura, σ_f , do material (em MPa).

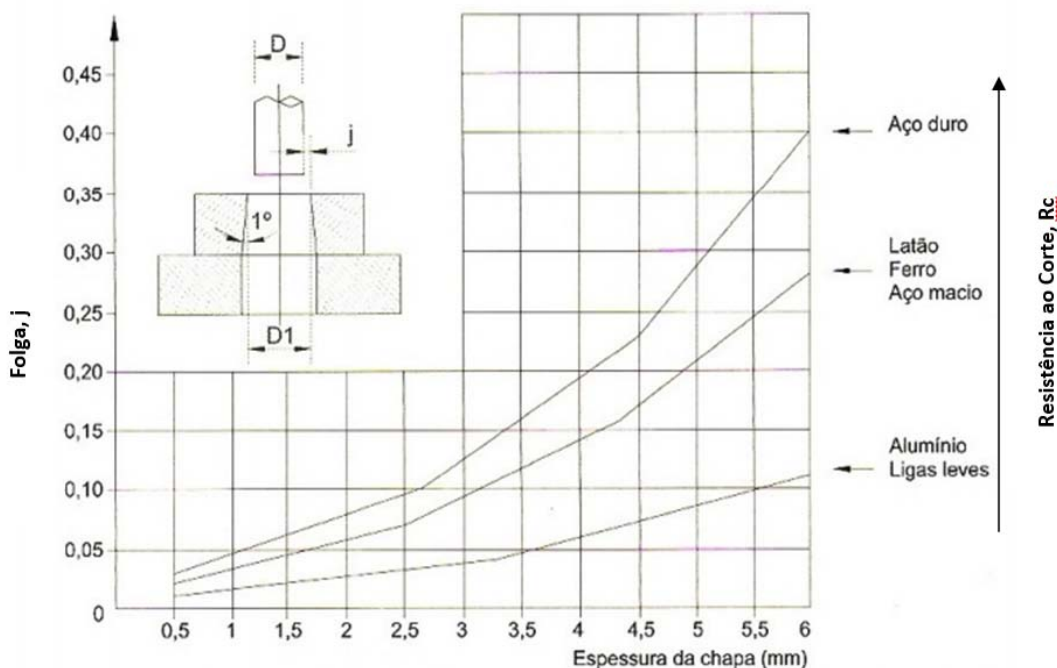


Gráfico 2.4 – Definição da folga punção/matriz em função da espessura e material da chapa ²⁷

Esta zona de folga deverá estender-se durante uma determinada altura, denominada de zona ativa, seguida de uma zona de maior folga ou com um ângulo de saída, que varia entre 2 a 3° (geralmente), para facilitar a saída das peças cortadas.

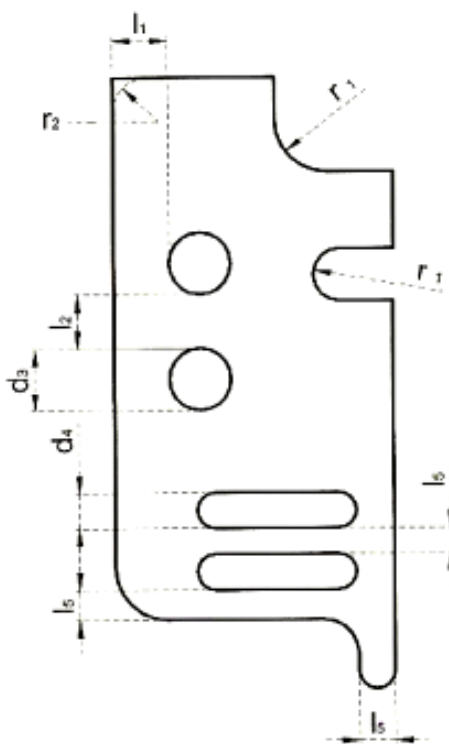
²⁷ Retirado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica*, Vol. 1. 2003.

Para além das folgas, o projeto de uma peça apresenta outras restrições geométricas, também elas dependentes do material e da espessura da chapa, mais propriamente as distâncias mínimas entre bandas de corte e a geometria das peças (Duarte, et al., 2003).

Recorrendo à tabela 2.3, é possível definir os limites geométricos da peça a realizar em função da espessura da chapa que servirá de matéria-prima.

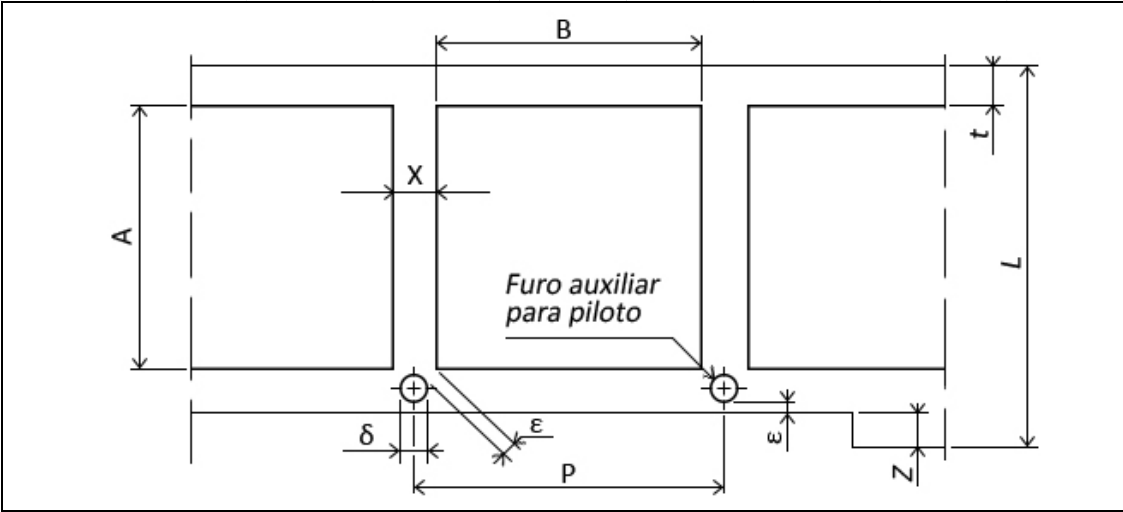
Tabela 2.3 – Limites geométricos da peça²⁸

r1	4 mm ou 2e		
r2	2e mínimo		
l1 ou l2	e < 1,5 mm	1,5 < e < 3 mm	
	Caso geral	Ferrosos	Não ferrosos
	≥ 1,6 mm	3 mm ou 1,5e	2,5e
d3	2,5 mm mínimo ou 1 vez a espessura (3 mm mínimo para ligas inoxidáveis)		
d4 ou l5	e < 0,8 mm	3 mm ou 1,5e	3 mm < e < 10 mm
	1,5 mm	2e	2,5e



De seguida, recorrendo à tabela 2.4, definem-se posições e dimensões de furos piloto e/ou de facas de avanço, assim como as distâncias entre o corte da peça final e a extremidade da chapa, assim como a distância entre peças a cortar. Desta forma, ficam definidas as dimensões da chapa a utilizar.

²⁸ Adaptado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica*, Vol. 1. 2003.

Tabela 2.4 – Distâncias mínimas de corte (em mm) ²⁹


	Espessura mm	A ou B	X	t	z	ε	δ
Aço macio, ferro, latão, bronze, fósforo, alumínio e similares	0,2 - 0,5	10	0,5	0,5 - 1,2	1,0	0,5	3,0
		10 - 30	0,5 - 1,0	1,2 - 2,0	1,0 - 1,5	0,5	3,0
		30 - 100	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	1,5 - 2,0	0,5 - 1,0	3,5
		100 - 300	2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	2,0 - 2,5	1,0 - 2,0	4,0
	0,5 - 1,0	10	1,0	1,0 - 1,5	1,5	1,0	3,0
		10 - 30	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	1,5 - 2,0	1,0	3,5
		30 - 100	1,5 - 2,0	2,0 - 3,5	2,0 - 2,5	1,0 - 2,0	4,0
		100 - 300	2,0 - 3,5	3,5 - 5,5	2,5 - 3,0	2,0 - 3,0	4,0
	1,0 - 1,5	10	1,5	2,0 - 2,5	2,5	1,5	3,0
		10 - 30	1,5 - 2,0	2,5 - 3,5	2,5	1,5	3,5
		30 - 100	2,0 - 2,5	3,5 - 5,0	2,5 - 3,0	1,5 - 2,5	4,0
		100 - 300	2,5 - 3,5	5,0 - 6,0	3,0 - 3,5	2,5 - 3,5	5,0
	1,5 - 2,0	10	2,0	2,0 - 2,5	2,5	2,0	4,0
		10 - 30	2,0 - 2,5	2,5 - 3,5	2,5	2,0	4,0
		30 - 100	2,5 - 3,5	3,5 - 5,0	2,5 - 3,0	2,0 - 3,0	5,0
		100 - 300	3,5 - 5,0	5,0 - 6,0	3,0 - 3,5	3,0 - 4,0	6,0
	2,0 - 3,0	10	3,0	3,0 - 3,5	3,5	3,0	5,0
		10 - 30	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0	3,5 - 4,0	3,0	5,0
		30 - 100	3,5 - 4,5	4,0 - 5,0	4,0 - 4,5	3,0 - 4,5	6,0
		100 - 300	4,5 - 6,0	5,0 - 6,0	4,5 - 5,0	4,5 - 6,0	8,0
	3,0 - 5,0	10	5,0	5,0 - 5,5	5,0	5,0	3,0
		10 - 30	5,0 - 5,5	5,5 - 6,0	5,0 - 6,0	6,0	3,5
		30 - 100	5,5 - 6,0	6,0 - 8,0	6,0 - 7,0	6,0 - 8,0	4,0
		100 - 300	6,0 - 8,0	8,0 - 10,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	6,0

²⁹ Adaptado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica*, Vol. 1. 2003.

2.1.4.1. Partes principais que constituem uma ferramenta

A figura 2.22 mostra uma representação esquemática de uma ferramenta de estampagem ou corte, pois quer a finalidade seja a conformação da chapa, quer seja o corte da mesma, os constituintes principais são o punção (5) e a matriz (12), responsáveis pela atribuição de forma à chapa a trabalhar, conformando ou cortando-a. A base (13) fixa o conjunto à mesa da prensa, e elimina o choque direto entre a matriz e a mesa. O cabeçote (2) e a espiga (1) suportam todo o conjunto móvel da prensa, e esta última serve ainda de referência para o restante conjunto. Ainda associado ao punção está o porta-punções (4), responsável pela fixação dos punções no cabeçote. Para eliminar o choque direto entre o punção e o cabeçote existe a placa de choque (3) que distribui a pressão dos punções. As réguas de guia da chapa (11) possibilitam guiar a tira do material com a folga correta, de forma a permitir que a chapa deslize livremente, mas sem comprometer a precisão do corte. Para retirar a peça do interior da matriz é necessário ainda um extrator ou placa de guia (10). Do ponto de vista estrutural da máquina, constam as colunas (6) e as buchas ou casquilhos (7), os pinos (8) e parafusos de fixação (9), que permitem um encaixe e guiamento perfeitos entre punção e matriz.

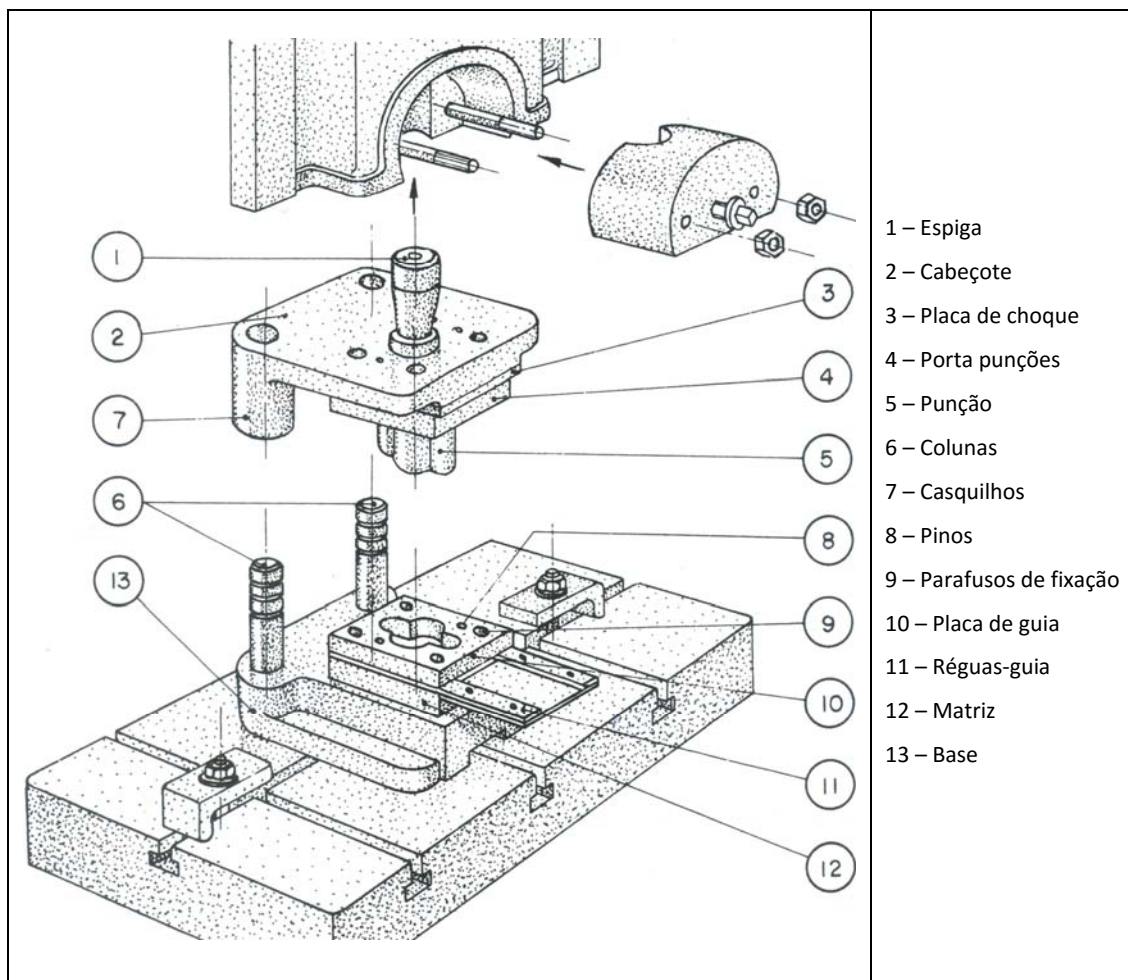


Figura 2.22 – Elementos de um ferramenta de estampagem/corte ³⁰

³⁰ Adaptado de: http://wiki.ued.ipleiria.pt/wikiEngenharia/images/0/09/Ferr_Cor.jpg

O guiamento entre o punção e a matriz pode ser assegurado de várias formas: pela prensa propriamente dita, possível em casos em que não é exigida nenhuma tolerância específica, devendo para isso a prensa estar em bom estado de funcionamento; pelo próprio elemento de trabalho, quando a placa-guia ou a placa extratora são fixas por colunas de guia ou cavilhas, permitindo o guiamento da base superior relativamente à base inferior, através do auxílio de buchas deslizantes ou casquilhos de esferas.

Após o puncionamento, a banda de chapa tende a ficar presa ao punção. Por essa razão, utiliza-se a placa de guia que, para além de extrair a banda, ainda evita a encurvadura em peças de pequeno diâmetro. Este fenómeno também pode ser evitado utilizando um cerra-chapas, que exerce uma força descendente de origem elástica (por exemplo, com auxílio de molas), devendo essa pressão ser suficiente para provocar a extração da banda quando a corrediça começa a subida.

Quando a precisão pretendida é elevada, recorre-se a duas bases guiadas, uma fixa e outra móvel, sendo que o guiamento é feito por colunas solidárias com a base inferior (fixa). As bases podem ser de ferro fundido ou aço, e habitualmente são retificadas para poder alojar os elementos integrantes da ferramenta. Este tipo de guiamento aplica-se a ferramentas progressivas (com várias operações numa só descida da corrediça) ou em operações de precisão (Brito, 2005; Rocha, et al., 1990).

No que diz respeito aos materiais, a sua seleção baseia-se nos seguintes parâmetros: tamanho e tipo de ferramenta, temperatura de trabalho e natureza do material da peça. Os componentes mais importantes, o punção e a matriz, poderão estar sujeitos a desgaste, choque e fadiga. Estes componentes devem ter uma dureza próxima, ou até superior a 60 HRC, utilizando-se para isso aços para ferramentas, por vezes, com postigos de metal duro, como carboneto de tungsténio ou então com revestimentos por PVD (*Physical Vapor Deposition* – Deposição Física em Fase de Vapor) bastante duros, como o Nitreto de Crómio (CrN), o Nitreto de Titânio-Alumínio (AlTiN) e o Nitreto de Titânio (TiN) (Balzers, 2015).

Os restantes componentes utilizam aço de baixo e médio carbono, e os mais solicitados, como molas e pinos, utilizam aços-liga comuns na construção mecânica (Grote, et al., 2008; Duarte, et al., 2003).

2.1.4.2. Princípio de funcionamento

Conforme foi dito anteriormente, o corte divide-se em três fases distintas:

1. Esmagamento – O punção, ao descer, pressiona a chapa contra a matriz, forçando-a a sair pela sua furação. São provocadas deformações elásticas, seguidas de deformações plásticas, de ambos os lados da chapa, originando uma faixa de deformação no perímetro de corte da peça;
2. Corte – Após um esmagamento inicial, a descida do punção continua, criando uma elevada tensão de corte, originando uma superfície de corte puro;
3. Rotura – A partir de determinado momento, as duas partes deformadas plasticamente separam-se, criando uma superfície de rotura.

Ou seja, inicialmente forma-se a zona de deformação, quando a chapa é forçada contra o orifício da matriz, funcionando quase como a fieira no processo de extrusão, iniciando a separação de material; seguidamente, inicia-se o corte puro, quando a espessura da parede é suficientemente reduzida; no final, a espessura de parede que ainda apresenta alguma coesão é de tal forma reduzida que acaba por ser “arrancada”, cedendo por tração (Duarte, *et al.*, 2003).

Enquanto no corte o objetivo é a separação de material, na conformação, o material sofre modificações de forma, que podem passar por dobrar, curvar, enrolar, aplainar, estampar, embutir e repuxar. Partindo de uma chapa plana, aplicando esforços de compressão e tração por intermédio de ferramentas rígidas, conseguem-se atingir variadas formas. Este processo implica uma constante intervenção entre a ferramenta, o lubrificante, o material de conformação e o equipamento (Bresciani, 2011; Schaeffer, 2004).

2.1.4.3. Tolerâncias usualmente aplicadas na construção de ferramentas

Para além de ser necessário um correto dimensionamento do punção e da matriz para obter a qualidade desejada, também é preponderante um bom ajuste entre as colunas e as buchas, uma vez que só assim se garante um bom guiamento entre a matriz e o punção. O comprimento das colunas deve ser suficientemente grande para que estas nunca saiam das buchas durante o funcionamento, quer por questões de guiamento, quer por questões de segurança.

Um bom ajustamento entre as colunas e as buchas depende de uma correta escolha da folga, ou seja, da tolerância atribuída à cota da coluna (veio) e da bucha (furo), a nível dimensional. Por outro lado, este ajustamento também depende da boa perpendicularidade da coluna com a base, cilindridade e localização dos furos, quer na base quer no cabeçote.

Do ponto de vista dimensional, analisando a tabela 2.5, o ajustamento correto deverá ser H7/g6 ou seja, o furo será sempre ligeiramente maior que a cota nominal, enquanto a bucha será sempre menor que a cota nominal, garantindo logo à partida uns micrómetros de folga. Para casos de maior precisão, a combinação mais correta é H6/g5, em que o princípio é o mesmo do caso anterior, mas as tolerâncias são mais apertadas, não permitindo folgas tão grandes (Suchy, 2006; Morais, 2007).

Tabela 2.5 – Ajuste deslizante para aplicação cuidada e de exatidão ³¹

Classe	Rotativo	Deslizante	Deslizante justo
Montagem	Fácil à mão	À mão	À mão sob pressão
Características	Para movimentos rápidos com lubrificação	Para movimentos guiados com exatidão	Para deslizamento manual ou acoplamentos
Aplicações	Interior de casquilhos Veios de êmbolos	Guiamentos	Chavetas em ligação móvel; Rodas dentadas móveis; Uniões
Mecânica			
Exatidão	H6/f6	H6/g5	H6/h5
Cuidada	H7/f7	H7/g6	H7/h6

³¹ Morais, Simões. *Desenho Técnico Básico 3*. Porto : Gráficos Reunidos, Lda., 2007.

2.1.5. Tipos de ferramentas

Dependendo da complexidade da peça a obter, e das suas formas, podem existir diferentes tipos de ferramentas que se adaptam de forma mais adequada aos objetivos pretendidos.

Desde as ferramentas mais simples, que realizam apenas uma operação, até às ferramentas mais complexas, como as progressivas, existem vários tipos de ferramenta, as quais se encontram listadas abaixo:

- Ferramentas simples;
- Ferramentas de duplo efeito;
- Ferramentas progressivas;
- Ferramentas tipo transfer;
- Ferramentas combinadas;
- Ferramentas com punções e matrizes de segmentos.

2.1.5.1. Ferramentas simples

São as ferramentas mais comuns, de ação simples, ou seja, só um movimento. São utilizadas para realizar apenas uma operação, normalmente cortes simples, em que não é necessária muita precisão ($\pm 0,2$ mm). Quando providas de almofada pneumática, permitem a sua utilização como prensas de embutir. Possibilitam também realizar o processo de *Guerin*, onde a matriz é uma almofada de borracha. O punção é fixado à base de uma prensa hidráulica enquanto a matriz fica fixa numa caixa retentora no cabeçote. Este método permite a aplicação de uma pressão aproximadamente uniforme entre a matriz de borracha e a chapa, o que possibilita produzir peças rasas flangeadas (Marcondes, 2008).

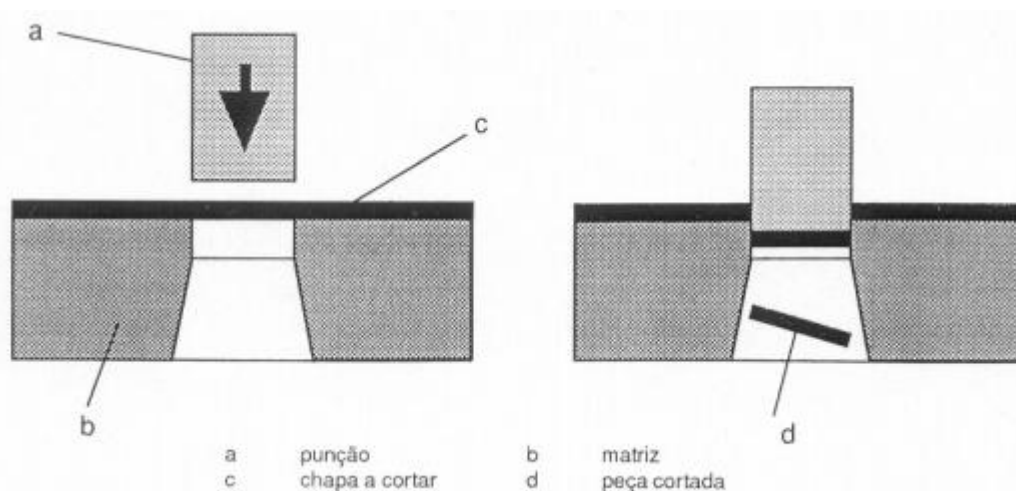


Figura 2.23 – Representação esquemática de ferramenta simples³²

³² Retirado de: http://paginas.fe.up.pt/~ee95203/porcesso_fabrico_word_files/image006.jpg

2.1.5.2. Ferramentas de duplo efeito

São ferramentas que realizam ações diferenciadas e consecutivas, utilizando para tal dois cabeçotes:

- Um cabeçote interno, cujo movimento é atrasado, onde geralmente é fixado o punção de embutir.
- Um cabeçote externo, movido por um excêntrico que aciona o cerra-chapas e o cortador, em alguns casos.

Permite fabricar, por exemplo, anilhas apenas num movimento de descida como está explícito na figura 2.24 (Provenza, 2001).

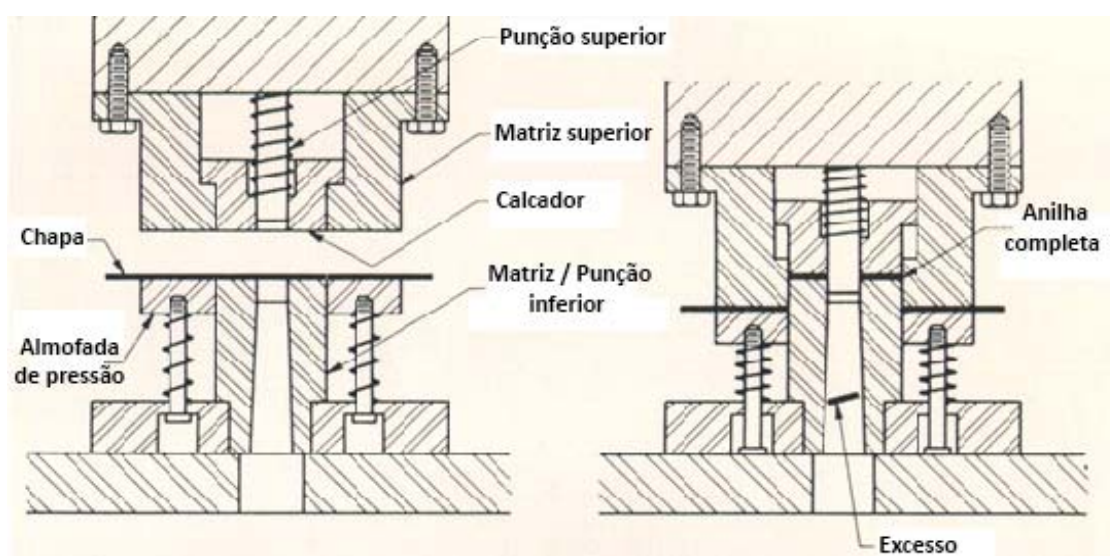


Figura 2.24 – Representação esquemática de ferramenta de duplo efeito ³³

2.1.5.3. Ferramentas progressiva

Neste tipo de ferramenta, conforme o nome indica, o processo de transformação ocorre gradualmente, realizando passo a passo etapas de corte, dobragem ou calibragem, enquanto se dá a alimentação de chapa de modo a atingir o produto pretendido.

O fornecimento de chapa pode ser feito através de tiras ou bobinas, sendo que no caso das tiras, o estudo de utilização da chapa fica limitado pelo comprimento da tira. Quando se pretende atingir uma reprodutibilidade superior, são utilizadas facas de avanço e/ou pilotos (ou centradores). No caso das facas de avanço (figura 2.25), a banda é encostada a um dos lados da guia e fixa nessa posição por intermédio de uma força de origem elástica, o que faz com que durante a descida da corrediça seja realizado um corte na extremidade da chapa, cujo comprimento determinará o passo, P , e que servirá de batente para o avanço seguinte da chapa.

³³ Adaptado de: Silva, Francisco J. G. Apontamentos - Corte em Prensa. 2003.

Para permitir um encosto correcto na face plana da banda, deverá ser realizado um entalhe adicional, de forma a que o encosto não se faça na esquina do corte (ver detalhe do batente).

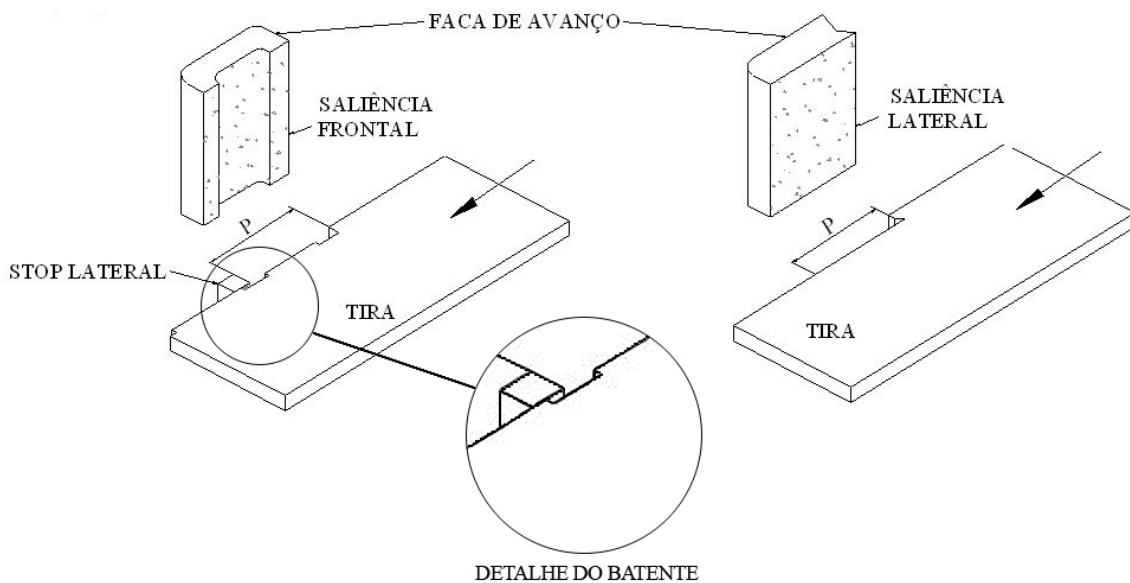


Figura 2.25 – Representação esquemática das facas de avanço³⁴

Os pilotos ou centradores permitem posicionar com rigor a tira de chapa, permitindo atingir elevados níveis de precisão. Nesta situação, aproveitam-se os cortes realizados anteriormente para fazer passar os centradores. Estes cortes tanto podem pertencer ao produto acabado, como podem ter sido realizados propositadamente para o efeito de posicionamento e encontrarem-se fora da peça (figura 2.26).

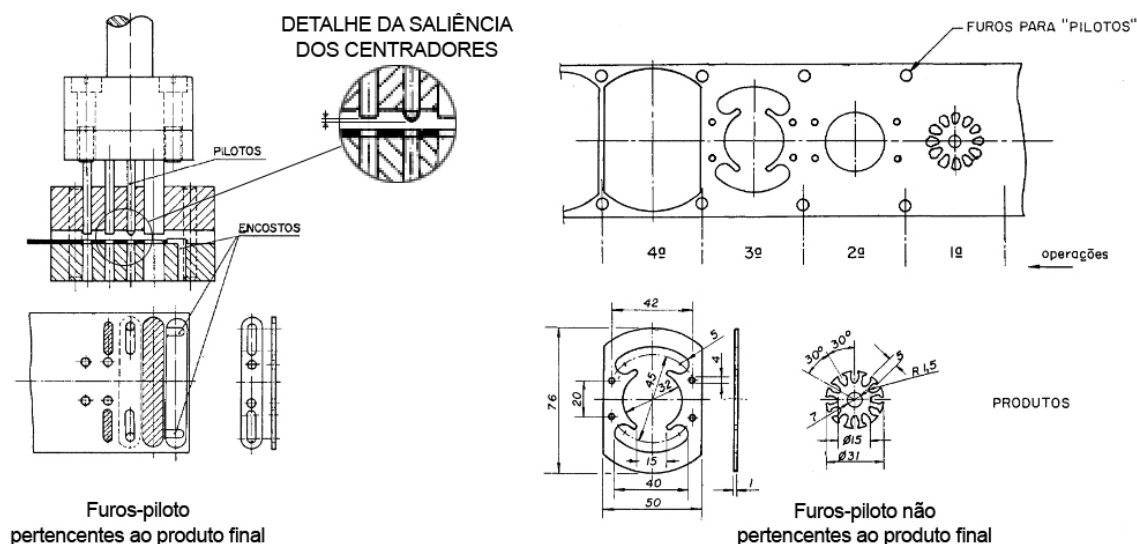


Figura 2.26 – Exemplos de utilização de centradores³⁵

³⁴ Adaptado de: http://images.slideplayer.com.br/10/2754896/slides/slide_6.jpg

³⁵ Adaptado de: Marcondes, Paulo. Projeto de Ferramentas para Conformação de Chapas. Fevereiro de 2008.

Deste modo dá-se um auto-ajuste da banda, devendo para isso, os centradores estarem colocados salientes relativamente ao plano dos punções (ver detalhe da figura 2.26), de modo a que a chapa seja alinhada sem que se inicie o contacto entre o punção e a chapa, ou seja, o corte propriamente dito.

Para evitar danos na chapa provocados pelos pilotos, dada a sua reduzida folga, na ordem da centésima de milímetro, a sua extremidade é arredondada (Marcondes, 2008).

Este tipo de ferramenta (representada na figura 2.27) integra a classe de ferramentas mais sofisticada e, por isso, representa um grande investimento, aplicando-se normalmente às médias e grandes séries, requerendo um estudo minucioso desde o início do projeto e uma elevada precisão entre os seus constituintes, permitindo recuperar facilmente o investimento dado o ganho de produtividade (Brito, 2005; Duarte, et al., 2003).

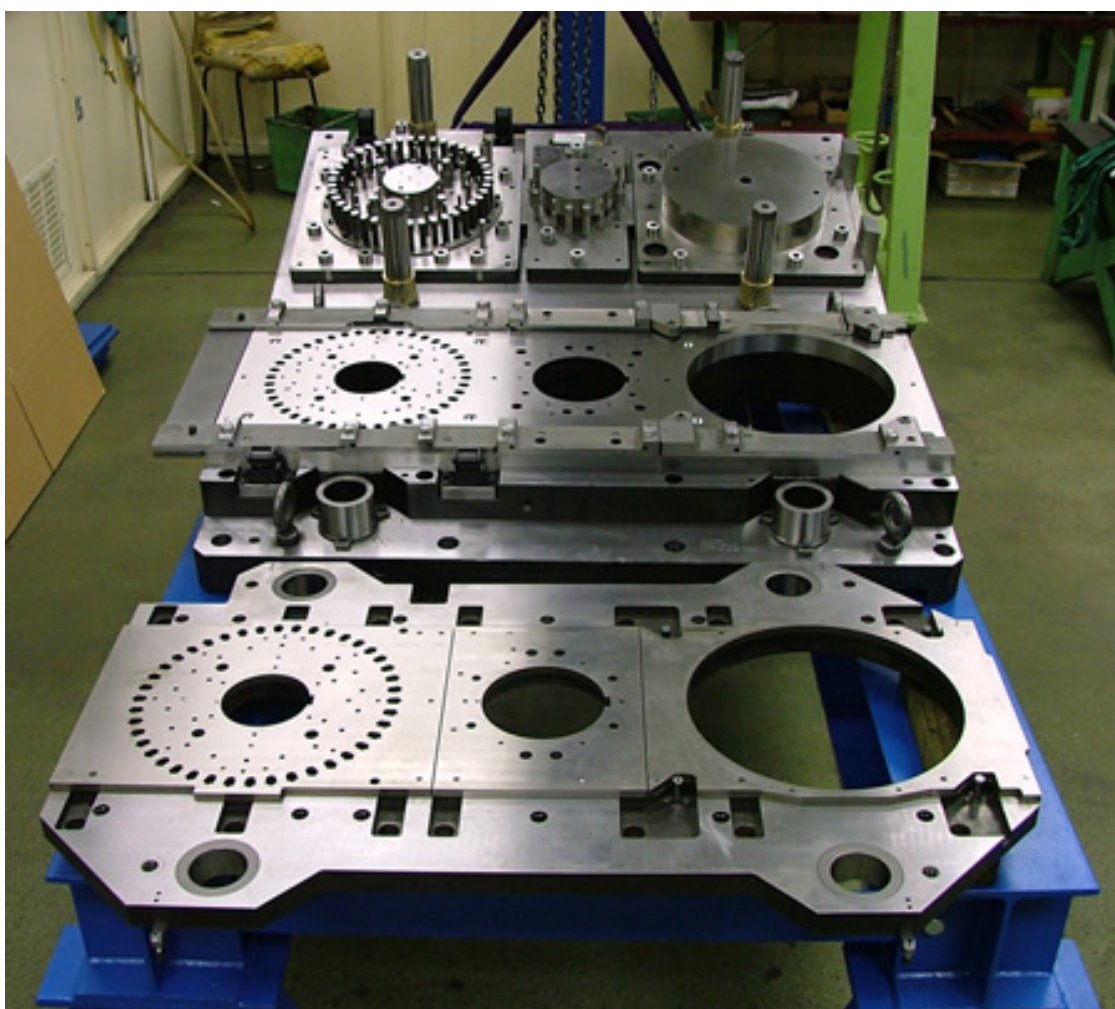


Figura 2.27 – Ferramenta progressiva ³⁶

³⁶ Retirado de: <http://mtdltd.co.uk/default/assets/Image/tooling/precisionDies.jpg>

2.1.5.4. Ferramentas tipo transfer

O funcionamento deste tipo de prensas é idêntico ao das ferramentas progressivas, mas, em vez da chapa ser colocada na ferramenta sob a forma de bobina alimentada continuamente até ser realizado o último corte, esta é separada antes (ou no início da operação) e é deslocada entre matrizes diferentes por mecanismos independentes (simultaneamente com as restantes chapas das outras etapas) para completar uma série de operações. O sistema funciona como várias ferramentas a trabalhar em série, mas utilizando como matéria-prima a peça que a ferramenta anterior produziu. Como se pode observar na figura 2.28, a ferramenta tem diferentes matrizes, uma por cada estágio da chapa. Este tipo de processo tem particular utilidade em casos onde seja necessário que a peça esteja separada da bobina de chapa para poder ser trabalhada convenientemente. É uma excelente opção para produção de peças estampadas, permitindo um custo reduzido de ferramentas, não sendo porém de fácil adaptação a peças diferentes, ou seja, a sua aplicação mais correta será para grandes séries. É um tipo de ferramenta muito utilizado na indústria automóvel, uma vez que permite trabalhar peças de grandes dimensões que necessitam de ser transferidas por várias prensas durante o seu processamento; na indústria eletrónica, para a produção de cascas e carcaças de equipamentos, e permite trabalhar vários materiais como aço, titânio, cobre e alumínio (SME, 2015; Peterson Enterprises, 2015; Suchy, 2006).

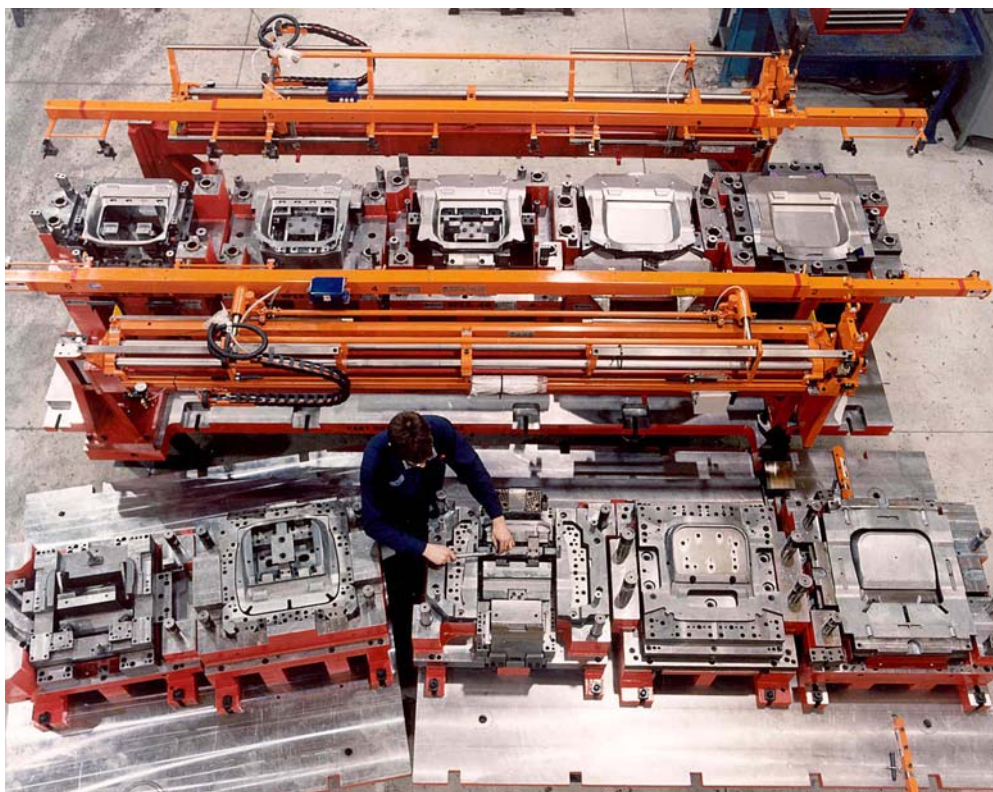


Figura 2.28 – Ferramenta tipo transfer ³⁷

³⁷ Retirado de: <http://www.unitedtoolingcoalition.com/transfer-die>

2.1.5.5. Ferramentas combinadas

Nas ferramentas combinadas são efetuadas várias operações como corte, punção e embutidura, mas, ao contrário da ferramenta progressiva, a peça é executada numa só descida da corredeira, permitindo uma boa reprodutibilidade das cotas relativas da peça, uma vez que não existe a deslocação da chapa entre cortes referentes à mesma peça.

O facto de realizar todas as operações de uma só vez, se por um lado permite uma melhor reprodutibilidade, por outro prejudica a realização de várias operações num espaço reduzido, sendo que os próprios componentes poderão não aguentar os esforços necessários, uma vez que a força de corte é proporcional ao perímetro de corte multiplicado pela espessura da chapa e pela resistência ao corte do material.

Trata-se igualmente de um grande investimento, mas, quando aplicado a grandes séries, é uma alternativa mais económica do que a utilização de várias ferramentas e etapas de fabrico. Contudo, a manutenção deste tipo de ferramentas é minuciosa, principalmente se estivermos a falar de operações de embutidura, uma vez que o plano da face dos punções e das aberturas da matriz não são coincidentes.

Na figura 2.29, que representa o corte numa ferramenta combinada de forma esquemática, pode ver-se o punção (E), neste caso fixo na parte inferior da ferramenta, realizar o corte do exterior da chapa, enquanto a matriz (C) se desloca ao seu encontro e embate no extrator elástico (D) que possui as guias da banda e realiza a extração da banda de chapa do punção. O corte do interior da chapa é realizado, simultaneamente, pelo punção (A) que desce solidário com a matriz, servindo o punção (E) de matriz, nesta situação. Por fim, o ejetor (B) permite que durante a subida da corredeira a peça seja libertada da abertura da matriz (Duarte, et al., 2003).

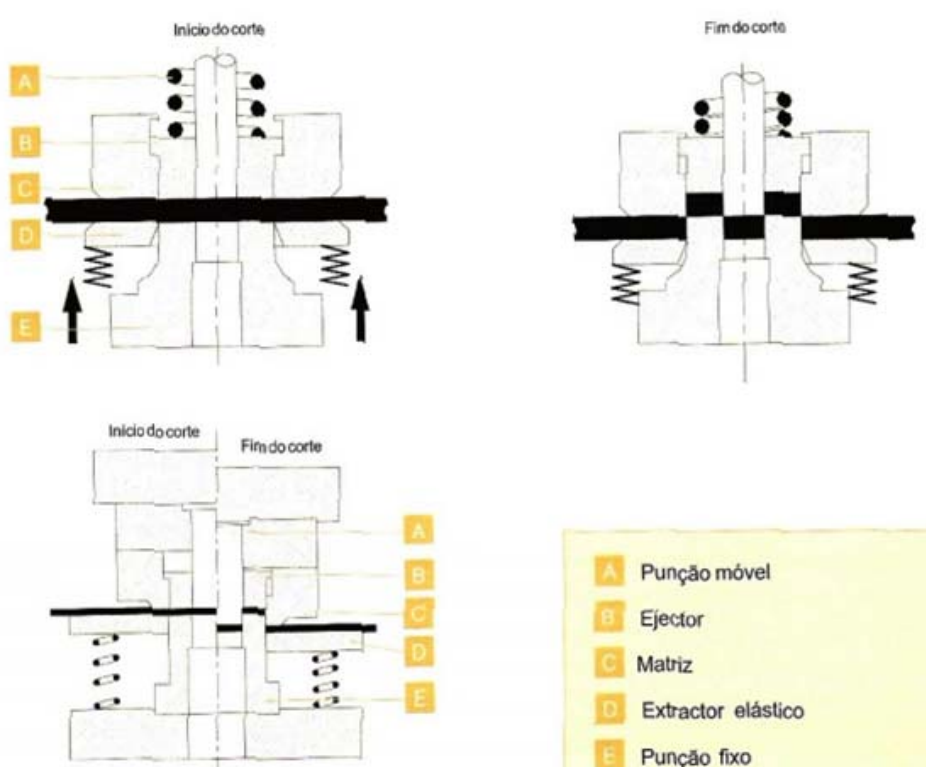


Figura 2.29 – Corte numa ferramenta combinada ³⁸

2.1.5.6. Ferramentas com punções e matrizes de segmentos

Para a realização de cortes de grandes dimensões são utilizados normalmente punções e matrizes de segmentos, ou seja, estes componentes são divididos em várias frações (como representado na figura 2.30), de modo a que, quando combinadas, permitam realizar cortes com dimensões elevadas. Estas porções dos componentes deverão respeitar as seguintes especificações: não ultrapassar os 300 mm; apresentar dimensões semelhantes (para evitar empenos no tratamento térmico) e não apresentar ângulos agudos (Duarte, et al., 2003).

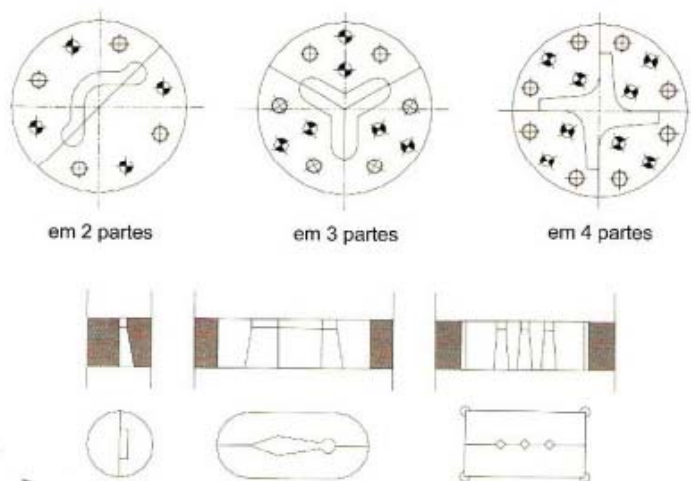


Figura 2.30 – Punções e matrizes segmentados ³⁹

³⁸ Retirado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica*, Vol. 1. 2003.

³⁹ Retirado de: Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. *Tecnologia Mecânica*, Vol. 1. 2003.

2.1.6. Materiais usados em ferramentas

Nas ferramentas, como em qualquer tipo de órgão mecânico, os materiais devem ser escolhidos de forma apropriada do ponto de vista dos requisitos finais. Neste caso concreto, os materiais devem apresentar boas propriedades mecânicas, como uma elevada resistência, tenacidade, dureza a quente, resistência ao choque térmico e à corrosão.

Uma vez que todos os materiais são tratados termicamente, apesar de posteriormente serem retificados, uma distorção elevada causada no material durante o processo poderia ser crítica para o seu futuro funcionamento. Como tal, a seleção do material, o desenho dos componentes e a sua correta fabricação, são parâmetros importantíssimos para obter a qualidade pretendida. Deverão ser portanto evitados materiais com fraca estabilidade térmica, secções esbeltas, arestas vivas, furação próxima das extremidades ou ainda variações bruscas de secção.

Das propriedades acima referidas, duas das mais importantes são a resistência ao desgaste e a dureza a quente, que estão relacionadas, uma vez que uma dureza a quente inferior significa um maior desgaste. Neste tipo de ferramentas, em que a velocidade de trabalho é rápida, é gerada uma elevada quantidade de calor, que provoca um grande aquecimento da ferramenta, principalmente nos componentes mais solicitados, o punção e a matriz. Neste caso, com o aumento da temperatura há uma tendência para o material perder alguma da sua dureza, e conseqüentemente a sua resistência ao desgaste. Por isso, principalmente o punção e a matriz, devem apresentar excelentes propriedades nesse sentido.

Contudo, é necessário existir um equilíbrio entre a dureza do material e a sua tenacidade, ou seja, a capacidade de absorver choques e outras cargas abruptas sem se danificar. Os componentes devem ser rígidos o suficiente sem comprometer a sua integridade em funcionamento, não fissurando nem partindo com os impactos.

Na tabela 2.6 visualizam-se algumas soluções de materiais para os diferentes componentes das ferramentas de corte/estampagem (Suchy, 2006) (Marcondes, 2008).

Tabela 2.6 – Exemplos de materiais utilizados nas ferramentas ⁴⁰

Componente	Material	Observações
Espiga	Aço 1010 cementado	A rosca da espiga não é cementada
Cabeçote ou base superior	Ferro fundido Aço laminado 1010/20 Aço fundido 3430 AF	Espessura \geq 20 mm
Placa de choque	Aço 1040/50	Espessura \geq 5 mm
Porta-punções	Aço 1010/40	
Punções	Aço para trabalho a frio Aço rápido	Dureza [58 – 63] HRC
Colunas de guia	Aço de alto teor de C, sem têmpera Cromagem a duro	Encaixe \geq 1,5 vezes o diâmetro
Buchas	Aço 1020 (temperado, cementado e retificado) Bronze Ferro fundido	
Pinos	Aço 1040/50 (temperado e retificado)	Devem ser sobredimensionados
Parafuso de fixação	Aço liga	Sextavado, cabeça com fenda
Extrator	Aço laminado	
Guia das chapas	Aço 1010	
Matriz	Mesmo material dos punções	Dureza [58 – 63] HRC
Base inferior	Aço 3430 AF Aço 1010/20	Espessura \geq 25 mm

⁴⁰ Marcondes, Paulo. Projeto de Ferramentas para Conformação de Chapas. Fevereiro de 2008.

2.1.6.1. Aços usados no fabrico de ferramentas de corte e cravamento

Na conceção de uma ferramenta, as propriedades essenciais são a alta dureza à temperatura ambiente, essencialmente dependente do teor de carbono, associada a uma boa temperabilidade; alta resistência ao desgaste, que permita que a ferramenta seja durável; resiliência, para que suporte choque; tenacidade, para evitar a progressão de possíveis fendas; alta resistência mecânica, essencialmente tensão limite elástico e de rotura; e ainda resistência elevada à fadiga.

A composição química do aço, deverá ser próxima de:

- 1,8% C (Carbono);
- 12% Cr (Crómio);
- 0,2% V (Vanádio).

Dentro dos aços para ferramentas constam:

- Aços rápidos;
- Aços para matrizes de trabalho a quente;
- Aços resistentes aos choques;
- Aços para trabalho a frio com tenacidade elevada e auto-temperantes;
- Aços para cementação e nitruração.

Os aços rápidos, usados por exemplo em ferramentas de corte, apresentam uma dureza elevada, associada a uma máxima resistência ao desgaste. Contêm normalmente elementos de liga como W, Mo, V, Co e Cr. O Tungsténio (W), o Molibedénio (Mo) e o Vanádio (V) formam carbonetos muito duros, e assim favorecem a resistência ao desgaste. Também o Cobalto (Co) melhora a resistência ao desgaste, apesar de não formar carbonetos. O Cr, por sua vez, melhora a profundidade da têmpera, o que é um aspecto muito importante em peças de grandes dimensões, como podem ser uma matriz ou um punção.

Os aços para matrizes de trabalho a quente possuem uma composição química que lhes concede uma boa temperabilidade até ao núcleo, alta tenacidade, óptima resistência ao desgaste e boa resistência à deformação. Podem ser utilizados em matrizes para trabalho a quente, punções para prensas de extrusão de metais e moldes de injeção. Têm como principais elementos de liga o Níquel (Ni), que oferece temperabilidade e tenacidade elevadas, e o Cr, que melhora a temperabilidade.

Os aços resistentes aos choques apresentam teores em C baixos quando comparados com os outros aços para trabalho a frio, diminuindo a dureza, mas melhorando a tenacidade e, conseqüentemente, a resistência à fadiga. Por outro lado, a diminuição de dureza pode comprometer a resistência ao desgaste e à deformação da ferramenta. O teor elevado de Silício confere uma boa elasticidade, reduzindo a probabilidade de roturas por fadiga, tal como acontece nos aços para molas.

Os aços para trabalho a frio com tenacidade elevada e auto-temperantes, permitem que a têmpera surta efeito até ao núcleo, e como têm uma velocidade crítica de arrefecimento pequena, podem ser temperados no ar, daí serem chamados de auto-temperantes. Mesmo em peças grandes, é possível atingir dureza uniforme em toda a sua secção, que poderá atingir 61 HRC. Associada à elevada tenacidade, este nível de dureza permite a sua utilização em grandes ferramentas sujeitas a esforços elevados de choque e compressão a frio.

Os aços de cementação e aços de nitruração são utilizados quando é necessária uma superfície dura e com grande resistência ao desgaste, mas um núcleo com boa tenacidade (Brito, 1981; Soares, 1980).

2.1.6.2. Tratamentos e revestimentos normalmente utilizados nos componentes mais solicitados

Para além dos tratamentos térmicos a que os componentes são normalmente sujeitos, como a têmpera e o revenido, que visam afinar a dimensão do grão para atingir a relação dureza/tenacidade desejada, poderão também ser aplicados tratamentos superficiais. Os tratamentos superficiais podem ser termoquímicos, como a cementação e a nitruração, que permitem o aumento da dureza da superfície da peça, melhorando a sua resistência ao desgaste, através da deposição de uma camada de dureza superior à do material revestido, mantendo as propriedades no seu interior. Ou então podem ser revestimentos, que podem representar uma proteção contra a abrasão, corrosão ou oxidação, por exemplo, criando uma barreira entre a peça e o meio, através de uma camada com propriedades diferentes das do material (Suchy, 2006).

Estes revestimentos podem ser realizados a partir de vários processos, como por exemplo o *APS – Atmospheric Plasma Spraying*, ou seja, Pulverização de Plasma Atmosférico, que consiste na projeção de partículas num jato de plasma contra a peça a revestir, de forma a provocar a fundição dessas partículas. É um processo adequado para revestimentos cerâmicos espessos, podendo chegar a apresentar 1 mm de espessura. De forma idêntica ao processo anterior, existe também o *EAWS – Electric Arc Wire Spray*, ou seja, Pulverização de Fio por Arco Elétrico, mas desta feita a fonte de calor é um arco elétrico e a matéria-prima são dois arames alimentados continuamente. É igualmente adequado para revestimentos metálicos espessos, podendo atingir os 2 mm. Outro processo utilizado é o *HVOF – High Velocity Oxy-Fuel*, ou seja,

Oxi-Combustível de Alta Velocidade, que consiste na projeção de matéria-prima sob forma de pó, através de um gás inerte numa câmara de combustão contínua de Oxigénio. Desta forma, o material do revestimento é projetado contra a peça a velocidade e temperatura elevadas, permitindo atingir revestimentos que podem variar entre os 50 e os 400 μm . Este processo é especialmente indicado para revestimentos anti-desgaste e com elevada dureza – na ordem dos 1200 HV (TEandM, 2015).

No que respeita a processos mais avançados, existem por exemplo os processos de deposição em fase de vapor, que permitem espessuras menores que os métodos mais básicos, na ordem do micrómetro. O *PVD – Physical Vapor Deposition*, ou Deposição Física em Fase de Vapor, é um processo de revestimento que ocorre em alto vácuo, onde o material é evaporado pelo calor, ou pelo bombardeamento de iões, enquanto um gás reativo é introduzido (Azoto ou um gás que contenha Carbono), gerando uma mistura com o vapor de metal, depositando-se nas peças a revestir sob a forma de uma camada fina e altamente aderente, cujas propriedades como a dureza, resistência química e à temperatura, podem ser ajustadas. Este processo inclui a Evaporação por Arco, a Pulverização Catódica, Galvanização Iónica e a Pulverização Catódica Reforçada. Outro processo, o *PACVD – Plasma-Assisted Chemical Vapor Deposition*, ou seja, Deposição Química em Fase de Vapor Assistido por Plasma, consiste na síntese de um filme metálico na superfície. De seguida, é aplicada uma frequência elevada de corrente alternada e injetado o gás contendo os elementos do revestimento, que se deposita na superfície da peça, permitindo controlar a espessura da camada com a variação da tensão.

Entre os vários revestimentos possíveis, encontram-se na tabela 2.7 os principais, sendo indicadas algumas propriedades (Balzers, 2015) (Hauzer, 2015).

Tabela 2.7 – Tratamentos de superfície – Revestimentos usualmente aplicados aos componentes mais solicitados em ferramentas

Material do revestimento	Dureza do revestimento (HV)	Coefficiente de atrito no aço (seco)	Temp. máxima de serviço (°C)	Cor do revestimento
TiN (Nitreto de Titânio)	2.300	0,4	600	Dourado
TiCN (Carbo-nitreto de Titânio)	3.000	0,4	400	Azul-cinzento
AlCrN (Nitreto de Crômio-Alumínio)	3.200 – 3.300	0,3 – 0,4	1.100	Azul-cinzento
CrN (Nitreto de Crômio)	1750	0,5	700	Prata-cinzento
TiAlN (Nitreto de Alumínio-Titânio)	3.300	0,3 – 0,35	900	Violeta-cinzento

2.2. A indústria de cablagens

2.2.1. Conceito de cablagem

As cablagens (figura 2.31) são um conjunto de fios que transmitem sinal elétrico, reunidos no mesmo conector (pormenor da figura 2.31 em baixo). Se não fosse este tipo de ligação, na indústria automóvel, aeroespacial e aeronáutica, onde podem existir quilómetros de fio elétrico, seria muito mais complicado manter a conexão dos cabos sob efeitos de vibração, abrasão e humidade, para além de permitir uma otimização do espaço e reduzir o perigo de curto-circuito. O facto de os cabos se concentrarem todos num só conector também permite que se apliquem materiais retardadores de chama e que a conexão seja mais rápida (Yazaki, 2015).

Com a utilização cada vez mais diversa de sistemas eletrónicos de segurança como o de anti bloqueio de travagem, o controlo de estabilidade e o controlo de tração, associada à prospeção dos veículos híbridos e elétricos, a necessidade deste tipo de tecnologias tem vindo a aumentar (FMI, 2015).

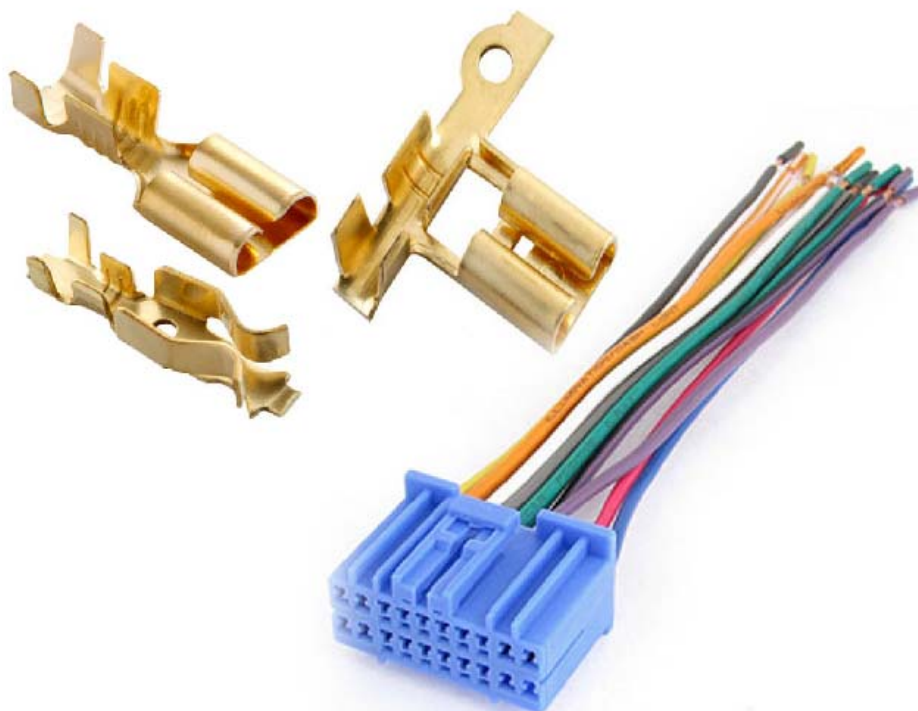


Figura 2.31 – Exemplos de terminais elétricos (acima) e de um conector (em baixo) ⁴¹

⁴¹ Retirado de:

<http://g01.s.alicdn.com/kf/HTB1V7TzHXXXXXbkXFXXq6xXFXXXj/200382595/HTB1V7TzHXXXXXbkXFXXq6xXFXXXj.jpg>
e <http://g01.a.alicdn.com/kf/HTB1c9htlXXXXXcTXVXXq6xXFXXXq/Auto-Aftermarket-Radio-Wire-Harness-CD-Wiring-Harness-Female-Plug-in-Stereo-Adapter-Cable-Wire-Terminal.jpg>

2.2.2. Mercado mundial de cablagens

A pioneira nesta indústria foi a *Yazaki Corporation*, fundada por Sadami Yazaki em 1929 no Japão, que começou por vender cablagens para automóveis. A indústria automóvel foi a principal responsável pelo crescimento da *Yazaki* entre as décadas de 30 e 40, e foi nessa indústria que a *Yazaki* optou por se focar, da qual ainda são líderes hoje em dia.

Em 1963 instituíram-se nos Estados Unidos com o primeiro representante comercial no estrangeiro, e em 1980 foi fundada a *YAZAKI Europe Limited*, com a abertura dos primeiros escritórios comerciais no Reino Unido, inicialmente designada por *YUK (YAZAKI United Kingdom)*.

Outra das referências, a *Sumitomo Wiring Systems*, surgiu em 1931 da aliança entre a *Tokai Electric Wire Works* (fundada em 1917) e a *Sumitomo Electric Wire & Cable Works* (fundada em 1911). Em 1957 iniciaram a produção de fio de cobre para baixa tensão isolado a borracha para a indústria automóvel. Em 1959 iniciaram a produção de cablagens para veículos de duas rodas, e dois anos depois para automóveis.

No gráfico abaixo é possível constatar-se o domínio do mercado das cablagens automóveis pela *Yazaki*, *Sumitomo*, *Delphi* e *Leoni*, que abrangem mais de 75% do mercado.

De um ponto de vista geográfico, a indústria de cablagens para automóveis (principal compradora desta tecnologia) encontra-se dominada por:

- Europa Ocidental – com 24,2% da receita do mercado, justificada pela existência de vários fabricantes de automóveis líderes do mercado nesta zona da Europa;

- Ásia-Pacífico – em 2020 espera-se que a China seja líder na indústria automóvel, o que poderá impulsionar o mercado de cablagens naquela zona;

- América do Norte – dominada essencialmente pelos Estados- Unidos devido à sua produção em grande escala.

O Japão pode ser considerado o berço da indústria de cablagens para automóveis, com várias referências como a *Yazaki Corporation*, a *Sumitomo Wiring Systems*, a *Furukawa Electric Co.* e a *Denso Corporation*, fundadas na primeira metade do séc. XX (FMI, 2015).

Para além das corporações nipónicas, existem ainda outras referências, como a *Axon Cable* e a *Nexans S.A.* na França, a *Leoni Wiring Systems* na Alemanha e a *Lear Corporation* e a *Delphi* nos E.U.A. (FMI, 2015; Yazaki, 2015; Sumitomo, 2015).

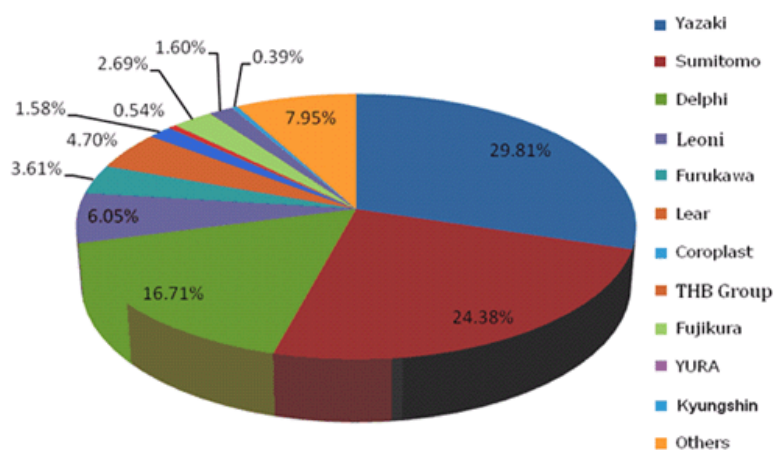


Gráfico 2.5 – Distribuição do mercado dos maiores fabricantes de cablagens automóveis do mundo ⁴²

2.2.3. Tipos de ferramentas de cravação existentes no mercado

Dependendo do tipo de cravação a efetuar, a ferramenta poderá ter diferentes configurações. Essencialmente, as ferramentas de cravação, ou aplicadores, são distinguidos pela sua forma de alimentação dos terminais elétricos. Primeiramente pela forma de atuação, que poderá ser mecânica ou pneumática. Na atuação mecânica, o movimento do porta-punções é responsável por provocar o movimento do sistema de alimentação, enquanto no pneumático o sistema de alimentação é movimentado por um cilindro que poderá ser pilotado com sensores.

Para além da forma de atuação, a direção da alimentação dos terminais em relação à alimentação do fio elétrico (feita por um sistema independente) é também forma de distinção. Esta alimentação pode ser feita lateralmente (*side feed*), ou seja, perpendicularmente à alimentação do fio elétrico; ou frontal (*end feed*), na mesma direção do fio elétrico, mas em sentido contrário (ver figura 2.32).

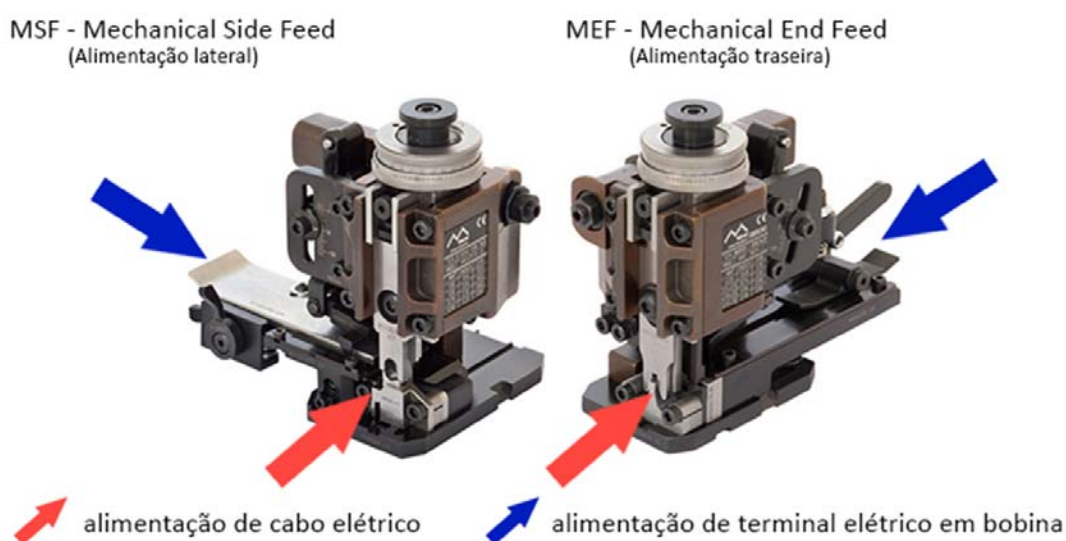


Figura 2.32 – Representação das diferentes direções de alimentação dos terminais ⁴³

⁴² Retirado de: <http://www.researchinchina.com/UpLoads/Article/201005/2010050501.gif>

⁴³ Adaptado de:

<http://www.komaxgroup.com/~media/Wire/Images/Local%20Products/Brazil/Mecal/Mecal%20MA.jpg?bc=White&h=260&w=465>

Enquanto que a forma de atuação é apenas uma questão de preferência do cliente, a direção de alimentação é imposta pelo terminal a cravar, que pode ser próprio para alimentação lateral (figura 2.33) ou frontal (figura 2.34).



Figura 2.33 – Terminal de cravação lateral ⁴⁴



Figura 2.34 – Terminal de cravação frontal ⁴⁵

⁴⁴ Retirado de: <http://remapglg.com.br/gespress/uploads/2014/04/FT.1180.jpg>

⁴⁵ Retirado de: <http://www.proelis.com.br/terminais-eletricos/terminal-encaixe-femea-37.jpg>

2.2.4. Principais problemas relacionados com o funcionamento das ferramentas de corte e cravação

Antes de abordar os problemas específicos do corte e cravação, é necessário perceber o que é um terminal elétrico e quais as características que são desejadas para que este seja adequado à sua função.

O objetivo do terminal elétrico é realizar uma ligação separável de dois elementos de um sistema eletrónico sem apresentar perdas elétricas, apresentando funções mecânicas e elétricas. Mecanicamente, o material do terminal deverá ser resistente à corrosão, ser fácil de soldar, ser capaz de sofrer conformação, ser elástico, ser resistente à temperatura e ainda, do ponto de vista elétrico, deverá apresentar boa condutividade elétrica.

Estes apresentam quatro zonas distintas (representadas na figura 2.35):

- A zona de ligação entre os vários terminais, que na cravação será eliminada;
- A zona de cravação do isolamento, composta por duas patilhas que no processo de execução da bobina já foram dobradas para cima de modo a facilitar a cravação;
- A zona de cravação do condutor, idêntica à zona de isolamento, mas geralmente mais baixa e mais larga;
- A zona de conexão, que será responsável pela ligação entre o outro terminal do par macho/fêmea.

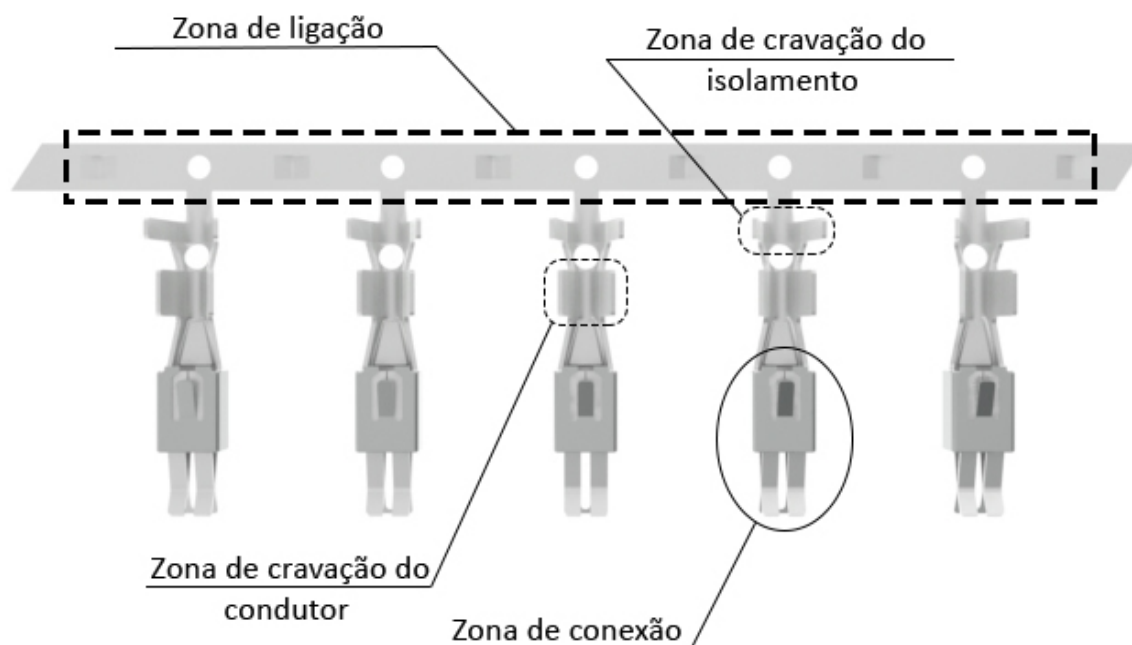


Figura 2.35 – Fita de terminais elétricos ⁴⁶

⁴⁶ Adaptado de de: <http://www.hollingsworth.com.br/img/produtos/rendered/jptfita.jpg>

Do ponto de vista da cravação, os problemas normalmente surgem nas zonas do isolamento e do condutor, uma vez que a zona de conexão habitualmente não interfere no processo de forma ativa, e a zona de ligação apenas sofre um corte simples.

A cravação é um processo de deformação controlada de conformação plástica a frio, que permite conseguir uma ligação rígida entre o terminal e o fio condutor (Teixeira, 2013).

Os problemas mais comuns na cravação dos terminais são devido a:

- Propriedades incorretas do material, que poderão levar a defeitos no terminal:
 - **Fissuração** (Figura 2.36);



Figura 2.36 – Fissuração na zona de cravação do condutor (à esquerda) e de cravação do isolamento (à direita) ⁴⁷

- **Deformação** (Figura 2.37);

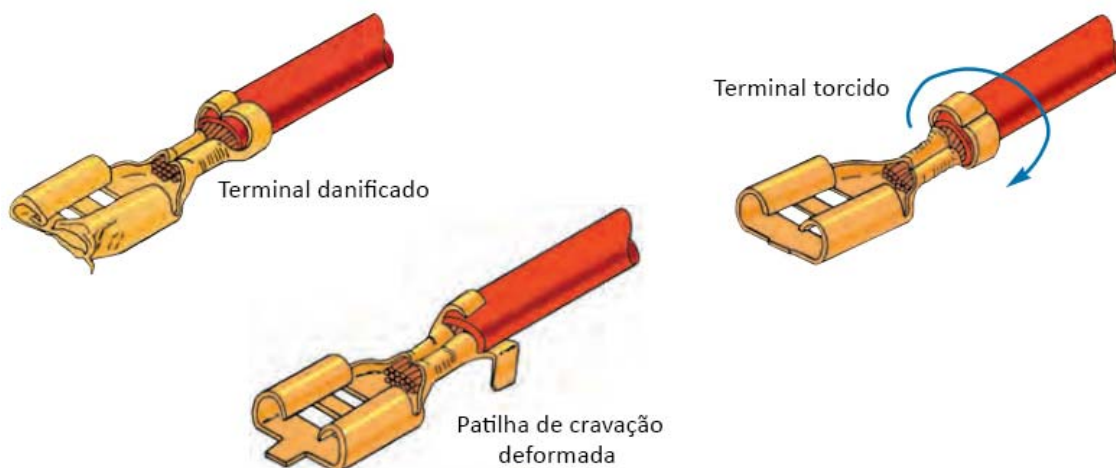


Figura 2.37 – Exemplo de deformações em terminais ⁴⁸

⁴⁷ Retirado de: Roberts, Jim e Neely, Doug. USCAR-21 - Cross Section Cut and Visual Inspection - Yazaki. 2005.

⁴⁸ Adaptado de: Tyco Electronics - Automotive. Wire and Cable Products for the Automotive Industry. 2012.

- **Riscos** (Figura 2.38).

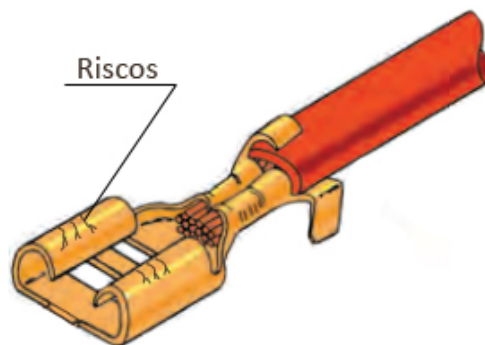


Figura 2.38 – Representação esquemática de riscos no terminal provocados na cravação ⁴⁹

- Força de cravação incorreta, que poderá provocar os seguintes problemas:
 - **Fios de cobre soltos** (Figura 2.39) – Força reduzida;

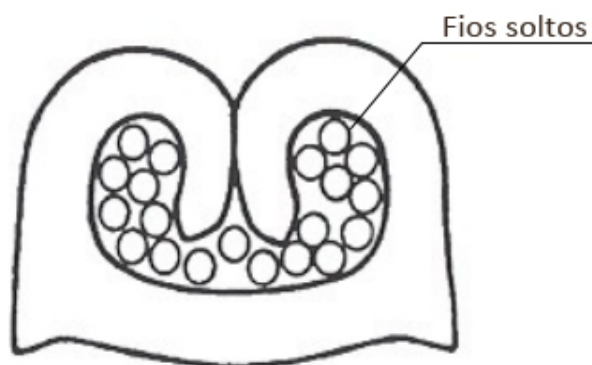


Figura 2.39 – Esquema de *Micro-cut* de uma cravação com força reduzida ⁵⁰

- **Fissuração da parede do terminal** (Figura 2.40) – Força excessiva.

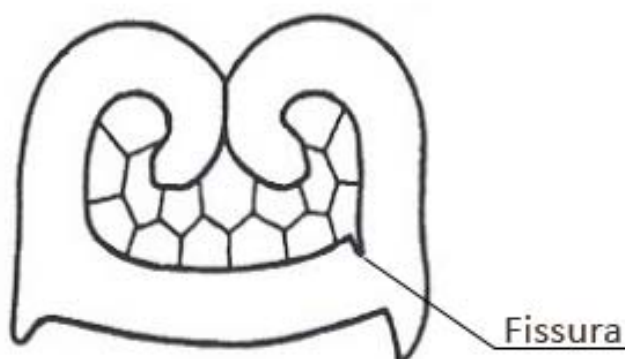


Figura 2.40 – Esquema de *Micro-cut* de uma cravação com força em excesso ⁵¹

⁴⁹ Adaptado de: Tyco Electronics - Automotive. Wire and Cable Products for the Automotive Industry. 2012.

⁵⁰ Adaptado de: SAE. USCAR-21 - Performance Specification For Cable-to-Terminal Electrical Crimps (Rev. 1). 2004.

⁵¹ Adaptado de: SAE. USCAR-21 - Performance Specification For Cable-to-Terminal Electrical Crimps (Rev. 1). 2004.

Ou ainda, problemas de concepção da ferramenta (como no mecanismo de alimentação do terminal, dimensões dos *crimpers* inadequadas ou secções de cabo superior ao permitido), de onde podem surgir as seguintes deficiências na cravação:

- **Cravação assimétrica** (Figura 2.41);



Figura 2.41 – Esquema de *Micro-cut* de cravação assimétrica ⁵²

- **Cravação incompleta** (Figura 2.42) – secção de cabo demasiado grande;



Figura 2.42 – Esquema de *Micro-cut* de cravação incompleta ⁵³

- **Cravação com lacunas** (Figura 2.43) – secção de cabo demasiado reduzida;



Figura 2.43 – Esquema de *Micro-cut* de cravação com espaços vazios por preencher ⁵⁴

⁵² Retirado de: Tyco Electronics, Automotive. Wire and Cable Products for the Automotive Industry. 2012

⁵³ Retirado de: Tyco Electronics, Automotive. Wire and Cable Products for the Automotive Industry. 2012

⁵⁴ Retirado de: Tyco Electronics, Automotive. Wire and Cable Products for the Automotive Industry. 2012

Para controlar estes problemas são realizados, para além de análises visuais por operadores experientes, cortes de secção (também chamados de “Micro-cut”), que permitem visualizar a nível microscópico se a cravação foi corretamente executada, e ainda, testes de tração ao cabo condutor.

No teste de *Micro-cut* é selecionada uma amostra significativa da quantidade a cravar e é realizado um corte transversal na zona de cravação para analisar microscopicamente. Para que a cravação seja aceite, no *Micro-cut* deverá ser possível ver que cada cordão do cabo deformou, formando pelo menos quatro lados, e que não existem espaços entre eles, que não há fissuração nas paredes do terminal, que este tem a forma do punção, e ainda que os dois lados estão igualmente comprimidos e em contato (na figura 2.44 encontra-se ver uma representação esquemática de uma cravação bem executada).

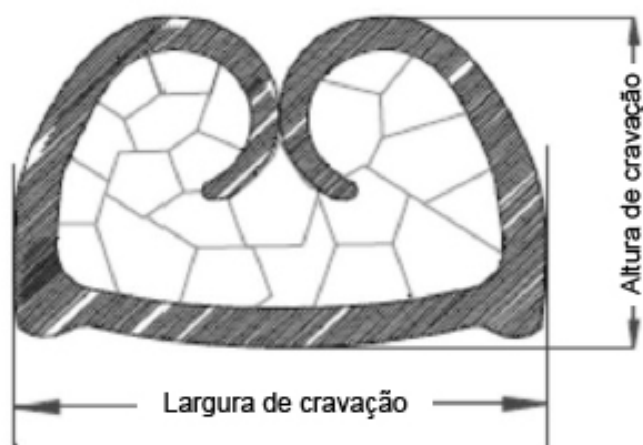


Figura 2.44 – Representação esquemática de um *Micro-cut* de uma cravação bem executada ⁵⁵

No teste de tração do cabo, como o próprio nome indica, verifica-se a força de tração necessária para provocar a separação do fio condutor do terminal.

Ambos os testes permitem avaliar qual a correta afinação da máquina para que a cravação seja efetuada de acordo com o pretendido pelo cliente (Mroczkowski, 1993; Teixeira, 2013; Tyco Electronics, 2012; SAE, 2004; JST-MFG, 2015).

⁵⁵ Teixeira, António. Terminal Defect Analysis and Classification Methodology for Automotive Industry. 2013

3. Desenvolvimento

3.1. Caracterização da empresa

A Ricardo & Barbosa (ou R&B – figura 3.1), fundada em 1 de Abril de 1978 por Ricardo Moreira da Silva e Sérgio dos Santos Barbosa, é uma empresa de referência a nível nacional na fabricação de ferramentas de alta precisão para a indústria automóvel, eletrónica e aeronáutica. Com sede em S. Pedro da Cova, Gondomar, possui instalações com 3400 metros quadrados, onde emprega cerca de 135 trabalhadores. Está atualmente representada um pouco por todo o mundo, contando com uma unidade de produção no México e vários pontos de distribuição em países como Marrocos, Tunísia, Polónia e Rússia.



Figura 3.1 – Logotipo da Ricardo & Barbosa Lda. ⁵⁶

O seu ramo de negócios baseia-se essencialmente em serviços de maquinagem, tratamentos térmicos e revestimentos, fabrico de moldes para injeção de plásticos e ainda de ferramentas para estampagem.

Com a crise que se instalou na Europa, o mercado internacional ganhou mais importância, representando neste momento cerca de 80% do volume de faturação. Para tal, a instalação da fábrica em Ciudad Juárez (figura 3.2), na fronteira com El Paso, Texas, em 2009, contribuiu de forma bastante positiva, abrindo as portas para o mercado americano, permitindo contrariar a crise económica.



Figura 3.2 – Instalações da R&B México (à esquerda) e da R&B Portugal (à direita) ⁵⁷

A R&B tem atualmente como principais clientes a Yazaki Corporation e a Lear Corporation, empresas da indústria de cablagens elétricas para automóveis, e ainda empresas da indústria de periféricos para automóveis, como a Delphi e a Hutchinson. Tem ainda ligações com outras empresas de referência como a Tyco Electronics, a Kemet, a Bosch-Vulcano e a Grundig (País Económico, 2013) (Empresas & Empresários, 2012).

⁵⁶ Retirado de: <http://www.ricardo-barbosa.com/wp-content/uploads/logo-RB1.png>

⁵⁷ Retirado de: <http://www.ricardo-barbosa.com/wp-content/uploads/fabricas.jpg>

3.2. Objetivos do trabalho prático

O objetivo deste trabalho prático é desenvolver uma ferramenta de cravação de terminais elétricos que se apresente como uma solução economicamente viável, de fabrico simples, versátil e que garanta a qualidade pretendida pelo cliente.

A ferramenta desenvolvida deverá permitir a cravação de uma vasta gama de terminais (figura 3.3) com o mínimo de alterações possível, obrigando, idealmente, à substituição de apenas os componentes diretamente responsáveis pela cravação (punções e matrizes). Os terminais deverão variar essencialmente nas suas dimensões, na direção em que é realizada a alimentação do fio elétrico (em relação à zona de cravação), no passo entre terminais da bobina e na forma resultante da cravação (*die-form*).



Figura 3.3 – Exemplo de terminais utilizados na indústria de cablagens ⁵⁸

No que respeita à alimentação do terminal elétrico, conforme já foi visto, esta poderá ser lateral ou frontal (*side feed* ou *end feed*) com atuação mecânica ou pneumática. Esta ferramenta deverá, portanto, ser capaz de executar cravações de terminais com um desses dois tipos de alimentação. Neste caso a alimentação será pneumática, uma vez que facilita o processo de adaptação aos dois tipos de alimentação sem necessidade de alterações e ainda porque permite que o mecanismo seja mais simples (com menos componentes).

Quanto ao *die-form*, os terminais irão ser inicialmente fornecidos pré-conformados em bobina, ou seja, preparados para receber o fio elétrico. Ao realizar a cravação, o terminal irá adquirir uma forma muito próxima da forma do punção (*die-form*) – um requisito do cliente.

⁵⁸ Retirado de: <https://static.wurth.com.br/catalog/IMAGEM/55-INSTALACOES-ELETRICAS/5506-TERMINAIS-ELETRICOS/TERMINAIS/prod/TERMINAIS-G.png>

Na figura 3.4, à esquerda, vê-se o terminal antes da conformação, no estado inicial (em que ainda pertence à bobina de terminais), enquanto à direita tem-se o terminal após a cravação no fio elétrico e separação da bobina, no estado final do terminal, de acordo com o pedido pelo cliente.

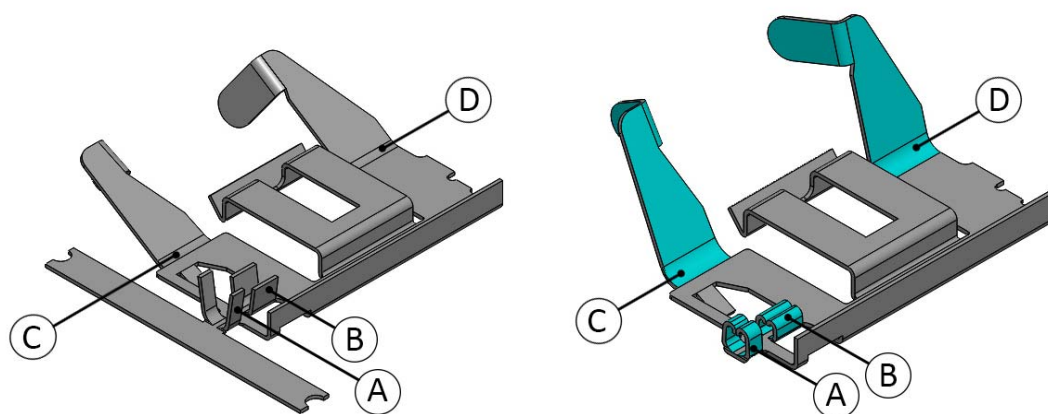


Figura 3.4 – Terminal elétrico antes e após a cravação

Observando a figura 3.4 é possível constatar que existem cinco operações a realizar no material, mais concretamente quatro dobras e ainda um corte, responsável pela separação do terminal da bobina.

De forma mais detalhada, pode analisar-se a “dobra A” na figura 3.5, que será responsável pela fixação do isolamento do fio elétrico. À esquerda tem-se a forma do terminal no estado inicial, pré-conformado, como é fornecido na bobina. À direita o estado final, após cravação.

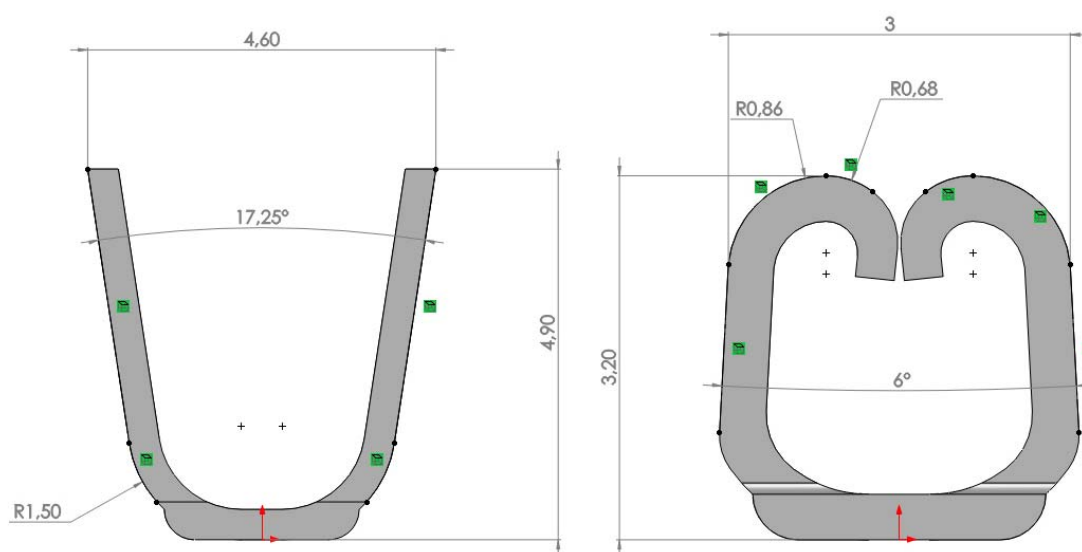


Figura 3.5 – Detalhe da "dobra A" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação

Na secção de cravação do fio de cobre, “dobra B”, pode-se observar igualmente o estado inicial (à esquerda) e o final (à direita) do terminal a cravar.

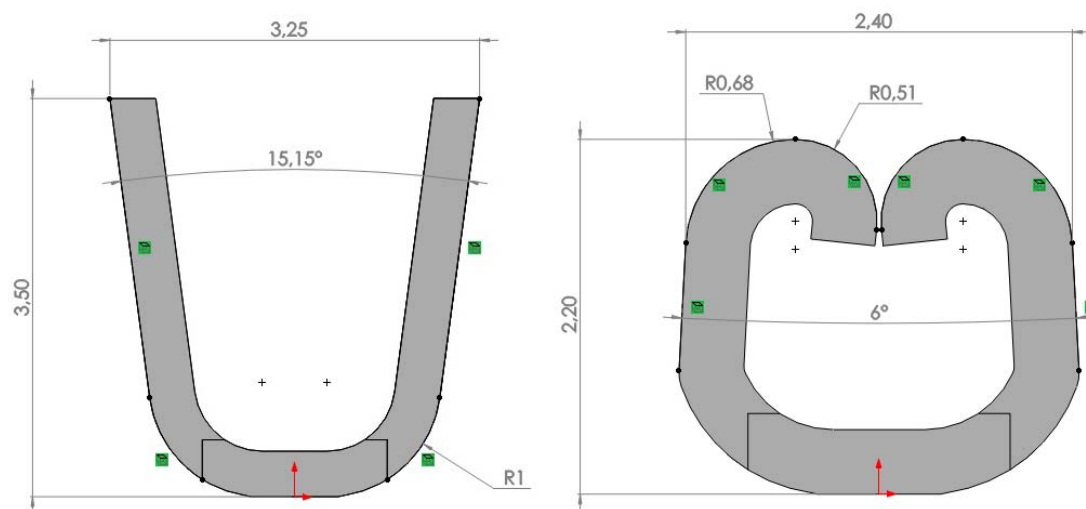


Figura 3.6 – Detalhe da "dobra B" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação

Naquilo que diz respeito a dobras do terminal, resta apenas analisar a “dobra C” e a “dobra D”. Este tipo de dobras não é tão habitual nos terminais, e servirão neste caso para auxiliar a prender os terminais no interior do conector. Nas figuras 3.7 e 3.8 podem-se analisar as alterações provocadas durante a cravação das patilhas laterais deste terminal, em ambos os casos, com o estado inicial à esquerda da figura e o estado final à direita da mesma.

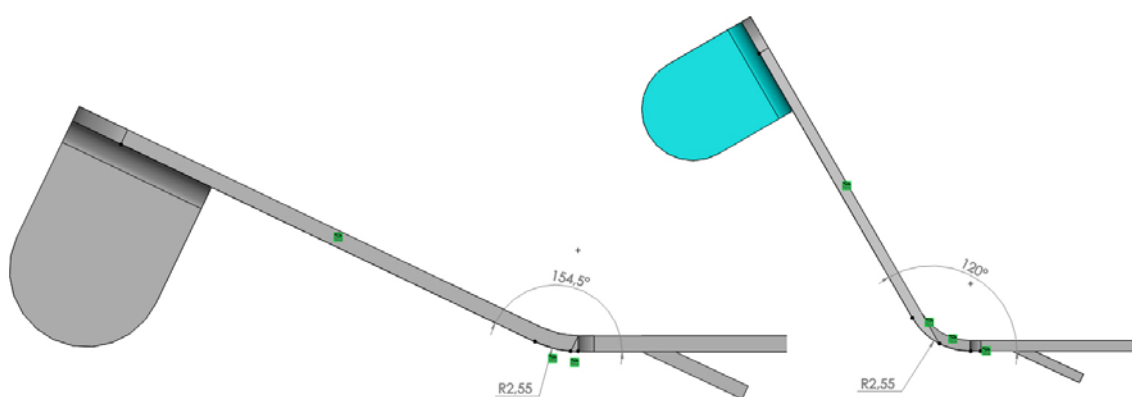


Figura 3.7 – Detalhe da "dobra C" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação

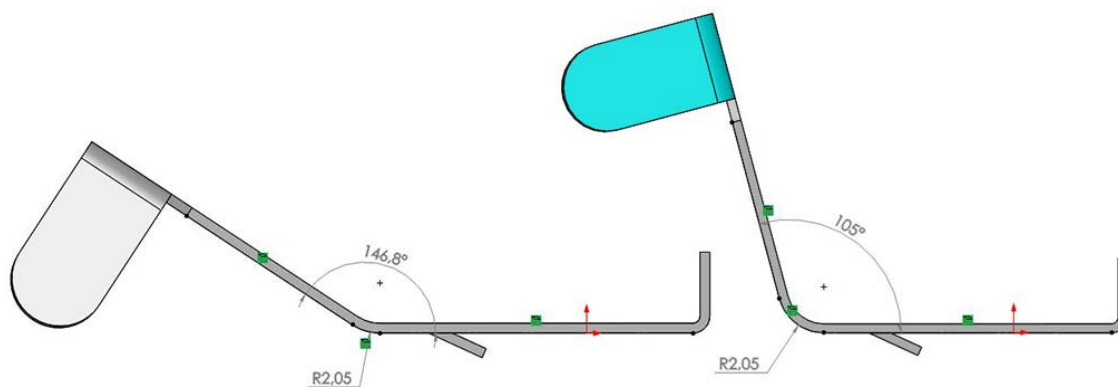


Figura 3.8 – Detalhe da "dobra D" – antes (à esquerda) e após (à direita) a cravação

3.3. Caracterização do trabalho a efetuar pela ferramenta

O processo de cravação consiste na conformação e corte de uma chapa metálica, previamente trabalhada para uma forma próxima da forma final do terminal, que irá ser responsável por manter a conexão com o cobre do cabo elétrico e prender o isolamento do mesmo. Os terminais são fornecidos em bobina (figura 3.9), que é desenrolada por sistemas independentes antes de entrar na ferramenta de cravação.

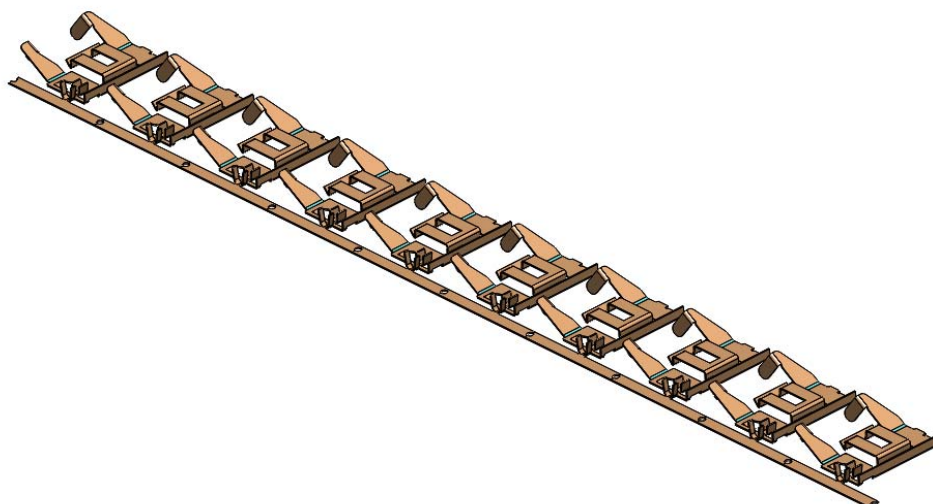


Figura 3.9 – Porção de bobina desenrolada, pronta a alimentar o aplicador (pré-cravação)

Na ferramenta de cravação, o sistema de alimentação empurra a fita de terminais para o sistema de cravação, recorrendo para isso a orifícios que são executados no terminal quando da fabricação da bobina. Estas aberturas terão um passo correspondente à distância entre os terminais a cravar e poderão variar, dependendo do terminal da bobina. Como tal, a ferramenta deverá estar apta a este ajuste do passo.

Após a alimentação realizada pelo sistema pneumático, o terminal elétrico chega ao sistema de cravação e é acionada a prensa de cravação, responsável pelo fecho da ferramenta, e é então que ocorre a cravação propriamente dita.

Etapa 1:

1. Todos os componentes estão na posição correta
2. O punção entra em contato com as patilhas da zona de cravação
3. O terminal começa a dobrar

Etapa 3:

1. A prensa atinge o ponto morto inferior
2. O terminal assume a forma do punção e da matriz

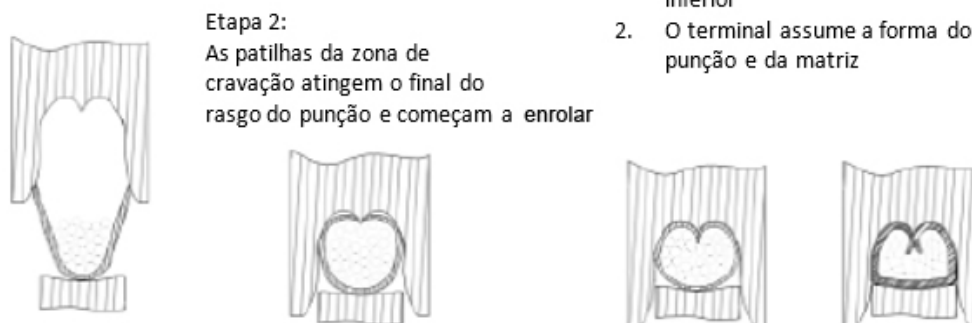


Figura 3.10 – Sequência de cravação de um terminal elétrico

Observando a figura 3.10, podem-se analisar as diferentes etapas do processo de cravação. Inicialmente, após o terminal ser colocado na matriz na posição correta pelo sistema de alimentação do terminal e um sistema independente (automático ou manual) alimentar o fio elétrico que será cravado junto com o terminal, dá-se a descida do porta-punções, que suporta:

- O cerra-chapas;
- O punção de cravação da secção descarnada (ou simplesmente punção do cobre);
- O punção de cravação do isolamento (ou apenas punção do isolamento);
- O punção que corta o excesso de material que une os terminais e;
- Um pequeno punção que mantém o fio fixo no lugar durante a cravação.

Analisando mais detalhadamente a figura 3.10, o punção do cobre entra em contacto com as patilhas da zona de cravação, fazendo com que o terminal comece a dobrar. Continuando com a descida do punção, as patilhas atingem o final do rasgo do punção (também denominado por *die-form*) e começam a enrolar para o interior do terminal. Este aspeto é muito importante, uma vez que será responsável pela correta fixação dos fios de cobre do cabo elétrico. Por fim, a prensa atinge o ponto morto inferior e o terminal assume a forma do punção e da matriz.

No processo de cravação, o punção da secção descarnada e o da secção de isolamento realizam a conformação das patilhas metálicas que irão envolver o fio elétrico, enquanto o cerra-chapas mantém o terminal no lugar. Simultaneamente, o punção de corte frontal separa o excesso de material que unia os terminais, resultando, por fim, o terminal cravado (figura 3.11), apresentando no final uma forma próxima do *die-form* (ver figura 3.12). Esta forma será próxima devido à recuperação elástica do material do terminal que será sempre esperada, com maior ou menor intensidade, dependendo das propriedades mecânicas do material.

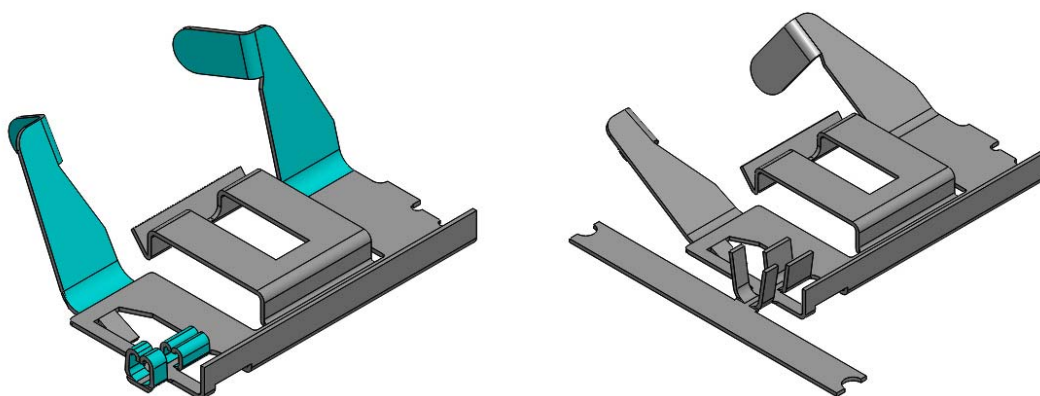


Figura 3.11 – Terminal antes (à direita) e após (à esquerda) a cravação

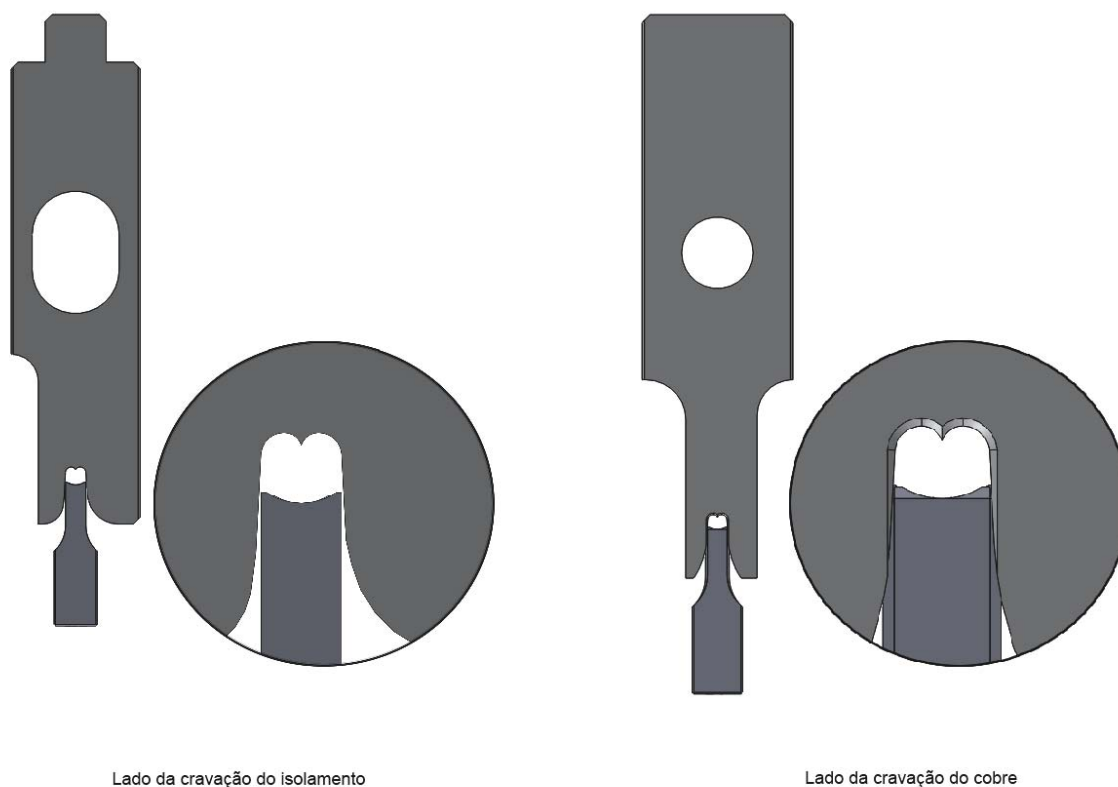


Figura 3.12 – Ponto morto inferior dos punções – com pormenor do *die-form*

Na subida do porta-punções, para evitar que o terminal cravado suba juntamente com este, existe ainda um componente responsável pelo bloqueio da sua subida, que simultaneamente serve de referência de posicionamento para o fio elétrico, quer a alimentação deste seja automática ou manual.

Neste caso específico, de uma ferramenta de cravação de terminais elétricos onde corte e conformação ocorrem simultaneamente, podem-se encontrar problemas específicos a acrescer aos das ferramentas usuais. Os problemas que podem surgir neste tipo de ferramentas são:

- Propriedades incorretas do material do terminal, o que poderá conduzir a fissuração, deformação não programada e riscos;
- Força de cravação incorreta;
 - Força reduzida – fios de cobre soltos;
 - Força excessiva – fissuração da parede do terminal;
- Descentramento da cravação.

Para tal, o funcionamento da máquina deverá ser ajustado por profissionais habilitados, garantindo um bom deslizamento do terminal no sistema de alimentação e uma cravação de qualidade.

3.4. Requisitos fundamentais do projeto

3.4.1. Requisitos gerais da ferramenta

Os requisitos deste tipo de ferramenta, denominado no ramo por mini-aplicador, passam por permitir a cravação sucessiva de terminais elétricos em fios de cobre isolados, podendo atingir mais de um milhão de cravações ao longo do seu período de vida útil. Esta cravação deverá respeitar determinados níveis de qualidade, de modo a permitir o correto funcionamento dos aparelhos elétricos a que se destina.

- As dimensões dos terminais a cravar deverão respeitar:
 - Uma espessura de parede não superior a 0,6 mm;
 - Um passo entre terminais compreendido num intervalo de 6 a 35 mm;
 - Uma largura até 12 mm;
 - Uma altura até 5,5 mm;
 - Um comprimento até 42 mm;
- O fio elétrico poderá ter até 10 mm² de secção;
- A alimentação de fio elétrico poderá ser realizada na subida do porta-punções ou na sua descida, consoante esta seja manual ou automática, respetivamente;

- Deverá ser capaz de funcionar associada a uma prensa de cravação cujo ponto morto inferior esteja situado a uma altura de $135,78 \pm 0,02$ mm (medida *standard* para estas prensas) e um curso de 30 a 40 mm;
- A altura de cravação deverá ser regulável até 3 mm (e em passos de 0,02 mm), através de um mecanismo na cabeça do aplicador;
- Longitudinalmente, a posição da cravação relativamente ao terminal também terá de ser ajustável, permitindo ajustar a dimensão da “boca-de-sino” (ver figura 3.13);

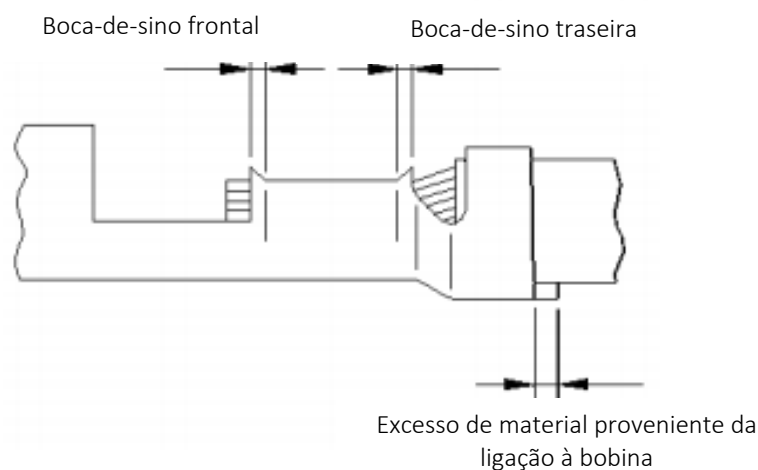


Figura 3.13 – Efeito “boca de sino” na cravação

- O curso do sistema de alimentação deverá ser ajustável, de modo a permitir cravar terminais de bobinas com diferentes passos entre terminais.

Posto isto, encontram-se definidos os objetivos mínimos para esta ferramenta cuja versatilidade e simplicidade deverão ser os principais trunfos quando comparada com outras ferramentas, por norma mais complexas e de difícil adaptação a novas necessidades.

3.4.2. Requisitos específicos do cliente

Do ponto de vista do cliente, para o caso deste terminal em concreto, a ferramenta desenvolvida deverá ser capaz de cumprir os seguintes aspetos:

- As dimensões dos terminais a cravar terão de encontrar-se dentro dos limites definidos para a ferramenta:
 - Espessura de parede de 0,4 mm (figura 3.14);
 - Passo entre terminais de 33 mm (figura 3.14);
 - Largura da cravação de 4,60 mm na secção de isolamento e de 3,25 mm na secção de cobre (figura 3.15);

- Altura da cravação de 4,90 mm na secção de isolamento e de 3,50 mm na secção de cobre (figura 3.15) e;
- Comprimento de cravação de 1,50 mm na secção de isolamento e de 3 mm na secção de cobre (figura 3.16).

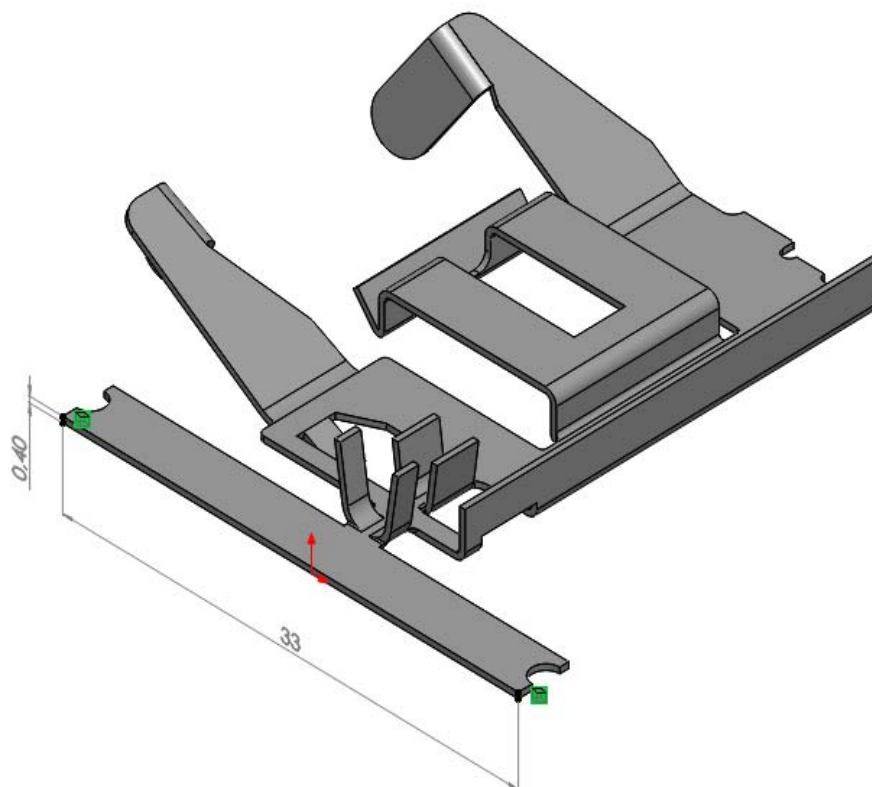


Figura 3.14 – Detalhe da espessura do terminal e do passo entre furos para alimentação

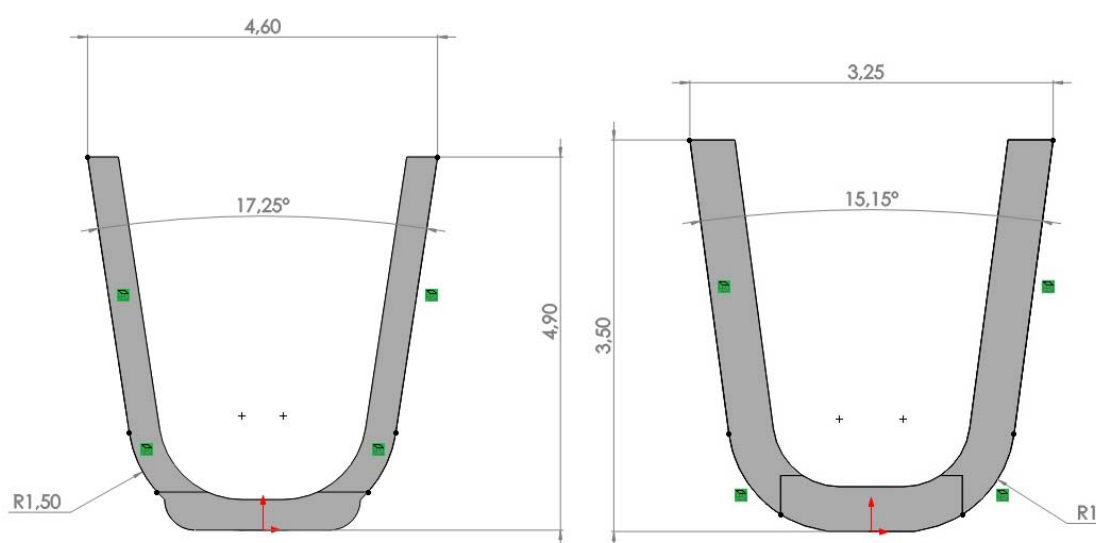


Figura 3.15 – Detalhe da zona de cravação do isolamento (à esquerda) e do cobre (à direita)

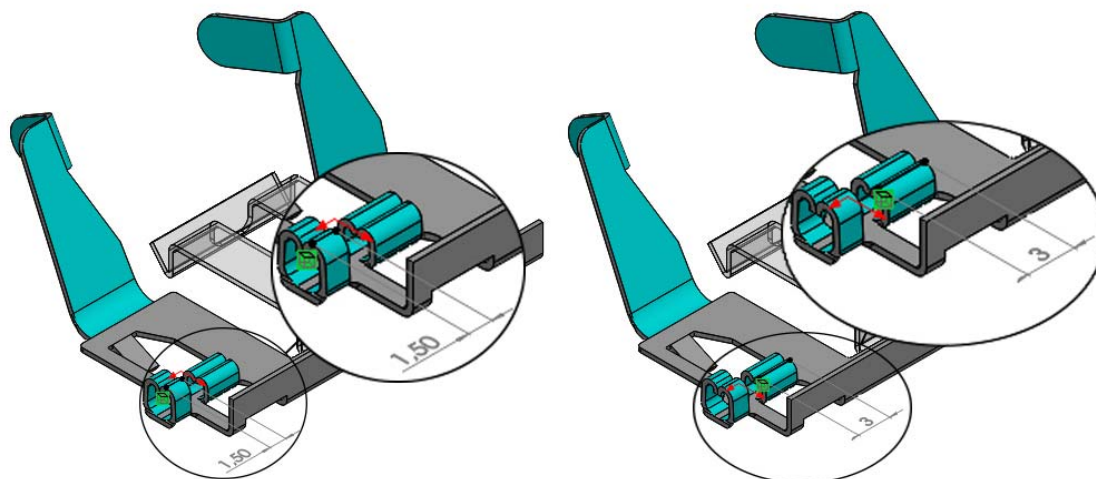


Figura 3.16 – Comprimento das secções a cravar – isolamento (à esquerda) e cobre (à direita)

- A alimentação de fio elétrico, cuja área de secção será responsabilidade do cliente e deverá encontrar-se dentro dos requisitos, será automática e, como tal, será realizada na descida do porta-punções;
- A realização das dobras e cortes no terminal exige um determinado valor de força a ser aplicado. De seguida encontram-se calculadas as forças de cada umas das operações individualmente, assim como um esquema com as alterações provocadas no terminal durante as mesmas, tendo em conta que se trata de um terminal em latão cuja tensão de rotura, R_m , é de 300 MPa, com uma espessura de 0,4 mm:
 - Dobra A e B

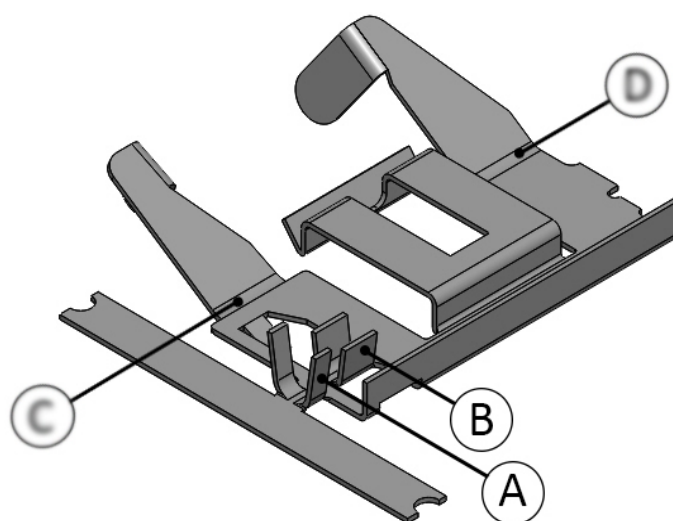


Figura 3.17 – Dobras a realizar nesta fase, com destaque para dobra A e dobra B

- Ambas as dobras assemelham-se a um fenômeno de “edge rolling” (figura 3.18):

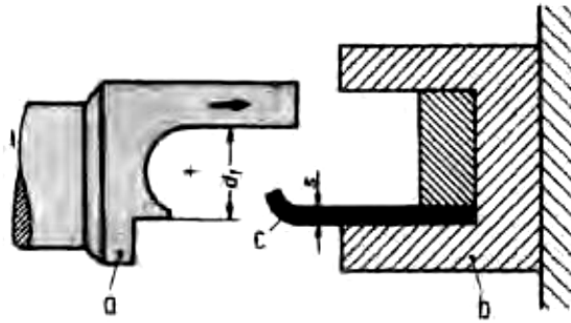


Figura 3.18 – Representação esquemática do fenômeno de “edge rolling”⁵⁹

- Isto significa que a força necessária para realizar essas dobras, F_b , é calculada, segundo (Tschaetsch, 2005), a partir de:

$$F_b = \frac{0,7 \cdot s^2 \cdot w \cdot R_m}{2 \cdot r_1} \quad (5)$$

F_b – Força necessária para realizar as dobras, em N

s – Espessura de chapa, em mm

w – Largura da zona a dobrar, em mm

R_m – Tensão de rotura, em MPa (N/mm²)

r_1 – Raio externo de enrolamento (igual ao raio do die-form)

Posto isto, é possível determinar os esforços para realizar a “Dobra A” e a “Dobra B”, cujas dimensões após cravação deverão estar de acordo com a figura 3.19:

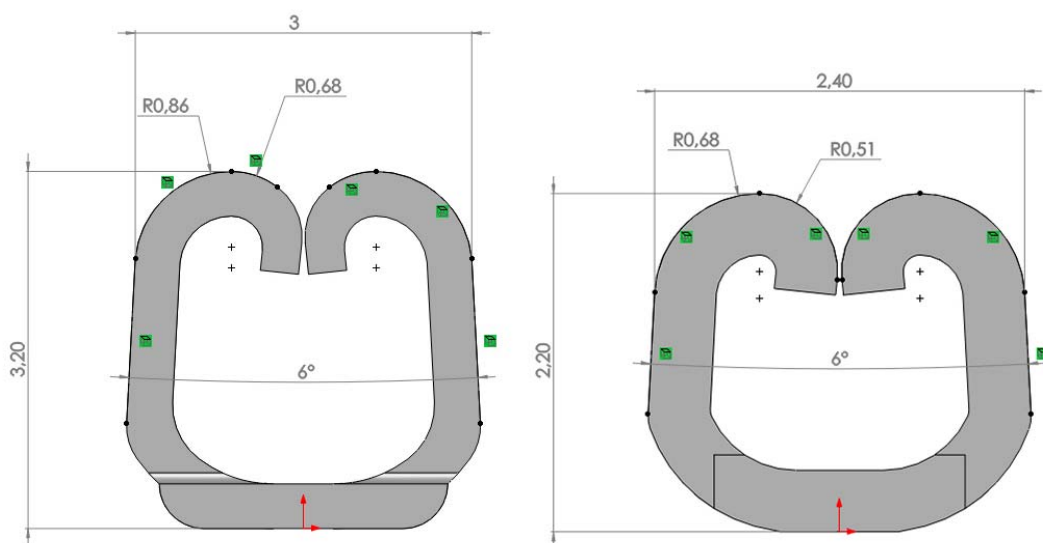


Figura 3.19 – Dimensões das dobras A (à esquerda) e B após cravação (à direita)

⁵⁹ Retirado de: Tschaetsch, Heinz. 2006. *Metal Forming Practise*. s.l. : Springer, 2006.

- Para a dobra A sabe-se que a espessura da chapa, s , é de 0,4 mm, a largura da cravação, w , é de 1,5 mm (ver dimensão na figura 3.16) e o raio do *die-form*, r_1 , é de 0,68 mm (ver figura 3.19). Deverá ser considerado o menor raio do *die-form*, uma vez que é o que resulta numa maior força de dobra. Resta ainda a tensão de rotura, já definida anteriormente, de 300 MPa.

- Tem-se então que:

$$F_b^A = \frac{0,7 \cdot 0,4^2 \cdot 1,5 \cdot 300}{2 \cdot 0,68} = 37,1 \text{ N}$$

- Nota: o valor de força calculada é para apenas uma das dobras. O valor total será o dobro (74,2 N), uma vez que são realizadas duas dobras simétricas na secção de isolamento.

- Para a dobra B, apenas alteram os valores da largura da cravação, w , que tomará o valor de 3 mm (ver dimensão na figura 3.16) e o raio do *die-form*, r_1 , que agora será 0,68 mm (ver figura 3.19). Pela mesma razão, será considerado o menor raio do *die-form*.

- Tem-se então que:

$$F_b^B = \frac{0,7 \cdot 0,4^2 \cdot 3 \cdot 300}{2 \cdot 0,51} = 98,8 \text{ N}$$

- Nota: De forma análoga à dobra A, o valor total será o dobro (197,6 N).
- Dobra C e D

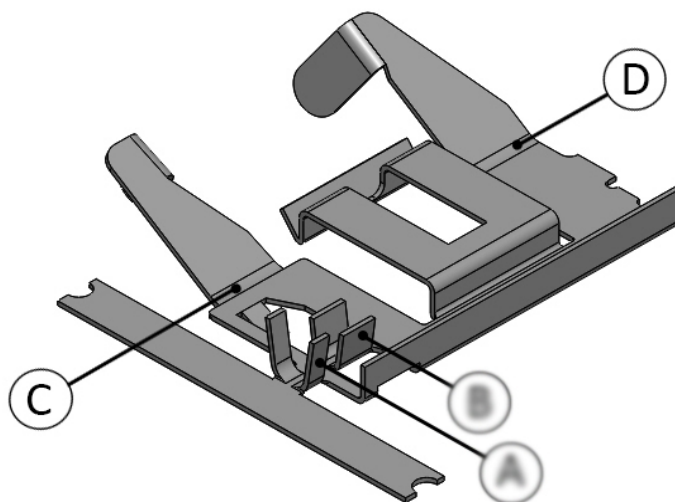


Figura 3.20 – Dobras a realizar nesta fase, com destaque para dobra C e dobra D

- Estas dobras desviam-se um pouco daquilo que é habitual nas ferramentas de cravação e, como tal, não estão englobadas nos requisitos gerais da ferramenta (definidos anteriormente). Contudo, é necessário calcular o esforço necessário para realizar estas dobras que se assemelham a um fenómeno de “*edge bending*” (figura 3.21).

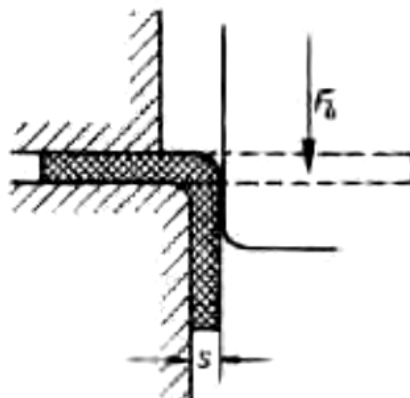


Figura 3.21 – Representação esquemática de “edge bending”⁶⁰

- Isto significa que a força necessária para realizar essas dobras, F_b , é calculada, segundo (Tschaetsch, 2005), a partir de:

$$F_b = 0,2 \cdot s \cdot w \cdot R_m \quad (6)$$

F_b – Força necessária para realizar as dobragens, em N

s – Espessura de chapa, em mm

w – Largura da zona a dobrar, em mm

R_m – Tensão de rotura, em MPa (N/mm²)

Nota: Ao contrário das dobras A e B, em que a afinação da altura de cravação permite controlar a recuperação elástica do terminal após a cravação, estas dobras precisam de ser realizadas prevendo à partida esse efeito. Como tal, e de acordo com a Tabela 3.1, será necessário considerar uma recuperação elástica no ângulo de dobra de 5°.

Tabela 3.1 – Recuperação elástica (angular) em função da espessura da chapa e do raio da dobra⁶¹

Recuperação elástica do ângulo de dobra (β , em graus)	5	3	1
Espessura da chapa (s , em mm)	0,1 a 0,7	0,8 a 1,9	2 a 4
Raio de curvatura da dobra (r_i , em mm)	1.s a 5.s	1.s a 5.s	1.s a 5.s

⁶⁰ Retirado de: Tschaetsch, Heinz. 2006. *Metal Forming Practise*. s.l. : Springer, 2006.

⁶¹ Adaptado de: Tschaetsch, Heinz. 2006. *Metal Forming Practise*. s.l. : Springer, 2006.

Na figura 3.22 pode ver-se as dimensões das dobras C e D após a cravação; 120° na dobra C e 105° na dobra D, o que significa que a matriz deverá ter 115° e 100° nas zonas destas dobras, respetivamente.

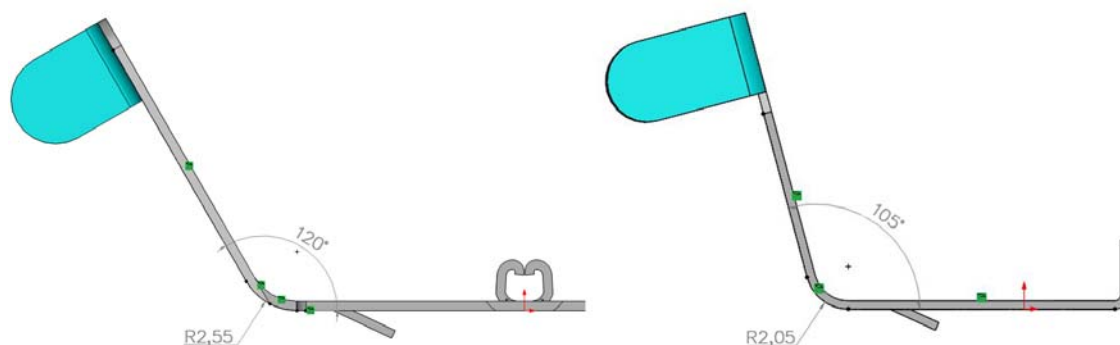


Figura 3.22 – Dimensões das dobras C e D após cravação

Avançando agora para o cálculo dos esforços, tendo como espessura (s) e como tensão de rotura (R_m), anteriormente definidas 0,4 mm e 300 MPa, respetivamente, e definindo a largura (w) das dobras C e D como 6,10 mm e 6,40 mm, respetivamente, a partir da figura 3.23, utilizando a fórmula (6), pode-se determinar a força de dobragem, F_b :

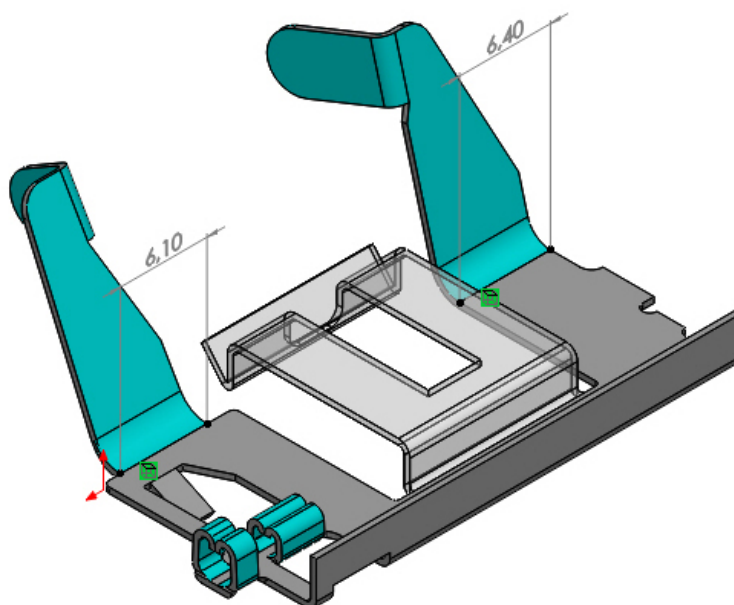


Figura 3.23 – Largura das dobras C e D

Dobra C:

$$F_b^C = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 6,1 \cdot 300 = 146,4 \text{ N}$$

Dobra D:

$$F_b^D = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 6,4 \cdot 300 = 153,6 \text{ N}$$

- Por último, resta calcular a força de corte para aparar o excesso de material (separação da bobina):

$$F_c = P_{corte} \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (7)$$

F_c – Força necessária para realizar o corte de chapa, em N

P_{corte} – Perímetro abrangido pelo corte de chapa, em mm

s – Espessura de chapa, em mm

R_m – Tensão de rotura, em MPa (N/mm²) – 0,8. R_m corresponde à resistência ao corte, R_c .

Considerando que a espessura já foi definida anteriormente, 0,4 mm, assim como a tensão de rotura, 300 MPa, resta apenas definir o perímetro de corte para poder calcular a força de corte. Analisando a figura 3.24, determina-se que o perímetro de corte são 2,6 mm, uma vez que se trata de um corte transversal antes da zona de cravação.

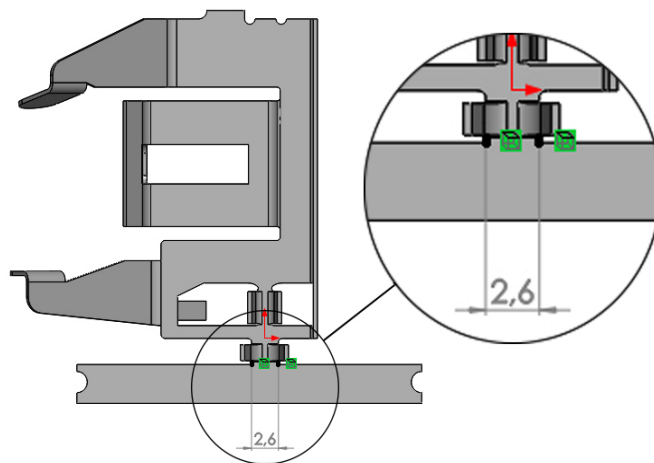


Figura 3.24 – Perímetro abrangido pelo corte da chapa

Procedendo então ao cálculo através da fórmula (7):

$$F_c = 2,6 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 300 = 250 \text{ N}$$

Na tabela 3.2 encontra-se um resumo dos esforços calculados anteriormente:

Tabela 3.2 – Quadro resumo dos esforços em cada cravação

Dobra A, F_b^A	2 x 37,1 = 74,2 N
Dobra B, F_b^B	2 x 98,8 = 197,6 N
Dobra C, F_b^C	146,6 N
Dobra D, F_b^D	153,6 N
Corte de Separação da Bobina, F_c	250 N

3.5. Estabelecimento do conceito geral

Esta ferramenta enquadra-se claramente no conceito de ferramenta combinada, uma vez que concilia operações de corte (separação do terminal) e estampagem (cravação do terminal no fio de cobre) numa só descida da corrediça.

Esta configuração permite uma boa reprodutibilidade de cotas relativas da peça, uma vez que as operações são realizadas sem deslocamento do terminal, apesar de resultar numa maior força necessária para realizar a cravação.

Este tipo de ferramenta enquadra-se numa conceção associada a grandes séries, apresentando uma solução mais económica do que a utilização de várias ferramentas e etapas de fabrico, permitindo também obter uma qualidade superior.

Apesar desta ferramenta ser considerada combinada, as operações não são realizadas exatamente em simultâneo, havendo um ligeiro compasso de espera entre elas. Isto deve-se às diferentes alturas de atuação:

- 1º. O cerra-chapas prende o terminal contra a matriz;
- 2º. O punção que prende o fio (*Wire Holder*) desce para prender o fio de cobre durante a cravação;
- 3º. Os punções de conformação efetuam a descida, juntamente com os do corte, uma vez que ambos estão fixos no mesmo porta-punções (assim como o *Wire Holder* referido anteriormente). No entanto, as diferentes alturas fazem com que os punções de conformação atinjam primeiro o terminal, auxiliando em certa medida a fixação do mesmo durante o corte do excesso de chapa que se efetua de seguida;
- 4º. São efetuadas as restantes operações de conformação/corte que não são necessariamente parte integrante da cravação (exemplo: patilhas de fixação em conetores).

Note-se que este passo não será necessariamente o último, apesar de ser mais vantajoso ser o último passo, de modo a garantir a ausência de deslocações indesejadas do terminal durante a cravação do fio de cobre.

Nota: Ao efetuar as operações em estágios distintos, a carga aplicada pela prensa será menor, e assim não será necessária uma máquina tão potente como se os cortes/conformações fossem efetuados realmente em simultâneo.

3.5.1. Estudo das partes críticas, em termos de solicitação

O processo de cravação representa um elevado nível de exigência para as partes integrantes. A cada ciclo realizado, cada um dos punções e matrizes sofre impacto e elevada compressão, solicitando quer a superfície, quer o núcleo dos punções e matrizes. A juntar a isso, tem-se ainda o facto de os punções serem peças bastante esbeltas, uma vez que cada zona de cravação tem uma largura bastante reduzida, concentrando todo o impacto numa área bastante reduzida.

Para além dos punções e matrizes, também a estrutura é bastante solicitada, estando sujeita a flexões cíclicas a cada cravação, o que é claramente um problema, quando está em causa um volume de cravações na ordem das centenas de milhares. Sempre que os punções embatem no terminal, pressionando-o contra a matriz, o descentramento dessa força em relação ao centro da estrutura irá criar um momento fletor, o que irá trazer problemas de fadiga. Por isso, é bastante importante centrar o máximo possível a cravação do terminal.

Por estas razões, o material dos punções e das matrizes deverá ser resiliente, ou seja, apresentar uma boa resistência ao choque, e tenaz, para evitar a propagação das fendas, que possam ser geradas através dos impactos na cravação. Deste modo, para cumprir estes requisitos, conforme foi visto no ponto 2.1.6, o material dos punções e matrizes deverá ser um aço para trabalho a frio, ao passo que o material da estrutura (base superior, base inferior, espiga e buchas) deverá ser aço de baixo carbono, por exemplo o SAE 1010, que apresenta uma rigidez inferior, ideal para absorver os impactos da ferramenta, assim como os momentos fletores provocados pela cravação. Ainda incluídas na estrutura, mas com propriedades um pouco diferentes, estão as colunas guia. Neste caso, é necessária maior rigidez para garantir um correto guiamento da cravação e apresentar propriedades de óptima resistência ao desgaste.

3.5.2. Estudo das partes críticas, em termos de desgaste

A elevada cadêcia deste tipo de máquinas obriga a ter sempre presente o peso que o problema do desgaste irá representar na vida útil das mesmas. Esse problema é principalmente notório nos componentes diretamente envolvidos na cravação, como o punção e a matriz. Para além destes, também o sistema de alimentação e as colunas guia sofrem desgaste e, por isso, deverão receber atenção especial pelo projetista.

Os punções, sempre que realizam uma cravação, realizam um movimento relativo entre o terminal e o *die-form*. Isto exige que a superfície do punção seja bastante dura, apresentando valores habitualmente superiores a 60 HRC, de modo a evitar o desgaste. Neste caso, a dureza será a propriedade mais importante, uma vez que está diretamente relacionada com a resistência que a superfície apresenta ao desgaste, o que será acentuado em situações em que o material do terminal seja demasiado duro.

No caso das matrizes, como a sua principal função é servir de apoio ao terminal durante a cravação e não existe um deslocamento relativo entre elas e o terminal, a dureza superficial não é tão importante como nos punções, apresentando por isso normalmente menor dureza superficial, ainda assim próxima de 60 HRC.

Os punções e as matrizes poderão ainda ser cromados a duro para aumentar a sua dureza superficial, ou então, tratados superficialmente com revestimentos de baixo atrito e elevada dureza para aumentar a sua resistência superficial ao desgaste.

As colunas guia sofrem igualmente desgaste, provocado pela descida e subida da base superior a cada cravação. Esta solicitação cíclica e contínua a alta velocidade provoca bastante desgaste, exigindo que a superfície das colunas guia seja dura, e por isso, deverá ser cromada a duro e retificada, mantendo a tenacidade no núcleo do material, mas apresentando uma superfície bastante dura e resistente ao desgaste.

O sistema de alimentação também estará sujeito ao desgaste provocado pelo avanço dos terminais que alimentam a cravação ao longo das suas guias. Do ponto de vista da solicitação, neste caso o desgaste não será tão importante como nos casos anteriores, mas é necessário um baixo coeficiente de atrito da superfície, conseguido através de tratamentos superficiais (revestimentos).

3.6. Anteprojeto: soluções possíveis

A ferramenta que irá resultar deste trabalho terá como base o aplicador *standard* da R&B. Uma vez que o terminal a cravar é especial, muitas das peças terão de ser, eventualmente, adaptadas ou então substituídas por outras executadas propositadamente para a ferramenta que o cliente solicitou. Em alternativa, será equacionada uma solução onde será utilizado um maior número de componentes normalizados.

Solução A – Solução oferecida ao cliente. Opção mais próxima do padrão da R&B, com alimentação dos terminais (pneumática e regulável), cabeça de regulação que permite ajustar a altura de cravação (da zona descarnada e do isolamento, individualmente) e apta a funcionar numa prensa comum.

Solução B – Versão melhorada relativamente à solução A. Considerando que a solução A teve como objetivo aproveitar o máximo de peças usualmente construídas na R&B, podendo ser aperfeiçoada, otimizando alguns componentes.

Solução C – Solução alternativa. Opção que considera a utilização de elementos normalizados no mercado, com o objetivo de ser mais competitiva, mantendo a capacidade de ajuste da ferramenta da R&B e ainda melhorando o mecanismo de alimentação de terminais.

Na tabela 3.3 é possível analisar cada uma das hipóteses de forma comparativa.

Tabela 3.3 – Vantagens/ Desvantagens das hipóteses equacionadas

Característica	Solução	Vantagens	Desvantagens
Número de peças a fabricar	A	Solução que utiliza o maior número de peças de <i>stock</i> da R&B. Facilita a especialização da máquina para a operação de cravação.	Elevado número de peças a fabricar aumenta tempo, custo e complexidade de fabrico. Solução terá de ser adaptada para os requisitos do cliente.
	B	Solução que reduz o número de peças a fabricar (em comparação com a solução A).	Pouca utilização de elementos usualmente fabricados pela R&B leva a um maior tempo e custo de fabrico.
	C	Utilização de mais elementos normalizados permite um tempo de fabrico menor, assim como uma complexidade menor da ferramenta.	Utilização de <i>kanban</i> mais reduzida do que na solução A. Especialização da ferramenta dificultada.

Característica	Solução	Vantagens	Desvantagens
Sistema de alimentação	A	Alimentação pneumática com passo ajustável.	Pilotagem do sistema de alimentação algo complexa, utilizando mecanismos intermediários. Sistema de ajuste do passo provoca impactos no sistema de alimentação.
	B		
	C	Alimentação pneumática idêntica à das soluções A e B.	Pilotagem de forma mais direta e simples. Sistema de ajuste do passo repensado para reduzir colisões entre componentes.
Regulação da altura de cravação	A	Cabeça de regulação permite ajustar altura de cravação do isolamento e do cobre individualmente. Funciona também como espiga, realizando a ligação com a prensa que irá acionar a ferramenta.	Sistema de ajuste com bastantes componentes e de complexidade elevada.
	B		
	C	Solução adaptada da cabeça de regulação usada habitualmente pela R&B.	Necessário adaptar sistema para funcionar na solução apresentada.

Característica	Solução	Vantagens	Desvantagens
Layout da máquina (alimentação lateral ou frontal)	A	O <i>stock</i> da R&B está pensado para suportar os dois tipos de alimentação através da alteração de algumas peças.	A alteração do <i>layout</i> obriga à alteração de peças e, caso seja necessária alimentação pela direita da máquina (contrariamente ao habitual), obriga a um projeto especial.
	B		
	C	Capacidade para realizar qualquer tipo de <i>layout</i> sem alteração de componentes – ferramenta modular.	Obriga a realizar bastantes alterações ao atual projeto da R&B.
Número de operações realizadas pela ferramenta	A	A ferramenta da R&B está especializada para a operação de conformação das patilhas de cravação de cobre e de isolamento e para a separação do terminal da bobina.	Qualquer outra operação carece de projeto especial para que se realize uma adaptação.
	B		
	C	A construção modular permite que exista um módulo para a cravação, um para a alimentação de terminais, outro para a separação da bobina e ainda outro para operações extra.	Obriga a realizar bastantes alterações ao atual projeto da R&B.
Dimensões da máquina	A	A especialização dos componentes permite que tudo esteja muito compactado, reduzindo a dimensão do conjunto.	---
	B		
	C	---	Obriga a realizar bastantes alterações ao atual projeto da R&B. Deverá ter dimensões um pouco superiores à solução A.

3.7. Seleção da solução entendida como mais favorável

Após um balanço efetuado às três possíveis soluções, a escolha recaiu sobre a “**Solução C**” pelas seguintes razões:

- Menor número de peças a fabricar (uso de vários componentes normalizados);
 - Resulta num menor custo e num menor *lead-time*;
- Sistema de alimentação pneumático mais simples;
 - Ajuste mais simples do passo;
 - Amenização dos impactos provocados pela alimentação de terminais;
- Construção modular permite adaptar melhor a ferramenta aos terminais a cravar;
 - Alimentação de terminais pode ser realizada em qualquer orientação;
- Regulação da altura de cravação é igualmente possível;
 - Ferramenta projetada para utilizar a cabeça de regulação da R&B;
- Construção modular permite o acréscimo de operações mais facilmente do que no caso da ferramenta da R&B;
- A única desvantagem da ferramenta será a sua dimensão um pouco superior.

No quadro resumo abaixo (tabela 3.4) é possível comparar diretamente cada uma das soluções e classificar cada uma delas do ponto de vista das características enumeradas no tópico anterior.

Tabela 3.4 – Quadro resumo classificativo das soluções apresentadas

Classificação de cada uma das características 3 – Muito vantajoso; 2 – Vantajoso; 1 – Aceitável			
Solução	A	B	C
Nº de peças a fabricar	1	2	3
Sistema de alimentação	1	1	3
Regulação da altura de cravação	2	2	2
Layout da máquina	1	1	3
Nº de operações realizadas	2	2	3
Dimensões	2	2	1
Total	9	10	15

Como se pode ver, a “**Solução C**” apresenta-se como a hipótese globalmente mais vantajosa, e será por isso a opção selecionada para cumprir com os requisitos do cliente.

3.8. Projeto da ferramenta

Partindo da ferramenta da R&B (Solução A) como base, pode-se indicar logo à partida algumas falhas na conceção:

- A forma de guiamento dos punções (figura 3.25):
 - Utilização de superfícies maquinadas numa estrutura em ferro-fundido;
 - Porta-punções de forma paralelepipedica;
 - Guiamento apenas junto às arestas (reduzida superfície de contacto).

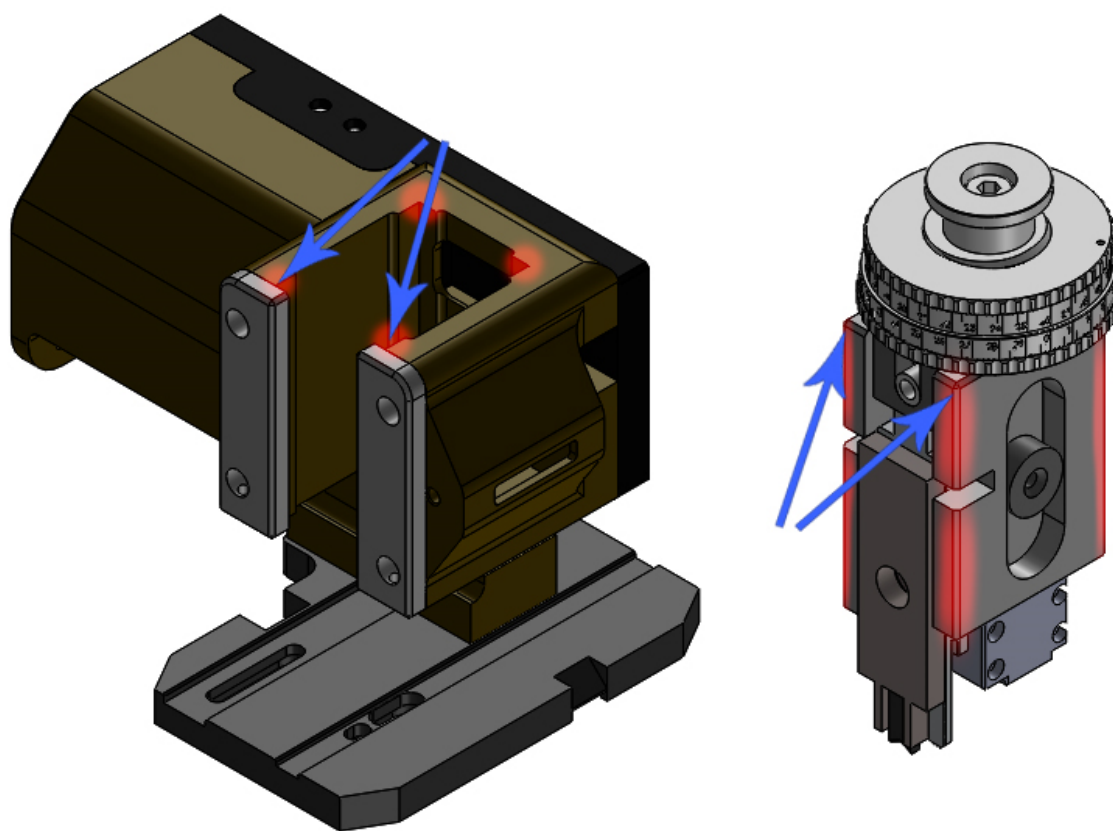


Figura 3.25 – Solução de guiamento do porta-punções típica da R&B

- O descentramento da força realizada na cravação em relação à estrutura (figura 3.26):
 - A força é aplicada bastante afastada da zona resistente da estrutura;
 - Pode implicar falhas por fadiga na estrutura devido ao momento fletor imposto naquela área (destacada a vermelho na figura 3.26);
 - Permite um bom acesso à zona de cravação, mas pode tornar-se pouco seguro para o operador.

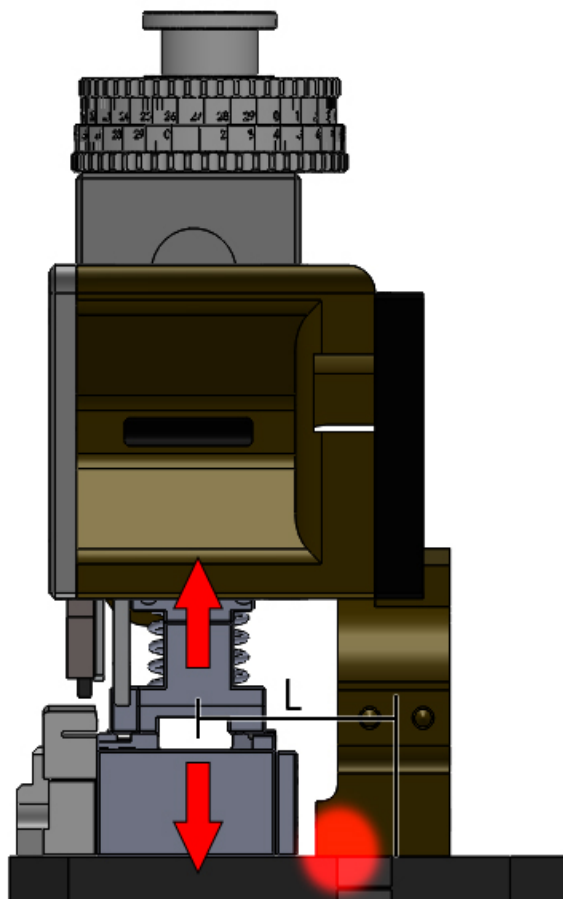


Figura 3.26 – Descentramento das forças de cravação na ferramenta da R&B

- Incapacidade de adaptação a novas necessidades do cliente (figura 3.27):
 - A estrutura encontra-se apenas preparada para PSF ou PEF. Em caso de alteração do *design* do terminal será necessário mudar quase todos os componentes;
 - Terminais com mais operações, que não apenas cravação do cobre e do isolamento, obrigam a complicadas adaptações do projeto da ferramenta;
 - Necessário mais tempo para realização do projeto em caso de um terminal especial.

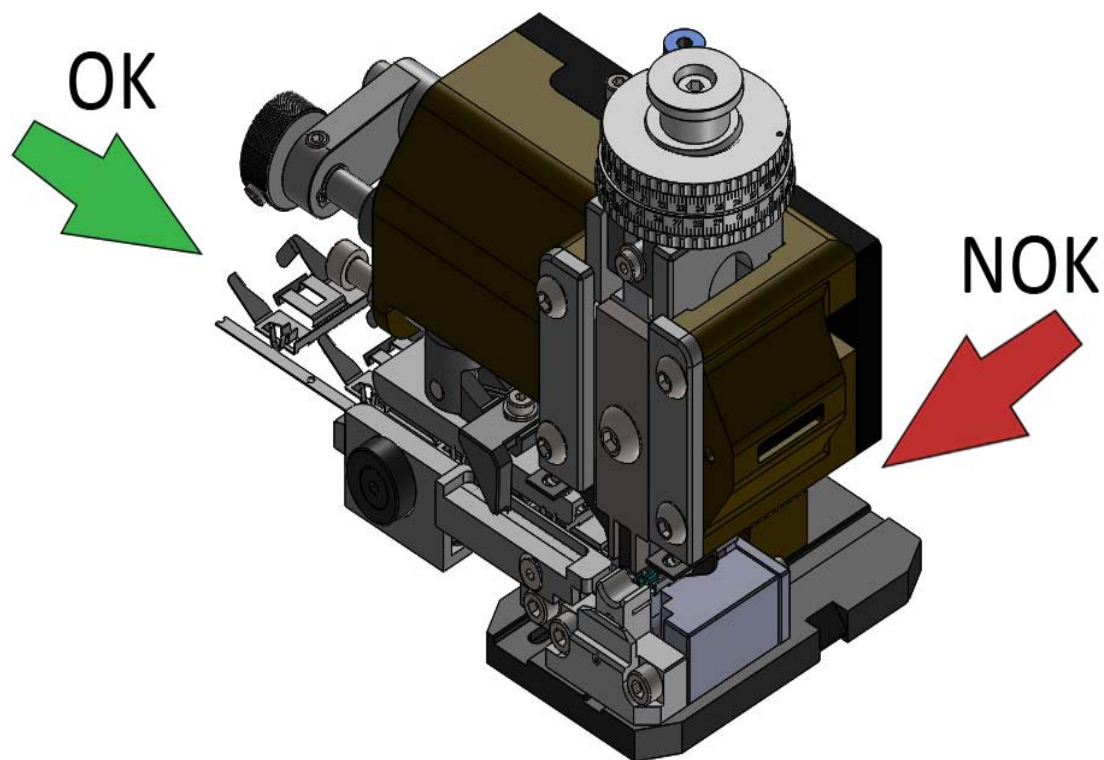


Figura 3.27 – Representação da incapacidade de adaptação na alimentação da ferramenta R&B

- Sistema de pilotagem do cilindro pneumático do sistema de alimentação (figura 3.28):
 - Sistema complexo que envolve interação mecânica de vários componentes:
 - O componente “A” (porta-punções), ao realizar o seu movimento vertical provocado pela prensa, faz deslocar o componente “B” na horizontal. Este ativa o sensor de proximidade responsável pela pilotagem do cilindro pneumático, e faz movimentar este último;
 - Solidário ao cilindro, o componente “C” desloca-se igualmente na horizontal, e assim efetua o avanço da bobina de terminais.
 - Substituição do sistema de pilotagem utilizado por um sistema ótico:
 - Eliminação das interfaces mecânicas que podem ser fontes de erros.

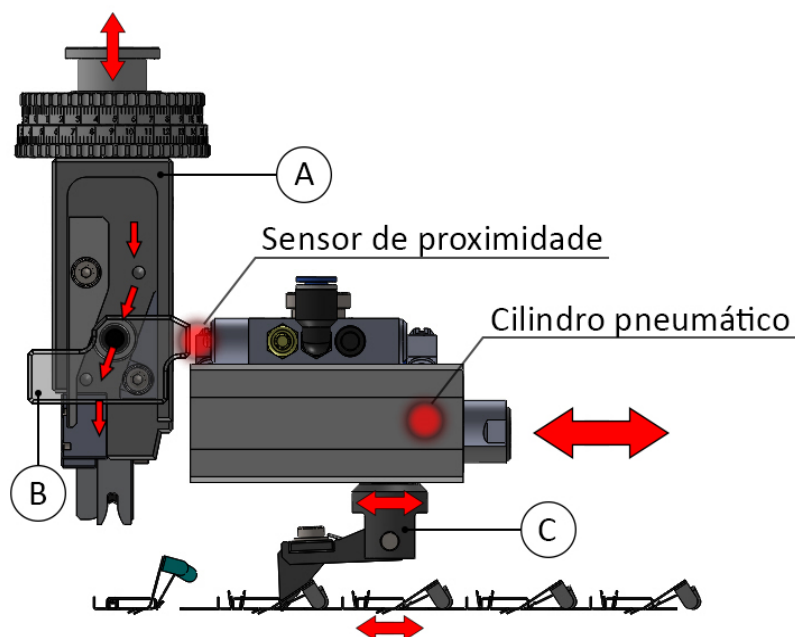


Figura 3.28 – Representação do sistema de pilotagem da ferramenta R&B

- Sistema de ajuste do avanço da alimentação (figura 3.29):
 - Sistema intrincado, em que são necessários quatro apertos/desapertos de parafusos ou porcas, que envolve interação mecânica de vários componentes:
 - Para realizar o ajuste será necessário aliviar o parafuso azul, que permitirá rodar o manípulo vermelho, e assim fazer o ajuste da posição do veio que se desloca solidariamente com o “Componente C” – definindo a posição final do movimento;
 - Para definir a posição inicial deverá ser ajustado o parafuso amarelo (que será travado pela porca verde), e assim limitar o curso do cilindro pneumático;
 - Este tipo de sistema que provoca o bloqueio do cilindro pneumático, para além de permitir colisões entre os componentes (o que pode comprometer a precisão da ferramenta com o passar do tempo), poderá danificar o cilindro pneumático, devido ao excesso de pressão no mesmo;
 - O facto deste tipo de sistema ser mais agressivo para os componentes obriga a que os ajustes sejam travados (pelo parafuso azul e pela porca verde), tornando mais complicada a forma de realizar o ajuste.

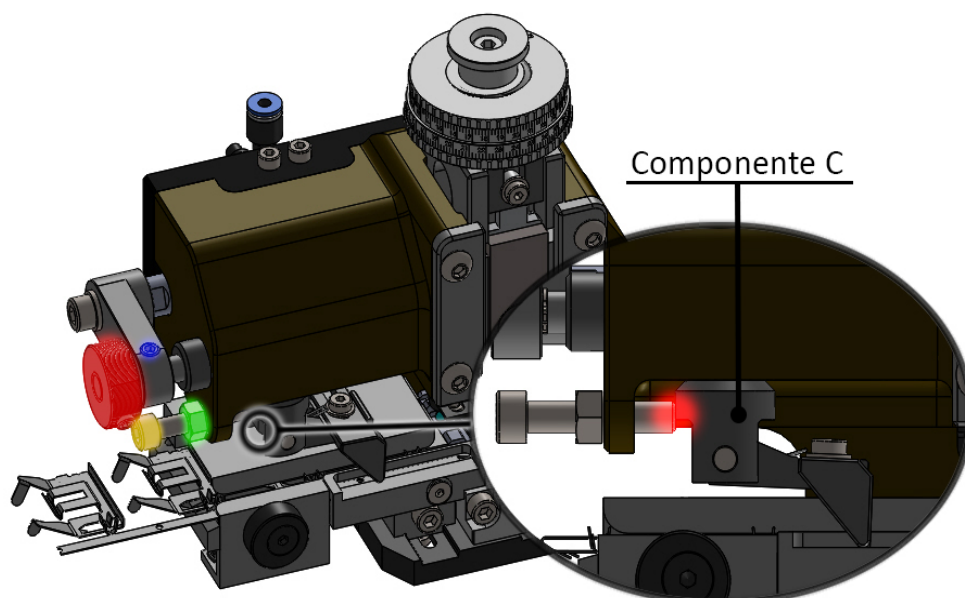


Figura 3.29 – Mecanismo de ajuste do passo/avanço do sistema de alimentação

3.8.1. Estabelecimento do conceito geral

Definidos todos estes aspetos menos positivos da “Solução A”, está encontrado um ponto de partida para a “Solução C”, que deverá apresentar melhorias em relação a todas as características referidas anteriormente:

- a) Guiamento do porta-punções mais preciso;
- b) Redução do descentramento das forças provocadas na cravação;
- c) Maior adaptabilidade a novas necessidades;
- d) Simplificação da pilotagem do sistema pneumático da alimentação e;
- e) Melhoria do mecanismo de ajuste do passo e do avanço do sistema de alimentação.

3.8.1.1. Melhorias em relação à “Solução A”

- Guiamento do porta-punções mais preciso (figura 3.30):
 - Não utilização de faces planas. Ao invés disso, utilizar guiamento por colunas, como habitual nas ferramentas de corte e conformação comuns;
 - Utilização de elementos normalizados (base inferior, base superior e colunas);
 - Base superior e inferior de forma quadrada já fornecida com furações calibradas – no caso da base superior os furos serão G7 (ajustamento deslizante) e P7 no caso da base inferior (com interferência);
 - Quatro colunas-guia colocadas na periferia da ferramenta, fornecidas já tratadas e retificadas com tolerância h6 e;
 - Estrutura composta completamente por elementos normalizados.

- Redução dos tempos de fabrico:
 - Dispensam-se várias operações de maquinagem;
 - Evitam-se falhas de conformidade por operações mal realizadas e;
 - Utilização de componentes de geometria mais simples, e por isso, mais fáceis de fabricar.
- Alinhamento da ferramenta independente de maquinagens.

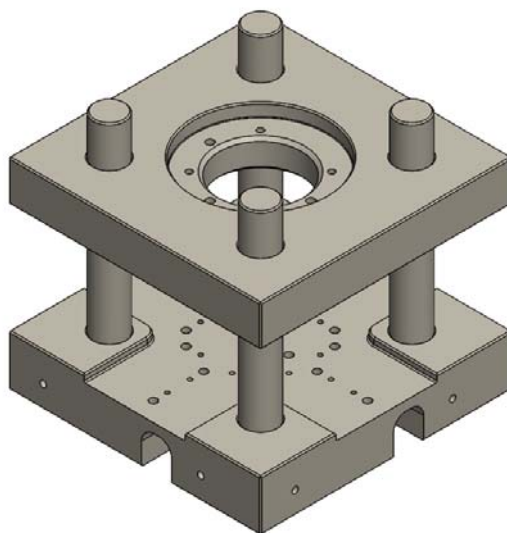


Figura 3.30 – Estrutura da ferramenta "Solução C" – Guiamento do porta-punções

- Redução do descentramento da força aplicada (figura 3.31):
 - Porta-punções colocado no centro da estrutura da ferramenta, entre as quatro colunas-guia;
 - Distribuição da força de forma mais equilibrada sobre as quatro colunas e;
 - Atenuação do aparecimento de fissuras na estrutura devidas a fadiga.

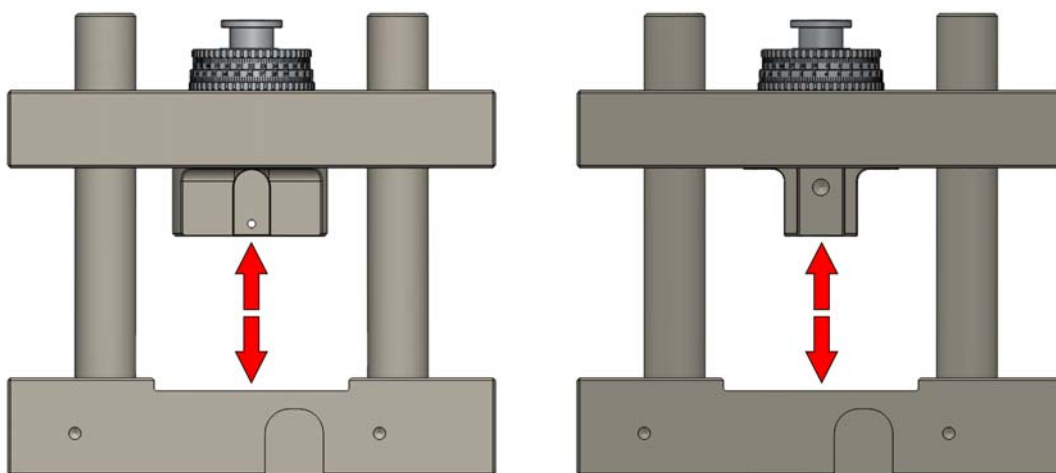


Figura 3.31 – Centramento do porta-punções na ferramenta

- Melhor adaptação a novas necessidades (figura 3.32):
 - O *design* modular permite fixar matrizes secundárias (pormenor à direita da figura 3.32) na matriz principal:
 - Ideal nas situações em que existem outras operações que não apenas as de cravação do isolamento e do cobre (como é o caso).
 - Simetria da ferramenta:
 - O módulo de alimentação dos terminais tem capacidade de ser realizado em quatro posições ($4 \times 90^\circ$);
 - Capacidade para realizar a alimentação de qualquer tipo de terminal elétrico, permitindo a adaptação a novas necessidades sem recorrer a uma ferramenta nova.

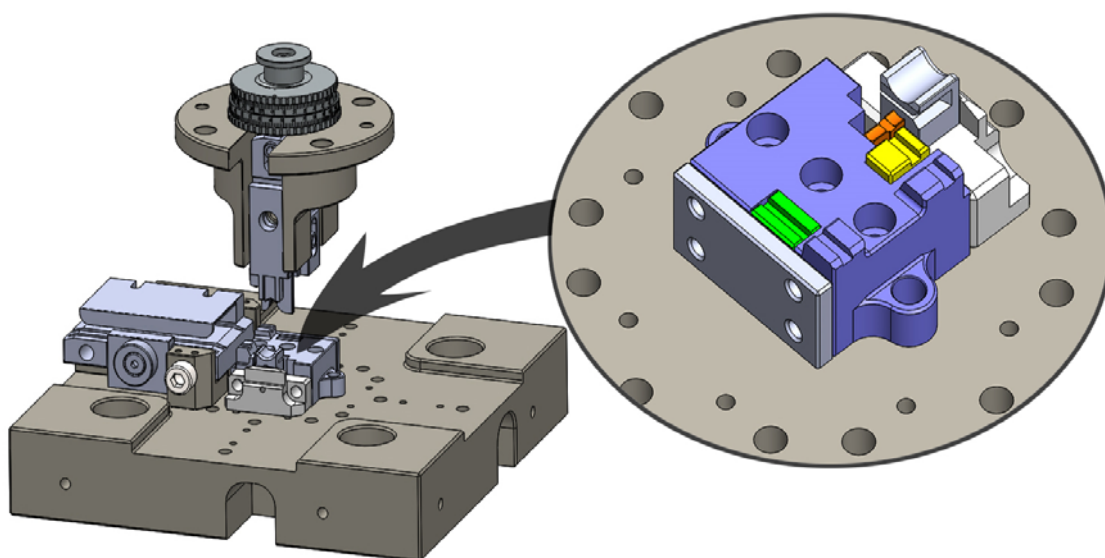


Figura 3.32 – Sistema modular (alimentação e matrizes)

- Sistema de pilotagem simplificado (figura 3.33):
 - O sistema de pilotagem, através de sensores óticos, permite uma maior flexibilidade de operações;
 - Apresenta-se como uma solução mais simples, uma vez que contém menos componentes, e assim, menos fontes de possíveis falhas;
 - Uma das quatro colunas da ferramenta terá duas facetas onde serão colocados os sensores óticos de retro-reflexão:
 - A base superior, ao atingir o ponto morto superior (PMS), fará com que o refletor fique alinhado com o “Sensor ótico A”;

- Ao detetar a reflexão do feixe de luz será enviado um sinal para o sistema de alimentação de terminais para ativar o cilindro pneumático, iniciando a alimentação de terminais;
 - Quando a base superior atinge o ponto morto inferior (PMI), o “Sensor ótico B” irá ficar alinhado com o refletor e;
 - Será enviado sinal para que o cilindro pneumático faça recuar o sistema de alimentação, preparando-se para alimentar novos terminais.
- o Colocação dos sensores nas colunas e dos refletores na base superior, para evitar que os cabos se desloquem juntamente com a ferramenta:
- Apenas os refletores, que não têm conexão elétrica, se encontram em movimento e;
 - Os sensores têm posição fixa nas colunas, eliminando assim mais uma possível causa de falhas, precavendo que se possam esmagar os cabos elétricos dos sensores.

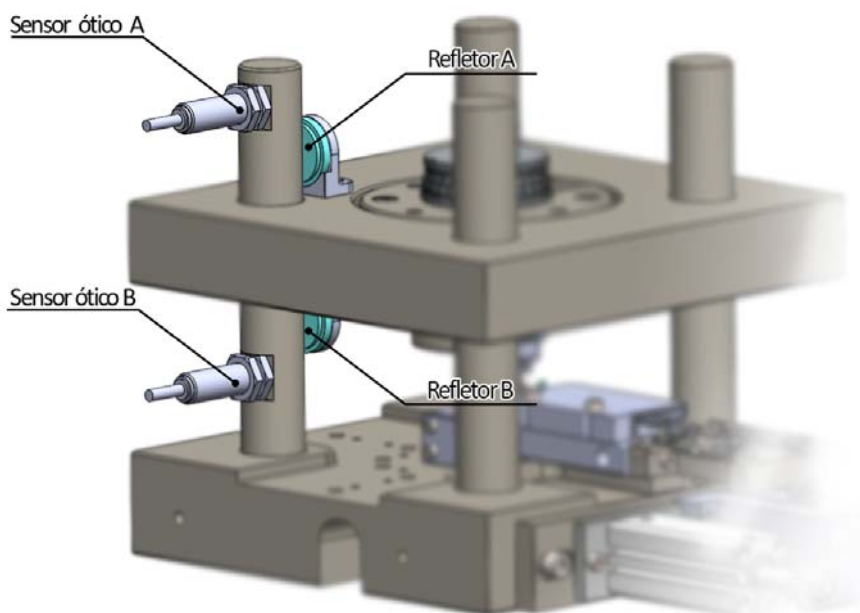


Figura 3.33 – Pilotagem do sistema de alimentação pneumática por sensores óticos

- Mecanismo de ajuste do avanço do sistema de alimentação (figura 3.34):
 - o Redução dos apertos/desapertos necessários para o ajuste:
 - São necessários apenas dois apertos/desapertos;
 - O “Parafuso A” permite posicionar o início do movimento de alimentação (ponto de partida) e;
 - O “Parafuso B” permite ajustar o final do movimento de alimentação (ponto de chegada).

Nota: Todo o mecanismo de ajuste será visto em detalhe mais adiante.

- Diminuição do problema das colisões referido no ponto anterior;
- Este sistema permite manter o passo do cilindro constante, e assim utilizar um cilindro mais simples;
- Ambos os parafusos deverão ser de passo fino para melhorar o ajuste.

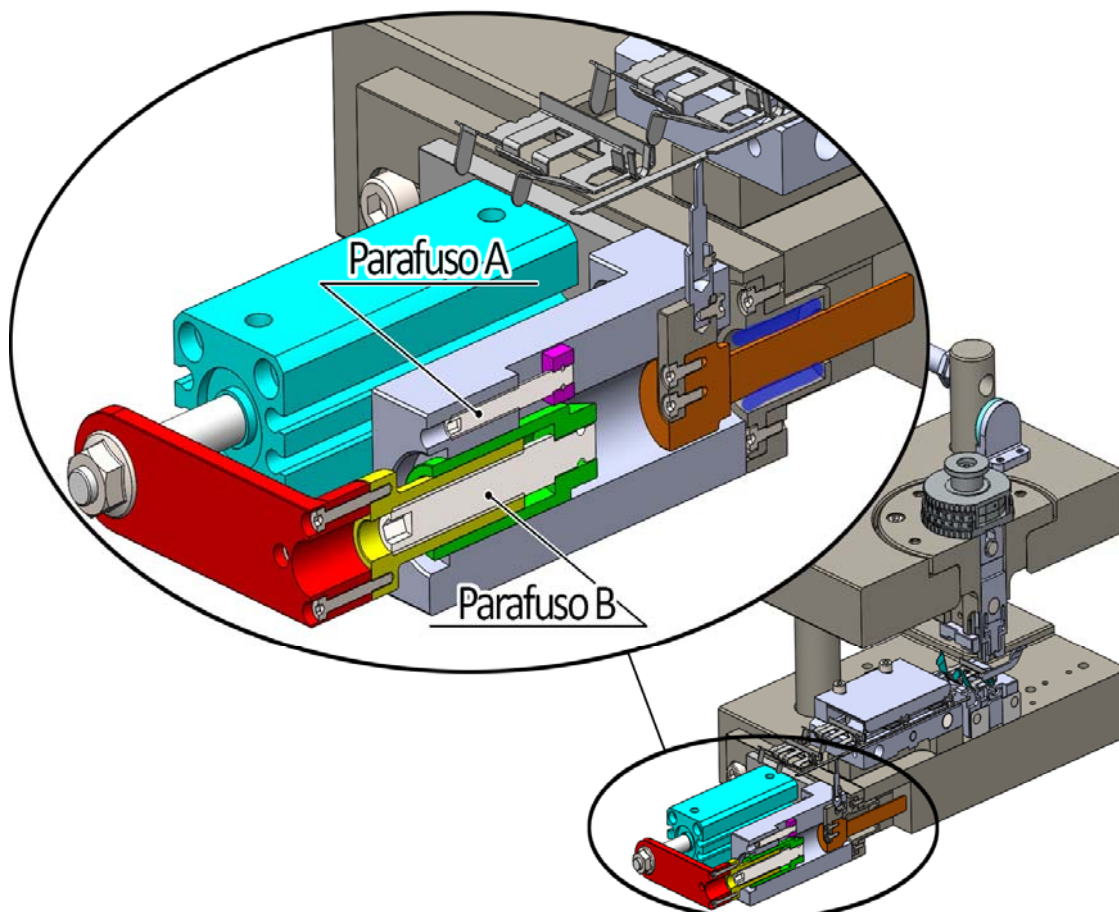


Figura 3.34 – Representação esquemática do sistema de ajuste do passo/avanço

3.8.1.2. Restantes particularidades da “Solução C”

3.8.1.2.1 Dimensões gerais da máquina

Na figura 3.35 estão representadas as principais dimensões (exteriores) da ferramenta:

- Largura = Comprimento = 200 mm
- Altura = 190 mm
- Largura extra devido ao sistema pneumático = 87,5 mm

Comparativamente com as dimensões do catálogo do aplicador pneumático (PSF – *Pneumatic Side Feed*) da R&B, esta solução será um pouco maior, mas a versatilidade compensa largamente esta desvantagem.

- Largura do aplicador PSF da R&B: 205,2 mm
- Altura do aplicador PSF da R&B: 135,78 mm
(na posição de PMI, mesma dimensão da solução apresentada)
- Comprimento do aplicador PSF da R&B: 107,2 mm

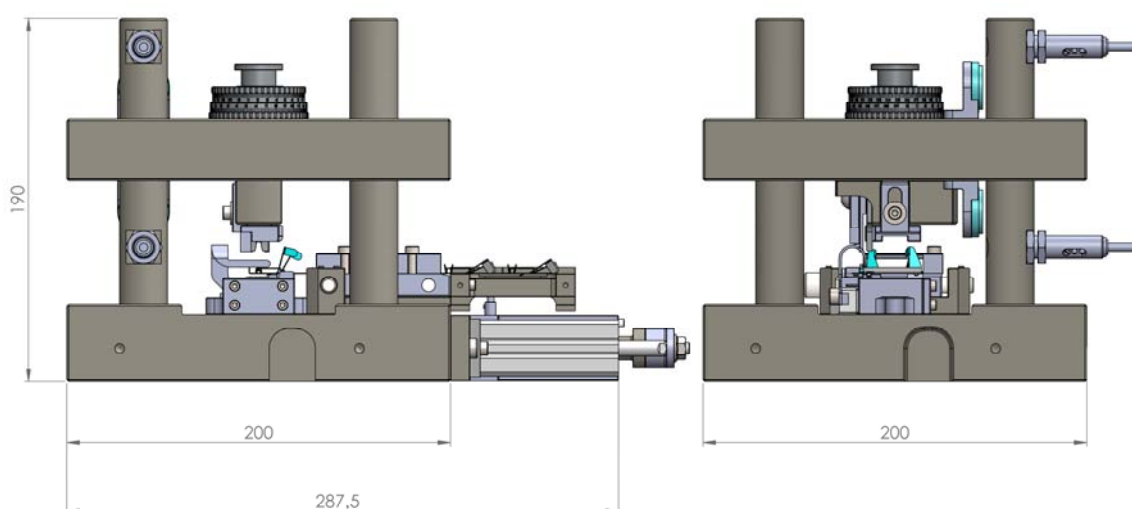


Figura 3.35 – Dimensões gerais da ferramenta

3.8.1.2.2 Sistema de guiamento

Para guiamento da ferramenta, em vez de utilizar uma estrutura em ferro fundido como no caso da R&B, que carece de maquinagem antes de finalizar o fabrico, serão utilizados materiais normalizados, comuns a outras ferramentas de corte e estampagem. Se por um lado esta escolha obriga a que as dimensões gerais da máquina sejam superiores, uma vez que os componentes de maiores dimensões (bases e colunas) não serão feitos à medida, esta permite poupar bastante tempo de fabrico e simplificar o processo de fabrico da ferramenta no geral.

3.8.1.2.3 Construção modular

Conforme já foi referido anteriormente, a ferramenta divide-se em módulos (alimentação, cravação e estrutura), permitindo a mais fácil adaptação às necessidades do cliente. De entre os vários módulos, a principal vantagem é apresentada pelo módulo de alimentação que, apenas alterando os pontos de fixação do módulo, permite passar a ferramenta de um PSF para um PEF (*Pneumatic Side Feed*) ou ainda um PSF com alimentação feita pelo outro lado da ferramenta.

Enquanto a ferramenta da R&B obrigaria o cliente a alterar completamente o aplicador em caso de alteração da forma do terminal, com esta solução poderá ser feita uma cravação com o mesmo formato, mesmo num terminal com uma configuração diferente, apenas com alteração de posição do módulo e nova afinação.

Na figura 3.36 pode verificar-se essa capacidade de adaptação, em que o módulo de alimentação tem capacidade de rodar 4 x 90° (diferentes posições representadas em azul). Esta capacidade permite cumprir todos os tipos de alimentação de terminais elétricos (pelo menos os mais comuns), e é uma das grandes vantagens desta solução.

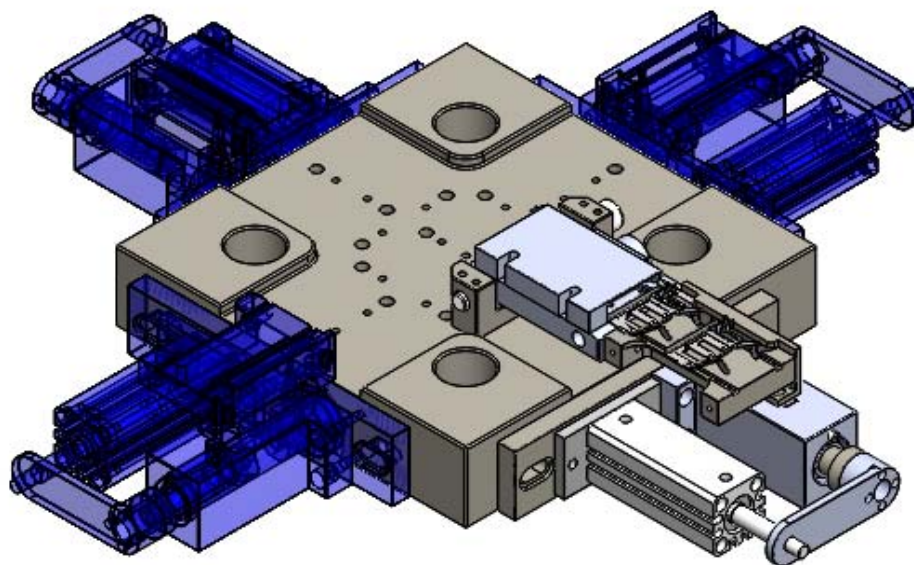


Figura 3.36 – Representação da construção modular da alimentação de terminais

3.8.1.2.4 Ajustes e afinações da ferramenta

Para além da afinação do avanço e do passo já mostrados anteriormente, é possível ainda ajustar o efeito de “boca-de-sino” e a altura de cravação – através da cabeça de regulação da R&B, que permite ajustar a altura total da cravação e ainda a altura de cravação do isolamento separadamente. Note-se que a cabeça de regulação não é parte integrante do que foi estudado nesta tese. Apenas foi realizada uma adaptação para que esta ferramenta desenvolvida esteja apta a utilizar esse sistema já existente e patenteado pela R&B.

Quanto ao ajuste do efeito de “boca-de-sino” (já referido anteriormente, mas não aplicado a esta ferramenta em concreto), este tem como principal função centrar a cravação, principalmente na zona do cobre, para garantir que esta é efetuada com a máxima qualidade, aproveitando ao máximo a largura das patilhas do terminal que irão prender o fio. Para tal, existe um parafuso sem-fim (representado a amarelo na figura 3.37) que permite ajustar a posição de todo o suporte de alimentação do terminal.

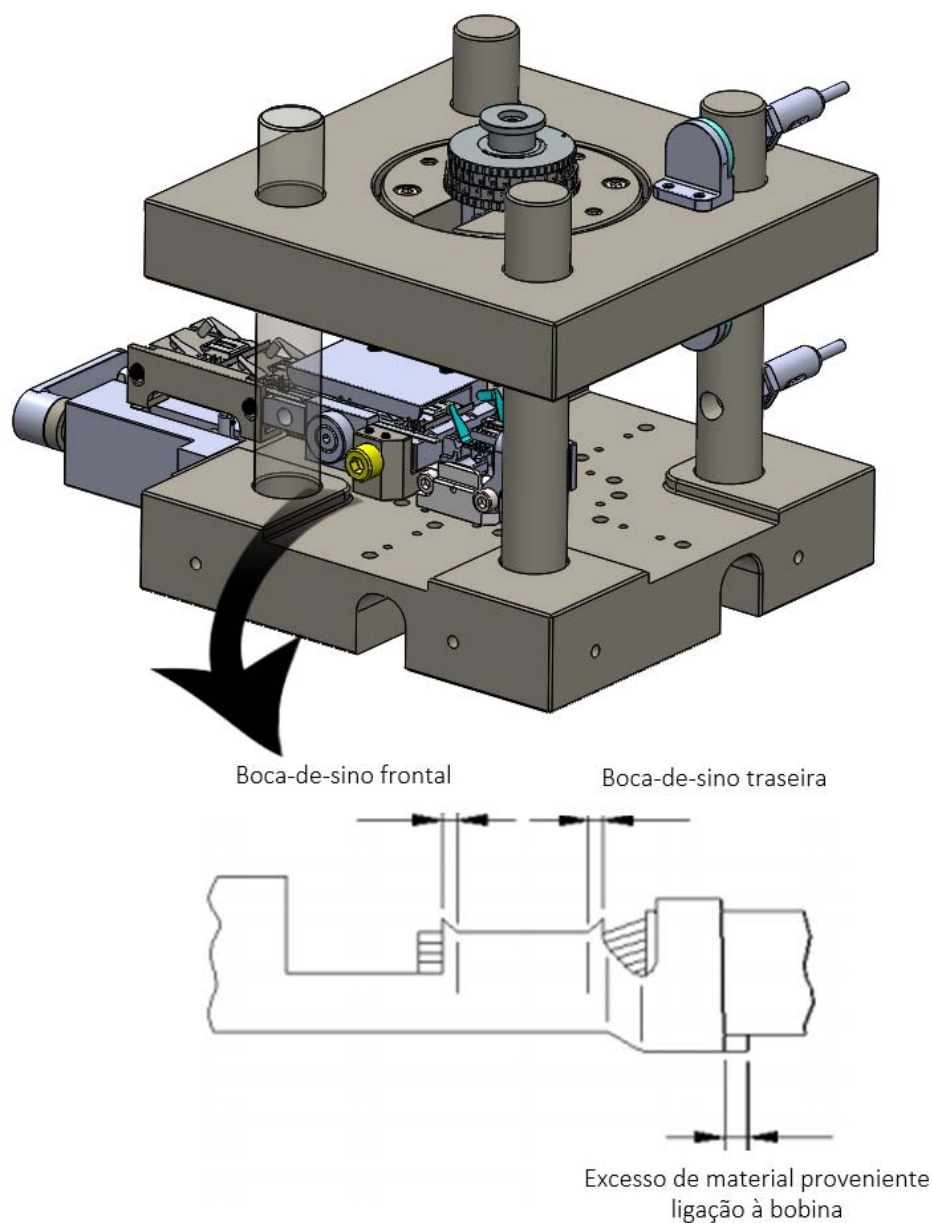


Figura 3.37 – Parafuso de ajuste do efeito boca-de-sino

Este parafuso encontra-se fixo no suporte de alimentação por uma cavilha e, assim, ao rodar o parafuso em sentido horário, o suporte irá afastar-se da frente da máquina, fazendo com que o efeito de “boca-de-sino” aumente no lado do fio elétrico. Ao rodar o parafuso no sentido contrário (anti-horário), o suporte irá aproximar-se da frente da máquina (da zona onde é alimentado o fio elétrico) e assim a “boca-de-sino” irá aumentar do lado contrário. Na figura 3.38 é possível visualizar em detalhe a forma do parafuso, e assim compreender melhor o que foi referido acima.

O ajuste restante, o da altura de cravação, é realizado com a cabeça de regulação da R&B (figura 3.39). Este ajuste é um dos principais fatores de *benchmarking* e apresenta uma grande vantagem, possibilitando uma afinação da força de cravação a realizar no terminal de forma simples.

Do pouco que é possível dizer acerca deste sistema, interessa referir que a zona de menor diâmetro tem como finalidade acoplar a ferramenta na prensa do cliente, através de um sistema semelhante aos garfos de um empilhador, e que os dois discos com escalas gravadas permitem o ajuste da altura propriamente dito, permitindo até 0,3 mm de ajuste, em incrementos de 0,02 mm.

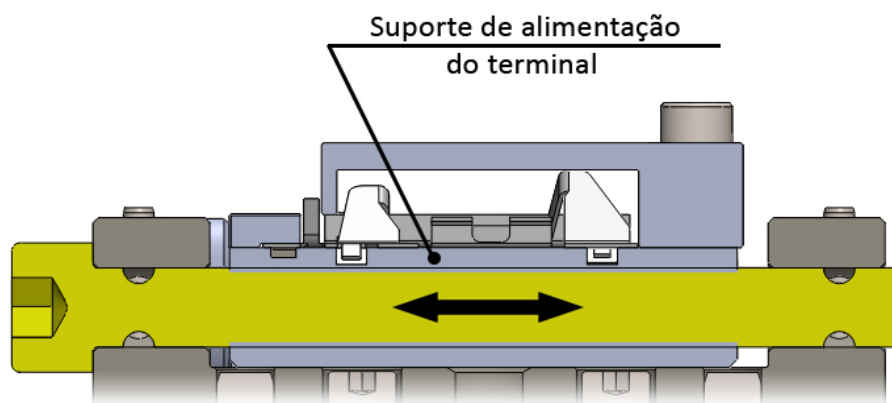


Figura 3.38 - Vista em corte do mecanismo de ajuste do efeito "boca-de-sino"

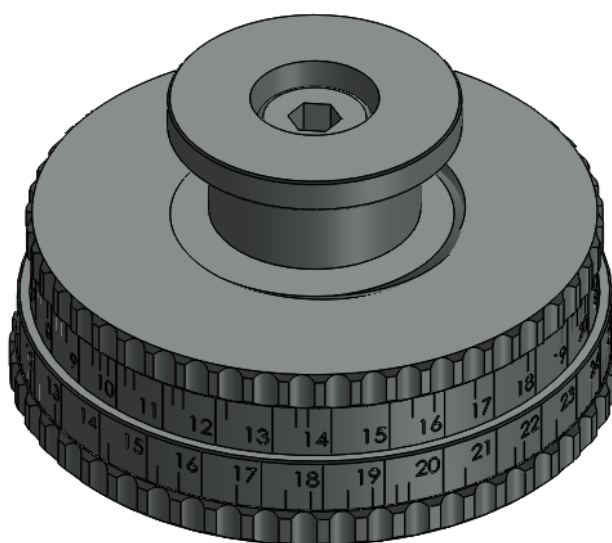


Figura 3.39 – Representação da cabeça de regulação R&B

O disco superior permite o ajuste da altura total, rodando no sentido anti-horário (vendo a cabeça de regulação de cima da ferramenta) para aumentar a altura de cravação, e no sentido horário para o efeito contrário. Já o disco inferior permite apenas o ajuste da altura de cravação do isolamento, seguindo o mesmo princípio do disco superior. Neste caso, no punção de cravação do isolamento existe um rasgo oblongo para que, ao realizar o ajuste, o batente do punção se desloque, limitando o curso do punção – ver figura 3.40.

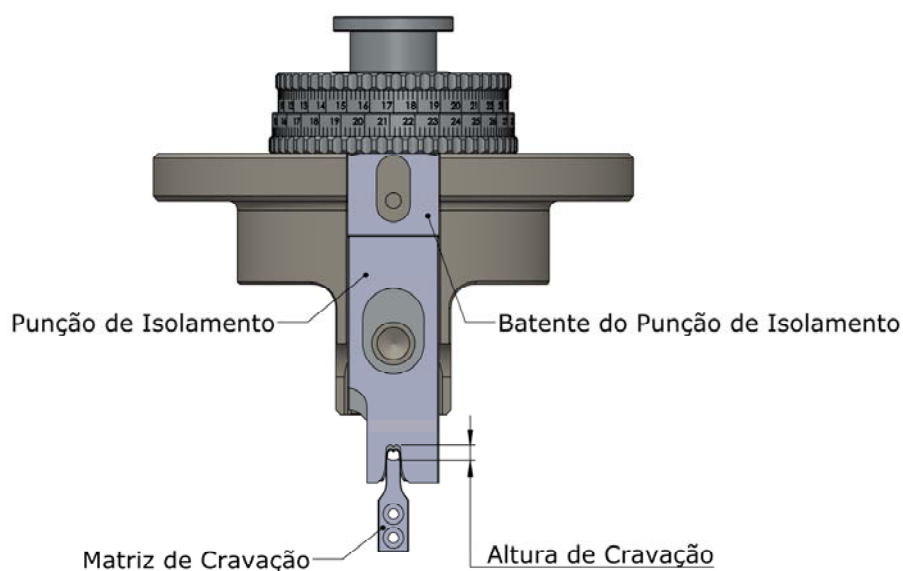


Figura 3.40 – Pormenor do ajuste da altura de cravação do isolamento

3.8.1.2.5 Sequência operacional (passo a passo)

Para este tópico será analisado cada um dos módulos, de forma a clarificar melhor a sequência operacional dentro de cada um.

- **Módulo de cravação**

No caso do módulo de cravação a sequência é a seguinte:

1. O cerra-chapas prende o terminal contra a matriz (figura 3.41):

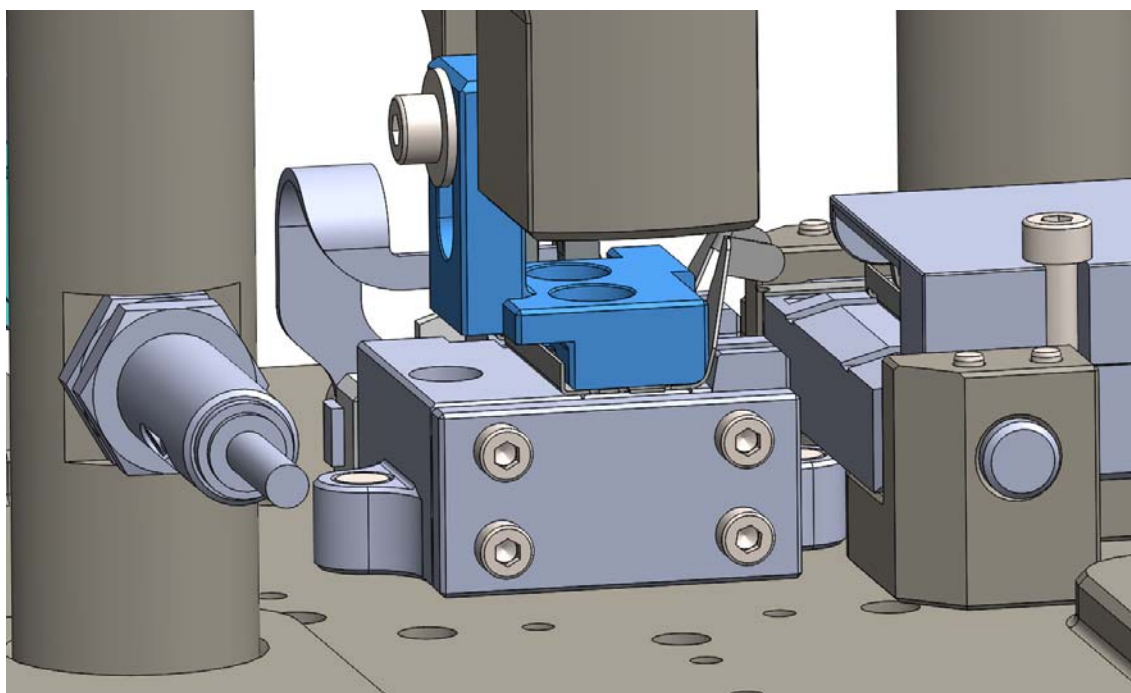


Figura 3.41 – Detalhe de funcionamento do cerra-chapas

- O cerra-chapas, representado a azul na figura 3.41, desempenha um papel bastante importante na correta operação desta ferramenta, uma vez que é este componente que garante que não existe deslocamento do terminal durante a cravação;
- Após encostar no terminal, que por sua vez encosta na matriz, as molas que exercem força sobre o cerra-chapas (não representadas na figura) iniciam a sua compressão. Esta parte será responsável pela realização da força correta para que o terminal fique imóvel durante a cravação;
- No início do contacto entre o cerra-chapas e o terminal, a altura total da ferramenta (medida a partir da cabeça de regulação) é de 145,55 mm, o que significa que estas molas terão de realizar a força necessária ao fim de 9,77 mm, considerando que o PMI é 135,78 mm;
- Note-se que ao atingir o PMI o cerra-chapas irá ainda realizar as dobras designadas anteriormente como C e D (ver figura 3.42), que deverão ser consideradas também no dimensionamento das molas.

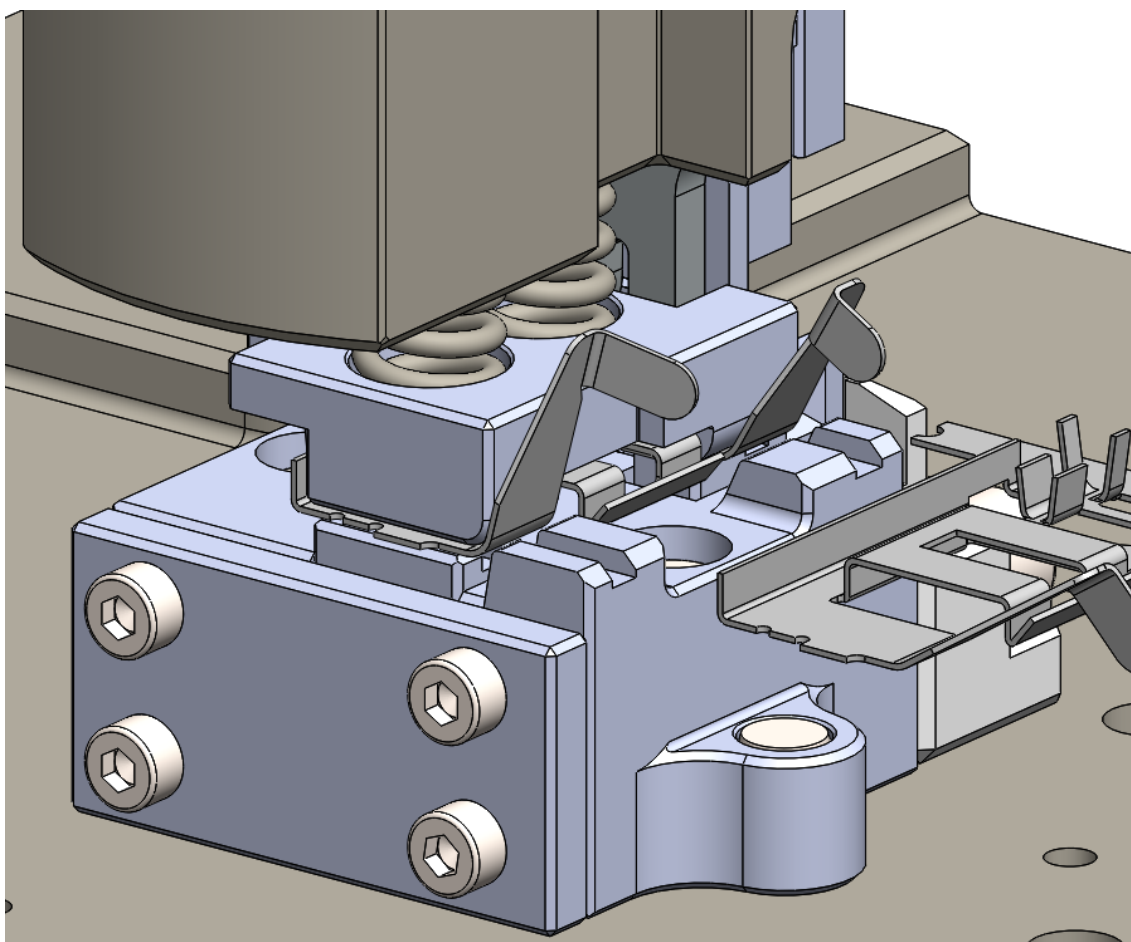


Figura 3.42 – Detalhe da conformação das dobras C e D

2. O punção de fixação do fio desce para prender o fio de cobre durante a cravação (figura 3.43):

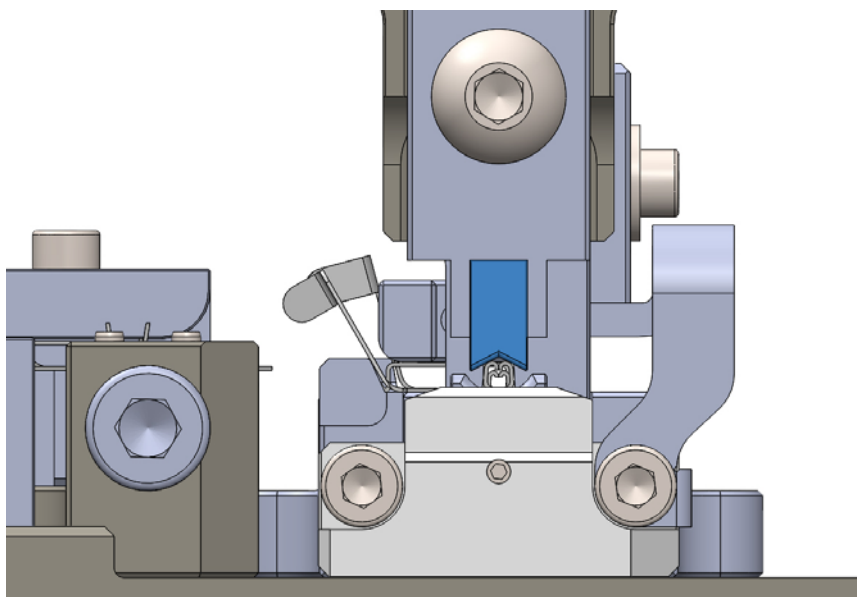


Figura 3.43 – Detalhe de funcionamento do punção de fixação do fio

- A função deste punção é apenas manter o fio de cobre fixo durante a cravação e, como tal, é necessariamente um dos primeiros punções a entrar no processo;
- Será também acionado por duas molas (colocadas na zona sombreada a amarelo na figura 3.44) colocadas numa cavidade no interior do punção que fará o corte do excesso da bobina de terminais;
- Estas molas terão uma contração próxima de 6 mm (dependendo do diâmetro do fio) e um comprimento inicial de 10 mm.

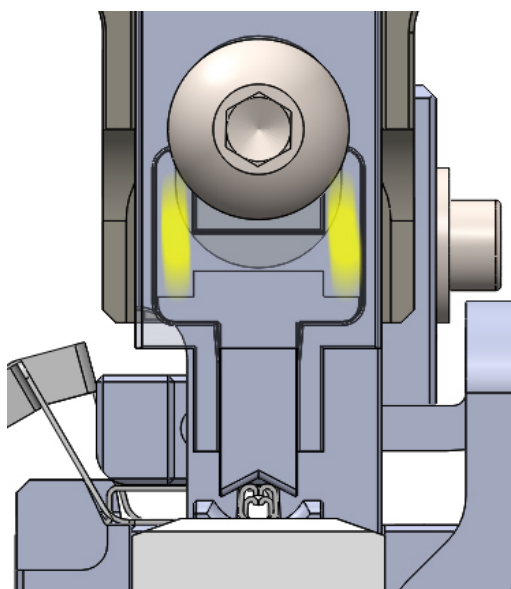


Figura 3.44 – Detalhe das molas do punção de fixação do fio

3. Os punções de conformação concluem a cravação e ocorre o corte do excesso de material (figura 3.45 e 3.46):

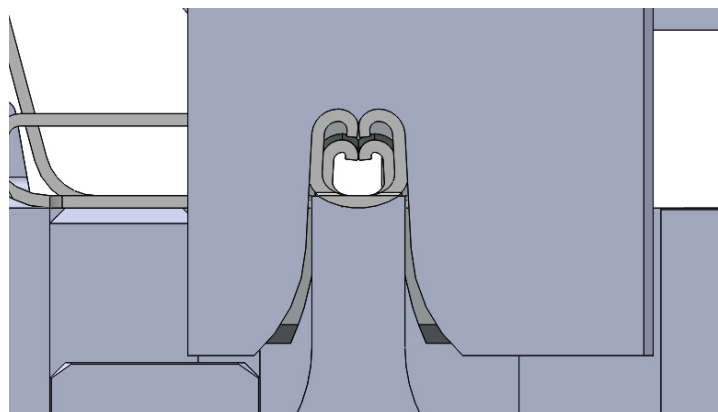


Figura 3.45 – Detalhe dos punções a realizar a cravação

- O primeiro punção a entrar em contato com o terminal é o do isolamento mas, dependendo da calibração da cabeça de regulação, deverá só iniciar trabalho após o punção do cobre. Isto deve-se ao facto de que, conforme foi visto anteriormente, a cabeça de regulação permite ajustar a altura da cravação de isolamento, logo o punção do isolamento apenas realizará a cravação quando atingir o batente (visto anteriormente).
- Na figura 3.46 vê-se o par responsável pelo corte do excesso de bobina remanescente da união entre terminais. O punção de corte do excesso desloca-se solidário com os punções de cravação e, ao encostar na matriz de corte do excesso, comprime uma mola, iniciando a sua compressão quando a ferramenta apresenta uma altura total de 142,40 mm (medida a partir da cabeça de regulação), o que significa uma compressão no PMI de 6,62 mm.

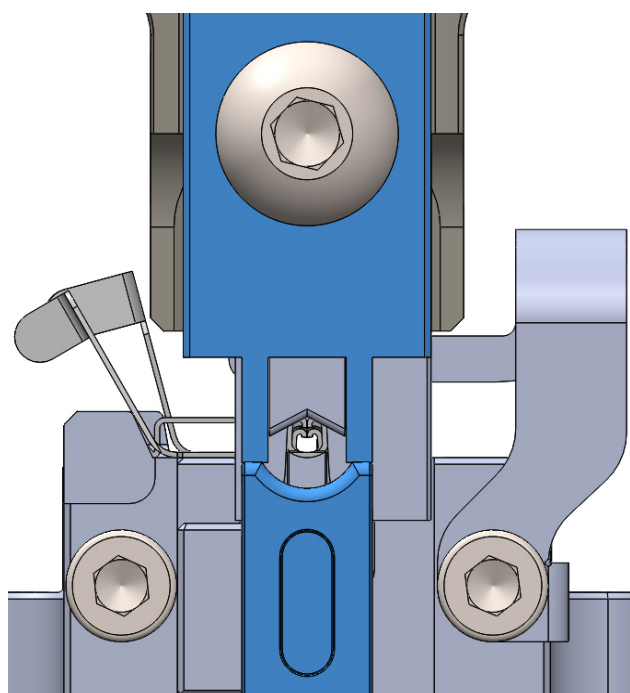


Figura 3.46 – Detalhe do par punção/matriz de corte do excesso de bobina (assinalado a azul)

- Na figura 3.47 pode-se ainda visualizar o entalhe da matriz de corte do excesso de bobina, pelo qual a bobina de terminais deverá passar e será responsável pelo corte. A fita deverá passar por entre as faces sombreadas a amarelo e, assim, quando o punção comprimir a face superior da matriz, por ação de molas, esta irá descer e provocar o corte.

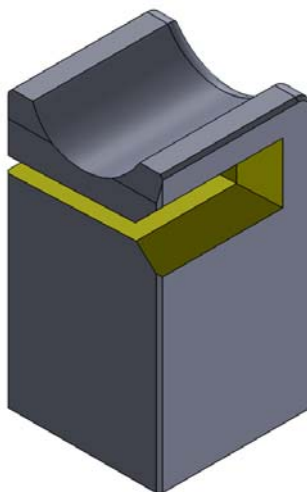


Figura 3.47 – Pormenor da matriz de corte do excesso de bobina

- **Módulo de Alimentação**

No caso do módulo de alimentação a sequência é a seguinte:

1. Receção de sinal para pilotagem do cilindro – início da alimentação (figura 3.48):

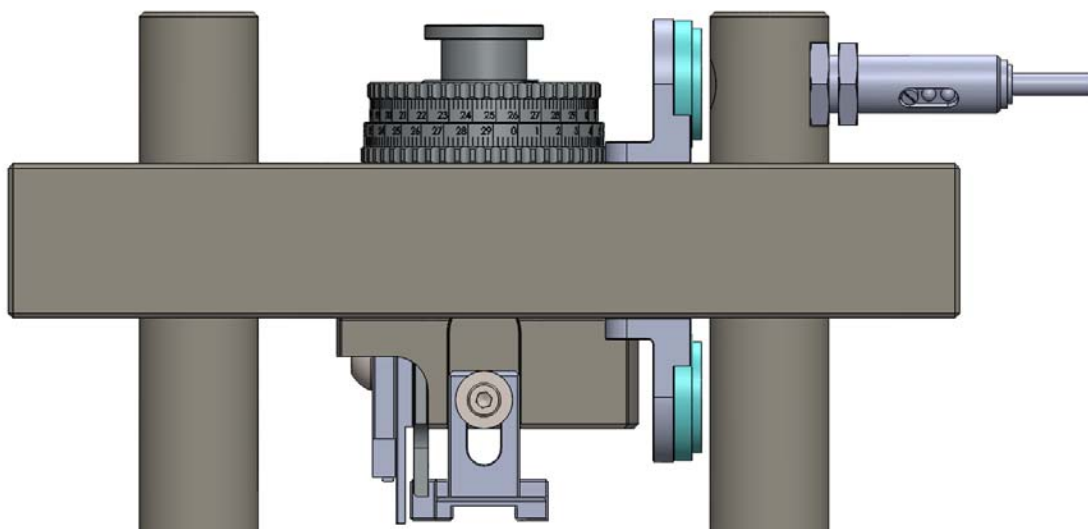


Figura 3.48 – Pilotagem do sistema de alimentação no PMS

- Ao atingir o PMS, o refletor instalado no topo da base superior faz com que o recetor de retro-reflexão emita sinal para que o cilindro pneumático do sistema de alimentação recue, e assim faça avançar a alimentação.

2. Recuo do cilindro pneumático – Avanço do sistema de alimentação (figura 3.49 e 3.50):

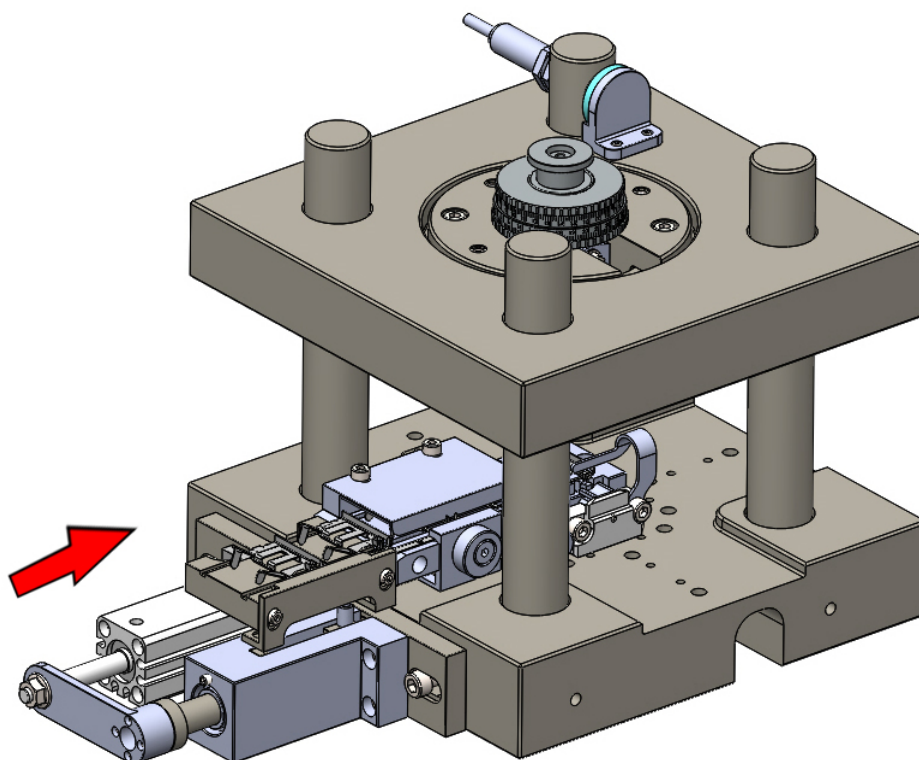


Figura 3.49 – Avanço do sistema de alimentação

- O cilindro pneumático recua levando consigo o componente representado a vermelho que se desloca solidário com o componente amarelo (figura 3.50):
 - O componente amarelo pode ser ajustado mediante o aperto/desaperto do parafuso no seu interior, o que faz com que se afaste/aproxime do componente verde, reduzindo o avanço da ferramenta (conforme visto anteriormente);
- Com o avanço do conjunto representado pelos componentes vermelho, verde e amarelo, o componente laranja é arrastado solidariamente com o conjunto representado a azul-escuro, comprimindo uma mola (não representada) situada na zona sombreada a azul-escuro. Esta mola será posteriormente responsável pelo recuo do sistema de alimentação até ao batente (representado a cor de rosa);

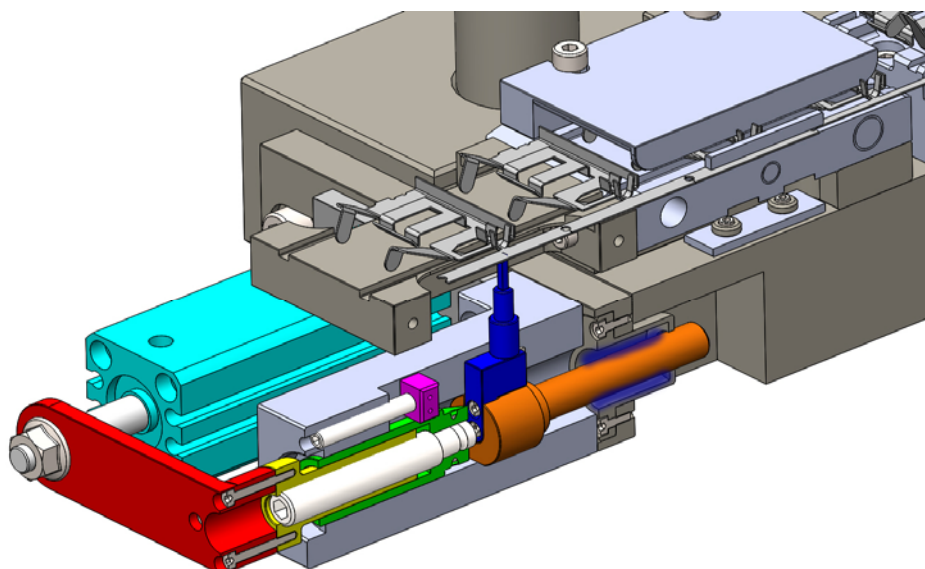


Figura 3.50 – Pormenor do sistema de ajuste do avanço

- O conjunto apresentado a azul-escuro (exibido em pormenor na figura 3.51), será responsável por empurrar a bobina de terminais em frente, para a zona de cravação:
 - No seu interior, na zona sombreada a vermelho, irá localizar-se uma mola. Essa mola irá fazer com que, ao passar os orifícios da bobina (próprios para o efeito), o componente representado a azul (a unha de alimentação) suba e empurre a bobina. Ao recuar, a inclinação na ponta da unha de alimentação fará com que esta desça (comprimindo a mola) uma vez que, entretanto, se encontra presa pelo cerra-chapas.

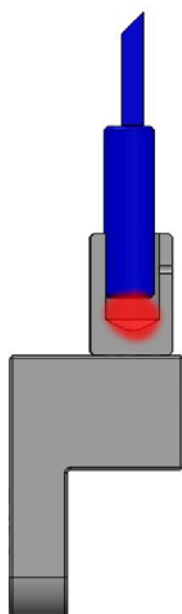


Figura 3.51 – Unha de alimentação e restante conjunto

3. Receção de sinal para pilotagem do cilindro – recuo da alimentação (figura 3.52):

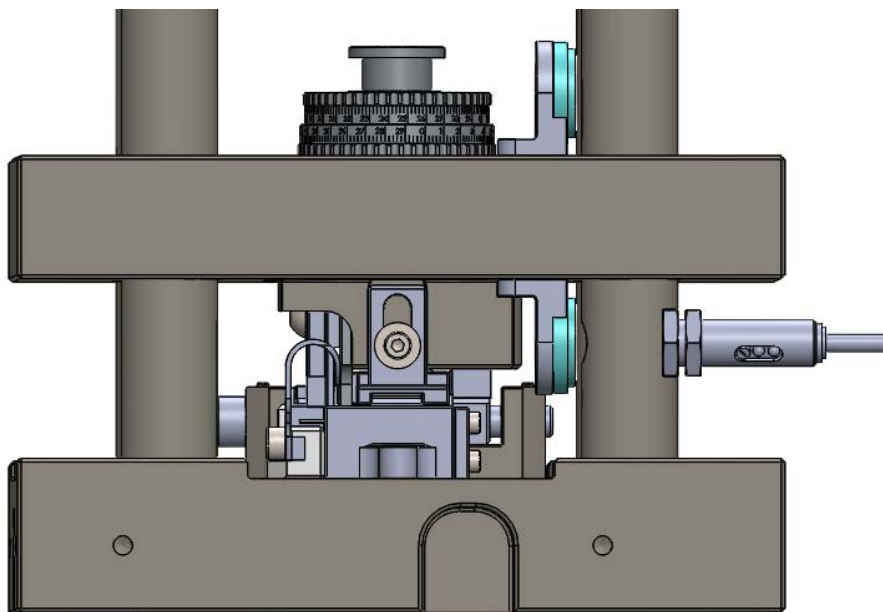


Figura 3.52 – Pilotagem do sistema de alimentação no PMI

- Ao atingir o PMI, o refletor instalado na parte inferior da base superior faz com que o recetor de retro-reflexão emita sinal para que o cilindro pneumático do sistema de alimentação avance, e assim faça recuar a alimentação.

4. Avanço do cilindro pneumático – Recuo do sistema de alimentação (figura 3.53):

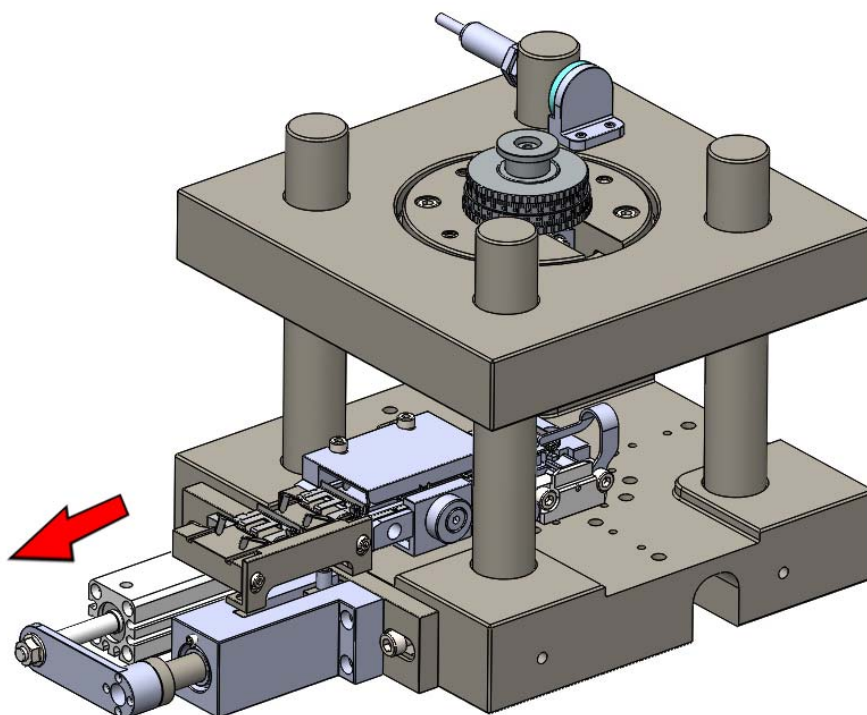


Figura 3.53 – Recuo do sistema de alimentação

3.8.1.2.6 Especificações do cilindro pneumático utilizado

Para realizar o avanço e recuo do sistema de alimentação será utilizado um cilindro pneumático de simples efeito da SMC. O modelo do cilindro é o CQS B 16-40 T, cujo avanço é feito por ação de mola, ou seja, no recuo do sistema de alimentação.

Este cilindro terá um veio de 16 mm de diâmetro e um curso de 40 mm, suficiente para o passo máximo de 35 mm da bobina a utilizar na ferramenta. A sua pressão de utilização será aproximadamente 5 bar, valor habitual neste tipo de ferramenta. Para este valor de pressão, a força realizada pelo cilindro no recuo será de 54 N, e no avanço (por mola) será de 19 N na máxima compressão e 4 N com o cilindro na posição mais avançada.

Na figura 3.54 encontra-se representado o esquema de ligação do cilindro. Dependendo da posição da ferramenta, a válvula 3/2 vias poderá alimentar o cilindro com pressão, a partir do lado do êmbolo, fazendo-o recuar, ou então, poderá aliviar a pressão desse lado, permitindo à mola efetuar o avanço, como foi dito anteriormente.

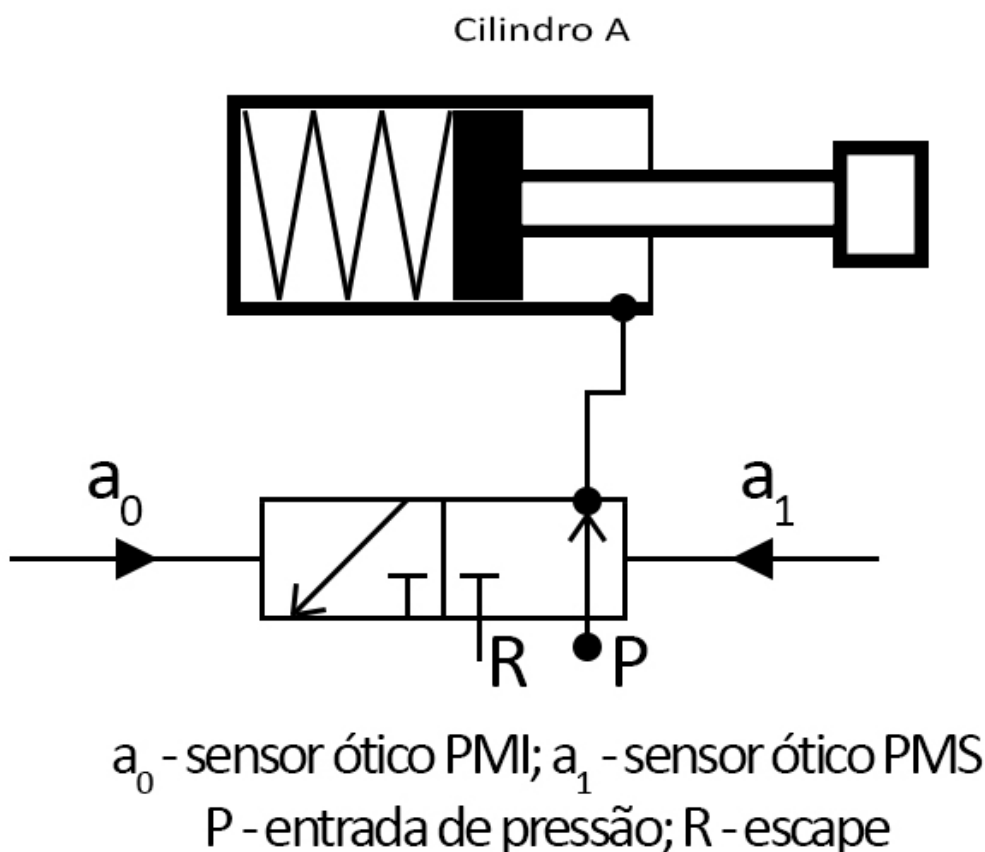
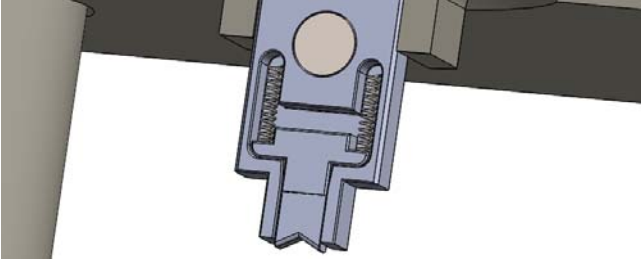
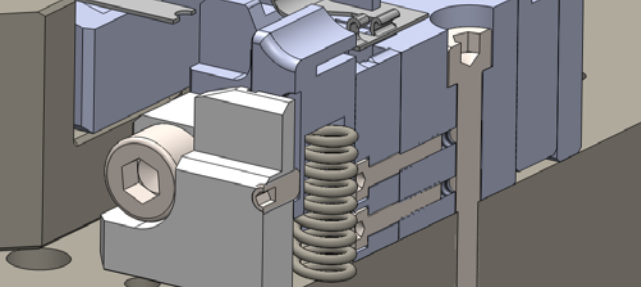
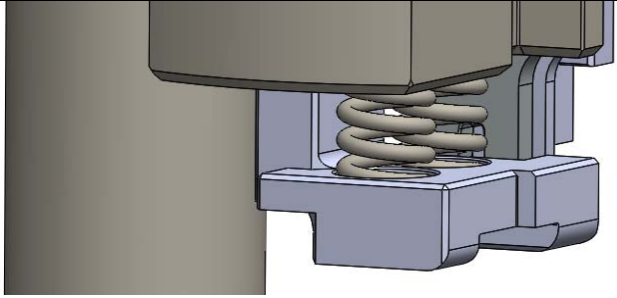


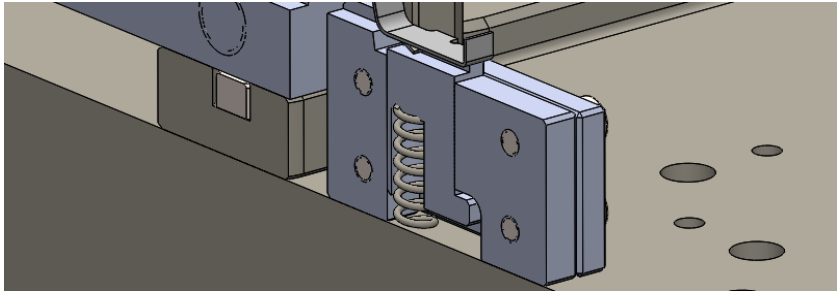
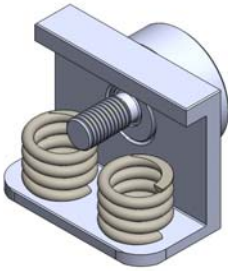
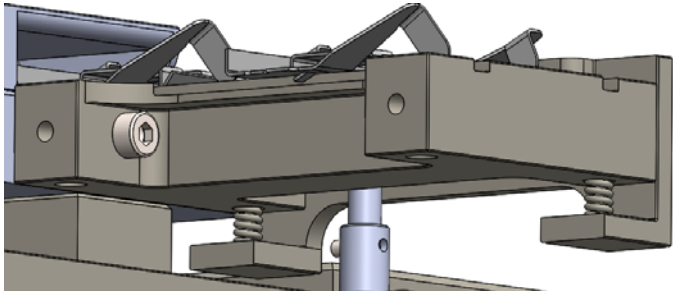
Figura 3.54 – Representação esquemática da ligação do cilindro pneumático

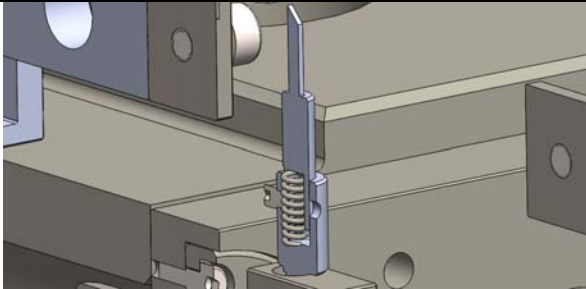
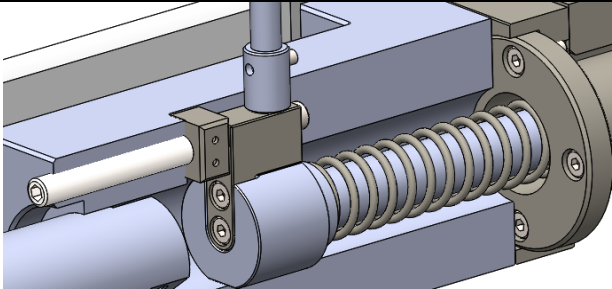
3.8.1.2.7 Dimensionamento das molas necessárias

Como referido anteriormente, será necessário recorrer a várias molas para efetuar as operações para as quais esta ferramenta se destina. Na tabela 3.5 encontra-se um levantamento de todas as molas necessárias, e a força que deverão ser capazes de realizar.

Tabela 3.5 – Molas utilizadas na ferramenta

Designação da mola	Função desempenhada	Comprimento inicial (curso)	Força a realizar
A (2 molas)	Fixação do fio de cobre	10 mm (até 3 mm – compressão)*	Força que crie atrito suficiente para não permitir que o fio se desloque durante a cravação
Legenda			
B	Almofada do corte do excesso de material da bobina de terminais	15,5 mm (6 mm – compressão)	Força inferior à força de corte do excesso de material (já calculada)
Legenda			
C (2 molas)	Executar força no cerra-chapas	15,5 mm (10 mm – compressão)	Força para realização das dobras C e D, e ainda para fixação do terminal durante o recuo do sistema de alimentação
Legenda			

Designação da mola	Função desempenhada	Comprimento inicial (curso)	Força a realizar
<i>D e E</i> (2 molas)	Apoiar o material pressionado pelo cerra-chapas - Almofada do terminal	14 mm (3 mm – compressão)	Força inferior à provocada pelas molas do cerra-chapas
Legenda			
<i>F</i> (2 molas)	Executar força para guiar a bobina na entrada da ferramenta	8,5 mm (até 0,6 mm – compressão)*	Força necessária para guiamento da bobina
Legenda			
<i>G</i> (2 molas)	Fixação da bobina para que a unha de alimentação consiga entrar nos orifícios para empurrar a bobina	7 mm (até 0,6 mm – compressão)*	Força superior à da mola que faz levantar a unha, para que a bobina não fique desapoada durante a alimentação
Legenda			

Designação da mola	Função desempenhada	Comprimento inicial (curso)	Força a realizar
H	Pressionar a unha de alimentação contra a bobina para que entre nos orifícios para guiamento	6,5 mm (1,5 mm de compressão)	Força necessária para empurrar a unha contra a bobina
Legenda			
I	Retorno do sistema de alimentação para a posição inicial	56 mm (máx. 40 mm – compressão)	Força na máxima compressão deverá ser próxima da força realizada pelo cilindro pneumático, mas não a poderá exceder
Legenda			

* Dependente do terminal a cravar

Realizado o levantamento das molas a utilizar, é agora necessário efetuar o seu dimensionamento.

Inicialmente, deverá ser avaliada a resistência mecânica da mola, avaliando se os diâmetros do arame da mola, d , e o diâmetro médio do enrolamento D , são suficientes para suportar a força a realizar. Para tal, será utilizada a seguinte expressão:

$$\tau_{\max} = \frac{8F_s D}{\pi d^3} + \frac{4F_s}{\pi d^2} \quad (8)$$

τ_{\max} – Tensão máxima aplicada na mola ($\tau_{\max} = \tau_{ced} / 1,5$), em MPa

F_s – Força da mola, em N

d – Diâmetro do arame da mola, em mm

D – Diâmetro médio do enrolamento, em mm

Após validação dos diâmetro das molas, será necessário calcular o número de espiras ativas, n_a , necessárias para o curso estabelecido. Deste modo, partindo da expressão para a constante da mola, k :

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 n_a} \quad (9)$$

G – Módulo de elasticidade transversal da mola, em MPa

n_a – Número de espiras ativas da mola

Sabendo que os diâmetros d e D já se encontram definidos, é possível assim definir o número de espiras ativas, que irão depender do tipo de acabamento das extremidades da mola helicoidal (figura 3.55).

$$n_a = n_t - n^* \quad (10)$$

n_t – número total de espiras

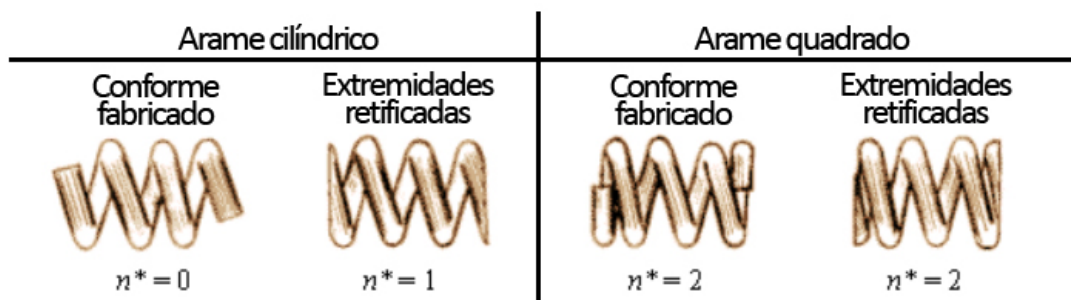


Figura 3.55 – Tipo de acabamento da extremidade da mola helicoidal ⁶²

Se se considerar o segundo caso, molas de arame cilíndrico de extremidades retificadas, em que $n^*=1$, define-se então k como sendo:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 (n_t - 1)} \quad (11)$$

E sabendo que:

$$F_s = k \cdot \Delta s \quad (12)$$

Δs – comprimento deformado, em mm

⁶² Adaptado de: http://www.enautica.pt/publico/professores/vfranco/org_maq_molas-helicoidais_2011.pdf

Então, uma vez que já se sabe qual o comprimento que cada mola irá deformar, e qual a força necessária, poderá ser calculado o número total de espiras de cada mola em função do seu diâmetro médio, D , e do diâmetro de arame, d , anteriormente validados (8):

$$\frac{F_s}{\Delta_s} = \frac{d^4 G}{8D^3 (n_t - 1)} \quad (13)$$

Colocando em ordem ao número de espiras:

$$n_t = \frac{d^4 G}{8D^3 F_s} \cdot \Delta_s + 1 \quad (14)$$

(Ugural, 2004) (Shigley, et al., 2003)

*O material das mola a considerar será o Sandvik 12R10/gusab T302:
Tensão de cedência, $R_{p0,2}$, para diâmetros entre 0,5 mm e 5 mm, mínimo 1250 MPa;
Módulo de elasticidade transversal, G , igual a 71 GPa (= 71 000 MPa).*

No final, será ainda necessário verificar se o diâmetro do arame da mola, associado ao número de espiras, permite que a mola comprima o necessário, definido na tabela 3.5. O comprimento de bloqueio é definido como sendo:

$$L_{\text{bloqueio}} = d \cdot n_t \quad (15)$$

Na tabela 3.6 encontram-se os resultados do cálculo iterativo efetuado anteriormente para definição das dimensões das molas. Deste modo, estão definidas geometricamente as molas.

Tabela 3.6 – Dimensionamento das molas a utilizar na ferramenta

Designação	F_s (em N)	L_0 / Δ_s (em mm)	D / d (em mm)	n_t	L_{bloqueio} (em mm)
A (2 molas)	Empiricamente, deverá ser considerado um valor de 10 N (5 N cada mola)	10 / 3	1,6 / 0,3	12	3,5
B	Considerada uma parte da força do corte da bobina, cerca de 50 N (20% da força de corte)	15,5 / 6	5,2 / 1	9	8,6
C (2 molas)	Força das dobras C e D 146,6 N + 153,6 N = 300,2 N (150,1 N por mola)	25 / 10	7,9 / 1,6	9	14,2

Designação	F_s (em N)	L_0 / Δ_s (em mm)	D / d (em mm)	n_t	L_{bloqueio} (em mm)
D e E (2 molas)	Considerando igualmente 20% da força realizada pela mola C, deverá ser considerada uma força de 30 N por mola	14 / 3	4 / 0,8	7	5,3
F (2 molas)	Empiricamente, deverá ser considerado um valor de 40 N (20 N cada mola)	8,5 / 0,6	9 / 1,7	4	6,9
G (2 molas)	Força necessária idêntica à da mola F	7 / 0,6	2,7 / 0,8	7	5,2
H	Força inferior, apenas para pressionar a unha contra a bobina durante a alimentação. Considerado 15 N	6,5 / 1,5	1,7 / 0,5	9	4,7
I	Cerca de 50% da força do cilindro pneumático da alimentação (aprox. 27 N)	65 / 40	10 / 1,1	20	22,3

3.8.1.2.8 Seleção da prensa a utilizar

Para realizar o movimento vertical da ferramenta desenvolvida, é necessário que esta esteja acoplada a uma prensa mecânica. Como exemplo, poderá ser considerada a prensa EPS 3000 da *Schäfer* (figura 3.56): com 1,1 kW de potência, 40 mm de curso, 0,3 segundos por ciclo, um PMI de 135,78 (± 7) mm e uma força de 30 kN, é indicada para a utilização em mini-aplicadores, associados a cabeças de regulação com conexão em T (forma no topo da cabeça de regulação). Para o caso estudado, a situação de maior carga, será aquando da cravação, no momento em que o punção do isolamento e do cobre comprimirem o terminal. Se se colocar a possibilidade de as dobras laterais e o corte do excesso de material ocorrerem em simultâneo (o caso mais gravoso), a força aplicada poderá ser igual a 822 N:

- 74,2 N relativos à dobra do isolamento;
- 197,6 N relativos à dobra do cobre;
- 146,6 N + 153,6 N relativos às dobras adicionais e;
- 250 N relativos ao corte do material em excesso.

7Posto isto, para o caso estudado a prensa selecionada é suficiente, deixando margem de manobra para eventuais casos de cravações de maiores secções e/ou terminais de maior espessura.



Figura 3.56 – Prensa Mecânica Schäfer EPS 3000 ⁶³

3.8.2. Dimensionamento das partes críticas

Recorrendo ao *software* de elementos finitos do *Solidworks*[®] foram analisados os componentes críticos da ferramenta (componentes integrantes do módulo da estrutura e de cravação). Foram retirados resultados no que respeita à tensão instalada nos componentes e à sua deformação.

De modo a aproximar o máximo possível este modelo de simulação à realidade, considerou-se que a ferramenta seria fixa na base inferior (face inferior) e no porta-punções (pela face que encosta na cabeça de regulação – que será o componente acoplado na prensa). Na figura 3.57 encontra-se uma representação dessa fixação, cujos pontos se encontram representados pelas setas verdes.

⁶³ Retirado de:

http://www.schaefer.biz/click2print/mediafactory/produkte/eps2001/lay_EPS_2001_01_ver110.jpg/72_RGB_187.jpg

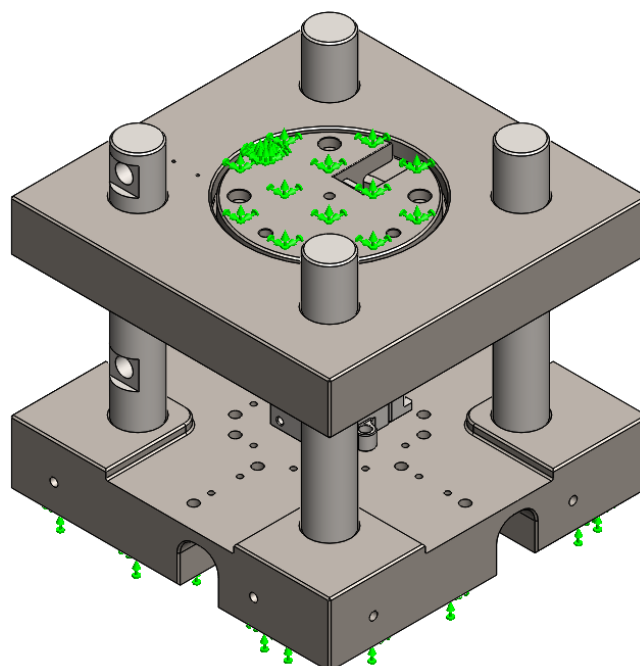


Figura 3.57 – Fixação da ferramenta para a simulação

As forças aplicadas na simulação vão ao encontro das forças já calculadas para efetuar as dobras e cortes a realizar nos terminais, considerando ainda as forças provocadas pelas molas definidas anteriormente. Deste modo, na figura 3.58 é possível visualizar uma legenda com as cargas aplicadas, seguida da explicação dos seus valores.

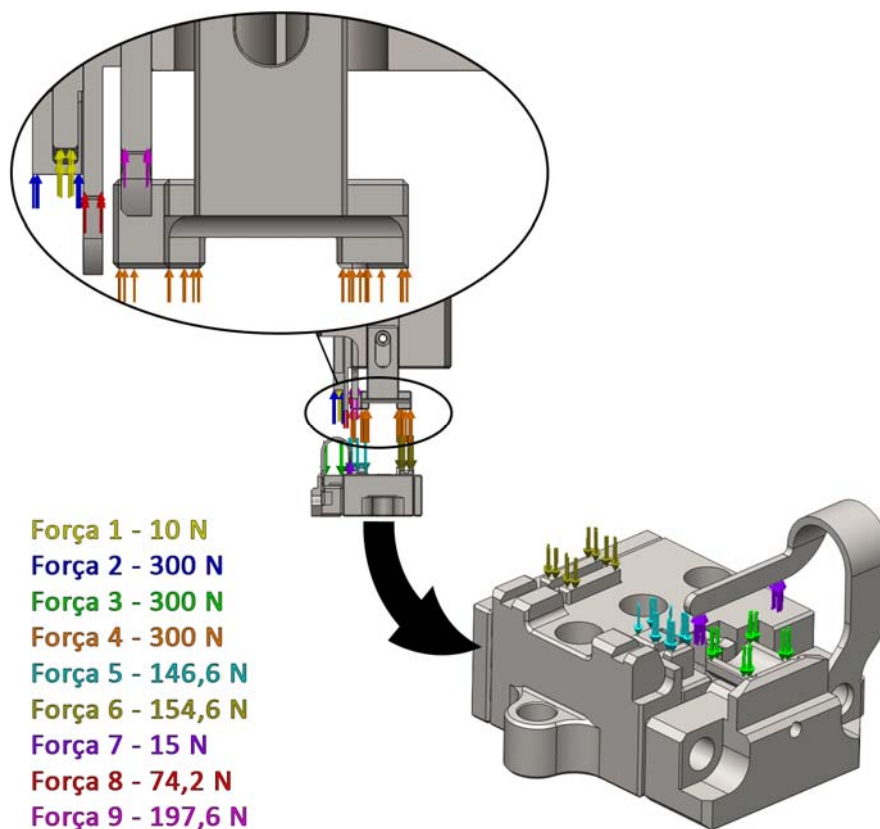


Figura 3.58 – Esquema de forças aplicadas na simulação

- A força 1 surge da compressão das molas A;
- A força 2 e 3 resultam do somatório da força da mola B com a força de corte do excesso de chapa da bobina;
- A força 4 é provocada pelas molas C;
- A força 5 e a força 6 surgem ao realizar as dobras C e D, respetivamente;
- A força 7 resulta da resistência do travão da bobina para que esta não suba junto com os punções de cravação;
- A força 8 é provocada pela cravação do isolamento e;
- A força 9 surge ao realizar a cravação do cobre.

Simulando assim os esforços nas condições já definidas, após refinamento da malha e estabilização dos resultados, obtiveram-se os seguintes dados:

- Tensões equivalentes de *von Mises*:

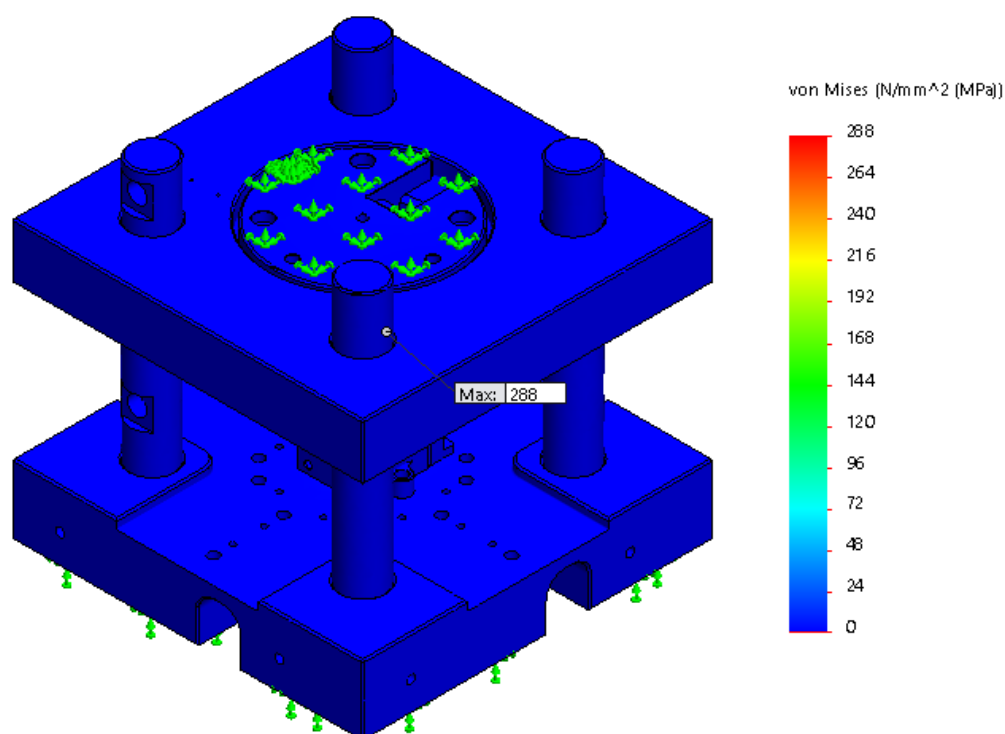


Figura 3.59 – Visão geral da tensão equivalente de *von Mises*

Do ponto de vista da estrutura em geral, a figura 3.59 mostra que as tensões encontradas são baixas, o que já seria esperado, dada a robustez deste tipo de ferramenta.

Analisando mais em pormenor, pode encontrar-se um valor a rondar os 100 MPa na zona do cerra-chapas sujeita à flexão, conforme está representado na figura 3.60.

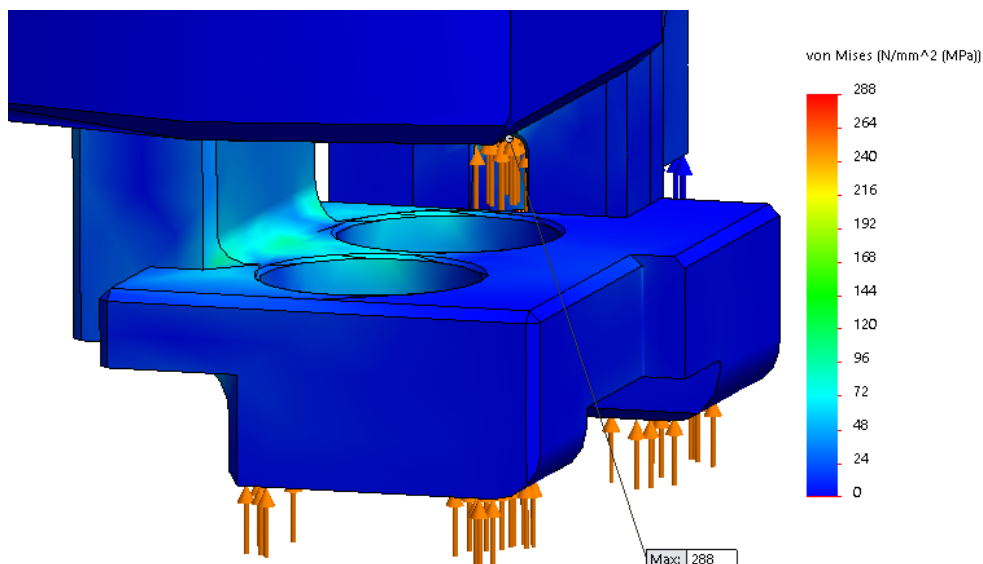


Figura 3.60 – Pormenor das tensões equivalentes de *von Mises* aplicadas no cerra-chapas

O ponto de tensão máxima tem um valor de 288 MPa e encontra-se no punção de cravação do cobre; na figura 3.61 encontra-se um detalhe dessa zona, mais concretamente do *die-form*, zona que contacta diretamente com o terminal.

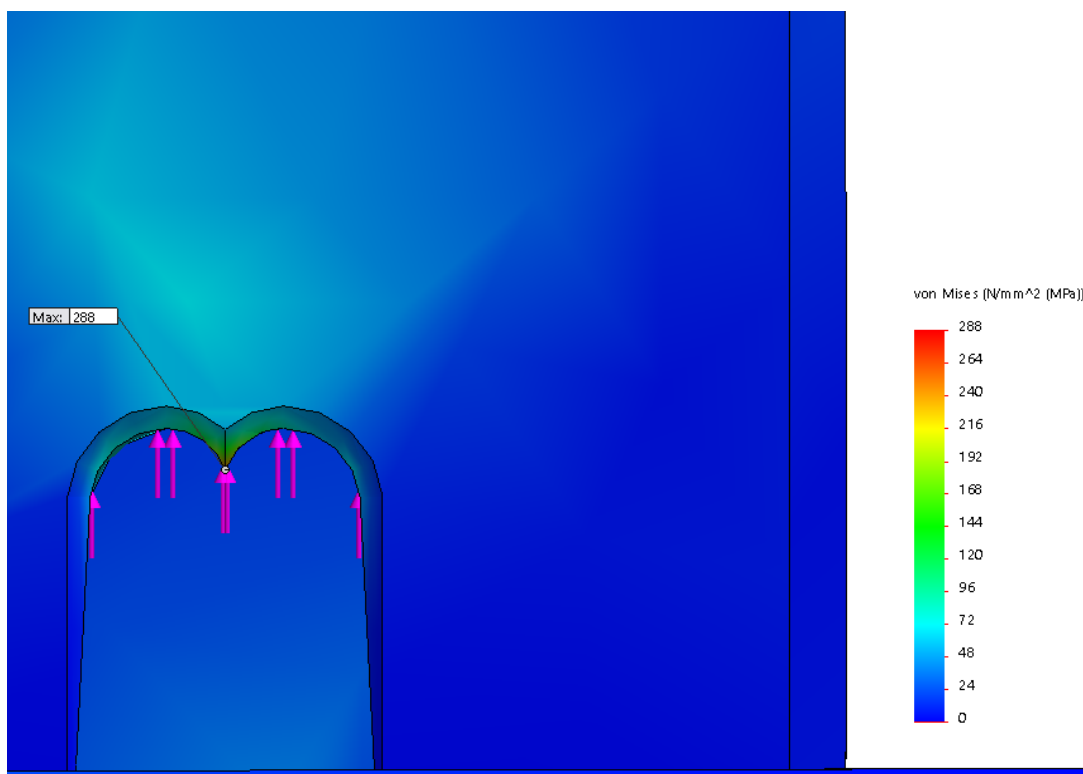


Figura 3.61 – Tensões equivalentes de *von Mises* aplicadas no *die-form* do punção de cravação do cobre

No caso do punção de cravação do isolamento, a distribuição de tensões será idêntica mas com menor intensidade, sendo mais uma vez o *die-form* o ponto máximo da tensão aplicada. Esta análise deverá auxiliar a definir no próximo ponto os materiais dos componentes, através da análise do maior valor de tensão instalado em cada um.

- Deformações resultantes:

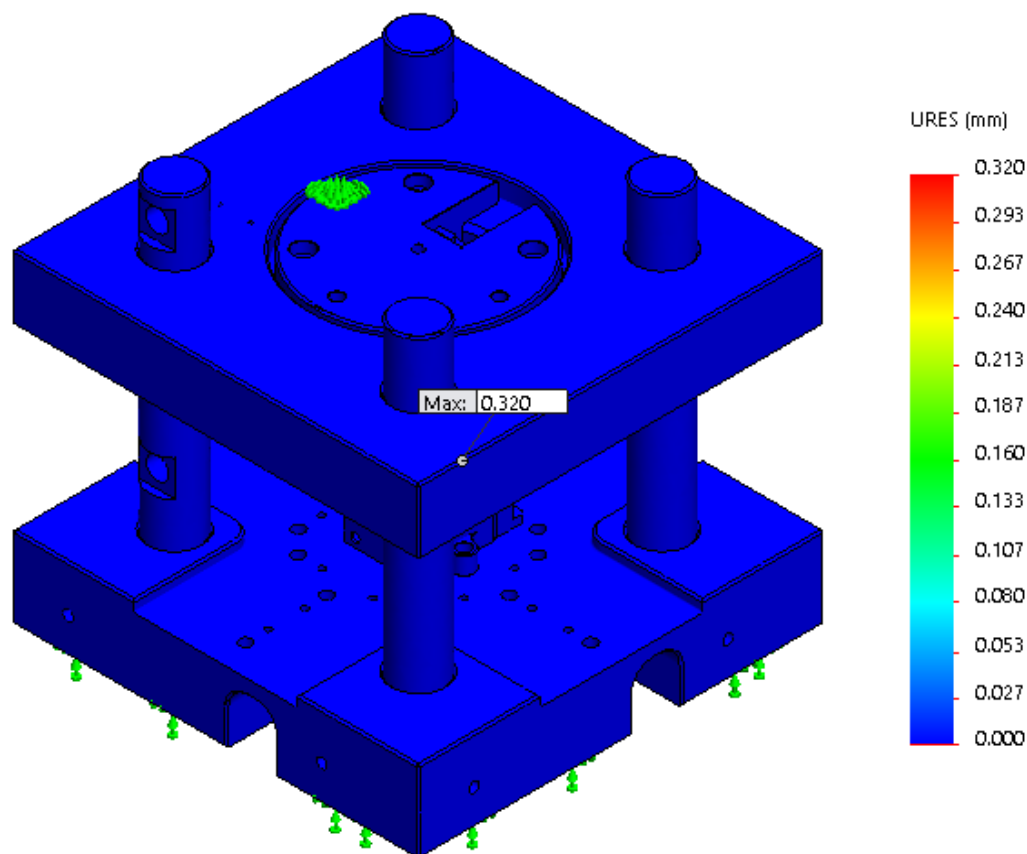


Figura 3.62 – Deformações gerais da ferramenta

Neste tipo de ferramentas, a deformação também será bastante importante, uma vez que para atingir uma boa precisão do trabalho em geral, os componentes não deverão apresentar uma deformação exagerada, sob pena de provocar desvios na sua ação.

Na figura 3.62 é possível visualizar-se as deformações esperadas na ferramenta em geral, permitindo perceber que a estrutura (base inferior, base superior e colunas) apresenta uma deformação muito reduzida, antevendo uma boa precisão para esta ferramenta, com um bom guiamento dos punções e matrizes.

Observando mais em detalhe, na figura 3.63 é possível visualizar-se o ponto de maior deformação, que será no componente responsável por não permitir que o terminal cravado suba junto com os punções (0,320 mm). Apesar disso, a situação mais preocupante será a deformação do cerra-chapas mas, uma vez que as molas foram desprezadas para a análise, na realidade a deformação nunca será tão elevada. Mesmo assim, a deformação deverá se próxima de 0,1 mm.

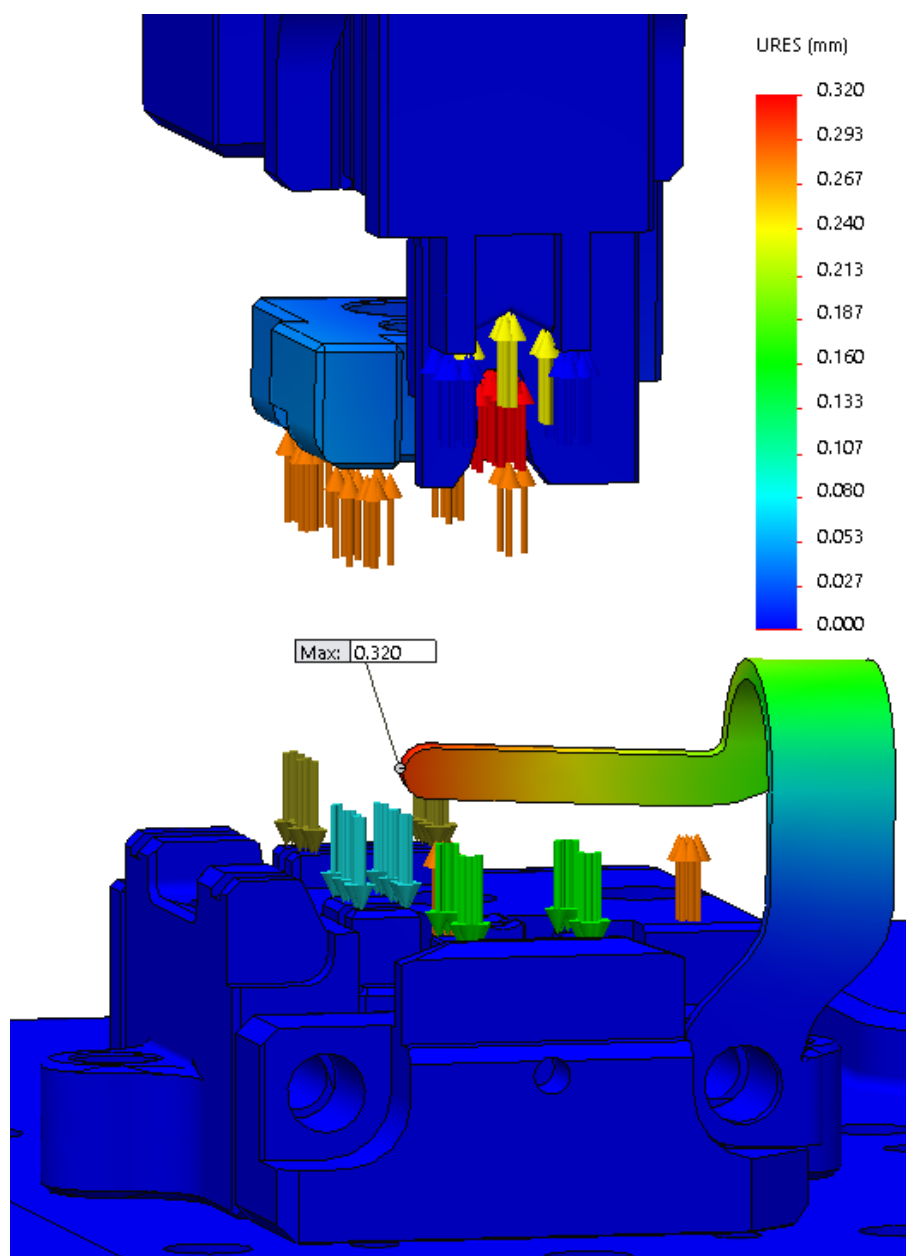


Figura 3.63 – Deformações nas zonas sob maior tensão (em pormenor)

3.8.3. Cálculo do descentramento da força resultante sobre a base superior

Numa ferramenta deste tipo é importante que a resultante das forças provocadas não seja excessivamente descentrada em relação ao eixo da ferramenta, com vista a minimizar a introdução de momentos. Neste caso, foi elaborado um levantamento das forças aplicadas na metade superior da ferramenta, responsáveis por provocar flexão nas colunas-guia, e que se trata de um problema fácil de eliminar, tentando que as forças se apliquem o mais possível ao centro (geométrico) da ferramenta.

As forças consideradas são:

- A força 1 (10 N)
- A força 2 (300 N)
- A força 4A (resultante da força 5 = 146,6 N)
- A força 4B (resultante da força 6 = 154,6 N)
- A força 8 (74,2 N)
- A força 9 (197,6 N)

Partindo da expressão de cálculo do centro de massa, adaptando-a a forças, em vez de massas, é possível definir uma expressão que determine o ponto teórico de concentração das forças referidas anteriormente:

$$xF_R = \frac{\sum_i x_i \cdot F_i}{\sum_i F_i} \quad ; \quad yF_R = \frac{\sum_i y_i \cdot F_i}{\sum_i F_i} \quad (16)$$

xF_R – Posição da força resultante no eixo x-x, em mm

yF_R – Posição da força resultante no eixo y-y, em mm

x_i – Posição no eixo x-x de cada força, em mm

y_i – Posição no eixo y-y de cada força, em mm

F_i – Valor de cada uma das forças, em N

Na tabela 3.7 encontra-se calculado o valor da força resultante, seguida da figura 3.64 com uma representação da localização das forças (e respetiva legenda) em relação ao centro da ferramenta.

Tabela 3.7 - Cálculo da força resultante e sua localização

Legenda	Força	Posicionamento relativamente ao centro geométrico da ferramenta [em mm]	
		Eixo x-x	Eixo y-y
	F1 (= F1 = 10 N)	0	-19,95
	F2 (= F2 = 300 N)	0	-20,95
	F4A (= F5 = 146,6 N)	-3,75	-11
	F4B (= F6 = 154,6 N)	-2,75	10
	F8 (= 74,2 N)	0	-17,5
	9 (= 197,6 N)	0	-13,25
	Força Resultante (= 883 N)	-1,10	-11,85

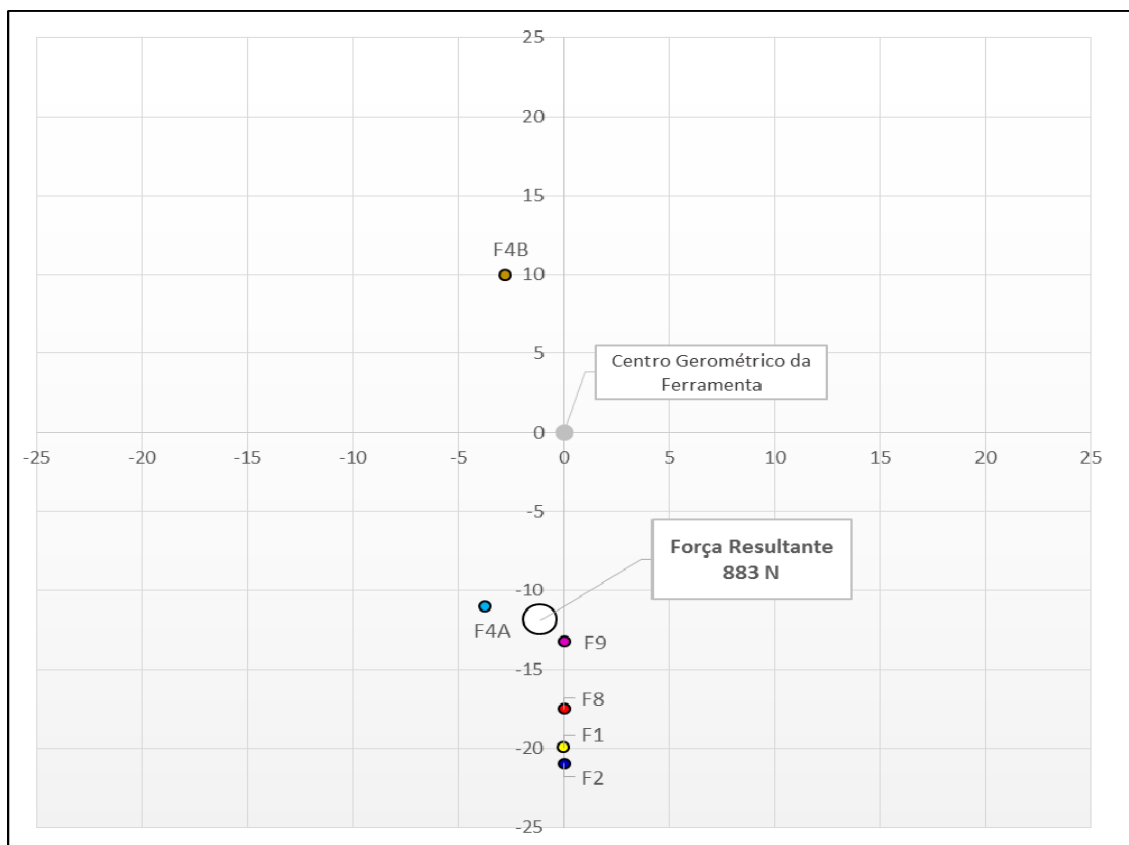


Figura 3.64 – Representação das forças aplicadas na metade superior da ferramenta

Observando a figura 3.64 e a tabela 3.7 constata-se que o descentramento da força resultante é bastante reduzido, representando uma força de 883 N desviada em relação ao eixo x-x em 1,10 mm e em relação ao eixo y-y em 11,85 mm (Rossi, 1979).

3.8.4. Seleção dos componentes normalizados

Nesta ferramenta, para além de parafusos, porcas, anilhas e pinos, serão utilizados os seguintes componentes normalizados:

- Base superior; base inferior; colunas-guia
 - Marca: *Steinel Normalien*
 - Dimensões das bases: 200 x 200 x 40 [mm]
 - Dimensões das colunas-guia: quatro colunas de $\varnothing 25h6 \times 180$ [mm]
 - Material das bases: 1.0570
 - Material das colunas: aço revestido a bronze
 - Designação: ST3569 200 x 200.4 (sem placa extratora)

- Cilindro pneumático – já definido anteriormente
 - Marca: SMC
 - Modelo: CQS B 16-40 T
 - Tipo: simples efeito (avanço por mola)
 - Diâmetro do veio: $\varnothing 16$ mm
 - Curso: 40 mm
 - Pressão de utilização: 5 bar
 - Pilotagem: válvula 3/2 vias

- Sensores de retro-reflexão (2 unidades)
 - Marca: Festo
 - Modelo: SOEG-RSP-M12-PS-K-2L
 - Variável: posição
 - Método de medição: sensor de retro-reflexão
 - Alcance: 1500 mm
 - Dimensões de fixação: M12x1
 - Material: latão cromado

- Refletores (2 unidades)
 - Marca: Festo
 - Modelo: SOEZ-RFS-20
 - Método de medição: refletor
 - Tipo de fixação: colado
 - Material: PMMA

- Prensa mecânica – já definida anteriormente
 - Marca: Schäfer
 - Modelo: EPS 3000
 - Tipo: mecânica
 - Potência: 1,1 kW
 - Curso: 40 mm
 - Tempo por ciclo: 0,3 segundos
 - PMI: 135,78 (± 7) mm
 - Força: 30 kN
 - Forma de conexão: Conexão em T (pela cabeça de regulação)

3.9. Seleção de materiais e respetivos tratamentos

Conforme foi referido no capítulo 2.1.6, os materiais escolhidos deverão apresentar boas propriedades mecânicas: elevada resistência, tenacidade, dureza, resistência ao choque térmico e à corrosão.

Destas propriedades, as de maior importância nesta situação serão a resistência ao desgaste e a dureza, dada a rapidez de trabalho da máquina e o contacto entre superfícies que ocorre constantemente. Principalmente os punções e as matrizes deverão ser projetados neste sentido, uma vez que são os componentes mais solicitados. Mas deverá sempre existir um equilíbrio entre a dureza do material e a sua tenacidade, pois se o componente tem de aguentar o desgaste causado pelo deslizamento relativo das superfícies, também será necessário suportar choques e cargas abruptas sem se comprometer a sua integridade.

3.9.1. Seleção de materiais para os componentes críticos

Utilizando a metodologia de *Ashby*, será definida uma matriz de seleção de materiais, estabelecendo um compromisso entre as seguintes propriedades:

- A. Dureza;
- B. Resistência ao desgaste;
- C. Tenacidade;
- D. Temperabilidade;
- E. Tensão de cedência e;
- F. Resistência à corrosão.

Serão utilizadas matrizes de seleção na escolha de materiais para os punções e matrizes apenas, dado serem os componentes críticos. Também as colunas e as bases poderiam entrar nesta análise, mas como se tratam de componentes normalizados, o seu material já se encontra definido pelo fabricante.

Na tabela 3.8 encontram-se designadas as propriedades referidas anteriormente, já com os devidos pesos, W_i , consoante a sua importância para a função a desempenhar pelo componente.

Tabela 3.8 – Matriz de seleção de materiais – definição das propriedades

		Propriedade	Propriedade	Propriedade	Propriedade	Propriedade	Propriedade	Wi	
		A	B	C	D	E	F		
Propriedade	A		85	70	65	65	85	1	0,350
Propriedade	B	15						0,176	0,062
Propriedade	C	30						0,429	0,150
Propriedade	D	35						0,538	0,188
Propriedade	E	35						0,538	0,188
Propriedade	F	15						0,176	0,062
Σ								2,858	1

			Wi
Propriedade	A	Dureza	0,350
Propriedade	B	Maquinabilidade	0,062
Propriedade	C	Tenacidade	0,150
Propriedade	D	Temperabilidade	0,188
Propriedade	E	Tensão de cedência	0,188
Propriedade	F	Resistência à corrosão	0,062

Analisando a tabela 3.8, as propriedades que serão consideradas como mais importantes são a dureza, a temperabilidade e a tensão de cedência, sendo que a dureza será preponderante, com 35,0% de importância na escolha do material, seguida da temperabilidade e tensão de cedência, ambas com 18,8%, e a tenacidade com 15%. Por fim, com menor importância, encontra-se a maquinabilidade e a resistência à corrosão, ambas com 6,2%.

De forma análoga, na tabela 3.9 encontram-se alguns materiais que se apresentam como opções para a fabricação dos punções e matrizes da ferramenta. Desta feita, será encontrado o valor do fator de *performance*, ou desempenho, de cada material, Y_i . O material cujo Y_i seja mais elevado, será o material mais adequado para o componente em questão.

De acordo com o que já foi visto anteriormente, serão escolhidos três possíveis materiais, todos dentro dos aços para ferramentas:

1. Aço resistente a choques:
 - DIN 1.2542 (AISI Tipo S1)
2. Aço para trabalho a quente:
 - DIN 1.2344 (AISI Tipo H13)
3. Aço para trabalho a frio:
 - DIN 1.2379 (AISI Tipo D2)

Todos os materiais terão uma quantificação de cada uma das propriedades definida anteriormente, seja ela qualitativa ou quantitativa.

- Material A (DIN 1.2542):
 - Dureza – 58 HRC – Muito boa resistência ao desgaste;
 - Tenacidade – Excelente resistência ao choque, quer no trabalho a quente, quer no trabalho a frio;
 - Temperabilidade – Boa temperabilidade;
 - Tensão de cedência – 1750 MPa;
 - Resistência à corrosão – Razoável (%Cr = 1,4%) e;
 - Maquinabilidade razoável.
- Material B (DIN 1.2344)
 - Dureza – 54 HRC – Boa resistência ao desgaste;
 - Tenacidade – Excelente resistência ao choque;
 - Temperabilidade – Excelente temperabilidade;
 - Com possibilidade de realizar nitruração, mas nunca com demasiada espessura, sob pena de reduzir resistência ao choque.
 - Tensão de cedência – 1650 MPa;
 - Resistência à corrosão – Boa (%Cr = 5,2%) e;
 - Boa maquinabilidade.
- Material C (DIN 1.2379)
 - Dureza – 62 HRC – Excelente resistência ao desgaste;
 - Tenacidade – Excelente resistência ao choque;
 - Temperabilidade – Excelente temperabilidade;
 - Tensão de cedência – 1650 MPa (à compressão);
 - Resistência à corrosão – Excelente (%Cr = 12%) e;
 - Fraca maquinabilidade.

Nota: No caso das propriedades de natureza qualitativa, considerar a seguinte pontuação do fator de desempenho:

- Excelente: 4 pontos;
- Muito boa: 3 pontos;
- Boa: 2 pontos;
- Razoável: 1 ponto e;
- Má: 0 pontos.

Propriedades dos materiais retiradas de www.matweb.com e http://www.favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos_ferramentas_0.html

Definidos os materiais e as respectivas propriedades, é possível assim apresentar a tabela 3.9 com o fator de *performance* de cada um.

Tabela 3.9 – Matriz de seleção de materiais – fator de *performance*

		Propriedade		Propriedade		Propriedade		Propriedade		Propriedade		Propriedade		Yi
		A	B1	B	B2	C	B3	D	B4	E	B5	F	B6	
Material	1	58	0,935	1	0,5	4	1	2	0,5	1750	1	1	0,25	0,806
Material	2	54	0,871	2	1	4	1	4	1	1650	0,943	2	0,5	0,913
Material	3	62	1	0	0	4	1	4	1	1650	0,943	4	1	0,927
													Σ	3

				Yi
Material	1	DIN 1.2542		0,806
Material	2	DIN 1.2344		0,913
Material	3	DIN 1.2379		0,927

Analisando os resultados, é possível perceber que o melhor material será o aço para trabalho a frio, DIN 1.2379. Apresenta-se como a melhor opção em quase todas as propriedades consideradas, com destaque para a excelente resistência ao desgaste e ao impacto. O único senão será a sua fraca maquinabilidade mas, uma vez que a maior parte da maquinagem a realizar será por eletro-erosão, este será um problema facilmente contornável.

Assim sendo, os punções e as matrizes da ferramenta deverão ser fabricados no material 3, aço para trabalho a frio, DIN 1.2379 (AISI Tipo D2).

3.9.2. Seleção dos tratamentos a aplicar aos componentes críticos

No que diz respeito a tratamentos a aplicar aos punções e matrizes, deverá ser aplicado um tratamento térmico para se atingir uma dureza de 62 HRC. Deverá ser feita uma têmpera ao ar a 1010°C, seguida de um revenido a 200°C (Matweb, 2016).

Outra hipótese para aumentar a dureza poderia ser o tratamento de cementação (neste caso, apenas dureza superficial), mas apenas se aplica a aços com muito baixo teor em Carbono (<0,2%), logo, tendo em conta que o aço 1.2379 tem cerca de 1,5% de Carbono, a cementação não será solução. Uma vez que a têmpera já irá oferecer uma dureza bastante elevada, o revestimento a utilizar deverá ter em vista o combate ao desgaste nos *die-forms*, uma vez que será nesta parte dos punções e matrizes que haverá maior desgaste devido aos deslocamentos relativos entre os componentes de cravação e o terminal durante a cravação.

Dos revestimentos, já vistos anteriormente, poderá adequar-se bastante bem um revestimento de nitreto de titânio-alumínio, uma vez que apresenta um coeficiente de atrito muito baixo (cerca de 0,35) e uma dureza superior a 90 HRC. Este tipo de revestimento apresenta uma coloração característica de tom azul-acinzentado e é apropriado para o material a utilizar (Favorit, 2016). Com esta redução no coeficiente de atrito, será possível reduzir o desgaste na zona do *die-form*, através do aumento da dureza e da redução do coeficiente de atrito.

Para realizar este revestimento pode-se optar pelo processo *PVD – Physical Vapor Deposition*, ou Deposição Física em Fase de Vapor, uma vez que este permite a deposição de uma camada de baixa espessura e com muito boa adesão.

3.10. Listagem de peças e acessórios

Esta ferramenta divide-se em quatro conjuntos (ou módulos):

- Módulo da estrutura:
 - Neste subconjunto incluem-se todos os componentes normalizados que dão suporte aos restantes subconjuntos;
- Módulo de cravação:
 - São considerados componentes do módulo de cravação todos os que intervêm diretamente nas ações de modificação do terminal a cravar (exemplo: punções, matrizes e cerra-chapas);
- Módulo de alimentação:
 - Pertencem a este grupo todos os componentes responsáveis pelo avanço da bobina de terminais elétricos na direção da zona de cravação;
- Módulo do cilindro pneumático:
 - Neste módulo está incluído o cilindro pneumático e os sensores responsáveis pela pilotagem do mesmo.

Na figura 3.65 encontra-se uma vista explodida da ferramenta com os subconjuntos descritos acima devidamente legendados (os normalizados foram propositadamente desprezados num primeiro momento com o intuito de simplificar e clarificar a listagem; serão considerados na listagem de cada um dos subconjuntos).

Em seguida, são apresentados todos os conjuntos separadamente, com todos os componentes legendados, sem exceção.

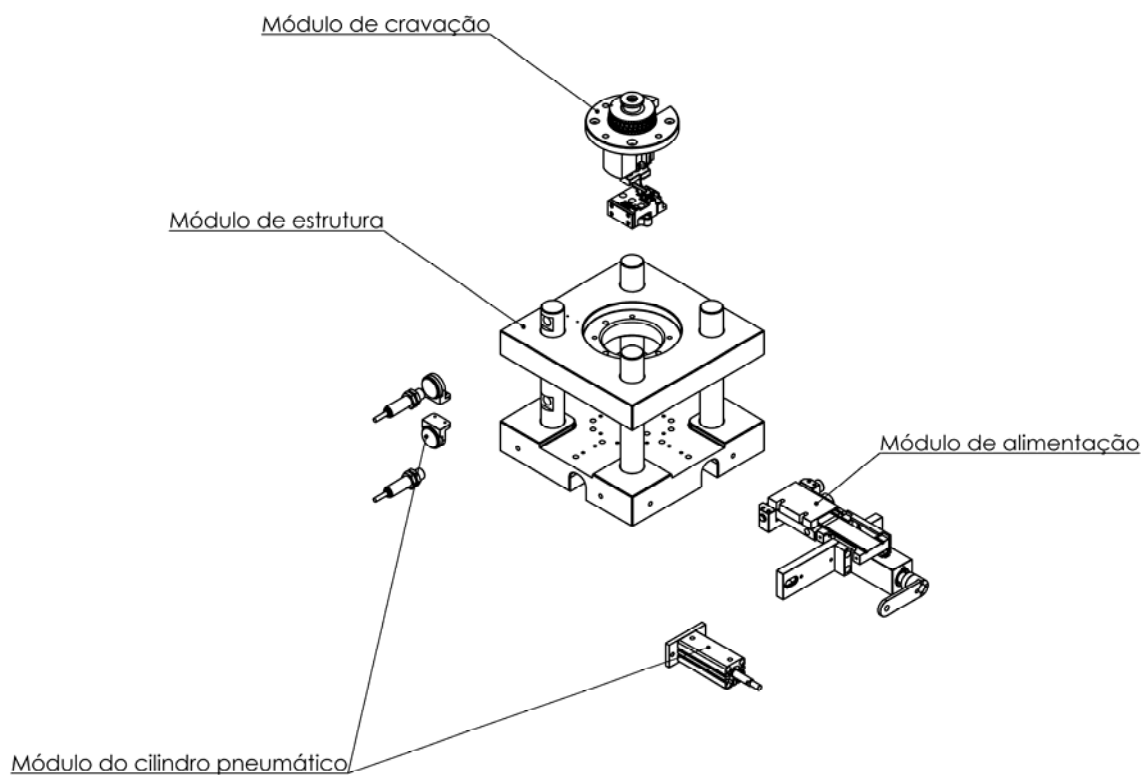
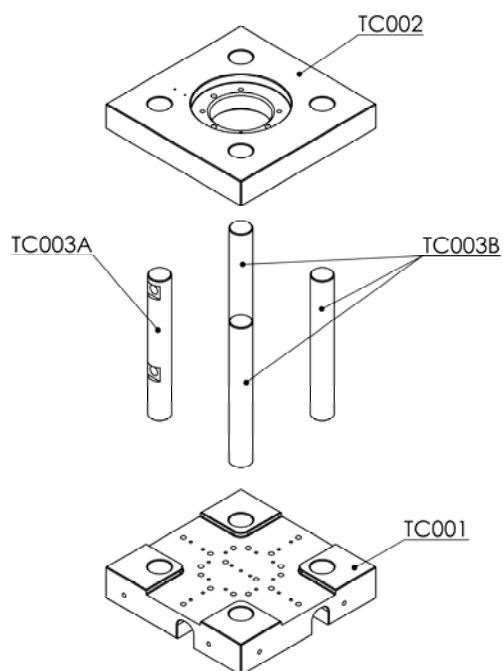


Figura 3.65 – Subconjuntos da ferramenta

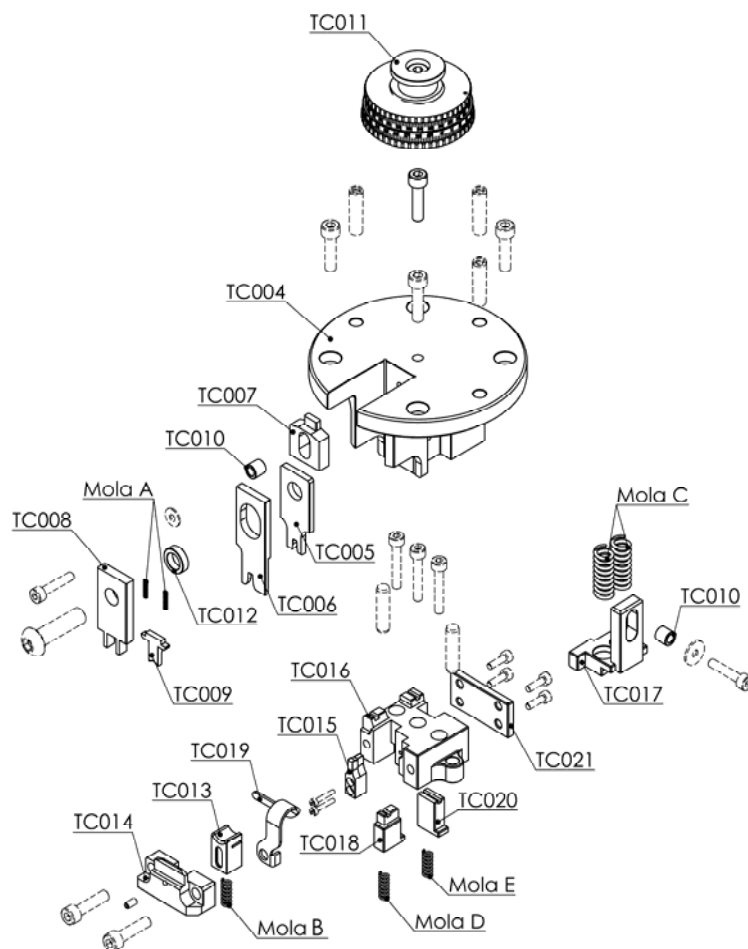
- Módulo da estrutura:



Nº COMPONENTE	DESCRIÇÃO	QTD.
TC001	BASE INFERIOR	1
TC002	BASE SUPERIOR	1
TC003A	COLUNAS P/ SENSOR ÓTICO	1
TC003B	COLUNAS LISAS	3

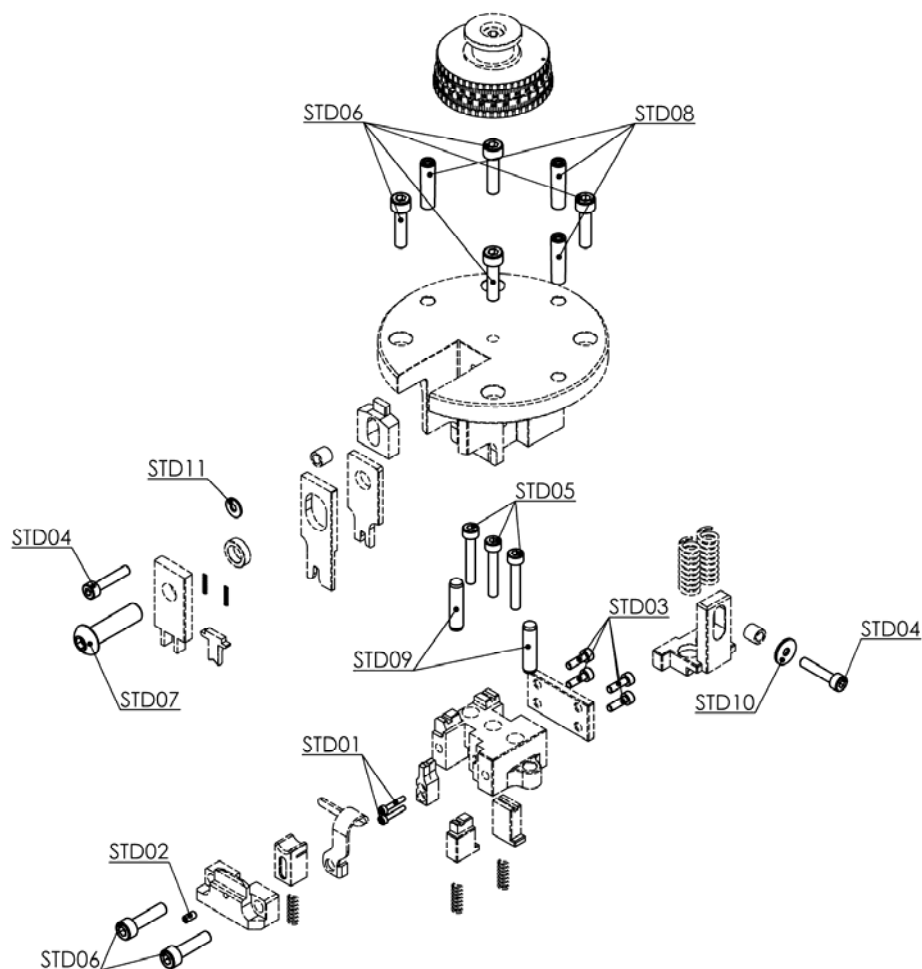
Figura 3.66 – Componentes do módulo de estrutura

- Módulo de cravação:



Nº COMPONENTE	DESCRIÇÃO	QTD.
TC004	PORTA-PUNÇÕES	1
TC005	PUNÇÃO DO COBRE	1
TC006	PUNÇÃO DO ISOLAMENTO	1
TC007	BATENTE DO PUNÇÃO DE ISOLAMENTO	1
TC008	PUNÇÃO DE CORTE DO EXCESSO DA BOBINA	1
TC009	PUNÇÃO DE FIXAÇÃO DO FIO DE COBRE	1
TC010	CASQUILHO ESPAÇADOR DO BATENTE	2
TC011	CABEÇA DE REGULAÇÃO	1
TC012	CASQUILHO DO PUNÇÃO DE ISOLAMENTO	1
TC013	MATRIZ DE CORTE DO EXCESSO DA BOBINA	1
TC014	MATRIZ AUXILIAR DE CORTE DO EXCESSO DA BOBINA	1
TC015	MATRIZ DE CRAVAÇÃO	1
TC016	MATRIZ PRINCIPAL	1
TC017	CERRA-CHAPAS	1
TC018	MATRIZ SECUNDÁRIA A	1
TC019	BATENTE DO TERMINAL	1
TC020	MATRIZ SECUNDÁRIA B	1
TC021	PLACA DE FECHO DA MATRIZ PRINCIPAL	1
Mola A	MOLA DE PRESSÃO DO FIO	2
Mola B	MOLA DA MATRIZ DE CORTE DO EXCESSO DA BOBINA	2
Mola C	MOLA DO CERRA-CHAPAS	2
Mola D	MOLA MATRIZ SECUNDÁRIA A	1
Mola E	MOLA MATRIZ SECUNDÁRIA B	1

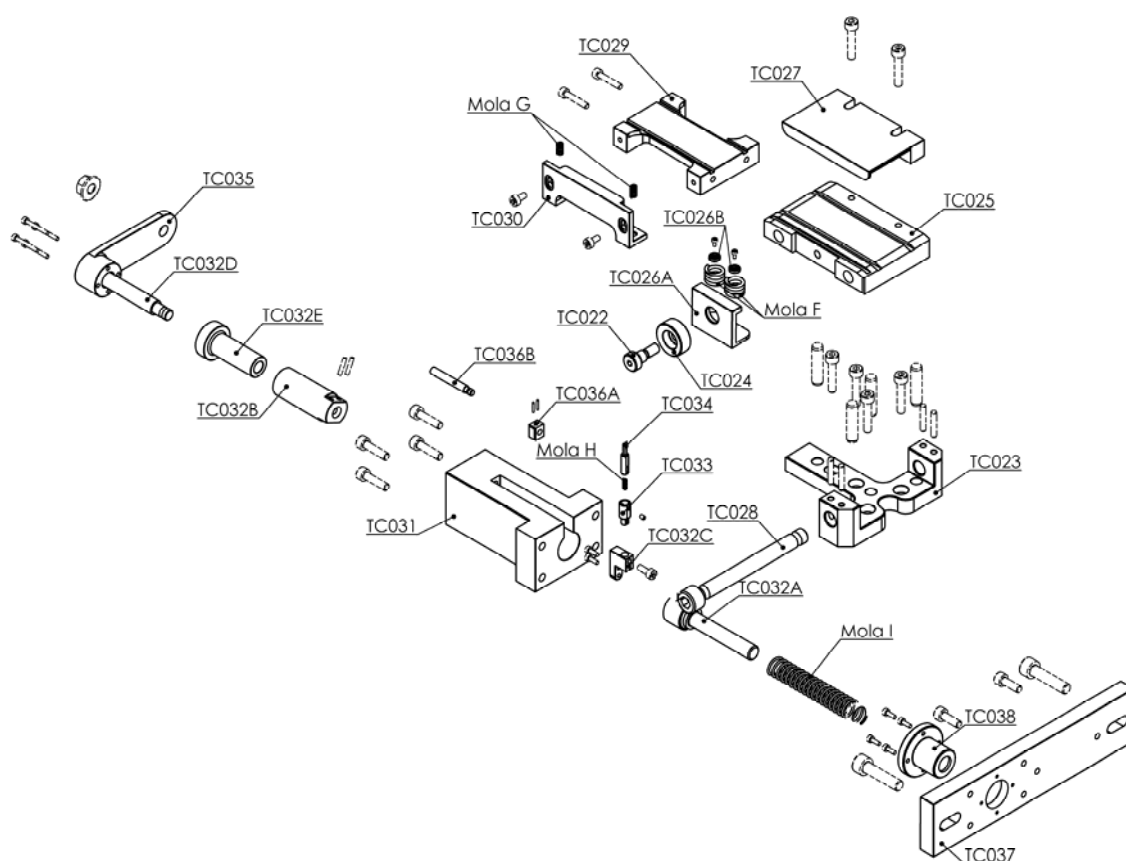
Figura 3.67 – Componentes do módulo de cravação (sem componentes normalizados)



Nº COMPONENTE	DESCRIÇÃO	QTD.
STD01	PARAFUSO - DIN 912 M2 x 12 --- 12N	2
STD02	PARAFUSO - DIN 913 - M3 x 6-N	1
STD03	PARAFUSO - DIN 912 M3 x 10 --- 10N	4
STD04	PARAFUSO - DIN 912 M4 x 20 --- 20N	2
STD05	PARAFUSO - DIN 912 M4 x 25 --- 25N	3
STD06	PARAFUSO - DIN 912 M5 x 20 --- 20N	6
STD07	PARAFUSO - ISO 7380 - M8 x 30 --- 30N	1
STD08	PINO CILINDRICO (ROSCADO INTERIOR) - ISO 8736-A-6x24-N	3
STD09	PINO CILINDRICO - ISO 8734 - 6 x 24 - A - St	2
STD10	ANILHA LISA - DIN 6902-B3.6	1
STD11	ANILHA LISA - DIN 6902-A3.6	1

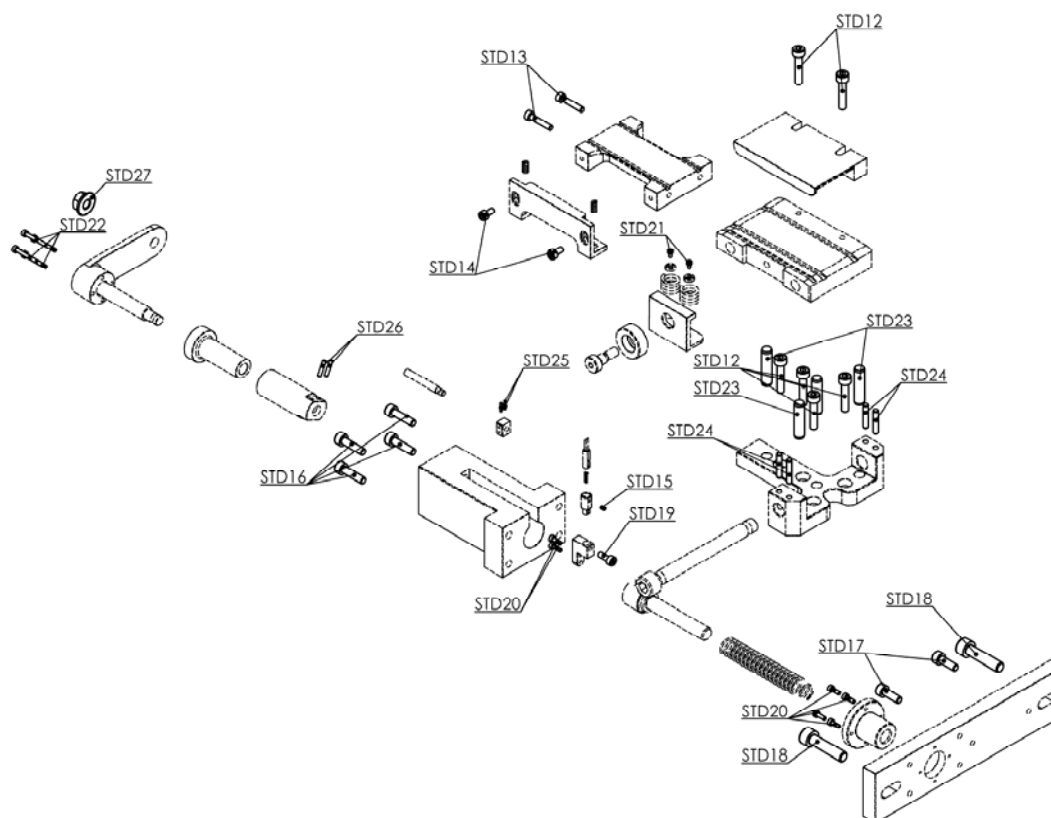
Figura 3.68 – Componentes *standard* do módulo de cravação

- Módulo de alimentação:



Nº COMPONENTE	DESCRIÇÃO	QTD.
TC022	PARAFUSO DE AJUSTE M5x8	1
TC023	BASE DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	1
TC024	CASQUILHO DE AJUSTE DE PRESSÃO DA BOBINA	1
TC025	BASE DO CALCADOR DA BOBINA	1
TC026A	CALCADOR DA BOBINA	1
TC026B	GUIAMENTO DA MOLA F	2
TC027	GUIA DA BOBINA	1
TC028	PARAFUSO DE GUIAMENTO DA BOBINA M8x80	1
TC029	BASE-GUIA DE ENTRADA DA BOBINA	1
TC030	CALCADOR DE ENTRADA DA BOBINA	1
TC031	ESTRUTURA DO ALIMENTADOR	1
TC032A	VEIO DE ALIMENTAÇÃO	1
TC032B	VEIO OCO DE AVANÇO	1
TC032C	SUPORTE DA UNHA	1
TC032D	PARAFUSO DE AJUSTE DO PASSO M8x50	1
TC032E	VEIO ROSCADO INTERIOR AJUSTÁVEL	1
TC033	TRAVÃO DA UNHA	1
TC034	UNHA DE ALIMENTAÇÃO	1
TC035	ACOPLAMENTO DO CILINDRO PNEUMÁTICO	1
TC036A	BATENTE DE RECUO DA ALIMENTAÇÃO	1
TC036B	PARAFUSO DE AJUSTE DO BATENTE M4x30	1
TC037	PLACA DE ALINHAMENTO DO MECANISMO	1
TC038	GUIAMENTO DA MOLA I	1
Mola F	MOLA DO CALCADOR DA BOBINA	2
Mola G	MOLA DO CALCADOR DE ENTRADA	2
Mola H	MOLA DE PRESSÃO DA UNHA	1
Mola I	MOLA DE RECUO DO MECANISMO	1

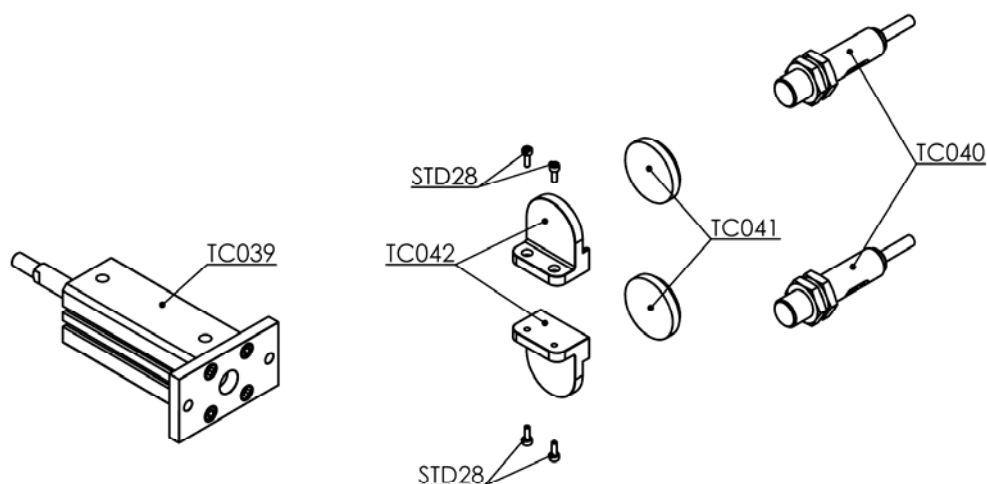
Figura 3.69 – Componentes do módulo de alimentação (sem componentes normalizados)



Nº COMPONENTE	DESCRIÇÃO	QTD.
STD12	PARAFUSO - DIN 912 M4 x 20 --- 20N	6
STD13	PARAFUSO - DIN 912 M3 x 16 --- 16N	2
STD14	PARAFUSO - DIN 912 M3 x 6 --- 6N	2
STD15	PARAFUSO - DIN 913 - M2 x 3-N	1
STD16	PARAFUSO - DIN 912 M4 x 16 --- 16N	4
STD17	PARAFUSO - DIN 912 M4 x 12 --- 12N	2
STD18	PARAFUSO - DIN 912 M6 x 25 --- 25N	2
STD19	PARAFUSO - DIN 912 M3 x 8 --- 8N	1
STD20	PARAFUSO - DIN 912 M2 x 6 --- 6N	6
STD21	PARAFUSO - DIN 912 M1.6 x 3 --- 3N	2
STD22	PARAFUSO - DIN 912 M2 x 16 --- 16N	4
STD23	PINO CILINDRICO - ISO 8734 - 6 x 24 - A - St	4
STD24	PINO CILINDRICO - ISO 8734 - 3 x 16 - A - St	4
STD25	PINO CILINDRICO - ISO 2338 - 1 h6 x 6 - St	2
STD26	PINO CILINDRICO - ISO 2338 - 2 h6 x 10 - St	2
STD27	PORCA HEXAGONAL - DIN 6923 - M6 - N	1

Figura 3.70 – Componentes *standard* do módulo de alimentação

- Módulo do cilindro pneumático:



Nº COMPONENTE	DESCRIÇÃO	QTD.
TC039	CILINDRO PNEUMÁTICO	1
TC040	SENSOR DE RETRO-REFLEXÃO	2
TC041	REFLETOR	2
TC042	SUPORTE DO REFLETOR	2
STD28	PARAFUSO - DIN 912 M2 x 6 --- 6N	4

Figura 3.71 – Componentes do módulo do cilindro pneumático

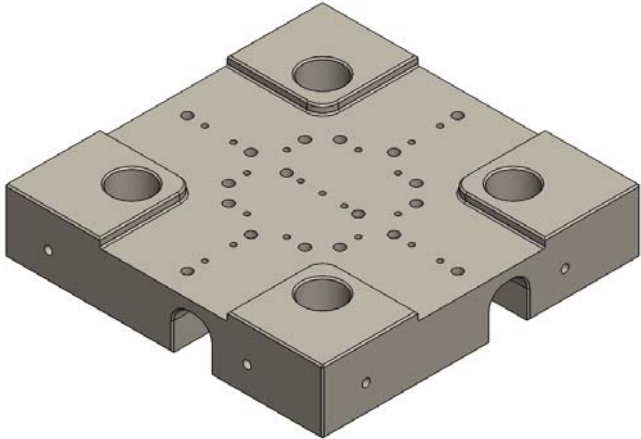
Descritos todos os componentes desta ferramenta, é possível no ponto seguinte observar a sequência de fabrico de cada um dos componentes fabricados, para cada um dos módulos indicados anteriormente. Para além da sequência de fabrico, está indicado também o material que constitui o componente.

3.11. Sequência operatória para cada componente fabricado

3.11.1 Sequência operatória dos componentes do módulo de estrutura

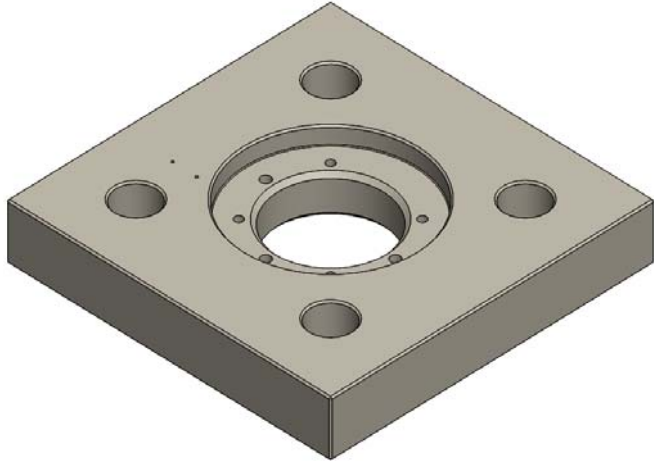
- TC001

Tabela 3.10 – Sequência operatória do componente TC001

Legenda	Operações
	1 – Fresar rebaixo;
	2 – Fresar furações roscadas e mandrilar furos para pinos cilíndricos;
	3 – Fresar cavidades laterais e furos roscados (nas quatro faces);
	4 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.0570


- TC002

Tabela 3.11 – Sequência operatória do componente TC002

Legenda	Operações
	1 – Fresar cavidade central;
	2 – Retificação cilíndrica da cavidade fresada anteriormente;
	3 – Fresar furações roscadas e mandrilar furos para pinos cilíndricos;
	4 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.0570

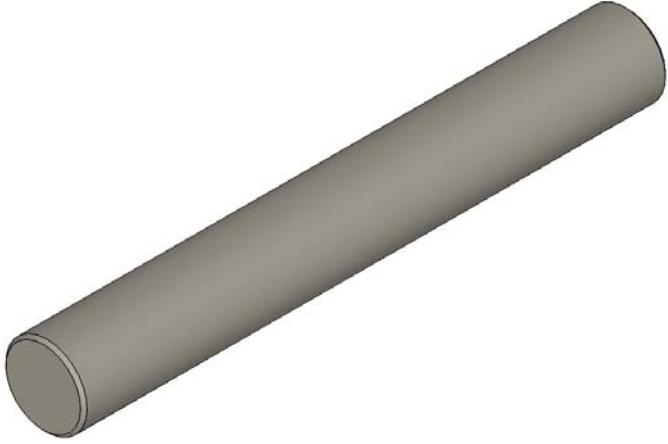
- TC003A

Tabela 3.12 – Sequência operatória do componente TC003A

Legenda	Operações
	1 – Fresar facetas na lateral;
	2 – Furar e roscar furos roscados nas facetas.
Material	AISI 1060

- TC003B

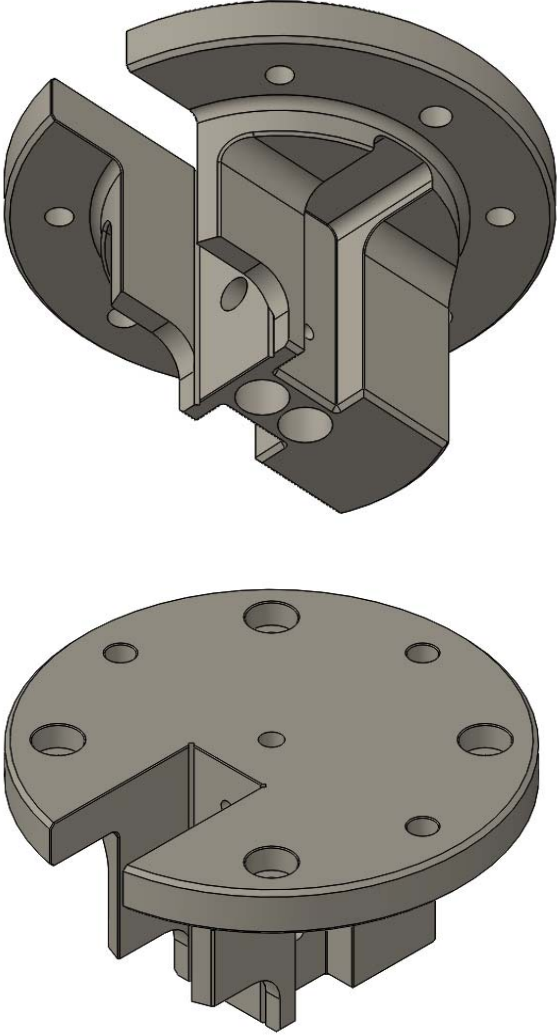
Tabela 3.13 – Sequência operatória do componente TC003B

Legenda	Operações
	<p>*Sem operações a realizar. Componente utilizado no estado em que é adquirido.</p>
Material	AISI 1060

3.11.2 Sequência operatória dos componentes do módulo de cravação

- TC004

Tabela 3.14 – Sequência operatória do componente TC004

Legenda	Operações
	1 – Facejar varão;
	2 – Tornear cilíndrico – esquadria;
	3 – Tornear contorno da ferramenta;
	4 – Fresar radialmente (no torno com eixo Y – ferramentas motorizadas) as cavidades laterais;
	5 – Furar cavidades para as molas na face inferior;
	6 – Mudar o aperto e facejar a face contrária;
	7 – Fresar furos roscados e mandrilar furos para cavilhas na face superior do componente;
	8 – Cortar cavidade frontal para aperto dos punções por EDM de fio;
	9 – Quebrar arestas.
Material	AISI 1010

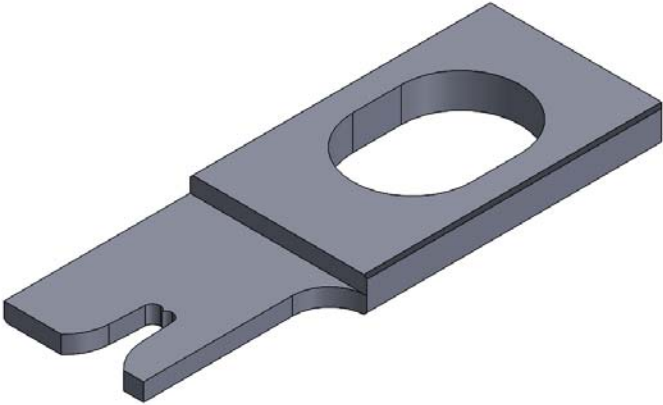
- TC005

Tabela 3.15 – Sequência operatória do componente TC005

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria e furar;
	2 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	3 – Retificar para a espessura;
	4 – Cortar <i>die-form</i> e desafogos laterais por EDM de fio;
	5 – Fresar chanfro do <i>die-form</i> ;
	6 – Polir <i>die-form</i> ;
	7 – Quebrar arestas;
	8 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

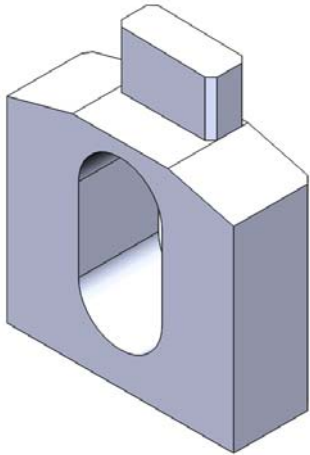
- TC006

Tabela 3.16 – Sequência operatória do componente TC006

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria, cavidade central e rebaixo;
	2 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	3 – Retificar para a espessura;
	4 – Cortar <i>die-form</i> e desafogo lateral por EDM de fio;
	5 – Polir <i>die-form</i> ;
	6 – Quebrar arestas;
	7 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

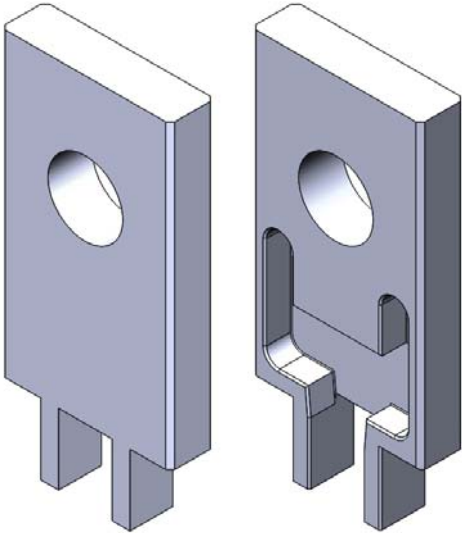
- TC007

Tabela 3.17 – Sequência operatória do componente TC007

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria e cavidade central;
	2 – Fresar e retificar o rebaixo.
Material	DIN 1.1191

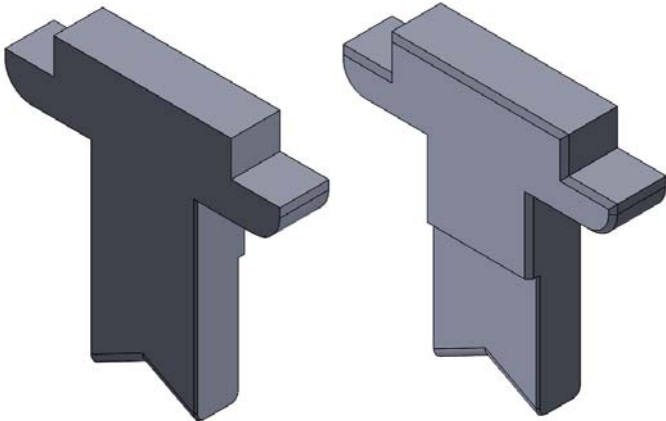
- TC008

Tabela 3.18 – Sequência operatória do componente TC008

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria, cavidade central e alojamento do componente TC009 e das molas A;
	2 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	3 – Retificar para a espessura;
	4 – Cortar a forma inferior por EDM de fio;
	5 – Quebrar arestas;
	6 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379


- TC009

Tabela 3.19 – Sequência operatória do componente TC009

Legenda	Operações
	1 – Cortar contorno por EDM de fio;
	2 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	3 – Retificar o rebaixo;
	4 – Quebrar arestas e bolear corte inferior;
	5 – Polir corte inferior;
	6 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

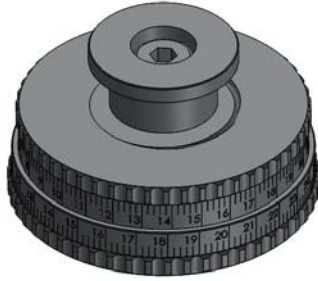
- TC010

Tabela 3.20 – Sequência operatória do componente TC010

Legenda	Operações
	<p>*Sem operações a realizar. Componente em <i>stock</i> já retificado e furado.</p>
Material	AISI 1020


- TC011

Tabela 3.21 – Sequência operatória do componente TC011

Legenda	Operações
	<p>*Sem operações a realizar. Componente em <i>stock</i>. Desenvolvido pela R&B.</p>

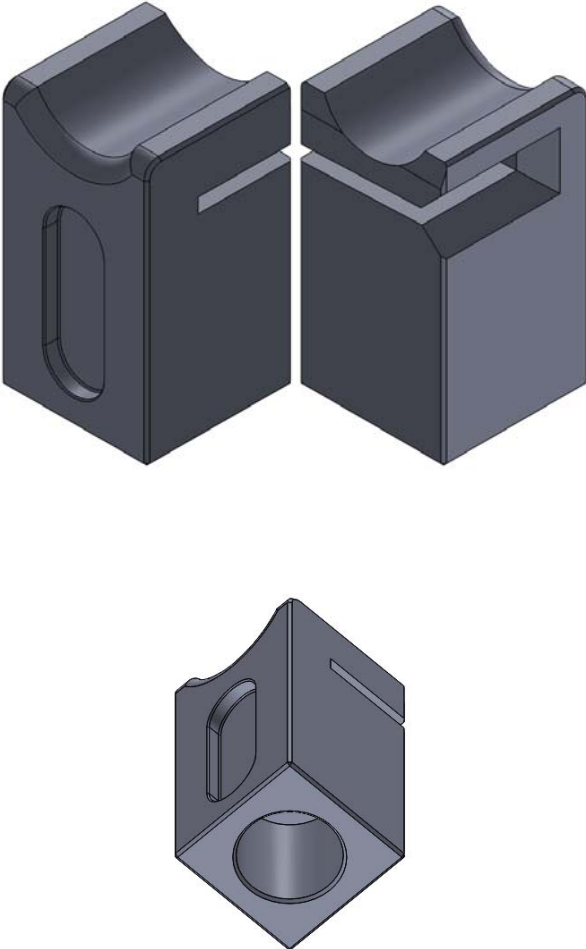
- TC012

Tabela 3.22 – Sequência operatória do componente TC012

Legenda	Operações
	<p>*Sem operações a realizar. Componente em <i>stock</i> já retificado e furado.</p>
Material	AISI 1020

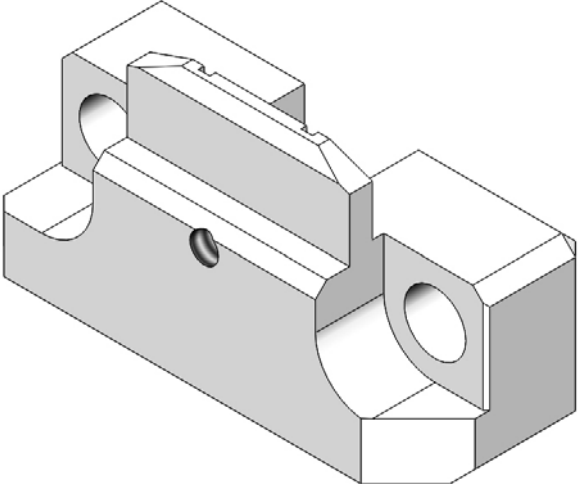
- TC013

Tabela 3.23 – Sequência operatória do componente TC013

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria, cavidade oblonga e furo para a mola B executado (pormenor abaixo);
	2 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	3 – Retificar;
	4 – Executar a forma cilíndrica no topo por EDM de penetração (já boleada);
	5 – Cortar o rasgo de passagem da bobina por EDM de fio;
Material	4 – Quebrar arestas. DIN 1.2379

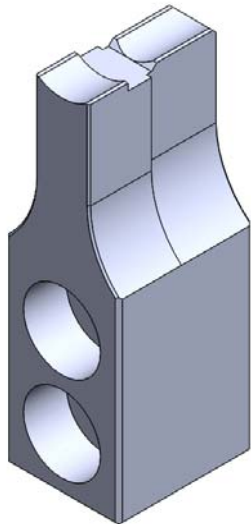
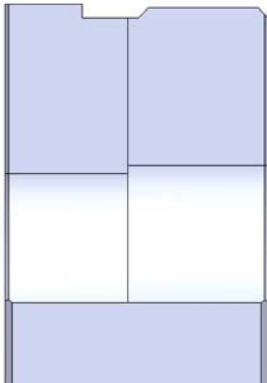
- TC014

Tabela 3.24 – Sequência operatória do componente TC014

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria, rasgo para o componente TC013 e furos lisos para parafusos;
	2 – Furar e rosca furo central;
	3 – Fresar rebaixo em função da altura do rasgo da passagem de bobina do componente TC013;
	4 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	5 – Retificar;
	6 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.2379

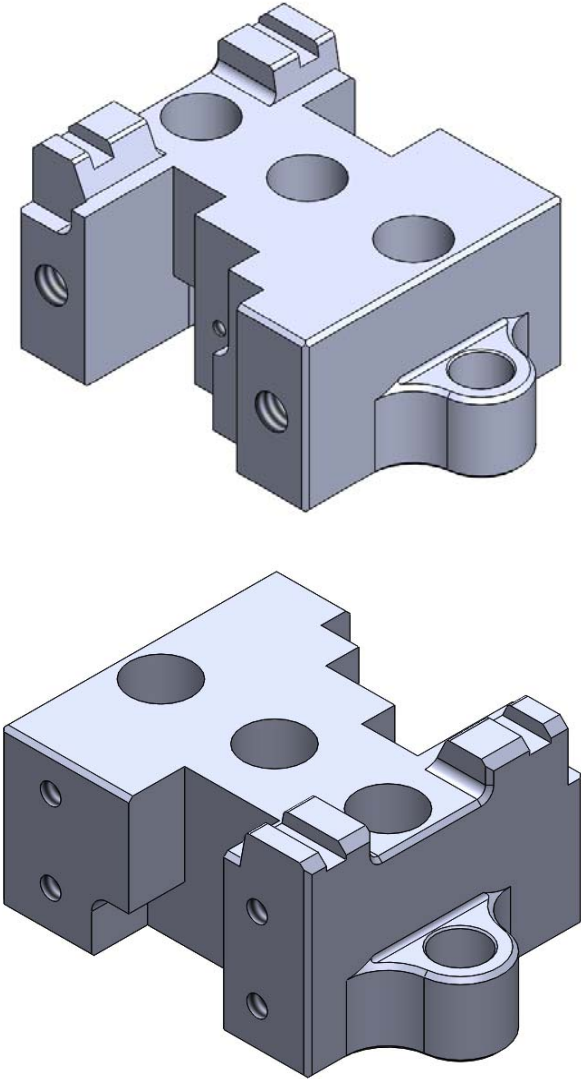
- TC015

Tabela 3.25 – Sequência operatória do componente TC015

Legenda	Operações
 	1 – Fresar esquadria e furação para fixar na matriz principal;
	2 – Fresar desafogos laterais;
	3 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	4 – Retificar;
	5 – Executar a forma cilíndrica no topo por EDM de penetração, assim como o desafogo entre a zona de cravação do isolamento e do cobre (pormenor na parte inferior da legenda);
	6 – Quebrar arestas;
	7 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

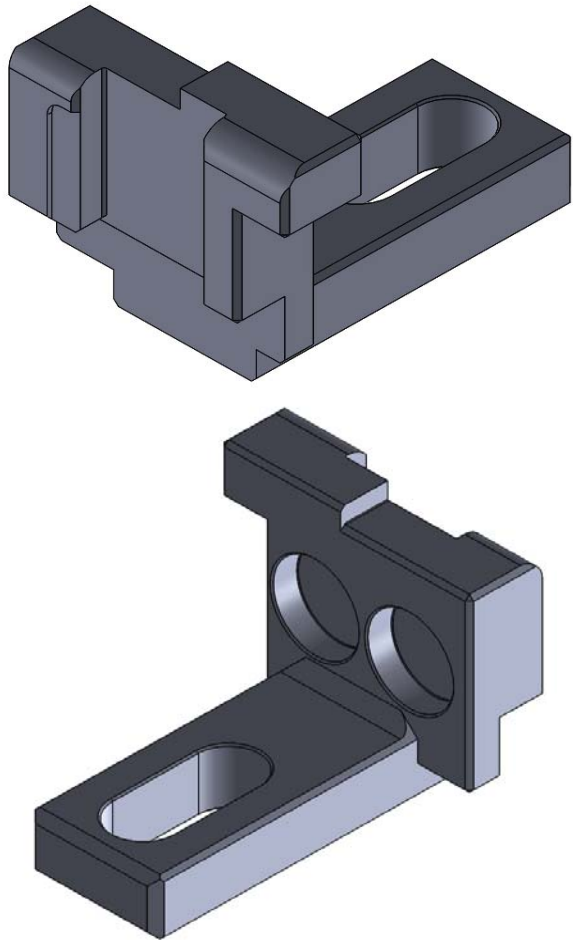
- TC016

Tabela 3.26 – Sequência operatória do componente TC016

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria e furação para fixar e alinhar na base;
	2 – Fresar cavidades para acomodar as matrizes secundárias, furar e roscar;
	3 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	4 – Retificar;
	5 – Executar formas no topo para realizar as dobras C e D por EDM de penetração;
	6 – Quebrar arestas;
	7 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

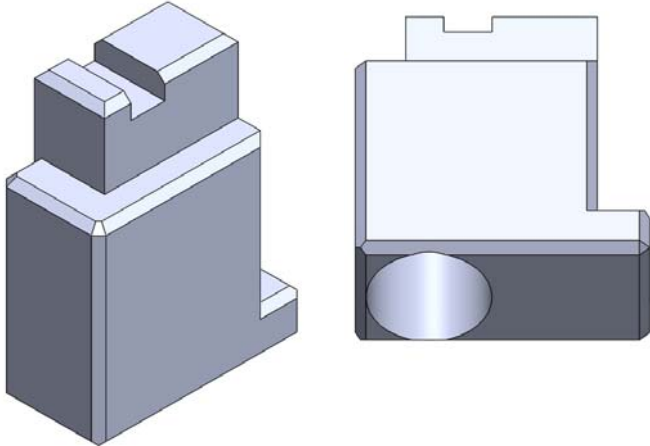
- TC017

Tabela 3.27 – Sequência operatória do componente TC017

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria e furação para guiar as molas C e acomodar o casquilho TC010;
	2 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	3 – Retificar;
	4 – Cortar contorno da base que calca a chapa por EDM de fio;
	5 – Executar formas da base que realizam as dobras C e D por EDM de penetração;
	6 – Quebrar arestas;
	7 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

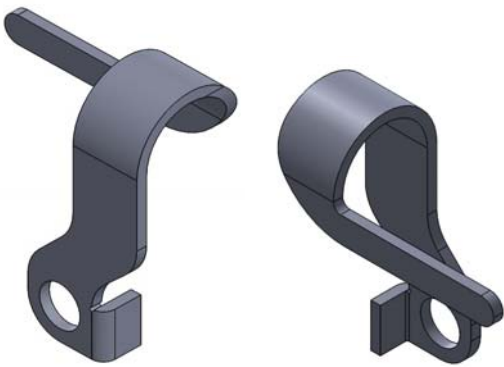
- TC018

Tabela 3.28 – Sequência operatória do componente TC018

Legenda	Operações
	1 – Esquadrear um bloco paralelepípedo;
	2 – Fresar a cavidade para a mola D (pormenor da direita);
	3 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	4 – Retificar;
	5 – Cortar contorno por EDM de fio
	6 – Quebrar arestas.
	7 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

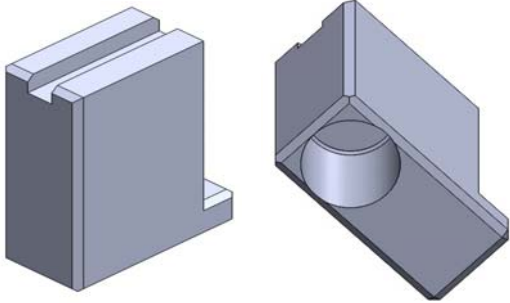
- TC019

Tabela 3.29 – Sequência operatória do componente TC019

Legenda	Operações
	1 – Chapa cortada a laser em todo o seu contorno;
	2 – Dobrar o raio menor;
	3 – Dobrar o raio maior (dimensão dependente do terminal a cravar);
	4 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1121

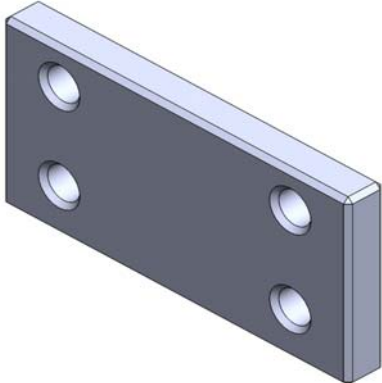
- TC020

Tabela 3.30 – Sequência operatória do componente TC020

Legenda	Operações
	1 – Esquadrear um bloco paralelepípedo;
	2 – Fresar a cavidade para a mola E (pormenor da direita);
	3 – Tratamento térmico para a dureza pretendida;
	4 – Retificar;
	5 – Cortar contorno por EDM de fio;
	6 – Quebrar arestas;
	7 – Revestimento por TiAlN.
Material	DIN 1.2379

- TC021

Tabela 3.31 – Sequência operatória do componente TC021

Legenda	Operações
	1 – Esquadrear um bloco paralelepípedo e furar;
	2 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

3.11.3 Sequência operatória dos componentes do módulo de alimentação

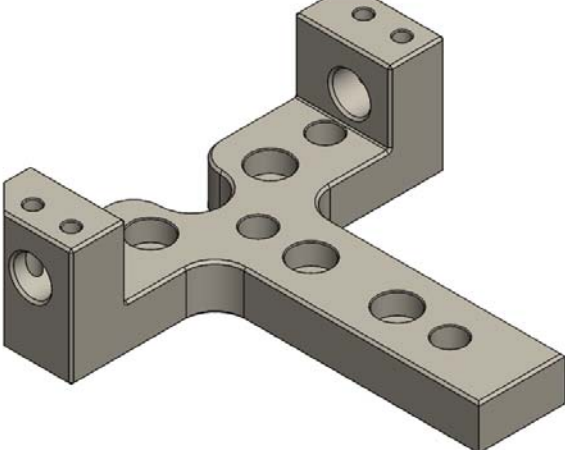
- TC022

Tabela 3.32 – Sequência operatória do componente TC022

Legenda	Operações
	1 – Tornear a partir de varão o contorno com sobre-espessura;
	2 – Tornear a rosca M5;
	3 – Retificar a secção de $\varnothing 6$ mm;
	4 – Executar cavidade hexagonal por EDM de penetração;
	5 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

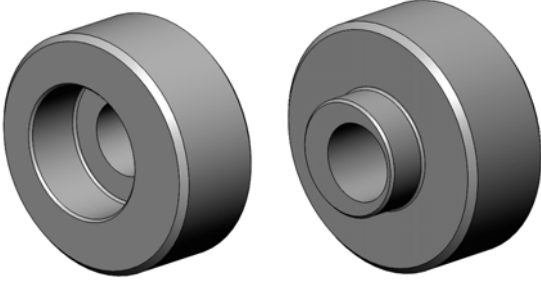
- TC023

Tabela 3.33 – Sequência operatória do componente TC023

Legenda	Operações
	1 – Esquadrear bloco;
	2 – Fresar contorno;
	3 – Furar $\varnothing 8$ mm, por onde passará o componente TC028;
	4 – Mandrilar furos para pinos cilindros que irão fixar o componente TC028;
	5 – Fresar furos lisos para passar os parafusos (para acomodar a cabeça dos parafusos);
	6 – Pelas costas da peça mandrilar os furos para as cavilhas que irão alinhar o componente na base;
	7 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

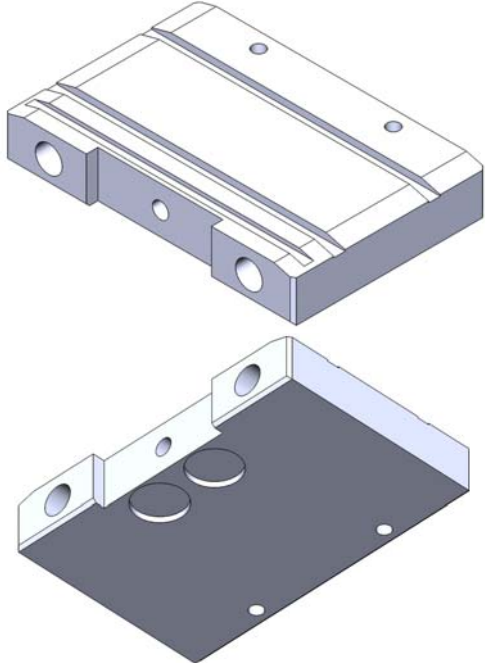
- TC024

Tabela 3.34 – Sequência operatória do componente TC024

Legenda	Operações
	1 – Tornear contorno externo a partir de varão;
	2 – Tornear relevo concêntrico (pormenor abaixo);
	3 – Mudar aperto e facejar face oposta;
	4 – Fresar furo excêntrico;
	5 – Quebrar arestas.
Material	AISI 1020

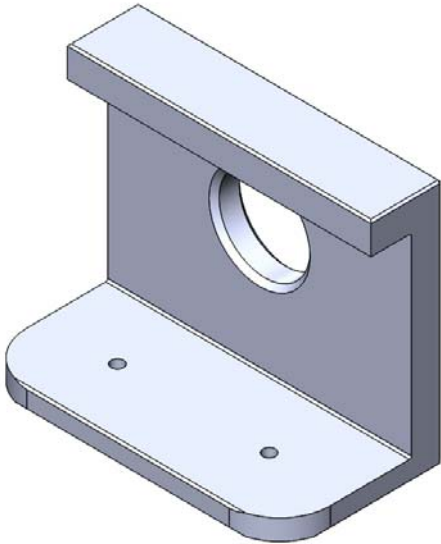
- TC025

Tabela 3.35 – Sequência operatória do componente TC025

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria a partir do bruto de fundição;
	2 – Fresar rasgos da face superior;
	3 – Furar os furos roscados;
	4 – Furar $\varnothing 7$ mm para passagem do componente TC028, rebaixo lateral e furo M5 para acoplar TC022;
	5 – Na face inferior, maquinar cavidades para acomodar as molas F;
	6 – Quebrar arestas.
Material	ASTM A159


- TC026A

Tabela 3.36 – Sequência operatória do componente TC026A

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria;
	2 – Furar furo central;
	3 – Furar furos roscados (pela face oposta, devido ao melhor acesso);
	4 – Quebrar arestas.
Material	AISI 1010

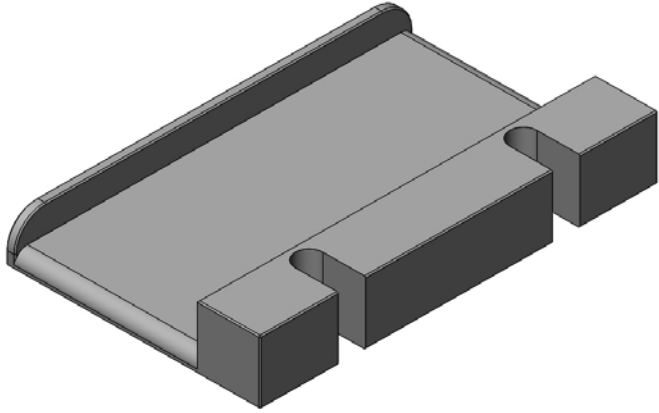
- TC026B

Tabela 3.37 – Sequência operatória do componente TC026B

Legenda	Operações
	1 – Tornear contorno;
	2 – Tornear cavidade;
	3 – Furar furo central.
Material	DIN 1.1191

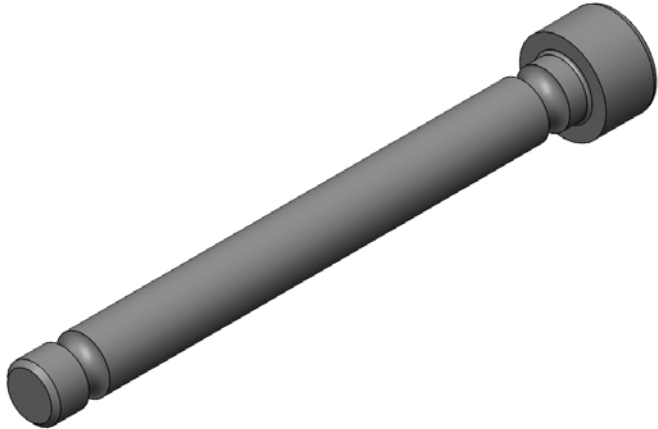
- TC027

Tabela 3.38 – Sequência operatória do componente TC027

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria da peça em bruto de fundição e facejar;
	2 – Fresar rasgos laterais para passagem dos parafusos;
	3 – Fresar face que pressiona a bobina de terminais;
	4 – Quebrar arestas.
Material	ASTM A159

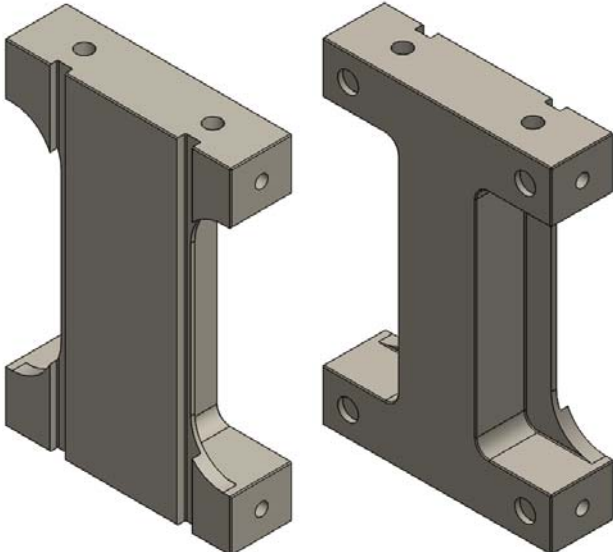
- TC028

Tabela 3.39 – Sequência operatória do componente TC028

Legenda	Operações
	1 – Utilizar um parafuso de cabeça cilíndrica M8x80 mm;
	2 – Tornear duas meias-canas.

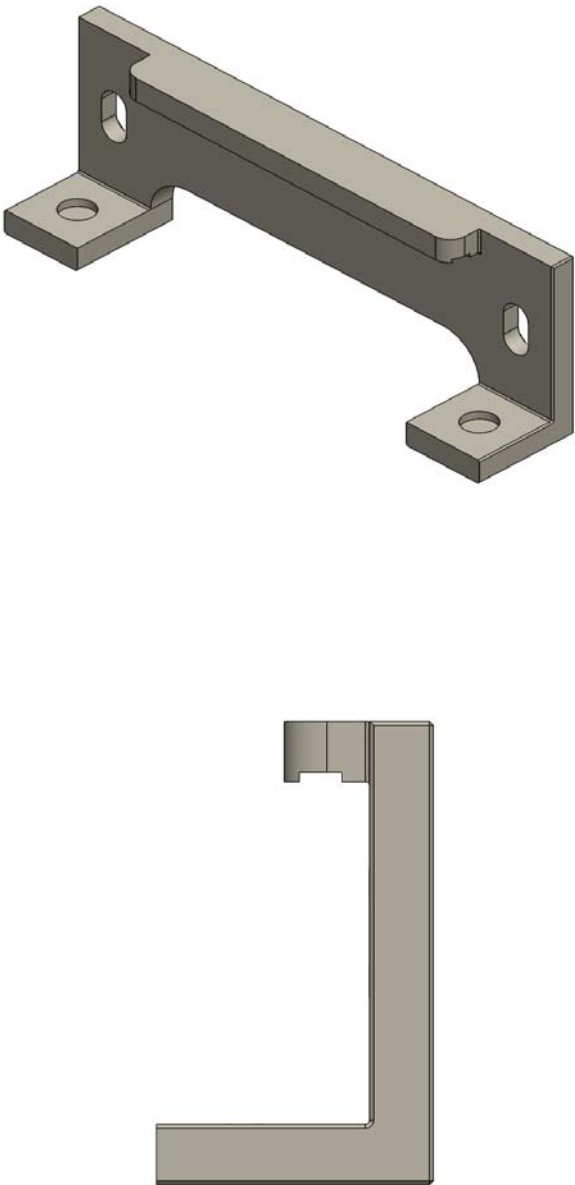
- TC029

Tabela 3.40 – Sequência operatória do componente TC029

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria e facejar peça em bruto de fundição;
	2 – Fresar furação no topo para passagem de parafusos M3;
	3 – Furar furos roscados nas laterais para montar o componente TC030;
	4 – Facejas e fresar cavidades de guiamento das molas G;
	5 – Fresar face de encosto da bobina e rasgos;
	6 – Retificar;
	7 – Quebrar arestas.
Material	ASTM A159

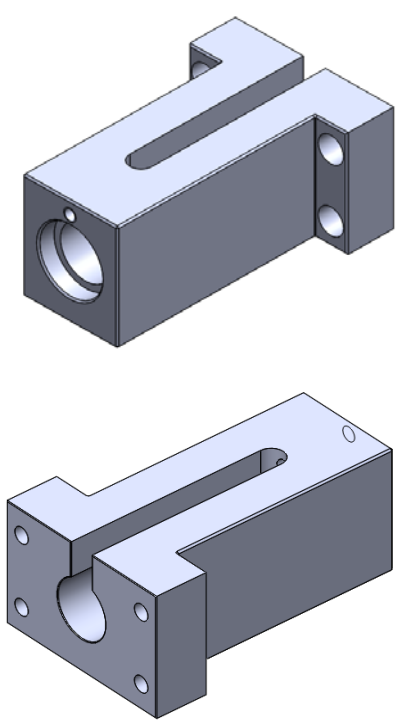
- TC030

Tabela 3.41 – Sequência operatória do componente TC030

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria e facejar;
	2 – Fresar furação oblonga para passagem de parafusos M3 e rasgo oblongo da mesma face;
	3 – Furar cavidades para guiamento das molas G;
	4 – Fresar rasgo que irá calcar a bobina de terminais;
	5 – Retificar;
Material	4 – Quebrar arestas. AISI 1010

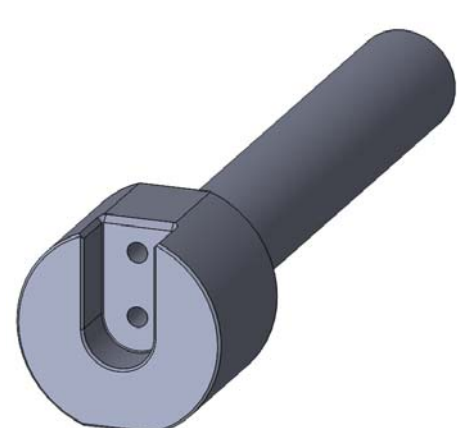
- TC031

Tabela 3.42 – Sequência operatória do componente TC031

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria do bloco;
	2 – Furar e mandrilar furo central para o guiamento do componente TC032B;
	3 – Fresar rasgo que se prolonga juntamente com o furo central;
	4 – Fresar furo para acomodar o componente TC032E;
	6 – Fresar furos para acomodar os parafusos M4 e furo roscado para M4 de ajuste do batente;
	7 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

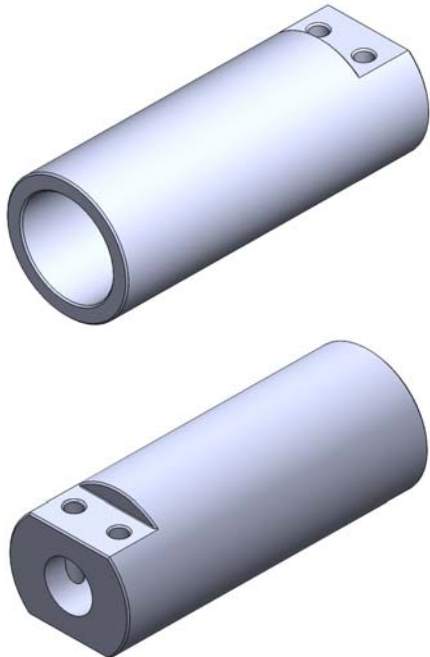
- TC032A

Tabela 3.43 – Sequência operatória do componente TC032A

Legenda	Operações
	1 – Tornear contornos;
	2 – Mudar aperto e facejar face oposta;
	3 – Fresar facetas e cavidade central para o componente TC032C (no torno com eixo Y – com ferramentas motorizadas);
	4 – Furar furos roscados para M2;
	5 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

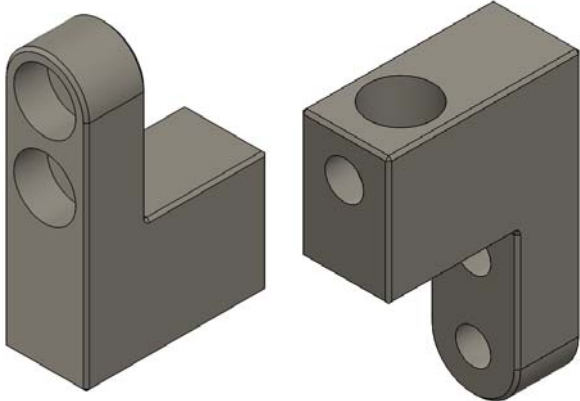
- TC032B

Tabela 3.44 – Sequência operatória do componente TC032B

Legenda	Operações
	1 – Torneiar contorno;
	2 – Mandrilar furo central $\varnothing 12$ mm (com 29,75 mm de profundidade) para guiamento do componente TC032E;
	3 – Mudar o aperto e facejar face oposta;
	4 – Fresar furo central $\varnothing 6,4$ mm;
	5 – Fresar facetas e furos para cavilhamento (no torno com eixo Y – com ferramentas motorizadas);
	6 – Quebrar arestas.
Material	AISI 1010


- TC032C

Tabela 3.45 – Sequência operatória do componente TC032C

Legenda	Operações
	1 – Fresar esquadria e forma arredondada no topo no pormenor da esquerda;
	2 – Fresar contorno lateral em forma de L;
	3 – Furar furos para passagem de parafusos M2;
	4 – Furar cavidade para acomodar componente TC033;
	5 – Furar furo roscado M3 para fixação do componente TC033;
	6 – Retificar;
	7 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

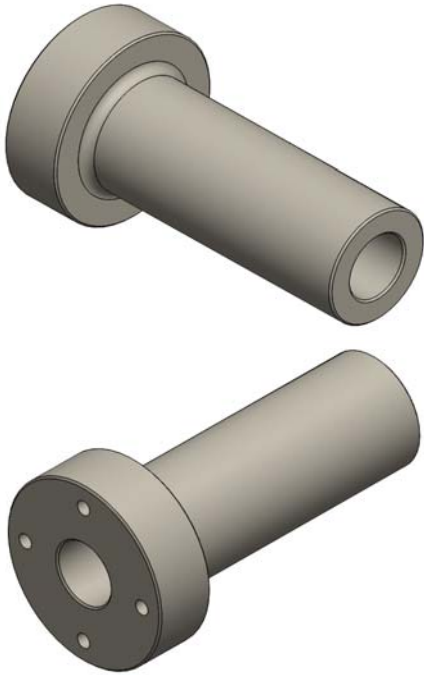
- TC032D

Tabela 3.46 – Sequência operatória do componente TC032D

Legenda	Operações
	1 – Utilizar um perno roscado M8x50 mm;
	2 – Tornear cilíndrico $\varnothing 6 \times 10$ mm na zona frontal do componente;
	3 – Tornear meia cana para fixação no componente TC032B por intermédio de pinos cilíndricos.

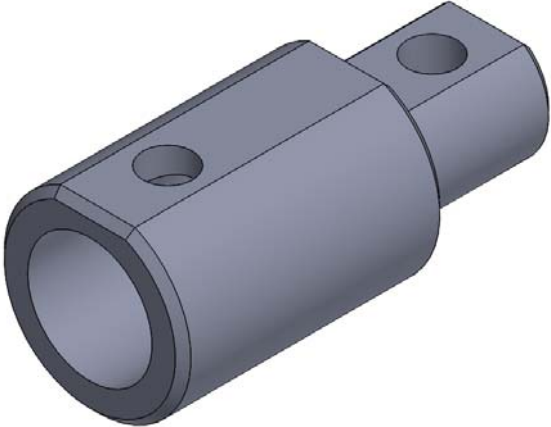
- TC032E

Tabela 3.47 – Sequência operatória do componente TC032E

Legenda	Operações
	1 – Tornear cilíndricamente a partir de um varão;
	2 – Tornear rebaixo $\varnothing 12 \times 31$ mm;
	3 – Mudar aperto e facejar face oposta;
	4 – Furar furo central M8;
	5 – Furar M2x5 mm;
	6 – Retificar $\varnothing 12$ mm;
	7 – Quebrar arestas.
Material	AISI 1010

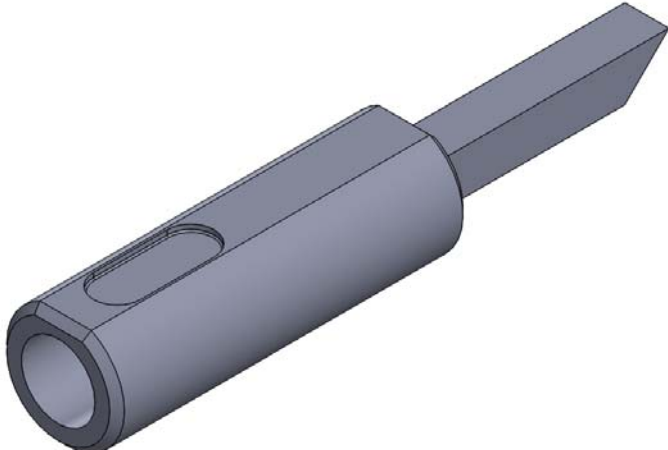
- TC033

Tabela 3.48 – Sequência operatória do componente TC033

Legenda	Operações
	1 – Tornear cilíndricamente a partir de um varão;
	2 – Tornear rebaixo $\varnothing 4 \times 4,5$ mm e fresar faceta (no torno com eixo Y – com ferramentas motorizadas)
	3 – Mudar aperto, facejar face oposta e fresar a outra faceta (no torno com eixo Y – com ferramentas motorizadas);
	4 – Furar furos roscados M2;
	5 – Furar e mandrilar o furo central para acoplamento do componente TC034;
	6 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

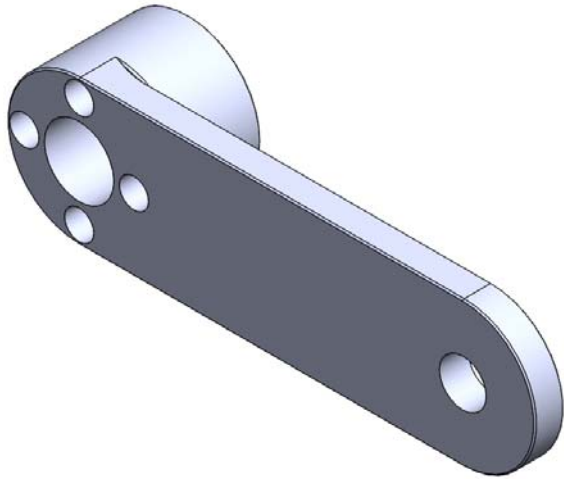
- TC034

Tabela 3.49 – Sequência operatória do componente TC034

Legenda	Operações
	1 – Tornear cilíndricamente a partir de um varão;
	2 – Furar cavidade para a mola H;
	3 – Mudar de aperto e facejar face oposta;
	4 – Fresar faceta e cavidade oblonga (no torno com eixo Y – com ferramentas motorizadas);
	5 – Cortar por EDM de fio o contorno da unha de arrasto da bobina;
	6 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

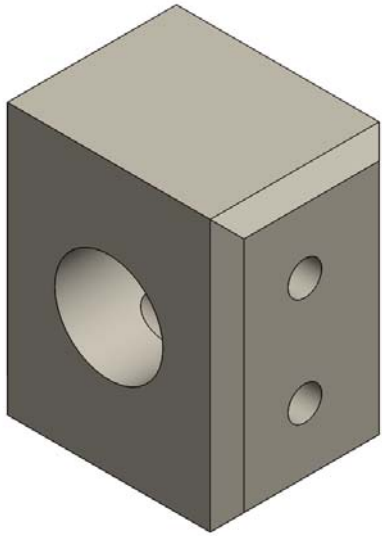
- TC035

Tabela 3.50 – Sequência operatória do componente TC035

Legenda	Operações
	1 – Bruto de fundição sem furação;
	2 – Facejar as faces planas paralelas;
	3 – Furar.
Material	ASTM A159

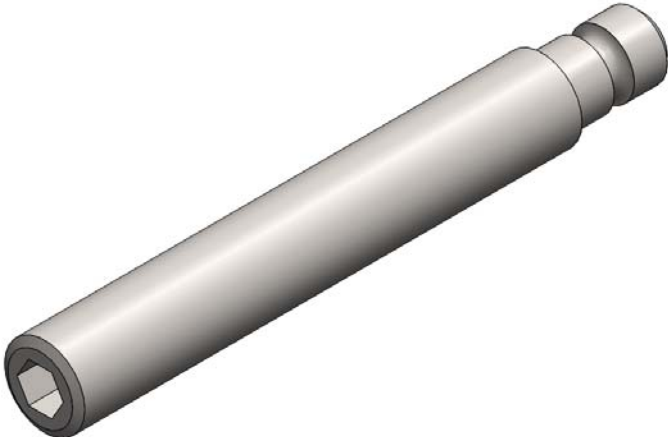
- TC036A

Tabela 3.51 – Sequência operatória do componente TC036A

Legenda	Operações
	1 – Fresar barra paralelepípedica à esquadria;
	2 – Furar $\varnothing 3,2$ mm ao longo da barra;
	3 – Furar e mandrilar $\varnothing 1$ para fixar o componente TC036B por cavilhas (em passos de 5,25 mm – largura do componente + diâmetro fio de cobre da EDM);
	4 – Cortar por EDM de fio os vários componentes da barra (separação);
	5 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

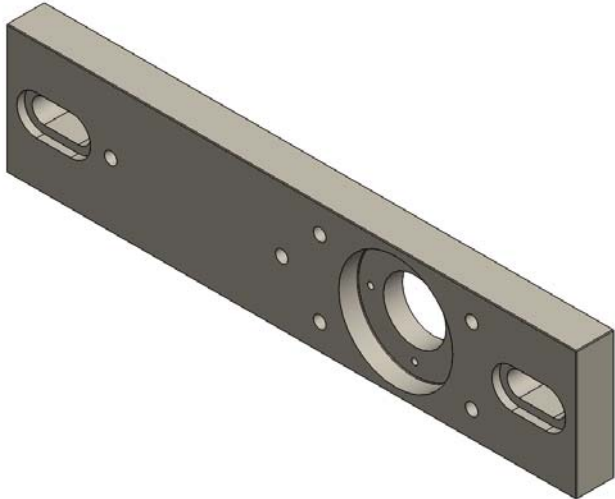
- TC036B

Tabela 3.52 – Sequência operatória do componente TC036B

Legenda	Operações
	1 – Utilizar um perno roscado M4x30 mm;
	2 – Tornear cilíndrico $\varnothing 3,2 \times 5$ mm na zona frontal do componente;
	3 – Tornear meia cana para fixação no componente TC036A por intermédio de pinos cilíndricos.

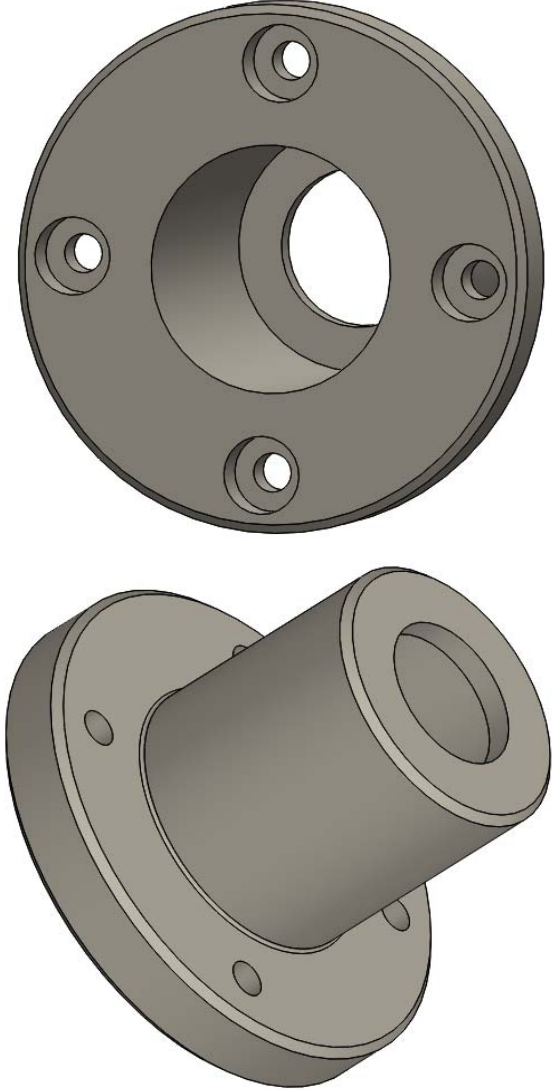
- TC037

Tabela 3.53 – Sequência operatória do componente TC037

Legenda	Operações
	1 – Fresar barra à esquadria;
	2 – Fresar furações e caixas;
	3 – Furar furos e roscar;
	4 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

- TC038

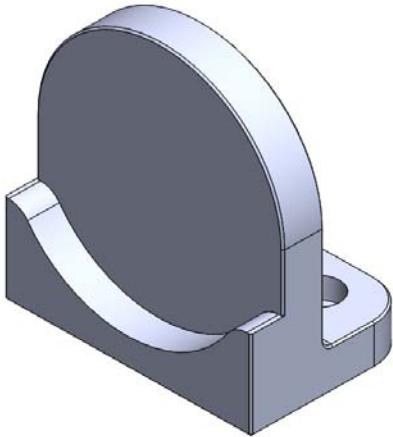
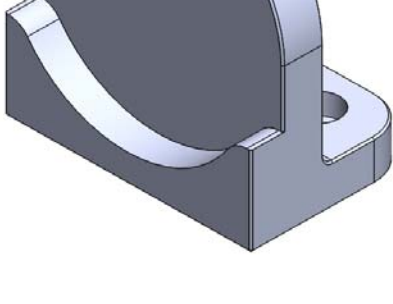
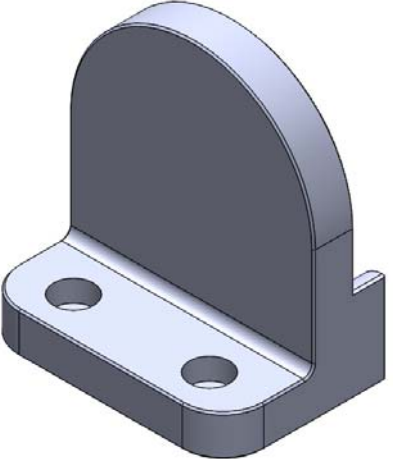
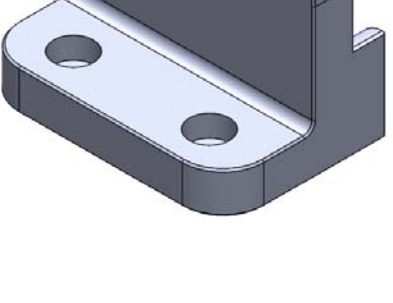
Tabela 3.54 – Sequência operatória do componente TC038

Legenda	Operações
	1 – Torneiar cilíndricamente a partir de varão;
	2 – Torneiar rebaixo cilíndrico;
	3 – Torneiar furo de diâmetro menor no interior;
	4 – Mudar de aperto e facejar;
	5 – Furar furos passantes (e abrir caixas) para M2;
	6 – Fresar cavidade central para guiamento da mola I;
	7 – Quebrar arestas.
Material	DIN 1.1191

3.11.4 Sequência operatória dos componentes do módulo do cilindro pneumático

- TC042

Tabela 3.55 – Sequência operatória do componente TC042

Legenda	Operações
	<p>1 – Fresar esquadria e rebaixo para fixação;</p>
	<p>2 – Fresar rebaixo para acomodar o refletor;</p>
	<p>3 – Furar furos lisos para apertar o componente na base superior;</p>
	<p>4 – Quebrar arestas.</p>
<p>Material</p>	<p>DIN 1.1191</p>

3.12. Instruções de montagem e afinação

3.12.1 Instruções de montagem

1. Posicionar a base, TC001;

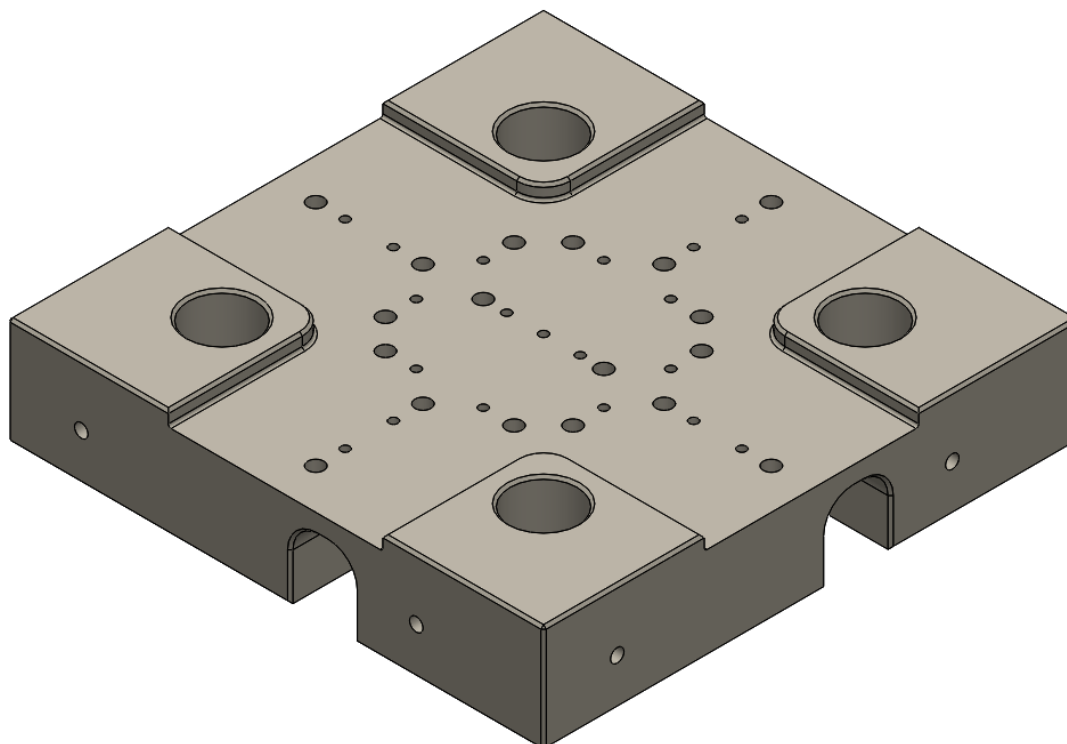


Figura 3.72 – Posicionamento da base

2. Fixar a matriz principal na base;

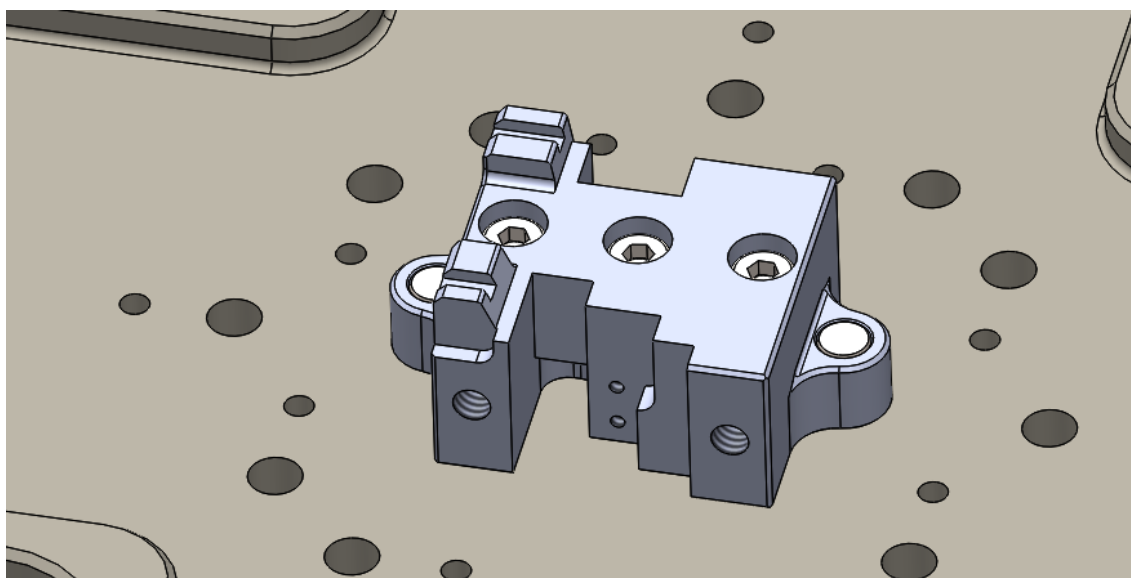


Figura 3.73 – Fixação da matriz principal na base

- a) Colocar os três parafusos (STD05) – sem apertar;
- b) Colocar as duas cavilhas de posicionamento (STD09);
- c) Apertar os três parafusos, devendo o primeiro ser o do meio.

3. Colocar a matriz de cravação, TC015;

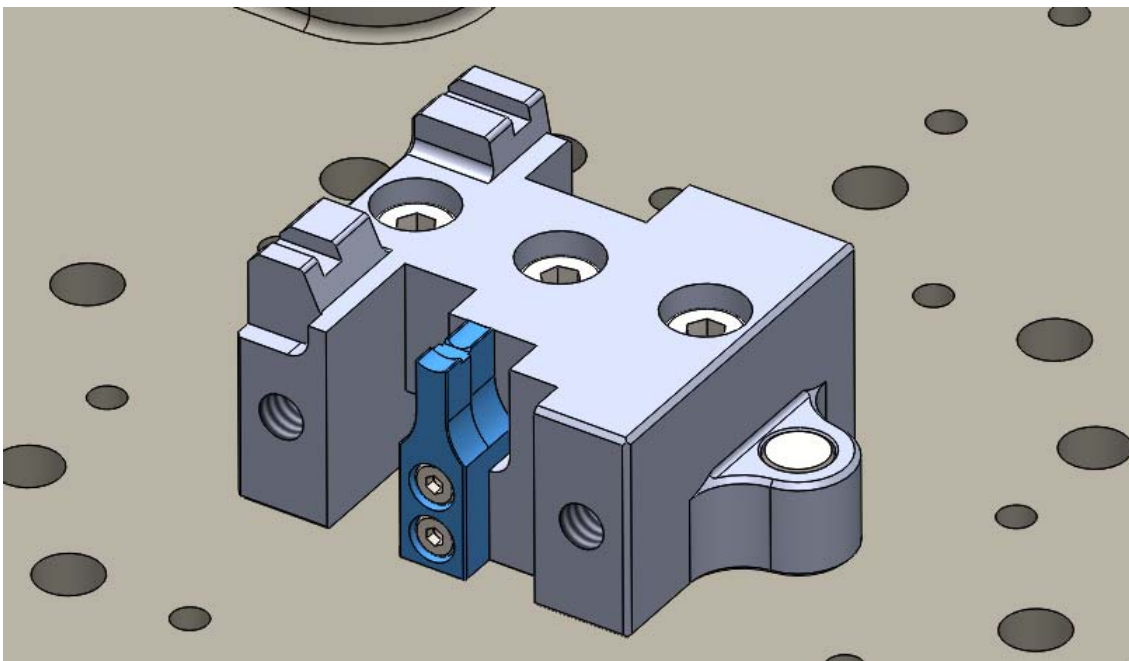


Figura 3.74 – Acoplamento da matriz de cravação na matriz principal

- a) Utilizar a face de encosto com a matriz principal, TC016, para alinhar a matriz de cravação;
- b) Apertar os dois parafusos, STD01.

4. Colocar a matriz secundária, TC018, e respetiva mola;

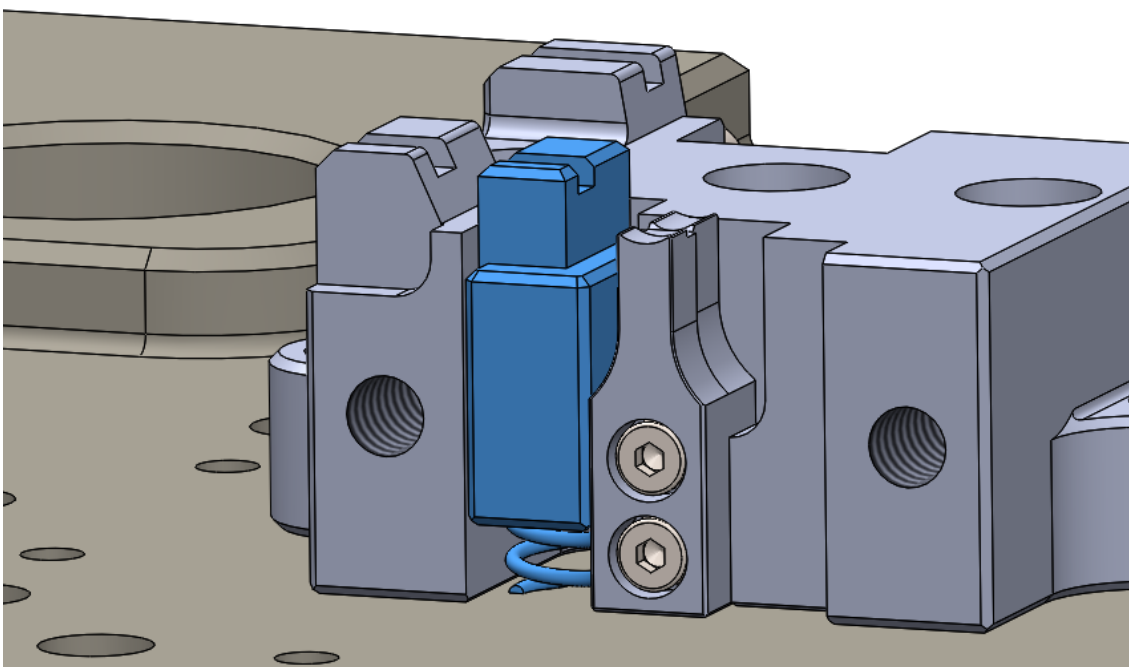


Figura 3.75 – Colocação da matriz secundária A

- a) Colocar a mola D na cavidade do componente TC018;
- b) Colocar os dois componentes no local destinado.

5. Adicionar a matriz secundária, TC020, e respetiva mola;

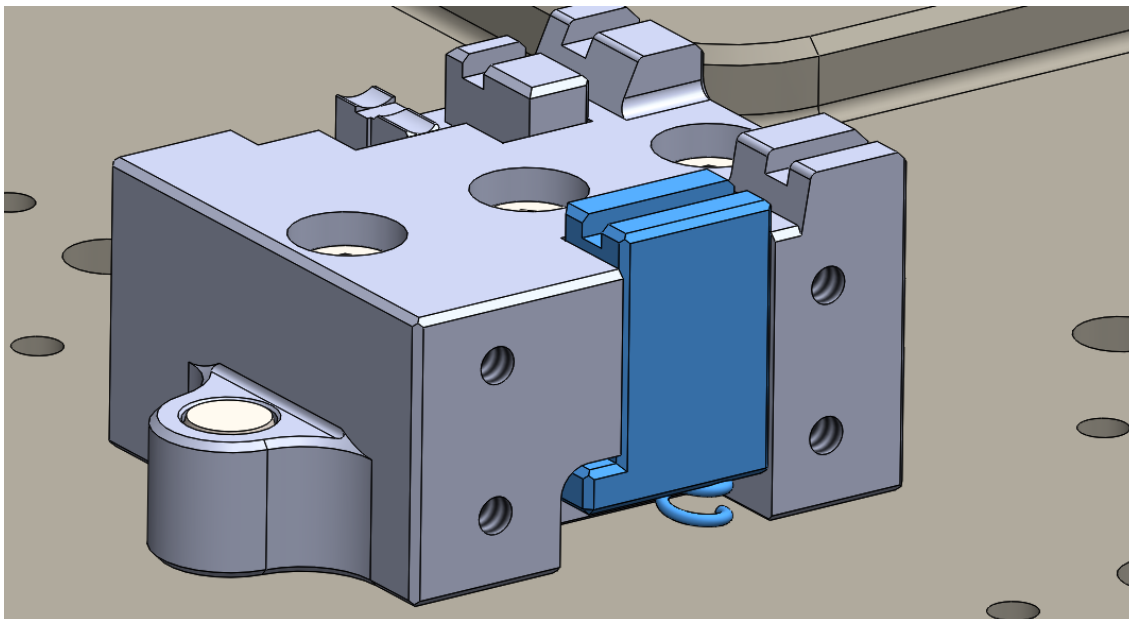


Figura 3.76 – Colocação da matriz secundária B

- a) Colocar a mola E na cavidade do componente TC020;
- b) Colocar os dois componentes no local destinado.

6. Colocar a placa de fecho da matriz, TC021;

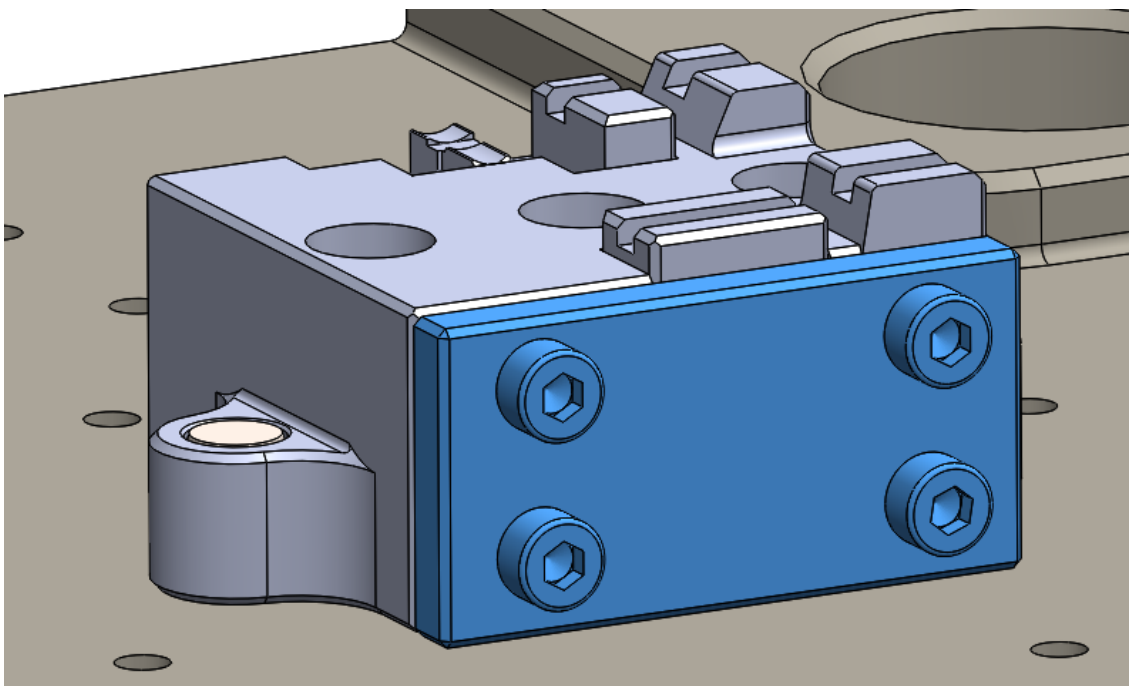


Figura 3.77 – Colocação da tampa traseira

7. Acoplar a matriz auxiliar de corte, TC014, e o batente do terminal, TC019;

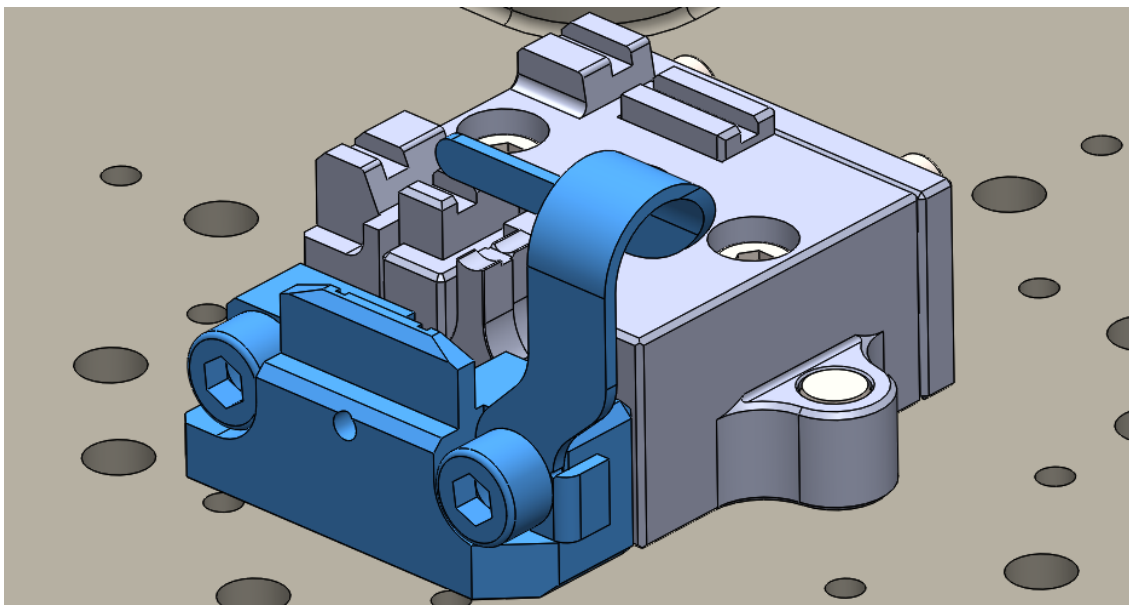


Figura 3.78 – Colocação da matriz auxiliar de corte e do batente do terminal

- a) Fixar TC014 com o parafuso STD06 da esquerda;
- b) Colocar TC019 e apertar o parafuso STD06 da direita;
- c) Colocar os dois componentes no local destinado.

8. Colocar a matriz de corte do excesso de bobina, TC013, e respetiva mola;

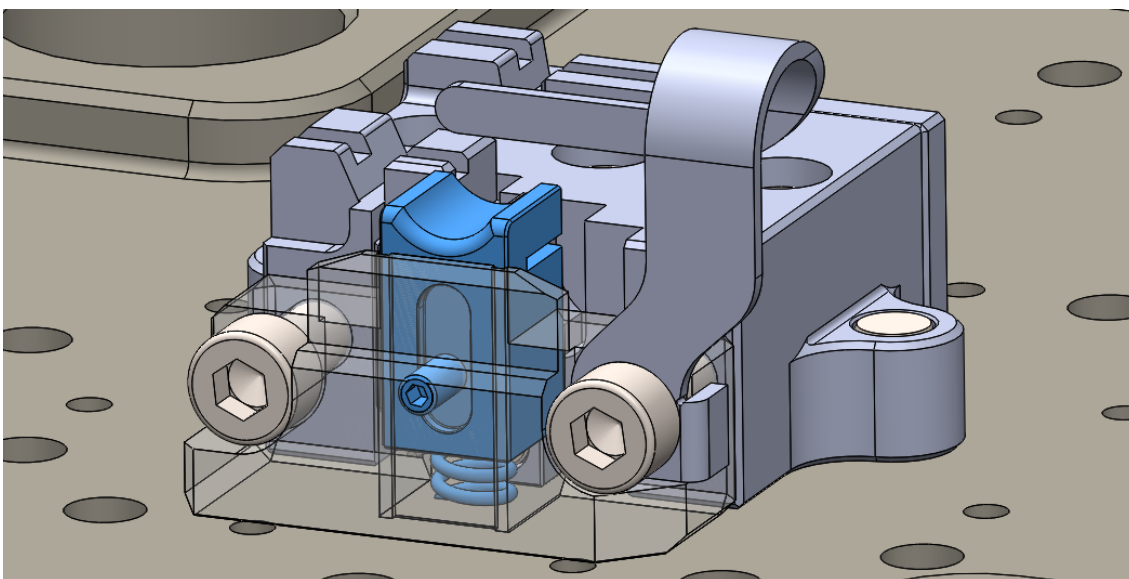


Figura 3.79 – Colocação da matriz de corte da bobina

- a) Colocar a mola B na cavidade do componente TC013;
- b) Colocar os dois componentes na cavidade deixada entre TC014 e TC015;
- c) Colocar o parafuso STD02 no furo roscado de TC014 e bloquear a subida da matriz TC013.

9. Fixar a base do sistema de alimentação, TC023;

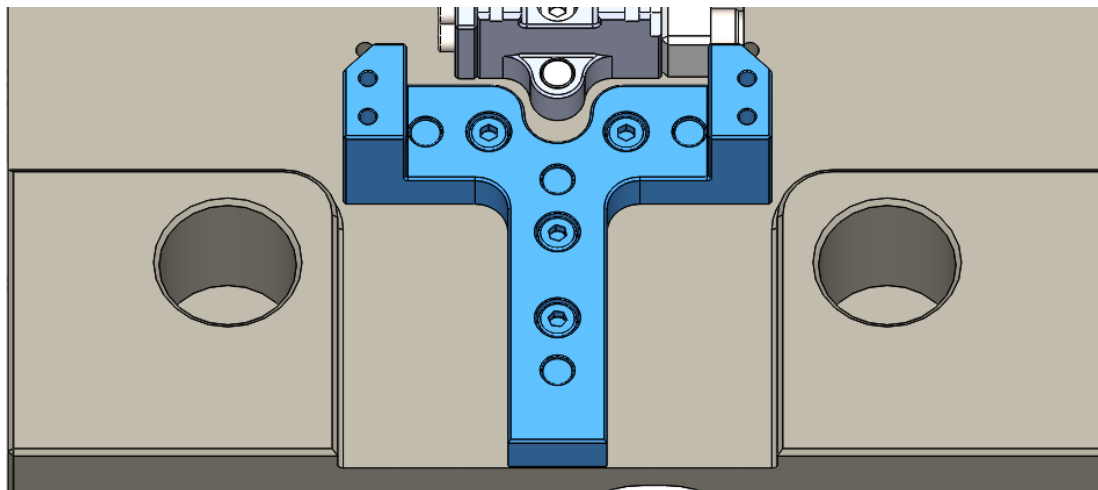


Figura 3.80 – Colocação da base do sistema de alimentação de bobina

- a) Colocar o componente TC023 e os parafusos STD12 (sem apertar);
- b) Alinhar TC023 colocando os pinos cilíndricos STD23;
- c) Apertar os parafusos STD12.

10. Acoplar base do calcador da bobina, TC025;

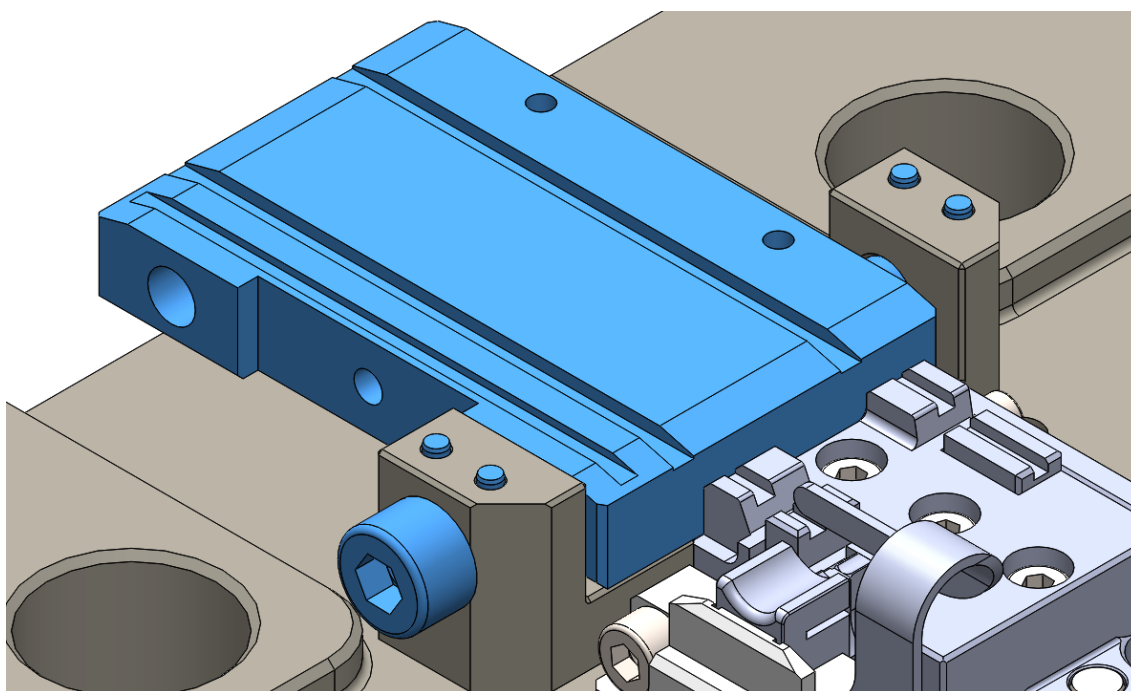


Figura 3.81 – Fixação da base do calcador

- a) Colocar o componente TC025 no meio do TC023;
- b) Colocar o parafuso TC028 a atravessar TC025 (de modo a alinhá-lo);
- c) Colocar as cavilhas, fixando TC028.

11. Montar TC022, TC024, TC026A, TC026B e Molas F;

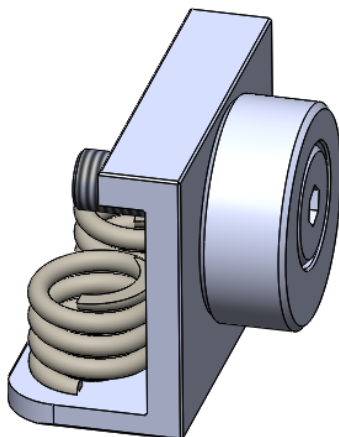


Figura 3.82 – Montagem dos componentes calçadores da bobina

- a) Colocar o componente TC022 no furo do TC024 e, por sua vez, no furo do TC026A;
- b) Apertar os TC026B com os parafusos STD21;
- c) Posicionar as molas F.

12. Posicionar TC022, TC024, TC026A, TC026B e Molas F no componente TC025;

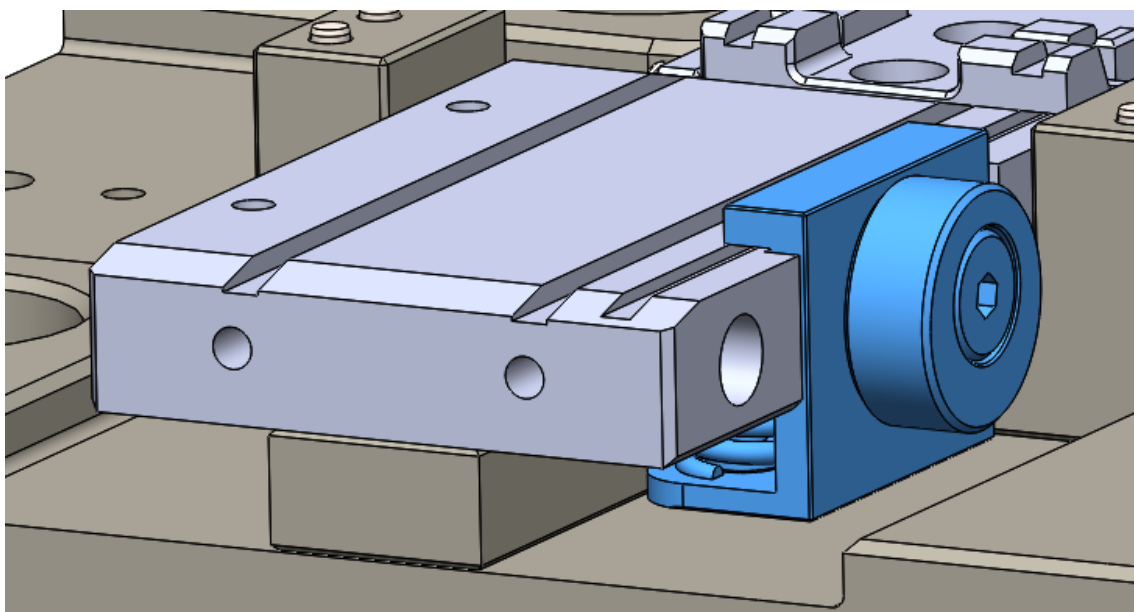


Figura 3.83 – Montagem dos componentes calçadores da bobina na base do calçador

- a) Posicionar o conjunto anterior no furo roscado na lateral, comprimindo as molas F;
- b) Apertar o parafuso TC022 (não apertar até bloquear, aperto será ajustado à espessura da bobina).

13. Fixar a guia da bobina, TC027;

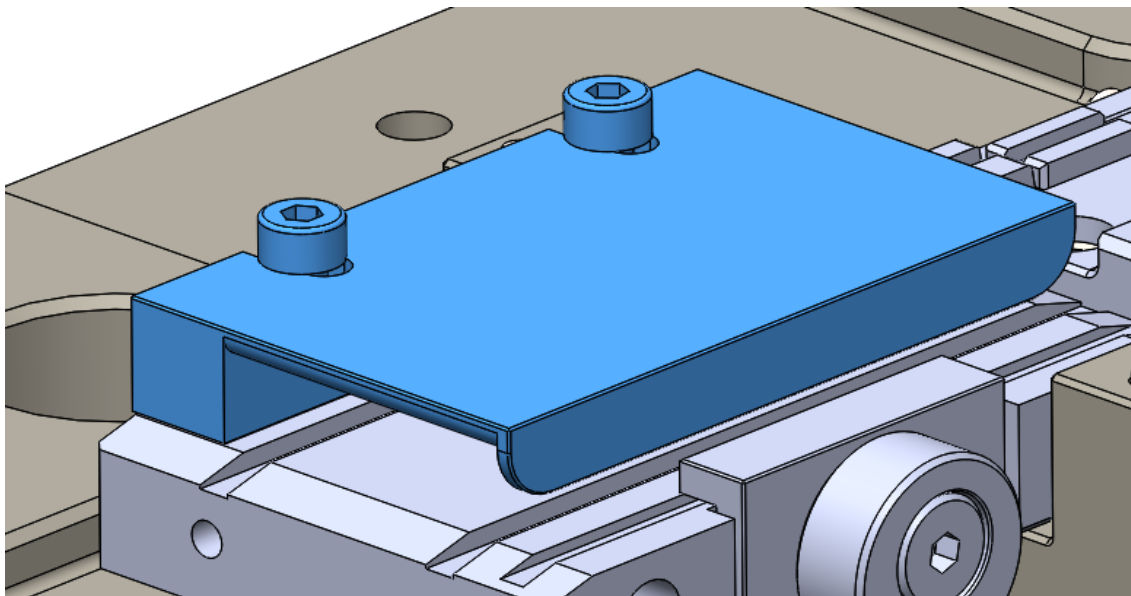


Figura 3.84 – Acoplamento da guia da bobina na base do sistema de alimentação

a) Fixar TC027 usando os parafusos STD12.

14. Posicionar a placa de alinhamento, TC037;

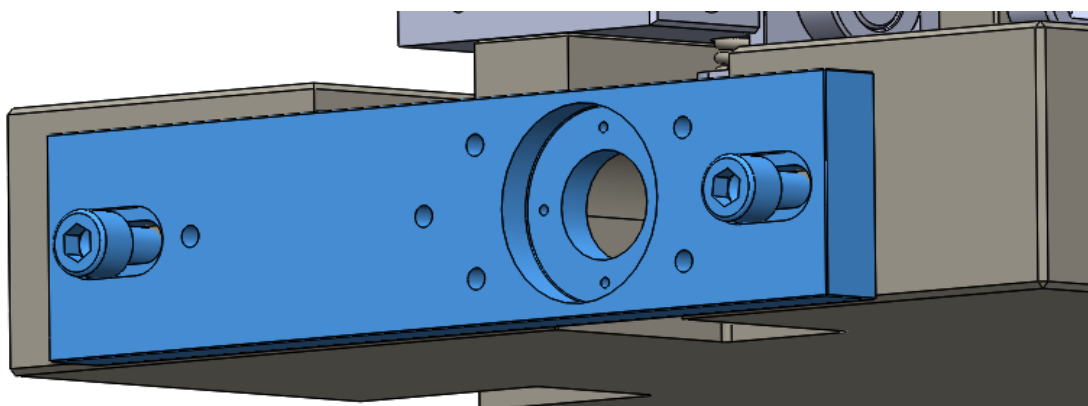


Figura 3.85 – Posicionamento da placa de alinhamento do mecanismo de alimentação

a) Colocar TC037 e os parafusos STD18, mas sem os apertar na totalidade, pois ainda será necessário posicionar o mecanismo à *posteriori*.

15. Acoplar o guiamento da mola I, TC038;

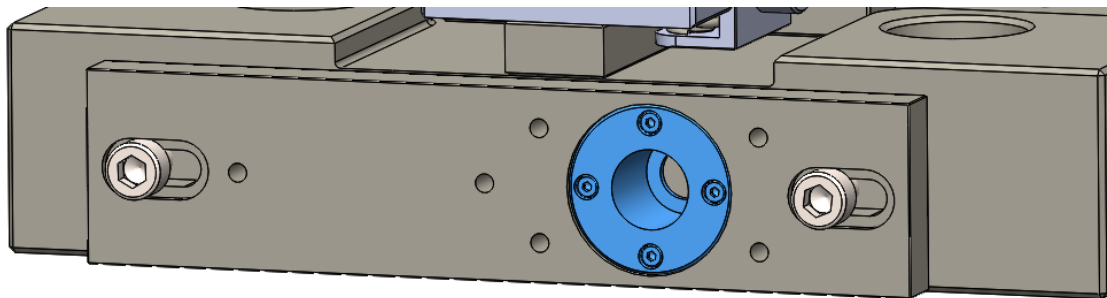


Figura 3.86 – Acoplamento do guiamento da mola I na placa de alinhamento

- a) Colocar TC038 e apontar os parafusos STD20;
- b) Apertar os parafusos em cruz.

16. Posicionar o veio de alimentação, TC032A, o suporte da unha, TC032C, e a mola I na estrutura de alimentação, TC031;

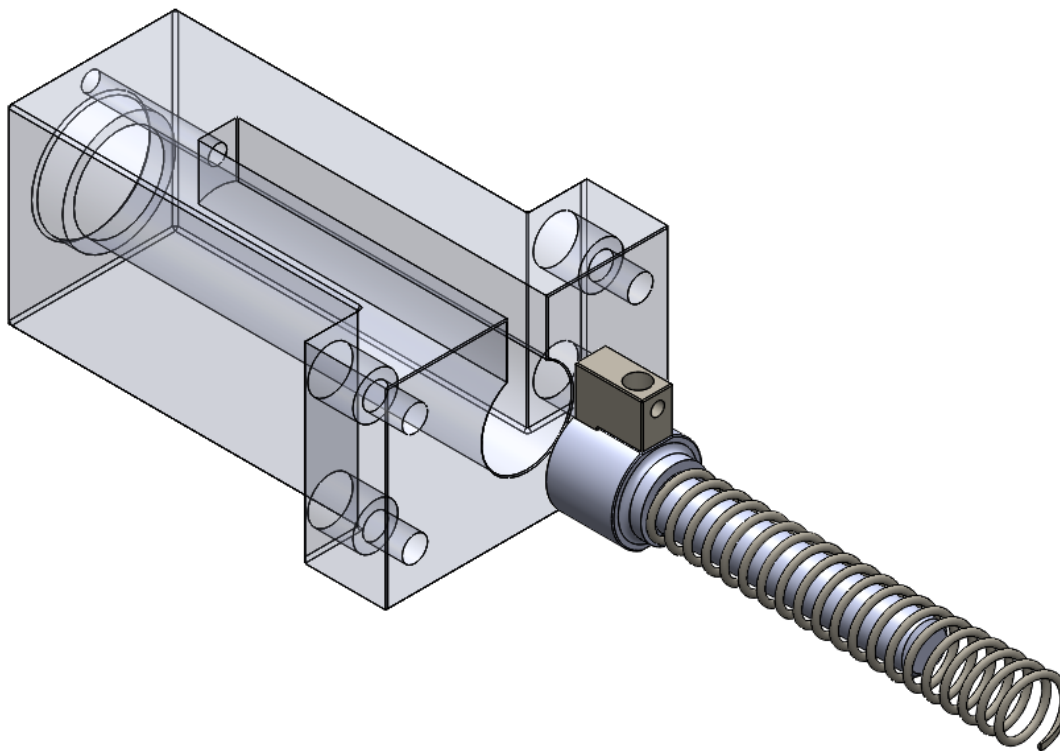


Figura 3.87 – Posicionamento dos componentes TC032A, TC032C e mola I no TC031

- a) Apertar o suporte da unha, TC032C, no veio de alimentação, TC032A, recorrendo aos parafusos STD20;
- b) Colocar esses dois componentes no interior de TC031, no furo que irá guiar o veio;
- c) Colocar a mola I no veio.

17. Colocar a estrutura do alimentador, TC031, já com alguns dos componentes internos;

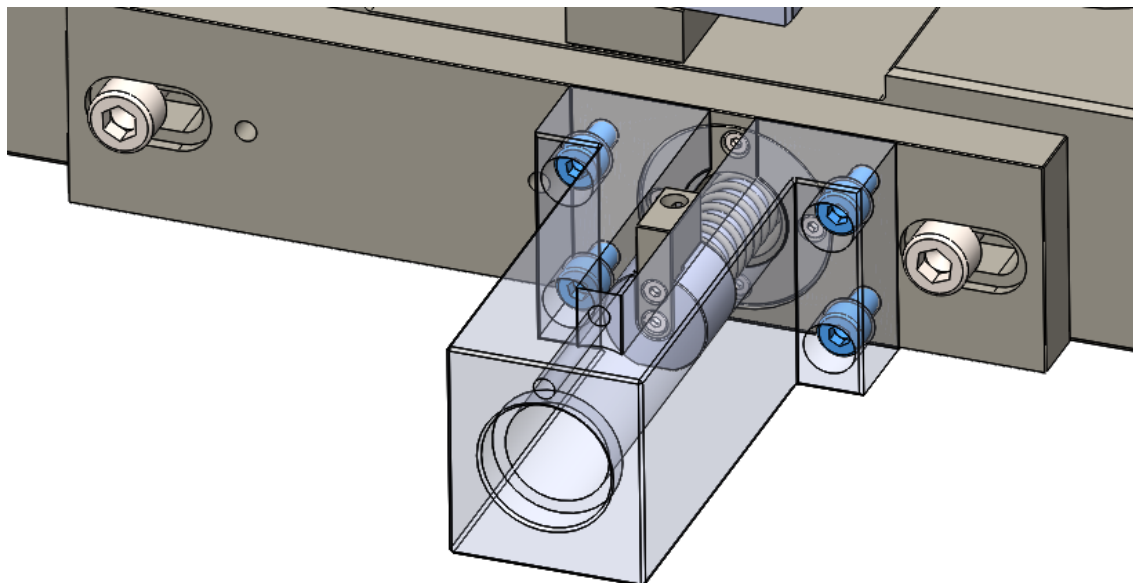


Figura 3.88 – Colocação da estrutura do alimentador

- Colocar os parafusos STD16 (sem os apertar na totalidade);
- Verificar que o curso do veio TC032A e da mola I não têm impedimentos simulando o seu movimento de trabalho;
- Apertar os parafusos STD16.

18. Colocar componentes do batente do retorno da alimentação (TC036A, TC036B);

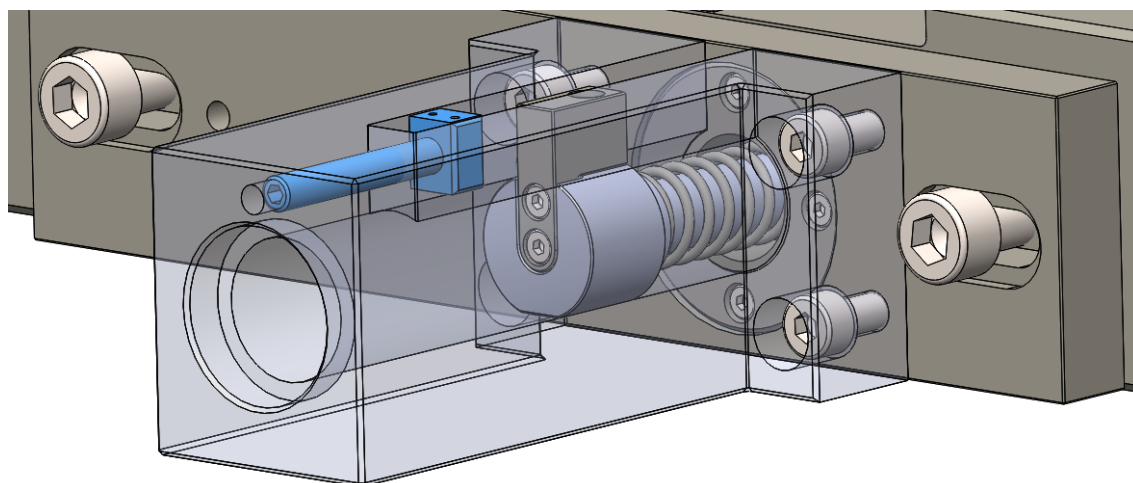


Figura 3.89 – Colocação dos componentes do batente do retorno da alimentação

- Roscar TC036B até que a extremidade fique livre no outro lado de TC031;
- Colocar TC036A e travar com as cavilhas STD25. Este passo fará com que TC036A se desloque de acordo com o aperto/desaperto de TC036B.

19. Colocar componentes do ajuste do passo da alimentação (TC032B, TC032D e TC032E);

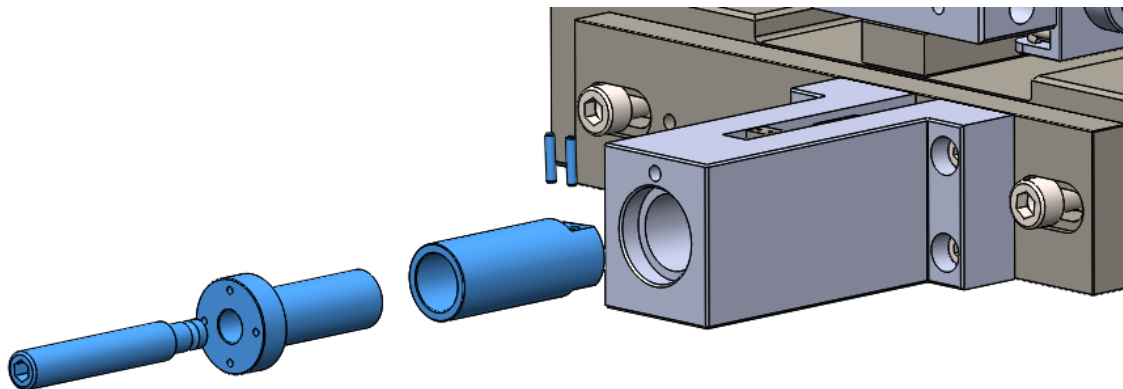


Figura 3.90 – Colocação dos componentes de ajuste do passo de alimentação

- a) Roscar TC032D no interior de TC032E até que a ponta saia na outra extremidade;
- b) Colocar os dois componentes no interior do TC032B;
- c) Fixar TC032D, e conseqüentemente TC032E, no TC032B com as cavilhas STD26. Isto irá permitir que ao roscar TC032D, o componente TC032B se desloque em consonância, ajustando o passo da alimentação;
- d) Colocar todos os componentes no interior do TC031.

20. Acoplar travão da unha de alimentação, TC033;

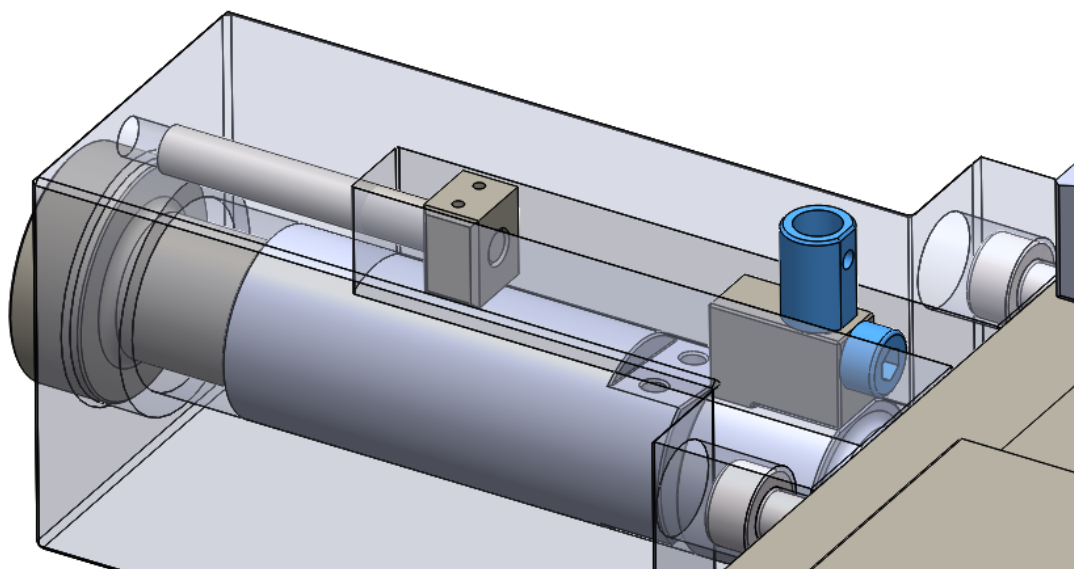


Figura 3.91 – Colocação do travão da unha

- a) Colocar TC033 no furo de TC032C;
- b) Fixar o componente apertando o parafuso STD19.

21. Colocar unha de alimentação, TC034 e respetiva mola;

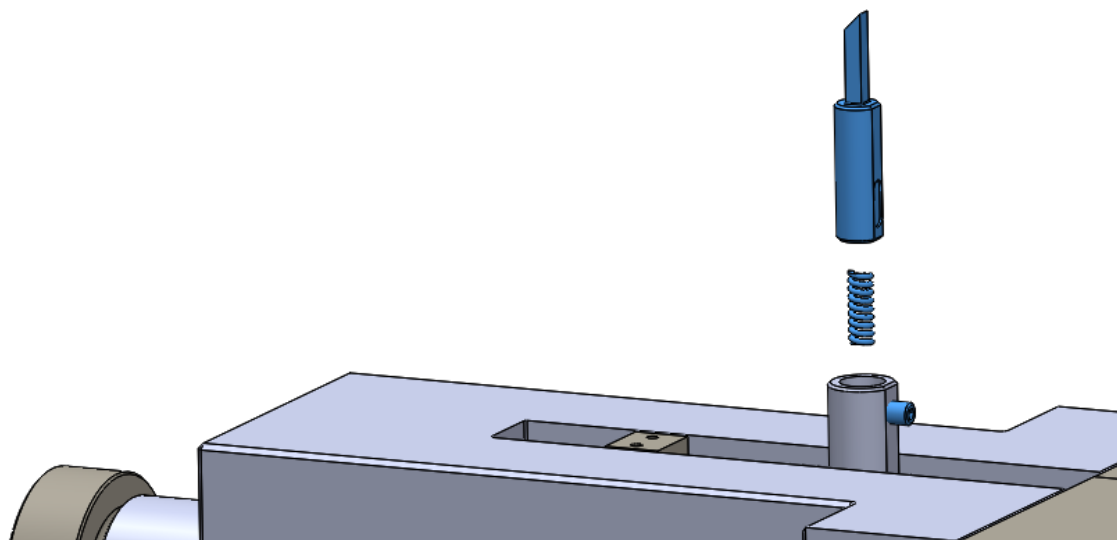


Figura 3.92 – Colocação da unha de alimentação

- a) Colocar a mola H na cavidade de TC033;
- b) Introduzir TC034 no mesmo furo da mola, tendo o cuidado de guiar a mola para o interior do furo de TC034;
- c) Comprimir a mola H, empurrando TC034 para baixo, e apertar o parafuso STD15, mas não na sua totalidade, uma vez que apenas servirá de travão para a unha.

22. Acoplar base-guia de entrada da bobina, TC029;

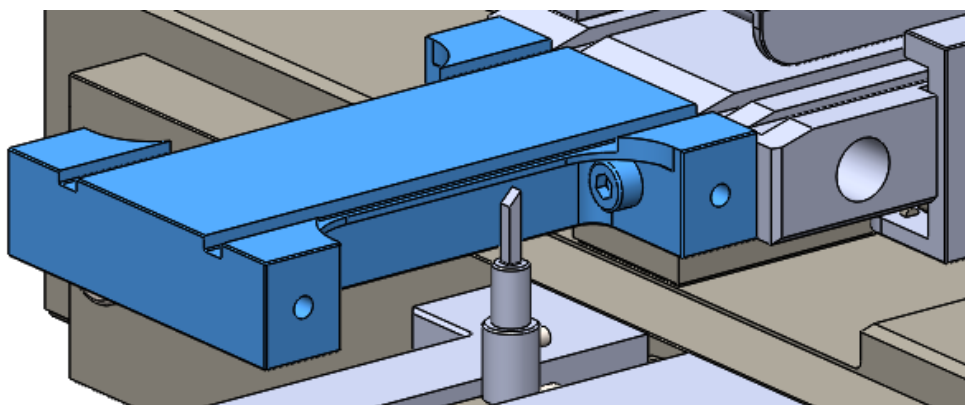


Figura 3.93 – Colocação da base-guia de entrada da bobina

- a) Montar TC029 na base TC025 por intermédio dos parafusos STD13, não os apertando na totalidade;
- b) Colocar um calibre nos rasgos para o terminal na face superior de TC029 e TC025 para garantir que ficam alinhados e apertar bem os parafusos STD13.

23. Posicionar o calçador de entrada da bobina, TC030;

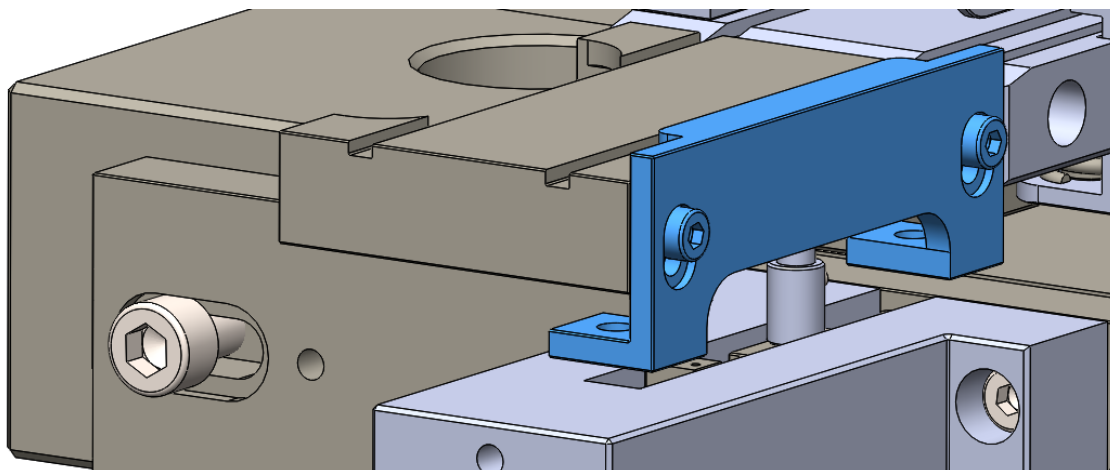


Figura 3.94 – Posicionamento do calçador de entrada da bobina

- a) Posicionar TC030 na sua posição mais baixa (em que as molas ficariam menos comprimidas), apertando ligeiramente os parafusos STD14.

24. Colocar as molas G;

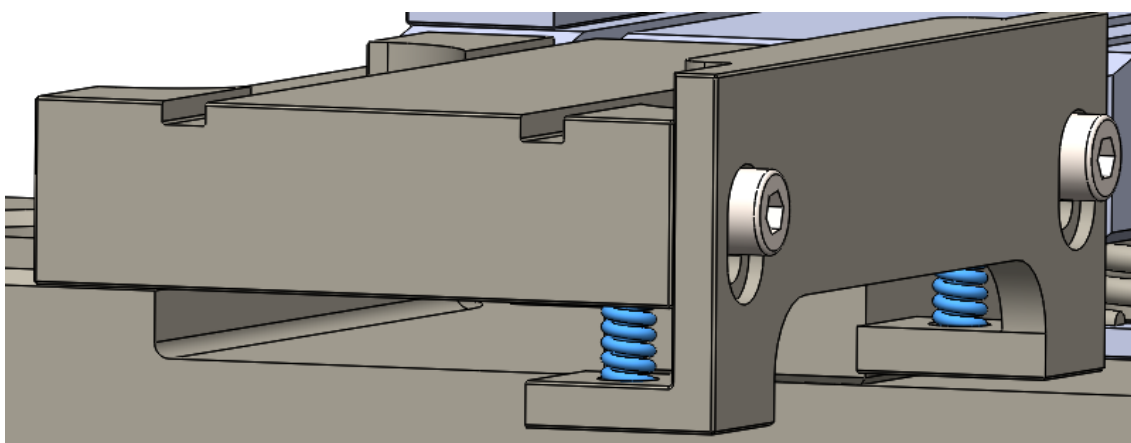


Figura 3.95 – Colocação das molas G

- a) Colocar as molas G nas cavidades destinadas ao seu alojamento;
- b) Os parafusos STD14 nunca deverão ser totalmente apertados, pois apenas servem para guiar TC030 para calçar a bobina, auxiliados pelas molas G.

25. Acoplar o cilindro pneumático;

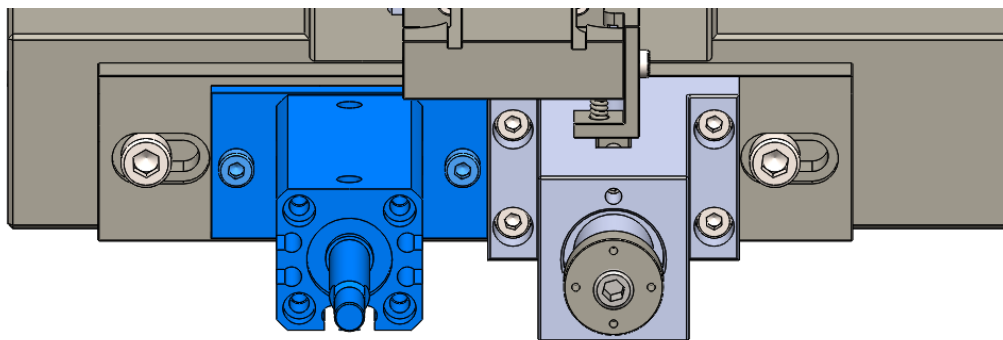


Figura 3.96 – Montagem do cilindro pneumático

- a) Montar cilindro pneumático, apertando os parafusos STD17.

26. Montar acoplamento entre o cilindro pneumático e o sistema de alimentação, TC035;

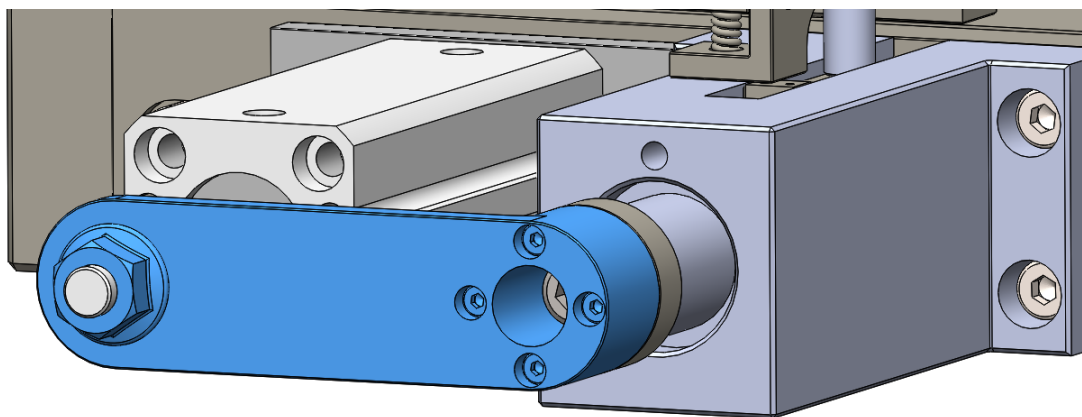


Figura 3.97 – Fixação do acoplamento

- a) Colocar TC035 na haste do cilindro;
b) Colocar parafusos STD22 (sem os apertar na totalidade);
c) Apertar a porca STD27, para fixar o acoplamento na haste;
d) Apertar os parafusos na sua totalidade (apertar em cruz).

Neste momento, a parte inferior da ferramenta encontra-se totalmente montada. Resta agora a parte superior, que será montada à parte.

27. Colocar o punção de fixação do fio de cobre, TC009, e respectivas molas;

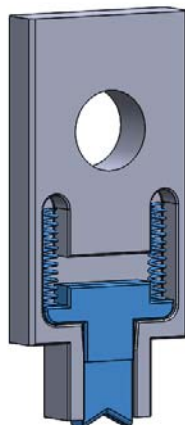


Figura 3.98 – Colocação do punção de fixação do cobre

- a) Colocar TC009 na cavidade do punção de corte do excesso de bobina, TC008;
- b) Colocar as molas A.

28. Posicionar punção de cravação do isolamento, TC006;

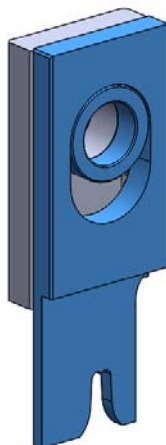


Figura 3.99 – Posicionamento do punção de cravação do isolamento

- a) Colocar o punção de cravação do isolamento, com o rebaixo voltado para o operador de montagem, fechando a cavidade onde se encontra TC009 e as molas A;
- b) Colocar o casquilho TC012, para que o punção se possa deslocar verticalmente.

29. Posicionar punção de cravação do cobre, TC005;

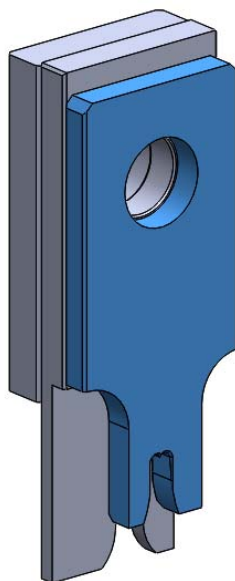


Figura 3.100 – Posicionamento do punção de cravação do cobre

- c) Colocar o punção de cravação do cobre;
- d) Manter punções juntos e minimamente alinhados pelo furo central.

30. Fixar o conjunto de punções no porta-punções, TC004;

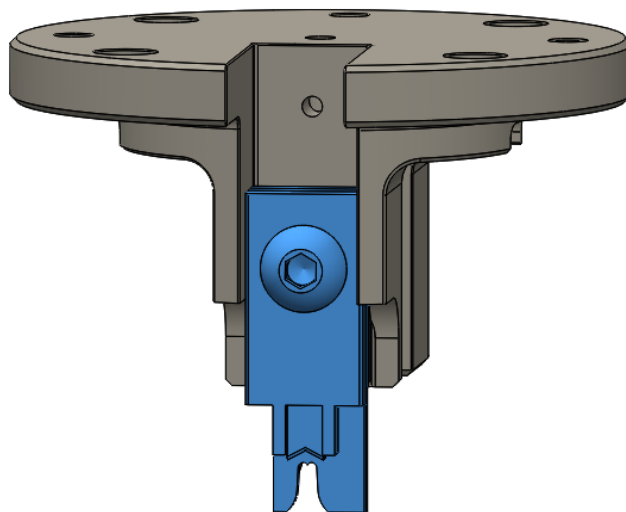


Figura 3.101 – Fixação dos punções no porta-punções

- a) Sem libertar o conjunto anterior, colocar os punções no rasgo do porta-punções;
- b) Apertar o parafuso STD07.

31. Montar o batente do punção de isolamento, TC007;

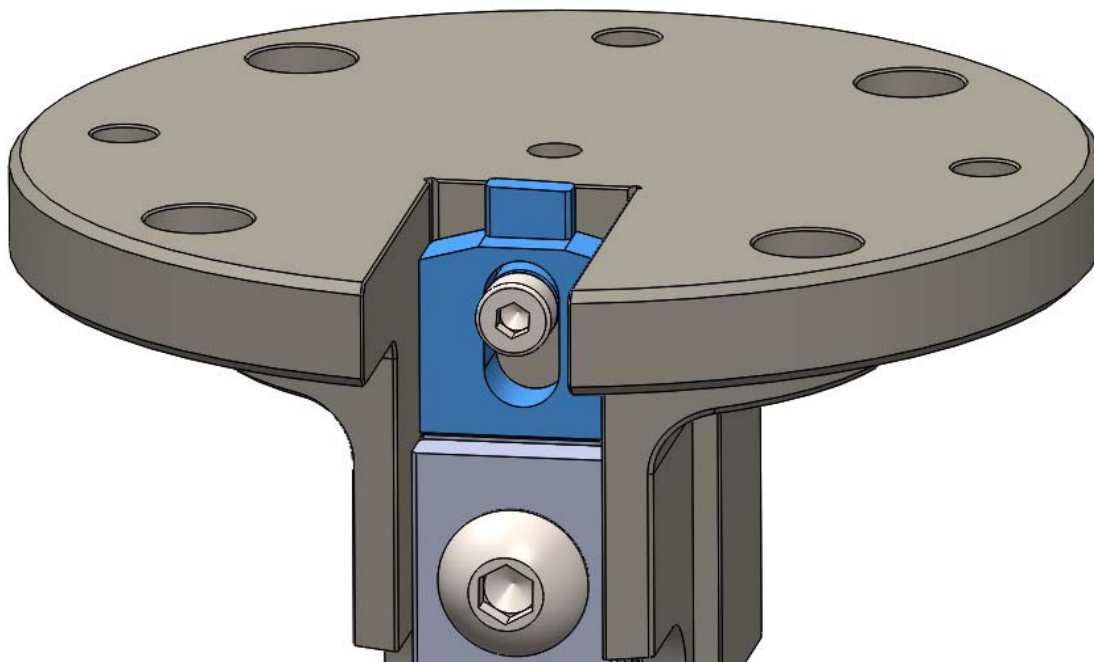


Figura 3.102 – Montagem do batente do punção de isolamento

- a) Colocar TC007 no rasgo do porta-punções, introduzindo previamente o casquilho TC010 no furo oblongo do batente. Este batente irá permitir o ajuste da altura de cravação do isolamento de forma separada pela cabeça de regulação;
- b) Apertar o parafuso STD04, colocando a anilha STD11 (não representada para ser possível ver o casquilho TC010);
- c) Verificar se o batente desliza livremente.

32. Posicionar o cerra-chapas, TC017;

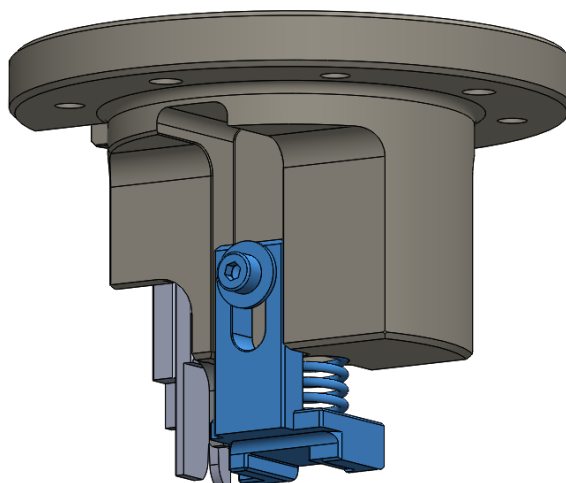


Figura 3.103 – Montagem do cerra-chapas

- a) Colocar TC017 no rasgo lateral do porta-punções (do lado adequado para o terminal a cravar – neste caso, no rasgo da direita, assumindo como frente do porta-punções o lado que tem o furo para fixação dos punções), introduzindo previamente o casquilho TC010 no furo oblongo do cerra-chapas;
- b) Apertar o parafuso STD04, colocando a anilha STD10;
- c) Verificar se o cerra-chapas desliza livremente;
- d) Colocar as duas molas C nas cavidades próprias;
- e) Verificar que as molas estão a trabalhar corretamente, simulando o movimento de compressão, empurrando o cerra-chapas para cima.

33. Colocar o conjunto anterior na base superior, TC002;

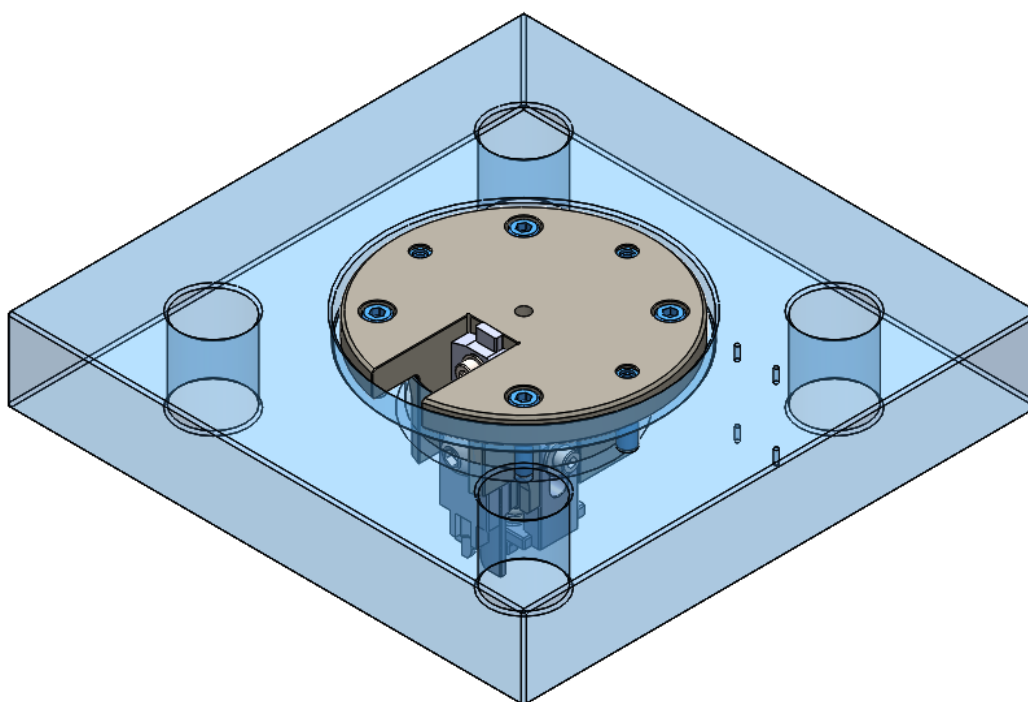


Figura 3.104 – Montagem do conjunto de punções e cerra-chapas na base superior

- a) Posicionar o conjunto anterior na base superior, utilizando os furos do cerra-chapas como referência;
- b) Colocar os parafusos STD06, sem os apertar na totalidade;
- c) Colocar os pinos cilíndricos (roscados no interior) para alinhar o cerra-chapas com precisão;
- d) Apertar os parafusos STD06.

34. Montar a cabeça de regulação, TC011;

- a) Colocar a cabeça de regulação, apertando no furo roscado central do cerra-chapas;
- b) Rodar a cabeça de regulação para a posição inicial, com ambos os anéis a assinalar "0" (zero centésimas de milímetro).

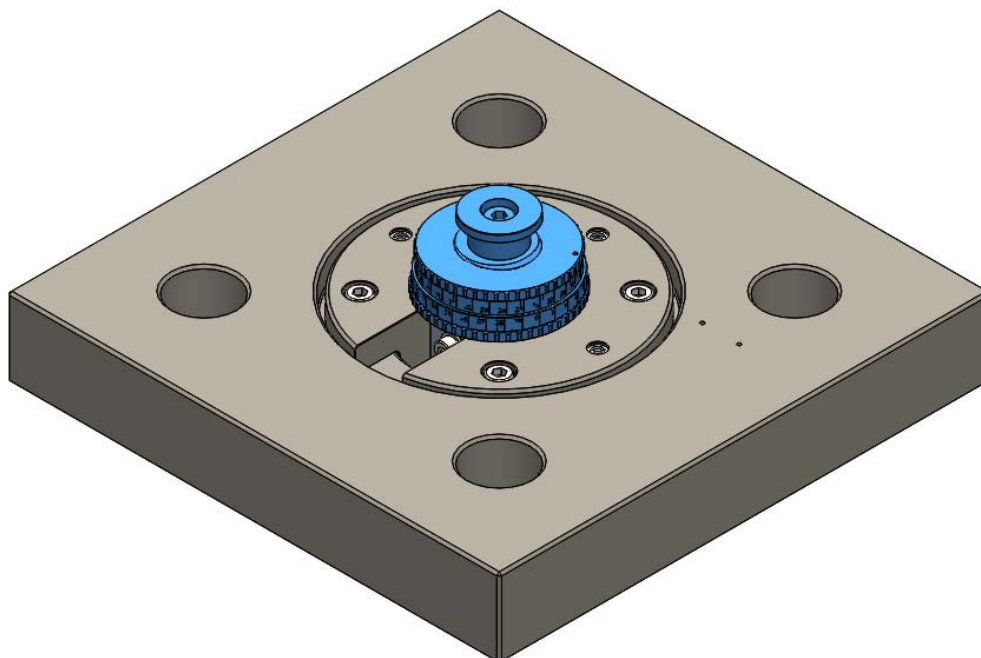


Figura 3.105 – Montagem da cabeça de regulação

35. Acoplar os suportes dos refletores, TC042;

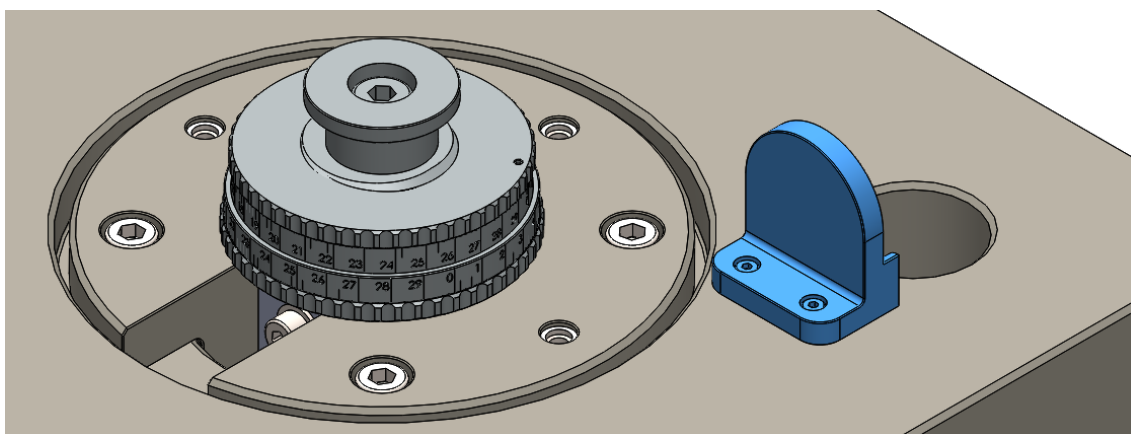


Figura 3.106 – Montagem do suporte do refletor

- a) Colocar na parte de cima da base superior o suporte, e fixá-lo com os parafusos STD28;
- b) Proceder de igual modo na parte inferior da base superior, para fixar o refletor que irá ativar o sensor do PMI.

36. Colar os refletores, TC041;

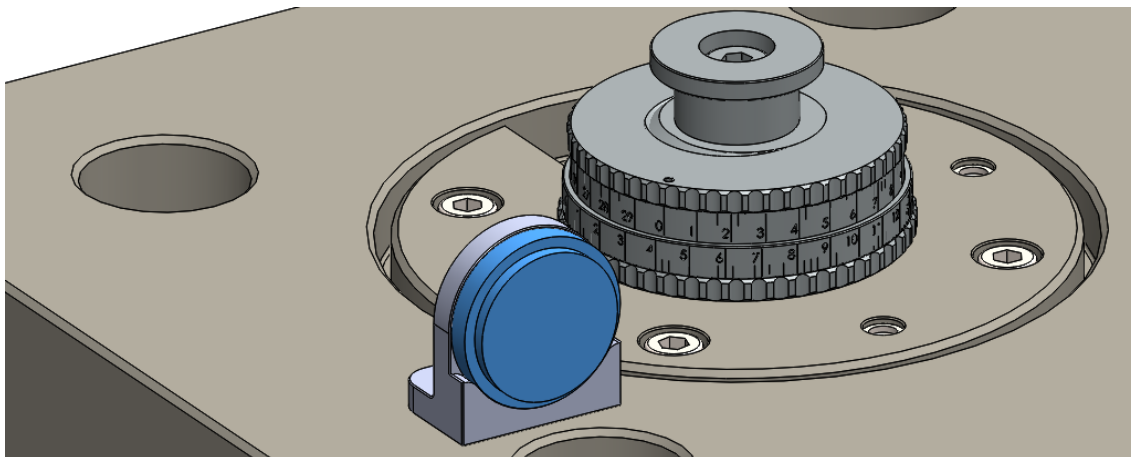


Figura 3.107 – Colagem do refletor

a) Colar os refletores no suporte, TC042.

37. Colocar as colunas-guia, TC003A e TC003B;

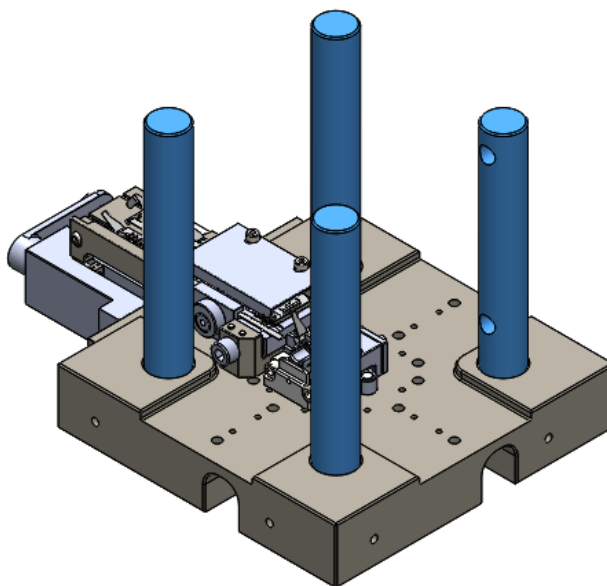


Figura 3.108 – Montagem das colunas-guia

a) Colocar as colunas nas furações da base, TC001, destinadas para o efeito. A coluna TC003A deverá ficar no canto de trás do lado direito, com as furações roscadas voltadas perpendicularmente ao avanço da bobina de terminais, ou seja, voltada para os refletores anteriormente instalados na base superior. As colunas entrarão com interferência (ajuste h6/P7) arrefecendo as colunas para que estas contraíam, permitindo a montagem.

Numa situação de substituição das mesmas, deverá ser considerado que as colunas fazem parte de um conjunto no qual está contida a base inferior, ou seja, deverá ser substituído o conjunto;

- b) Verificar o alinhamento dos furos da coluna TC003A, pois os sensores irão roscar aí, e só assim se poderá garantir o mínimo de alinhamento com os refletores.

38. Proceder à montagem do conjunto superior, anteriormente montado;

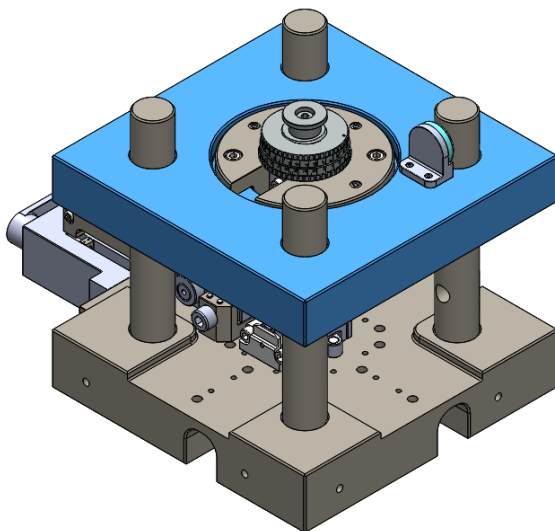


Figura 3.109 – Montagem do conjunto superior

- a) Colocar conjunto superior nas colunas-guia.

39. Colocar sensores de retro-reflexão;

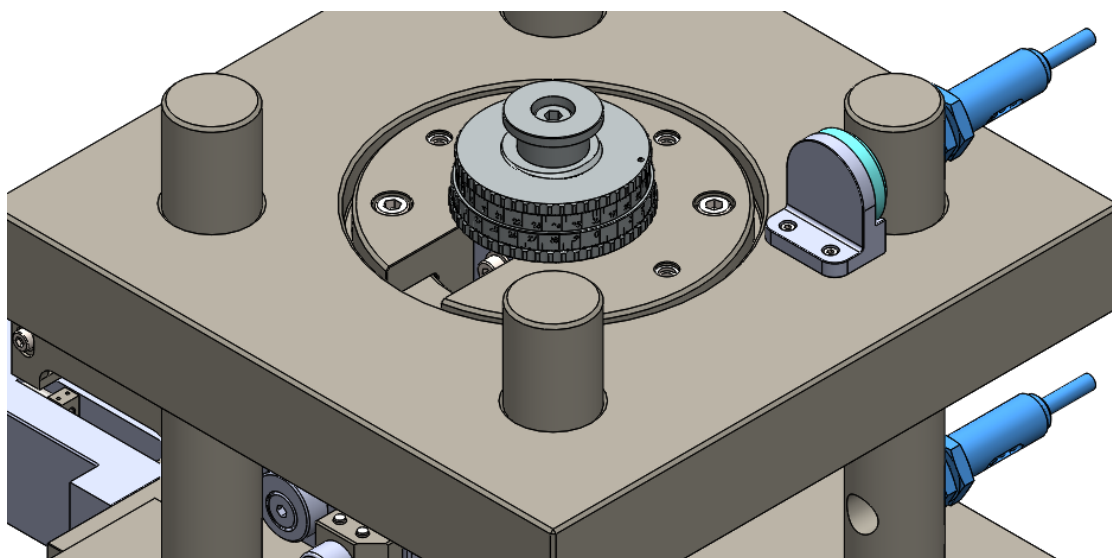


Figura 3.110 – Colocação dos sensores de retro-reflexão

- a) Utilizando as furações roscadas das colunas-guia, roscar os sensores de retro-reflexão, TC040, no PMS e no PMI;
- b) Verificar alinhamento dos sensores com os refletores.

40. Ligar sistema pneumático do cliente:

- a) Ligar os sensores à válvula que aciona o cilindro pneumático;
- b) Alimentar o cilindro com pressão.

Terminada a montagem de todos os componentes, resta realizar a afinação da ferramenta para o terminal a cravar. No tópico seguinte encontra-se uma explicação passo-a-passo de como proceder para colocar a ferramenta apta a trabalhar.

3.12.2 Instruções de afinação

Seguidamente são listadas as operações de afinação necessárias à cravação pretendida.

1. Introduzir a bobina de terminais no sistema de alimentação;

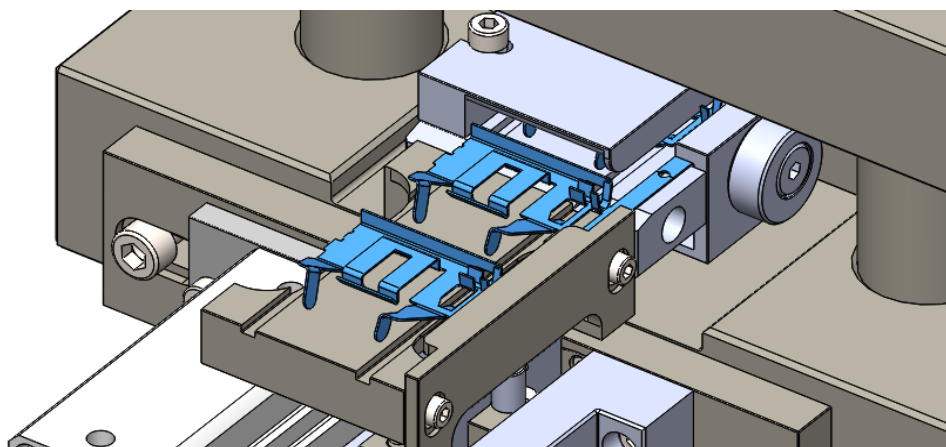


Figura 3.111 – Introdução da bobina de terminais no sistema de alimentação

- a) Levantar o calcador de entrada da bobina;
- b) Introduzir a bobina, mantendo-a sempre encostada ao calcador, na face lateral (à direita da entrada da bobina);
- c) Ao chegar ao calcador da bobina, proceder de igual modo, levantando-o para permitir a entrada e mantendo a bobina sempre encostada;
- d) Apertar os parafusos STD12, e verificar se TC027 não está a prender a bobina. A aba de TC027 deverá estar sobre a bobina, entre as patilhas do isolamento e as patilhas do cobre, não deixando a bobina subir. A bobina deverá deslocar-se suavemente.

2. Ajustar a posição da cravação (transversalmente ao avanço da bobina);
 - a) Introduzir bobina até que o primeiro terminal fique aparentemente centrado com a matriz de cravação;

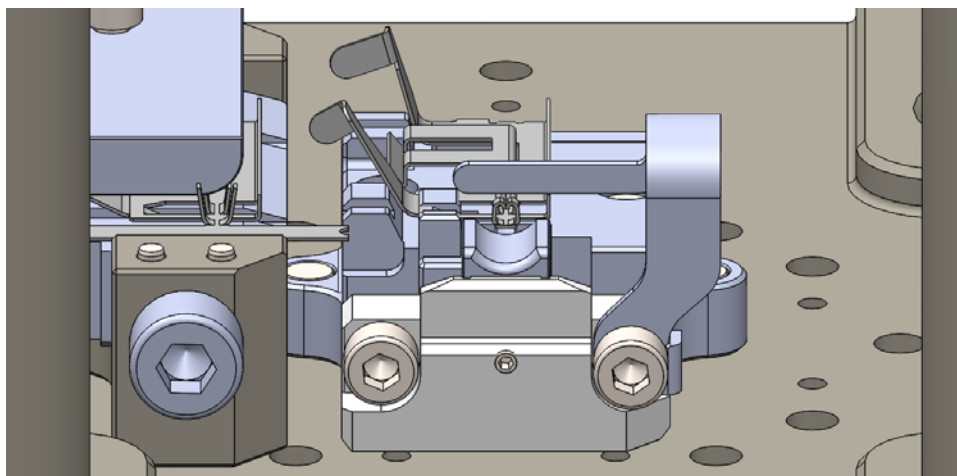


Figura 3.112 – Centramento (longitudinal) do terminal na matriz de cravação

- b) Ajustar a posição do sistema de alimentação, apertando ou desapertando o parafuso TC028, para centrar transversalmente o avanço dos terminais. As patilhas de cravação do cobre e do isolamento deverão estar centradas com os respectivos punções. Esta afinação deverá depois ser efetuada com maior precisão, ao medir o efeito boca-de-sino nas cravações de teste.

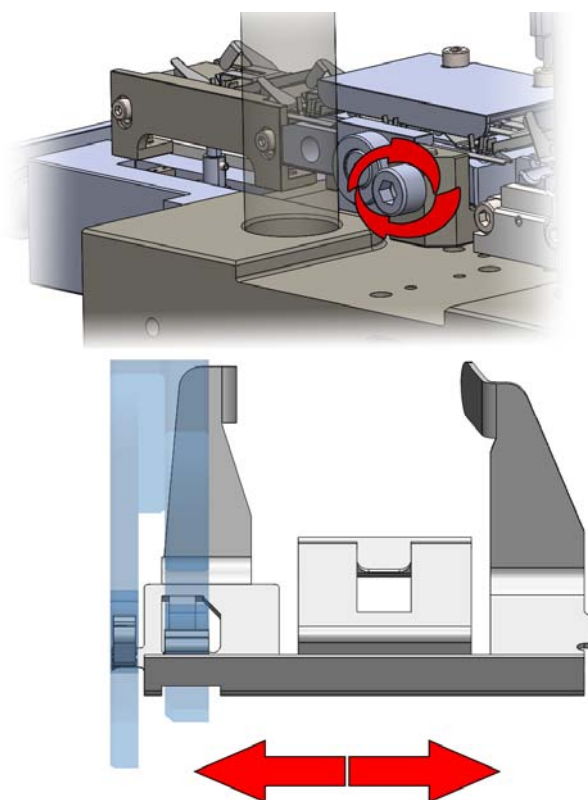


Figura 3.113 – Centramento (transversal) do terminal na matriz de cravação

3. Ajustar a posição do conjunto responsável pelo avanço/recuo da bobina;

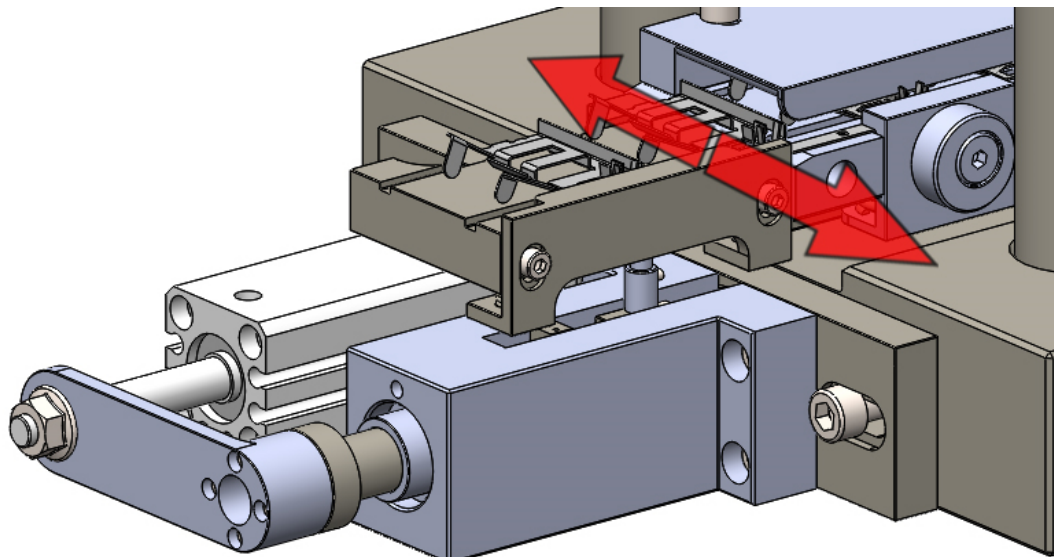


Figura 3.114 – Alinhamento do sistema de avanço/recuo da alimentação

- a) Aliviar os parafusos STD18 até que a placa de alinhamento do mecanismo fique ligeiramente livre para se deslocar;
- b) Por intermédio de pequenas batidas, deslocar a placa de alinhamento até que a unha de alimentação, TC034, fique centrada com o orifício da bobina de terminais (ver figura 3.115).

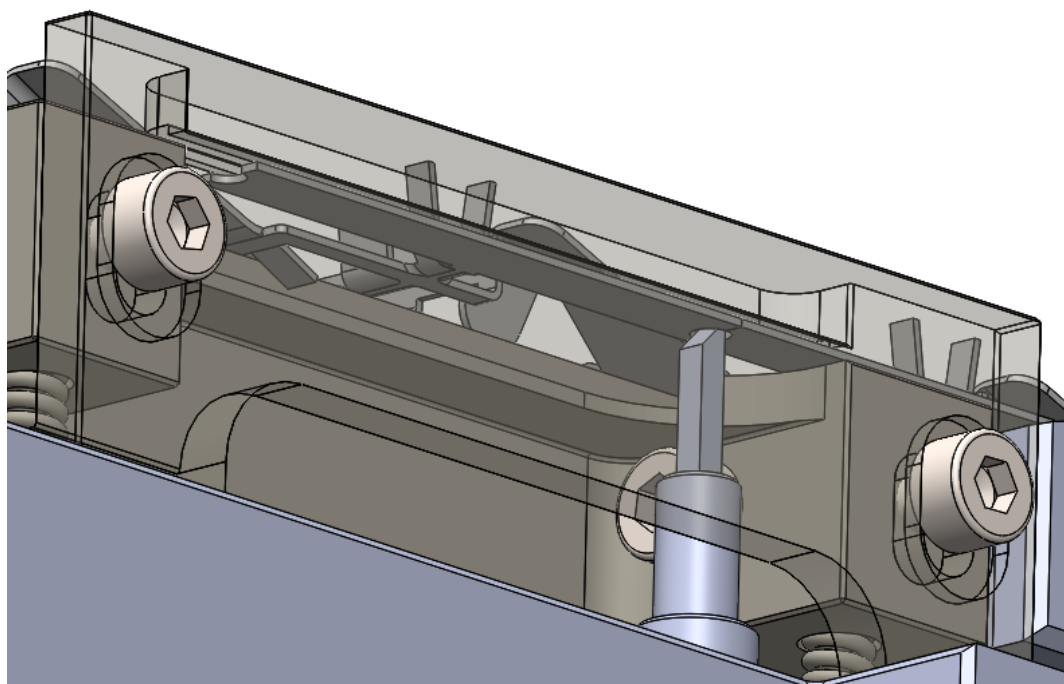


Figura 3.115 – Alinhamento da unha de alimentação na bobina

4. Regular o passo e o ponto inicial do sistema de alimentação;

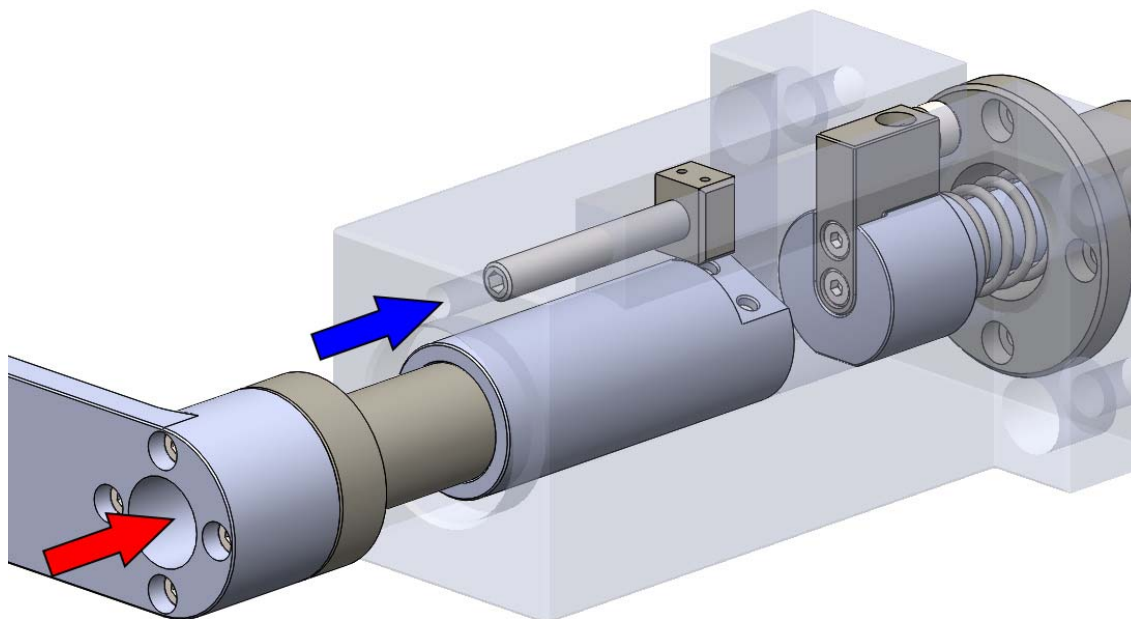


Figura 3.116 – Ajuste do passo e do ponto inicial do sistema

- a) Ajustar o parafuso TC036B (seta azul), colocando a unha de alimentação, TC034, no interior de um dos orifícios da bobina, definindo assim o ponto inicial do movimento de alimentação – neste passo, o cilindro pneumático deve estar avançado, ou seja, na posição em que o sistema de alimentação recua;
- b) Agora, com o cilindro pneumático recuado, no ponto final do movimento de alimentação, ajustar o parafuso TC032D, movimentando TC032B, empurrando por sua vez TC032A para o ponto final do movimento – máxima compressão da mola I para esta afinação. Deste modo, é possível alinhar a unha de alimentação no interior do orifício seguinte da bobina, definindo assim o passo.

Após a conclusão destes quatro passos, resta iniciar os testes das cravações já vistos anteriormente de modo a realizar um ajuste fino da boca-de-sino e da altura de cravação, sendo o primeiro realizado pelo parafuso TC028 e o segundo pela cabeça de regulação, TC011.

3.13. Instruções de controlo

No que respeita ao controlo da ferramenta, para além do controlo de cada componente individualmente antes da montagem, existe também a necessidade de verificar o funcionamento enquanto conjunto. Por isso, deverá existir um controlo de cada componente antes da montagem, verificando se as dimensões se encontram dentro das tolerâncias, se o valor de dureza está no intervalo definido (nas situações em que é relevante a dureza) e se estes têm o acabamento pretendido. Após a montagem, na fase de testes onde é feita a afinação fina da máquina, através dos testes de tração e *Micro-cut*, deverá também ser verificado se todos os componentes com movimentações estão livres de as realizar, ou se existe algum impedimento devido a um erro de montagem.

3.13.1 Controlo dos componentes

Um dos primeiros componentes a ser controlado será a base superior, uma vez que a sua cavidade central, onde será acoplado o porta-punções, irá ser responsável pelo centramento dos punções com as matrizes montadas na base inferior.

Assim, para além do controlo das restantes cotas, é imperativo que o centro do furo apresente uma dimensão de $100 \pm 0,05$ mm, conforme figura 3.117:

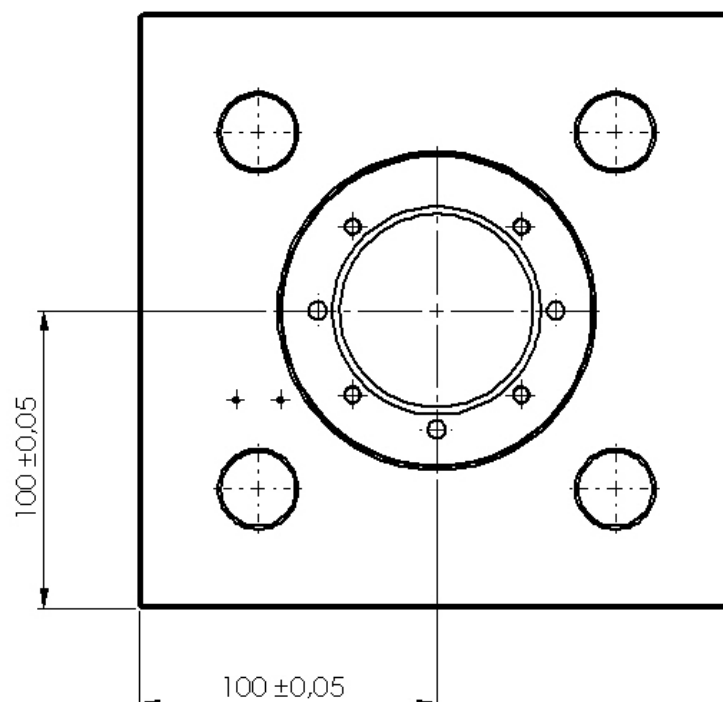


Figura 3.117 – Principal dimensão de controlo do componente TC002

Diretamente relacionada com o controlo desta dimensão estará também a furação da fixação da matriz principal, na base inferior (TC001). Na figura 3.118 encontra-se igualmente cotado o centro da ferramenta, que deverá estar igualmente a $100 \pm 0,05$ mm. Neste caso, ao centro situa-se um furo roscado, cuja posição não será de extrema relevância; porém, os furos para fixação dos pinos cilíndricos que distam entre si 45 mm, serão de extrema importância para o centramento, uma vez que serão eles a posicionar a matriz principal.

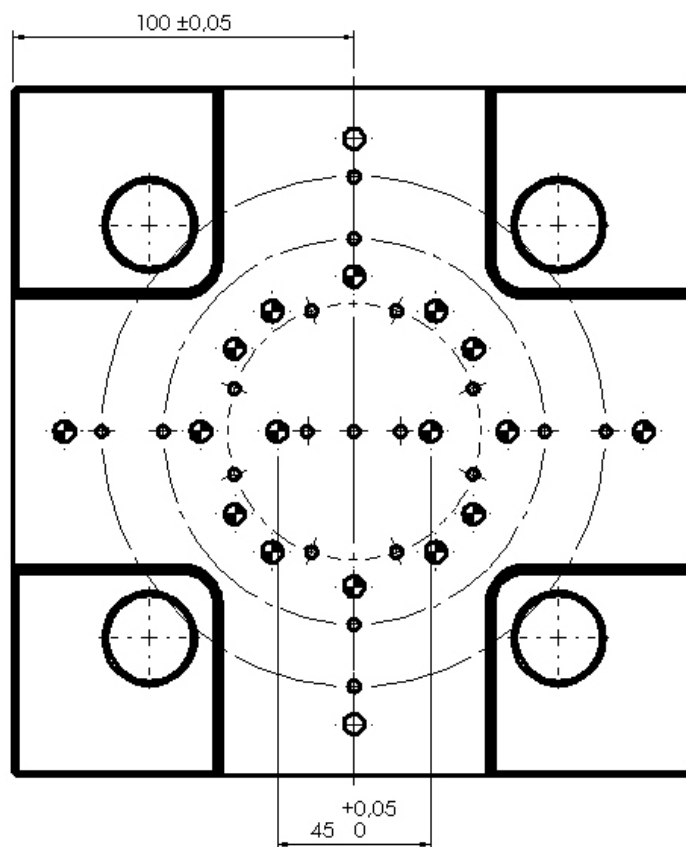


Figura 3.118 – Principal dimensão de controlo do componente TC001

Assim sendo, o valor máximo admissível de desvio entre os centros será de 0,1 mm para que a qualidade não seja comprometida. Para além das bases, também o porta-punções, e os próprios punções e matrizes terão de ter controlo apertado para que a cravação seja bem realizada, garantindo uma cravação uniforme e centrada. Em todos estes componentes, o seu centramento deverá ter uma tolerância de $\pm 0,02$ mm, quer no rasgo que acomodará os punções no porta-punções, quer nos *die-forms* e ainda na forma cilíndrica no topo da matriz de cravação que suportará o terminal durante a cravação. Este valor de tolerância é bastante acessível em EDM, sendo por isso o processo mais adequado para estas formas.

Outra dimensão de extrema importância é a largura do *die-form* dos punções, assim como a sua altura, embora esta última não seja tão importante devido à possibilidade de ajuste pela cabeça de regulação. Na figura 3.119 encontram-se cotados ambos os *die-form* dos punções.

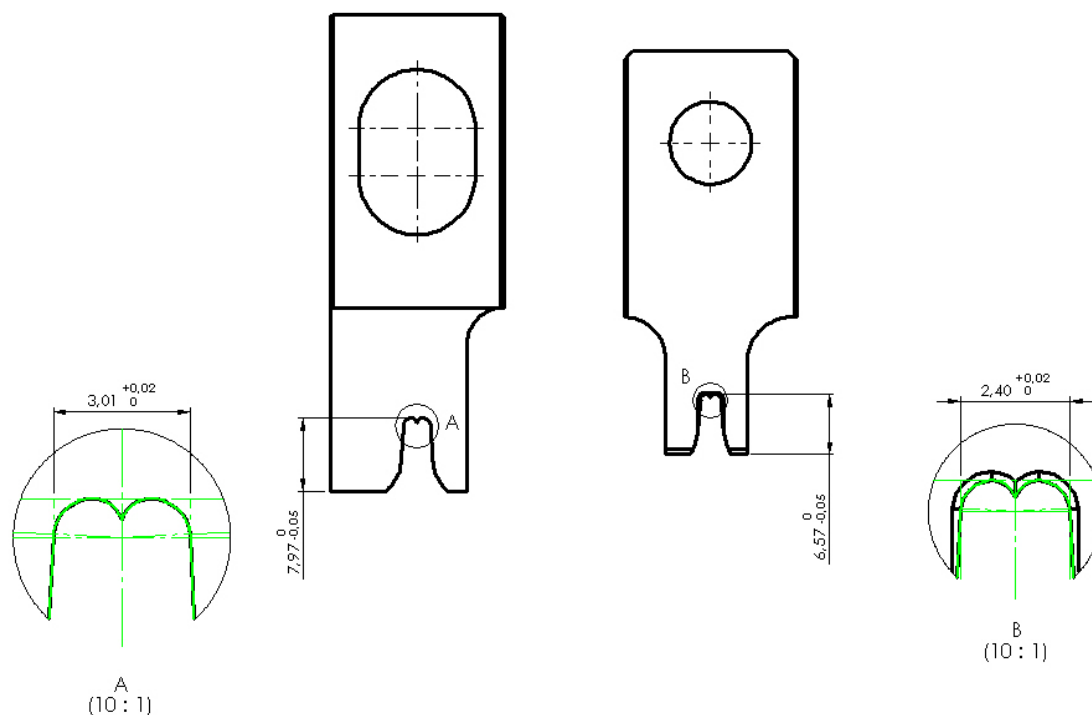


Figura 3.119 – Principais dimensões de controlo dos punções de cravação, de isolamento (à esquerda) e do cobre (à direita)

Para além da verificação das dimensões, no caso dos punções e matrizes será necessário verificar ainda a sua dureza, que deverá estar compreendida entre 59 e 62 HRC. Esta verificação é executada ainda em fase de *kanban*, antes da retificação para a espessura final, removendo a marca deixada pelo teste no durómetro.

Resta ainda referir que, de acordo com o que foi visto no ponto 2.1.4.3, serão necessários ajustamentos do tipo “deslizante justo” nos acoplamentos, como no caso dos punções no porta-punções (largura do rasgo do porta-punções *versus* largura do punção) e do tipo “rotativo” nas peças de deslocação rápida, como é o caso do veio de alimentação (TC032A) na estrutura do alimentador (TC031).

3.13.2 Controlo de montagem

O cumprimento das operações de controlo descritas anteriormente são o primeiro passo para garantir o correto funcionamento do conjunto. Mas, ainda assim, a ferramenta poderá não apresentar um correto funcionamento se os seguintes passos não forem cumpridos:

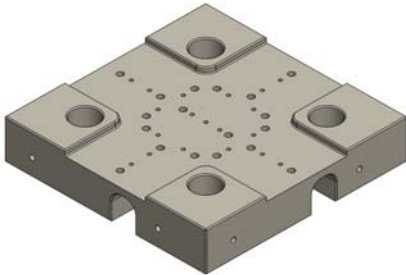
- Verificar o alinhamento dos componentes de cravação com a bobina de terminais;
- Averiguar o avanço da bobina de terminais livre de impedimento;
- Examinar a perpendicularidade entre o eixo dos sensores de retro-reflexão e os refletores;
- Verificar a força aplicada pelas molas;
- Avaliar o deslizamento da base superior nas colunas-guia;
- Lubrificar os componentes com movimento relativo do mecanismo de alimentação:
 - TC032A;
 - TC032B;
 - TC032E;
 - TC031.
- Efetuar os testes de afinação finais – teste de tração e teste de *micro-cut*.

3.14. Orçamentação

Seguidamente são apresentadas tabelas correspondentes à orçamentação dos diferentes componentes atrás referidos.

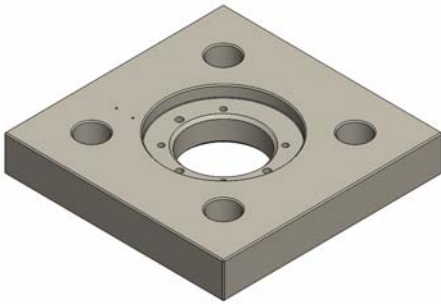
- TC001

Tabela 3.56 – Orçamentação do componente TC001

			
Material	DIN 1.0570	Massa do componente (em kg)	10
Custo matéria-prima por componente (€) * Componente de compra *			130
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	2	19	38
Serviço de bancada	0,5	15	7,5
Custo total (em €)			175,5


- TC002

Tabela 3.57 – Orçamentação do componente TC002

			
Material	DIN 1.0570	Massa do componente (em kg)	8,3
Custo matéria-prima por componente (€) * Componente de compra *			130
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,75	19	14,25
Retificar	0,5	23	11,5
Serviço de bancada	0,5	15	7,5
Custo total (em €)			163,25


- TC003A

Tabela 3.58 – Orçamentação do componente TC003A

			
Material	AISI 1060	Massa do componente (em kg)	0,7
Custo matéria-prima por componente (€) * Componente de compra *			10
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,15	19	2,85
Custo total (em €)			12,85

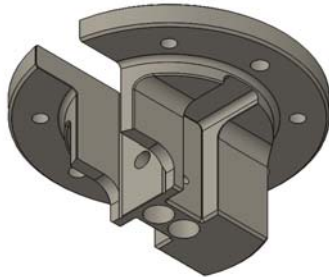
- TC003B

Tabela 3.59 – Orçamentação do componente TC003B

			
Material	AISI 1060	Massa do componente (em kg)	0,7
Custo matéria-prima por componente (€) * Componente de compra *			10
Custo total – 3 unidades (em €)			30

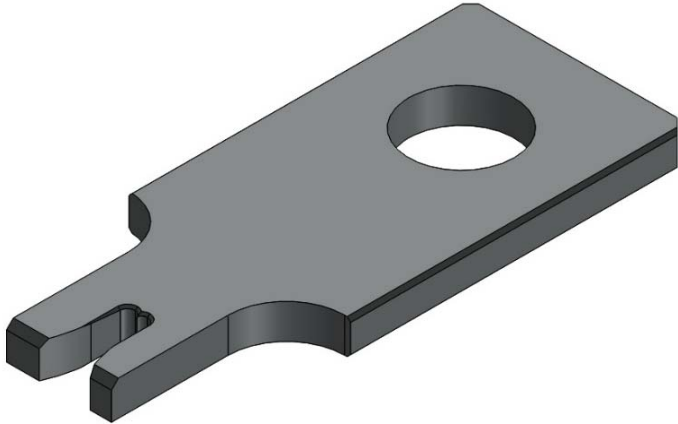
- TC004

Tabela 3.60 – Orçamentação do componente TC004

			
Material	AISI 1010	Massa do componente (em kg)	2
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5€	Custo matéria-prima por componente (€)	3
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	1,5	30	45
Fresar	0,5	19	9,5
EDM	0,75	23	17,25
Serviço de bancada	0,5	15	7,5
Custo total (em €)			82,25

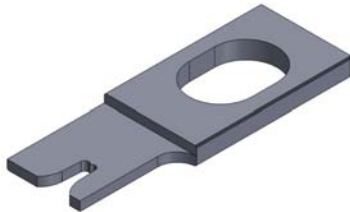
- TC005

Tabela 3.61 – Orçamentação do componente TC005

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,02
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,2
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,25	19	4,75
Tratamento térmico	0,1	47	4,7
Retificar	0,2	23	4,6
EDM	0,2	23	4,6
Serviço de bancada	0,2	15	3
Custo de operações (em €)			21,65
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			0,7
Custo total (em €)			22,55


- TC006

Tabela 3.62 – Orçamentação do componente TC006

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,02
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,2
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,35	19	6,65
Tratamento térmico	0,1	47	4,7
Retificar	0,2	23	4,6
EDM	0,15	23	3,45
Serviço de bancada	0,15	15	2,25
Custo de operações (em €)			21,65
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			0,7
Custo total (em €)			22,55

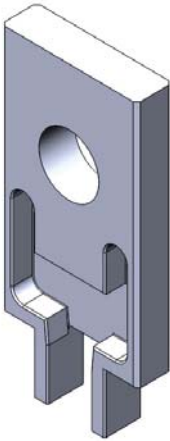
- TC007

Tabela 3.63 – Orçamentação do componente TC007

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,02
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,03
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,15	19	2,85
Retificar	0,1	23	2,3
Custo total (em €)			5,18

- TC008

Tabela 3.64 – Orçamentação do componente TC008

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,02
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,2
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,3	19	5,7
Tratamento térmico	0,1	47	4,7
Retificar	0,1	23	2,3
EDM	0,1	23	2,3
Serviço de bancada	0,15	15	2,25
Custo de operações (em €)			17,25
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			0,7
Custo total (em €)			18,15


- TC009

Tabela 3.65 – Orçamentação do componente TC009

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,003
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,03
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
EDM	0,1	23	2,3
Tratamento térmico	0,05	47	2,35
Retificar	0,1	23	2,3
Serviço de bancada	0,15	15	2,25
Custo de operações (em €)			9,20
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			0,11
Custo total (em €)			9,34

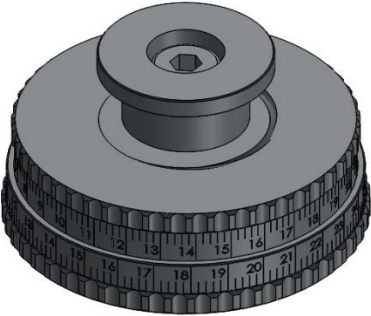
- TC010

Tabela 3.66 – Orçamentação do componente TC010

			
Material	AISI 1020	Massa do componente (em kg)	0,002
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Custo total (em €)			Desprezável

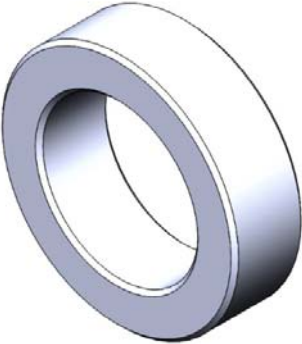
- TC011

Tabela 3.67 – Orçamentação do componente TC011

	
Custo total (em €)	200


- TC012

Tabela 3.68 – Orçamentação do componente TC012

			
Material	AISI 1020	Massa do componente (em kg)	0,002
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Custo total (em €)			Desprezável

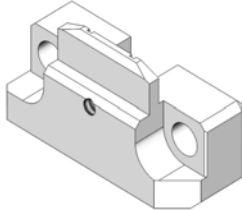
- TC013

Tabela 3.69 – Orçamentação do componente TC013

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,015
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,15
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,1	19	1,9
Tratamento térmico	0,05	47	2,35
Retificar	0,1	23	2,3
EDM	0,2	23	4,6
Serviço de bancada	0,15	15	2,25
Custo total (em €)			13,55

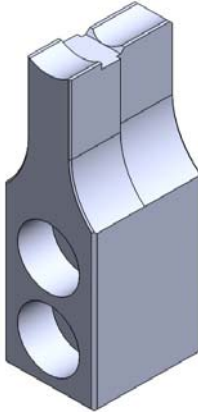
- TC014

Tabela 3.70 – Orçamentação do componente TC014

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,04
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,4
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,5	19	9,5
Tratamento térmico	0,1	47	4,7
Retificar	0,2	23	4,6
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			20,7

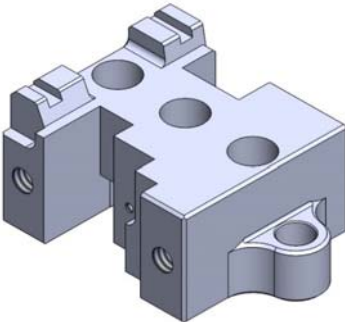
- TC015

Tabela 3.71 – Orçamentação do componente TC015

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,005
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,05
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,2	19	3,8
Tratamento térmico	0,05	47	2,35
Retificar	0,15	23	3,45
EDM	0,25	23	5,75
Serviço de bancada	0,15	15	2,25
Custo de operações (em €)			17,6
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			0,18
Custo total (em €)			17,83

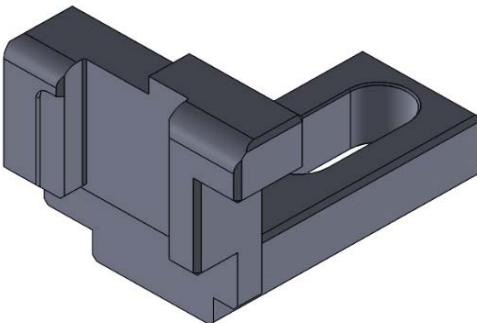
- TC016

Tabela 3.72 – Orçamentação do componente TC016

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,15
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	1,5
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,5	19	9,5
Tratamento térmico	0,15	47	7,05
Retificar	0,15	23	3,45
EDM	0,25	23	5,75
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo de operações (em €)			27,25
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			5,25
Custo total (em €)			34

- TC017

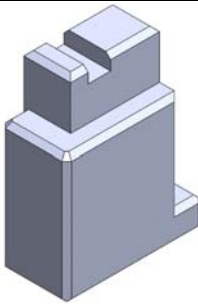
Tabela 3.73 – Orçamentação do componente TC017

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,05
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,5

Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,5	19	9,5
Tratamento térmico	0,15	47	7,05
Retificar	0,1	23	2,3
EDM	0,25	23	5,75
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo de operações (em €)			26,1
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			1,75
Custo total (em €)			28,35


- TC018

Tabela 3.74 – Orçamentação do componente TC018

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,01
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,1
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,2	19	3,8
Tratamento térmico	0,1	47	4,7
Retificar	0,1	23	2,3
EDM	0,15	23	3,45
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo de operações (em €)			15,75
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			0,35
Custo total (em €)			16,2

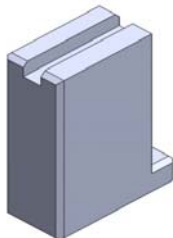
- TC019

Tabela 3.75 – Orçamentação do componente TC019

			
Material	DIN 1.1121	Massa do componente (em kg)	0,01
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Custo total (em €)			Desprezável

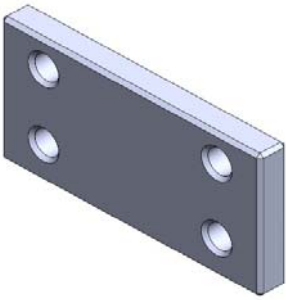
- TC020

Tabela 3.76 – Orçamentação do componente TC020

			
Material	DIN 1.2379	Massa do componente (em kg)	0,01
Custo matéria-prima (€/kg)	10	Custo matéria-prima por componente (€)	0,1
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,2	19	3,8
Tratamento térmico	0,1	47	4,7
Retificar	0,1	23	2,3
EDM	0,15	23	3,45
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo de operações (em €)			15,75
Custo de revestimento – 35€/kg de material (em €)			0,35
Custo total (em €)			16,2

- TC021

Tabela 3.77 – Orçamentação do componente TC021

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,02
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,03
Fresar	0,05	19	0,95
Serviço de bancada	0,05	15	0,75
Custo total (em €)			1,73

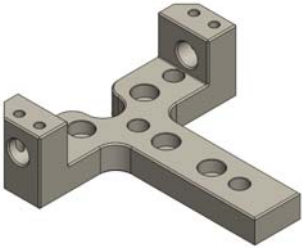
- TC022

Tabela 3.78 – Orçamentação do componente TC022

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,01
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,25	18	4,5
Retificar	0,2	23	4,6
EDM	0,25	23	5,75
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			16,35

- TC023

Tabela 3.79 – Orçamentação do componente TC023

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,2
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,3
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	1	19	19
Mandrilar	0,5	35	17,5
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			38,3

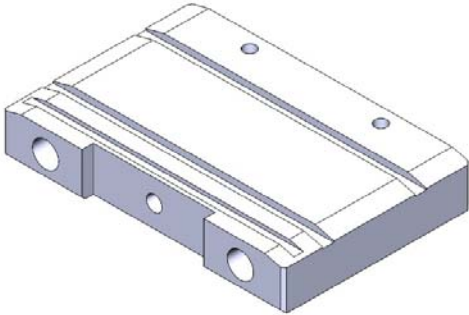
- TC024

Tabela 3.80 – Orçamentação do componente TC024

			
Material	AISI 1020	Massa do componente (em kg)	0,02
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,03
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,35	18	6,3
Fresar	0,2	19	3,8
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			11,63

- TC025

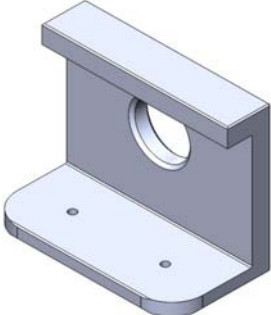
Tabela 3.81 – Orçamentação do componente TC025



Material	ASTM A159	Massa do componente (em kg)	0,3
Custo matéria-prima (€/kg)	2,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,75
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,5	19	9,5
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			11,75

- TC026A

Tabela 3.82 – Orçamentação do componente TC026A



Material	AISI 1010	Massa do componente (em kg)	0,03
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,05
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,4	19	7,6
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			9,15

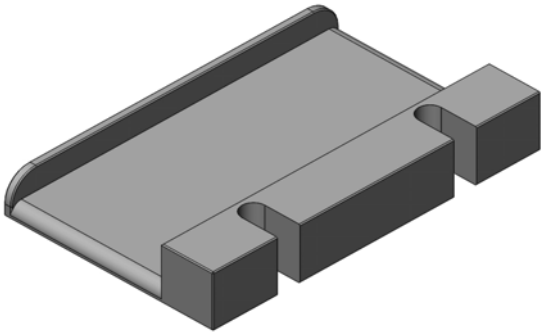
- TC026B

Tabela 3.83 – Orçamentação do componente TC026B

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,003
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,1	18	1,8
Custo total – 2 unidades (em €)			3,6

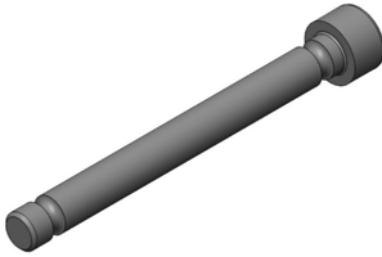
- TC027

Tabela 3.84 – Orçamentação do componente TC027

			
Material	ASTM A159	Massa do componente (em kg)	0,1
Custo matéria-prima (€/kg)	2,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,25
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,5	19	9,5
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			11,25

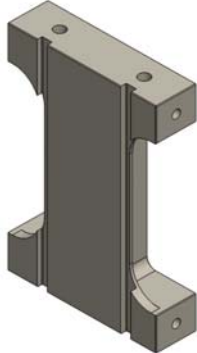
- TC028

Tabela 3.85 – Orçamentação do componente TC028

			
Material	Parafuso M8x80		
Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável		
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,2	18	3,6
Custo total (em €)			3,6

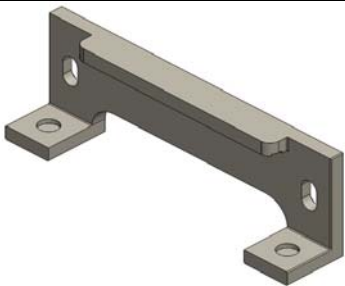
- TC029

Tabela 3.86 – Orçamentação do componente TC029

			
Material	ASTM A159	Massa do componente (em kg)	0,150
Custo matéria-prima (€/kg)	2,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,38
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,5	19	9,5
Retificar	0,2	23	4,6
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			15,98

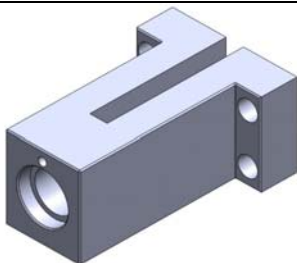
- TC030

Tabela 3.87 – Orçamentação do componente TC030

			
Material	AISI 1010	Massa do componente (em kg)	0,03
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,05
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,3	19	5,7
Retificar	0,1	23	2,3
Serviço de bancada	0,05	15	0,75
Custo total (em €)			8,8


- TC031

Tabela 3.88 – Orçamentação do componente TC031

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,53
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,80
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	1	19	19
Mandrilar	0,25	35	8,75
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			30,05

- TC032A

Tabela 3.89 – Orçamentação do componente TC032A



Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,04
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,06
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,4	18	7,2
Fresar	0,2	19	3,8
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			12,56

- TC032B

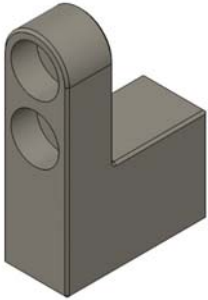
Tabela 3.90 – Orçamentação do componente TC032B



Material	AISI 1010	Massa do componente (em kg)	0,03
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,05
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,1	18	1,8
Mandrilar	0,25	35	8,75
Fresar	0,2	19	3,8
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			15,9

- TC032C

Tabela 3.91 – Orçamentação do componente TC032C

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,005
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,5	19	9,5
Retificar	0,15	23	3,45
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			14,45


- TC032D

Tabela 3.92 – Orçamentação do componente TC032D

			
Material	Parafuso M8x50		
Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável		
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,25	18	4,5
Custo total (em €)			4,5

- TC032E

Tabela 3.93 – Orçamentação do componente TC032E

			
Material	AISI 1010	Massa do componente (em kg)	0,035
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,05
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,5	18	9
Fresar	0,25	19	4,75
Retificar	0,2	23	4,6
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			19,9

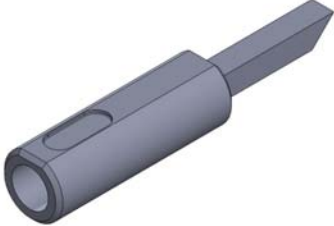
- TC033

Tabela 3.94 – Orçamentação do componente TC033

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,002
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,35	18	6,3
Fresar	0,25	19	4,75
Mandrilar	0,1	35	3,5
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			16,05

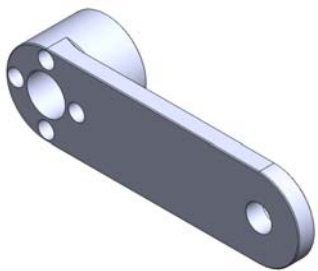
- TC034

Tabela 3.95 – Orçamentação do componente TC034

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,002
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,35	18	6,3
Fresar	0,1	19	1,9
EDM	0,2	23	4,6
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			14,3

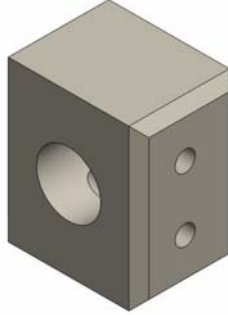
- TC035

Tabela 3.96 – Orçamentação do componente TC035

			
Material	ASTM A159	Massa do componente (em kg)	0,06
Custo matéria-prima (€/kg)	2,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,15
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,3	19	5,7
Custo total (em €)			5,85


- TC036A

Tabela 3.97 – Orçamentação do componente TC036A

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,002
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,1	19	1,9
Mandrilar	0,1	35	3,5
EDM	0,05	23	1,15
Serviço de bancada	0,05	15	0,75
Custo total (em €)			7,3

- TC036B

Tabela 3.98 – Orçamentação do componente TC036B

			
Material	Parafuso M4x30		
Custo matéria-prima por componente (€)	Desprezável		
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,2	18	3,6
Custo total (em €)			3,6


- TC037

Tabela 3.99 – Orçamentação do componente TC037

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,35
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,50
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,25	19	4,75
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total (em €)			6,75

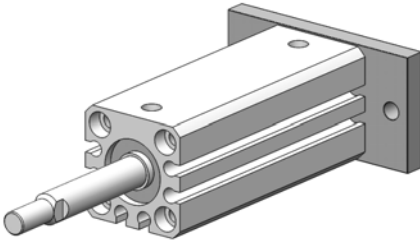
- TC038

Tabela 3.100 – Orçamentação do componente TC038

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,03
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,05
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Tornear	0,35	18	6,3
Fresar	0,15	19	2,85
Serviço de bancada	0,05	15	0,75
Custo total (em €)			9,95

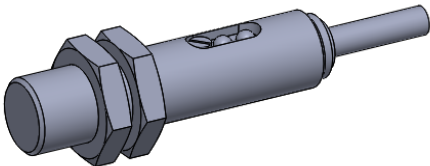
- TC039

Tabela 3.101 – Orçamentação do componente TC039

	
Material	Cilindro pneumático SMC CQSG 16-40
Custo total (em €)	
120	

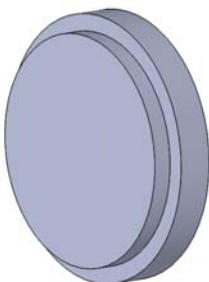
- TC040

Tabela 3.102 – Orçamentação do componente TC040

	
Material	Sensor de retro-reflexão Festo SOEG-RSP-M12-PS-K-2L
Custo matéria-prima por componente (€)	107
Custo total – 2 unidades (em €)	
214	

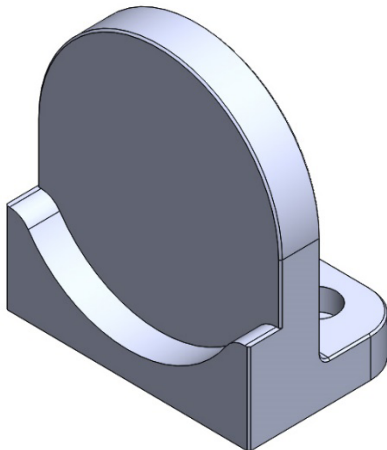
- TC041

Tabela 3.103 – Orçamentação do componente TC041

	
Material	Refletor Festo SOEZ-RFS-20
Custo matéria-prima por componente (€)	6,20
Custo total – 2 unidades (em €)	
12,40	

- TC042

Tabela 3.104 – Orçamentação do componente TC042

			
Material	DIN 1.1191	Massa do componente (em kg)	0,04
Custo matéria-prima (€/kg)	1,5	Custo matéria-prima por componente (€)	0,06
Tipo de operação	Tempo de operação (em h)	Custo (€/h)	Custo operação (em €)
Fresar	0,25	19	4,75
Serviço de bancada	0,1	15	1,5
Custo total – 2 unidades (em €)			12,62

- Material normalizado de fixação

Tabela 3.105 – Orçamentação de parafusaria

Código	Qtd.	Designação (Norma)	Custo Unitário (€/unid.)	Custo Total (€)
STD01	2	DIN 912 M2 x 12	0,05	0,09
STD02	1	DIN 913 M3 x 6	0,01	0,01
STD03	4	DIN 912 M3 x 10	0,03	0,12
STD04	2	DIN 912 M4 x 20	0,05	0,11
STD05	3	DIN 912 M4 x 25	0,06	0,19
STD06	6	DIN 912 M5 x 20	0,08	0,46
STD07	1	ISO 7380 - M8 x 30	0,38	0,38
STD08	3	ISO 8736 - 6 x 24	0,81	2,44
STD09	2	ISO 8734 - 6 x 24	0,35	0,70
STD10	1	DIN 6902-B3.6	0,01	0,01
STD11	1	DIN 6902-A3.6	0,01	0,01
STD12	6	DIN 912 M4 x 20	0,05	0,33
STD13	2	DIN 912 M3 x 16	0,04	0,08
STD14	2	DIN 912 M3 x 6	0,02	0,03
STD15	1	DIN 913 M2 x 3	0,07	0,07
STD16	4	DIN 912 M4 x 16	0,05	0,19
STD17	2	DIN 912 M4 x 12	0,04	0,09
STD18	2	DIN 912 M6 x 25	0,11	0,22
STD19	1	DIN 912 M3 x 8	0,02	0,02
STD20	6	DIN 912 M2 x 6	0,04	0,25
STD21	2	DIN 912 M1.6 x 3	0,06	0,13
STD22	4	DIN 912 M2 x 16	0,05	0,22
STD23	4	ISO 8734 - 6 x 24	0,35	1,39
STD24	4	ISO 8734 - 3 x 16	0,07	0,30
STD25	2	ISO 2338 - 1h6 x 6	0,02	0,03
STD26	2	ISO 2338 - 2h6 x 10	0,06	0,12
STD27	1	DIN 6923 - M6	0,06	0,06
STD28	4	DIN 912 M2 x 6	0,04	0,17

- Somatório dos custos (custo total)

Tabela 3.106 – Resumo de custos totais da ferramenta

Componente	Custo total (em €)	Componente	Custo total (em €)
TC001	175,5	TC025	11,75
TC002	163,25	TC026A	9,15
TC003A	12,85	TC026B	3,6153
TC003B	30	TC026	9,15
TC004	82,25	TC027	11,25
TC005	22,55	TC028	3,6
TC006	22,55	TC029	15,98
TC007	5,18	TC030	8,8
TC008	18,15	TC031	30,05
TC009	9,34	TC032A	12,56
TC010	-	TC032B	15,9
TC011	200	TC032C	14,45
TC012	-	TC032D	4,5
TC013	13,55	TC032E	19,9
TC014	20,7	TC033	16,05
TC015	17,83	TC034	14,3
TC016	34	TC035	5,85
TC017	28,35	TC036A	7,3
TC018	16,2	TC036B	3,6
TC019	-	TC037	6,75
TC020	16,2	TC038	9,95
TC021	1,73	TC039	120
TC022	16,35	TC040	214
TC023	38,3	TC041	12,4
TC024	11,63	TC042	12,62
Custo total dos componentes (em €)			1540,77

Componente	Custo total (em €)	Componente	Custo total (em €)
STD01	0,09	STD15	0,07
STD02	0,01	STD16	0,19
STD03	0,12	STD17	0,09
STD04	0,11	STD18	0,22
STD05	0,19	STD19	0,02
STD06	0,46	STD20	0,25
STD07	0,38	STD21	0,13
STD08	2,44	STD22	0,22
STD09	0,70	STD23	1,39
STD10	0,01	STD24	0,30
STD11	0,01	STD25	0,03
STD12	0,33	STD26	0,12
STD13	0,08	STD27	0,06
STD14	0,03	STD28	0,17
Custo total dos componentes (em €)			8,21

Custo total da ferramenta (em €)	≈ 1549
----------------------------------	--------

3.15. Análise FMEA e Instruções de manutenção

Como qualquer ferramenta mecânica, neste caso também existirão possíveis situações de falha, quer por erro humano (do operador), quer por desgaste da máquina. Na tabela 3.107 encontram-se as falhas previstas durante o funcionamento da ferramenta e o modo de ação para corrigir esses erros.

Tabela 3.107 – Análise de falhas da ferramenta

Falha	Causa	Consequência	Solução
Encravamento da alimentação	Falha na pilotagem do sistema pneumático	A cravação será realizada mais que uma vez no mesmo terminal. Não deverá danificar a bobina.	Verificar estado dos sensores óticos e se necessário substituí-los.
	Componente TC019 deformado	O terminal, após a cravação, irá subir junto com os punções. Se TC019 tiver algum empeno poderá não funcionar corretamente como travão, fazendo com que a alimentação de terminais não prossiga corretamente.	Retirar a secção danificada da bobina e avançá-la manualmente. Substituir o componente TC019.
Não realização da alimentação	Falha de pressão no sistema	A bobina de terminais poderá não avançar por completo, fazendo com que a cravação se realize entre terminais, deformando a bobina.	Corrigir falha de pressão, cortar a secção danificada da bobina e fazê-la avançar manualmente para iniciar novo ciclo.
	Desalinhamento da unha (TC034) com os furos de guiamento da bobina	A bobina de terminais não irá avançar. Nenhum terminal será cravado.	Corrigir afinação, colocando TC034 no sítio correto, ajustando a posição do sistema de alimentação (deslocando TC037).
Não realização da cravação	Altura do PMI da prensa é incorreta	Se o PMI for maior, a ferramenta não irá cravar, nem irá realizar a pilotagem para o recuo da alimentação. Se o PMI for menor, irá haver colisão entre os punções e as matrizes danificando seriamente estes componentes.	Mudar a prensa utilizada para uma prensa com uma altura de PMI de 135,78 mm e substituir o módulo de cravação se necessário.

Falha	Causa	Consequência	Solução
Bloqueio do mecanismo de alimentação	Falta de lubrificação	A alimentação de terminais poderá realizar-se a uma velocidade inferior à normal ou até mesmo falhar, levando à cravação fora do terminal.	Lubrificar corretamente os componentes deste mecanismo, cortar secção danificada da bobina e fazê-la avançar manualmente para iniciar novo ciclo.
Folgas entre componentes	Desgaste dos componentes com deslocamento relativo	Perda dos parâmetros de afinação inicial. Perda da qualidade da cravação.	Verificar a qualidade de cravação a partir de amostras do lote e se necessário efetuar correções na afinação.
Recuo incompleto do mecanismo de alimentação	Perda de força da mola I	O sistema não conseguirá iniciar alimentação de novos terminais. A alimentação será incompleta, provocando a cravação fora do terminal, danificando a bobina.	Substituir a mola I, cortar secção danificada da bobina e fazê-la avançar manualmente para iniciar novo ciclo.
	Falta de lubrificação	O recuo da alimentação de terminais poderá realizar-se a uma velocidade inferior à normal ou até mesmo ser incompleto. Isto pode fazer com que não chegue um terminal novo à zona de cravação.	Lubrificar corretamente os componentes deste mecanismo, reposicionar a bobina e verificar afinação da alimentação.
Rotura dos punções ou matrizes	Fadiga dos componentes	A cravação não será corretamente realizada.	Substituir punções e rejeitar terminal cravado.
Aparecimento de riscos nas patilhas de cravação do terminal	Rebarbas no <i>die-form</i> dos punções ou matrizes de cravação	Cravações rejeitadas na inspeção visual. Perda de condutividade elétrica.	Verificar estado de acabamento da superfície do <i>die-form e</i> , se houver riscos, polir a superfície.
Efeito boca-de-sino desalinhado com a cravação	Má afinação do sistema	Cravações rejeitadas pelo teste de tração. Perda de resistência mecânica da cravação.	Corrigir afinação do componente TC028, reajustando a posição do efeito boca-de-sino.
Esmagamento do terminal na cravação	Altura de cravação demasiado reduzida	Cravações rejeitadas pelo teste de <i>micro-cut</i> . Perda de condutividade elétrica e resistência mecânica da cravação.	Corrigir altura da cravação, ajustando a afinação da cabeça de regulação.

4. Conclusões

As ferramentas de cravação de terminais elétricos são bastante específicas para a função que desempenham, apresentando dimensões bastante reduzidas e componentes feitos à medida das necessidades do tipo de terminais a que se destinam. O facto de existir um número tão elevado de especificações para uma determinada tarefa faz com que não exista no mercado uma solução versátil, que permita adaptar ferramentas já existentes às necessidades de um novo terminal.

O objetivo deste trabalho passou por apresentar uma solução que permita contornar esses problemas de adaptações, criando uma solução versátil, ajustável a qualquer tipo de terminal que cumpra as dimensões estabelecidas para as ferramentas desta gama (terminais pequenos), podendo ainda ser uma solução competitiva mesmo para terminais padrão, apresentando-se como alternativa aos mini-aplicadores convencionais.

A nível de dimensões gerais da ferramenta, esta acaba por ser maior do que as habituais soluções, compensando com o facto de ser adaptável a qualquer tipo de terminal, seja ele de alimentação lateral esquerda ou direita, ou ainda de alimentação frontal.

A substituição da estrutura convencional em ferro-fundido por bases e colunas-guia padronizadas permitiu simplificar o projeto, e está na base da capacidade de adaptação desta solução, permitindo que seja realizada uma construção modular da ferramenta.

Para além do módulo da estrutura, composto apenas por elementos normalizados, também existe um módulo de alimentação, um de cravação e outro para o cilindro pneumático. Todos estes módulos são reposicionáveis, podendo rodar $4 \times 90^\circ$, permitindo que a alimentação seja feita perpendicularmente ao plano de cravação (alimentação frontal) ou paralelamente ao plano de cravação (alimentação lateral).

Estas alterações tiveram em vista a capacidade de adaptação a novas necessidades o que, como foi dito anteriormente, não é possível nos aplicadores convencionais. Foram mantidas todas as afinações possíveis do aplicador da R&B, melhorando ainda o ajuste do passo da alimentação da bobina de terminais, passando a realizar-se apenas com o aperto/desaperto de dois parafusos. Também foi tida em conta a capacidade de utilizar a mesma prensa dos aplicadores convencionais, utilizando a mesma cabeça de regulação da R&B e apresentando uma altura no PMI de 135,78 mm, uma das medidas padronizadas deste tipo de ferramentas.

Com um custo final de 1549 €, esta solução apresenta um valor aceitável, principalmente tendo em conta que será uma solução mais indicada para a cravação de terminais especiais, mas que ainda assim poderá ser diminuído, se for tida em conta a fabricação de componentes para stock (*kanban*), permitindo diminuir no tempo de algumas operações.

De seguida encontra-se um quadro resumo sob forma de uma análise *SWOT* onde são analisadas as vantagens e desvantagens/pontos de melhoria desta ferramenta.

<p><i>Strenghts</i></p> <p>S</p> <p><i>Pontos fortes</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptabilidade a diferentes tipos de terminais; • Simplicidade na interação entre os vários módulos; • Redução de elementos mecânicos cruciais ao correto funcionamento da máquina – “peça que não existe, é peça que não avaria”; • Solução competitiva para cravação de terminais elétricos especiais; • Facilidade de afinação, mesmo por operadores menos experientes.
<p><i>Weaknesses</i></p> <p>W</p> <p><i>Pontos fracos</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensões superiores às da ferramenta de cravação da R&B; • Custo total da máquina poderia ser inferior; • Número de componentes poderia ser menor.
<p><i>Opportunities</i></p> <p>O</p> <p><i>Oportunidades</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Optimização de alguns componentes, permitindo reduções de custo e de dimensões; • Estudar opção para adaptar a prensas com alturas de PMI de valor diferente de 135,78 mm; • Criar opção para cravação de terminais de grandes dimensões (ex. bornes de cabos de bateriais de automóveis) com o mínimo de alterações necessárias.
<p><i>Threats</i></p> <p>T</p> <p><i>Ameaças</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Soluções de outros fabricantes podem ser mais competitivas para terminais mais comuns; • Dimensões superiores podem ser dificuldade para o cliente; • Peso da ferramenta pode dificultar o seu manuseamento (aquando da montagem).

Quadro 4.1 – Análise SWOT da solução desenvolvida

Assim, foi possível demonstrar que, utilizando uma estrutura com elementos padronizados, é exequível uma alternativa para terminais especiais por um custo aceitável, eliminando a necessidade de adaptações às ferramentas convencionais, simplificando e agilizando a resposta a este tipo de necessidades da indústria das cablagens.

5. Referências

5.1 Bibliografia

- Benazzi, Ivar. 2007.** *Tecnologia de Estampagem*. 2007. [Pág. 19 a 21];
- *Apontamentos da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba*
- Bresciani, Ettore. 2011.** *Conformação Plástica dos Metais*. s.l. : Editora da Unicamp, 2011. [Pág. 17 a 21; 213 a 250];
- ISBN: 978-85-86686-64-1
- Brito, Osmar de. 1981.** *Estampos de Corte*. s.l. : Hemus Livraria Editora Limitada, 1981. [Pág. 13 a 80];
- ISBN: 978-85-28901-93-1
- Brito, Osmar de. 2005.** *Estampos de Formar*. s.l. : Hemus Livraria Editora Limitada, 2005. [Pág. 13 a 113];
- ISBN: 852-89-051-1-X
- Dieter, George E. 1961.** *Mechanical Metallurgy*. New York, Toronto, London : McGraw-Hill Book Company, 1961. [Pág. 453 a 576];
- ISBN: 07-016890-3
- Duarte, J. Ferreira, Rocha, A. Barata da e Santos, A. Dias dos. 2003.** *Tecnologia Mecânica, Vol. 1*. 2003. [Pág. 1 a 13; 18 a 30; 38 a 50];
- ISBN: 972-8826-00-1
- Empresas & Empresários. 2012.** s.l. : Público, 2012, Vol. Nº 16. [Pág 10 e 11];
- *Revista do jornal "Público"*
- Grote e Antonsson. 2008.** *Handbook of Mechanical Engineering*. s.l. : Springer, 2008. [Pág. 554 a 605];
- ISBN: 978-3-540-49131-6
- Hosford, William F. e Caddell, Robert M. 2007.** *Metal Forming - Mechanics and Metallurgy*. Cambridge : Cambridge University Press, 2007. [Pág. 52 a 71; 182 a 203];
- ISBN: 978-0-521-88121-0
- Kalpakjian, Serope, Schmid, Steven R. e Musa, Hamidon. 2009.** *Manufacturing Engineering and Technology*. s.l. : Pearson, 2009. [Pág. 40 a 55];
- ISBN: 978-0-136-08168-5
- Marcondes, Paulo. 2008.** *Projeto de Ferramentas para Conformação de Chapas*. Fevereiro de 2008. . [Pág. 2 a 41; 45 a 69];
- *Apontamentos da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal do Paraná*
- Morais, Simões. 2007.** *Desenho Técnico Básico 3*. Porto : Gráficos Reunidos, Lda., 2007. [Pág. 188 a 217];
- ISBN: 972-96-525-2-X
- Mroczkowski, Robert S. 1993.** *Connector Design/Material and Connector Reliability*. Harrisburg (USA) : AMP Incorporated, 1993;
- *Publicação/Artigo Científico*
- Oehler, G. e Kaiser, H. 1993.** *Schmitt Stanz-und Ziehwerkzeuge*. s.l. : Springer Verlag, 1993;
- ISBN: 978-3-540-56700-4
- Referido em: **Benazzi, Ivar. 2007.** *Tecnologia de Estampagem*. 2007

- Bonacho, Valdemar. 2013.** *País Económico*. 2013, Vol. Nº 127;
- *Revista*
- Provenza, Francesco. 2001.** *Estampos I*. s.l. : PROTEC, 2001;
- ISBN: 978-8-560-31106-4
- Referido em: **Benazzi, Ivar. 2007.** *Tecnologia de Estampagem*. 2007
- Rocha, Barata da e Duarte, Ferreira. 1990.** *Tecnologia do Corte em Prensa*. s.l. : Associação Portuguesa das Tecnologias de Conformação Plástica, 1990. [Pág. 2 a 67];
- Rocha, Barata da, Duarte, Ferreira e Perreira, Touro. 1991.** *Novas Tecnologias de Corte*. s.l. : Associação Portuguesa das Tecnologias de Conformação Plástica, 1991. [Cap. 4];
- Rodrigues, Jorge e Martins, Paulo. 2010.** *Tecnologia Mecânica - Tecnologia da Deformação Plástica. Vol II – Aplicações Industriais*. s.l. : Escolar Editora, 2010. [Pág. 112 a 113; 187 a 223; 265 a 288; 691 a 725];
- ISBN: 978-972-592-280-4
- Rossi, Mario. 1979.** *Estampado en Frio de la Chapa*. s.l. : Editorial Dossat, 1979. [Pág. 25 a 32; 137 a 149];
- ISBN: 84-237-0489-2
- SAE. 2004.** *USCAR-21 - Performance Specification For Cable-to-Terminal Electrical Crimps (Rev. 1)*. 2004;
- *Norma*
- Schaeffer, Lirio. 2006.** *Tecnologia. Fundamentos do projeto de ferramentas para o processo de estampagem*. 2006;
- *Publicação/Artigo Científico*
- Shigley, J. e Mischke, C. 2003.** *Mechanical Engineering Design*. s.l. : McGraw Hill, 2003. [Pág. 509 a 552];
- ISBN: 007-123270-2
- Silva, Francisco. 2004.** *Conformação Plástica - Processos*. 2004;
- *Apontamentos da Escola Superior de Estudos Industriais e Gestão*
- Silva, Francisco J. G. 2003.** *Apontamentos - Corte em Prensa*. 2003;
- *Apontamentos da Escola Superior de Estudos Industriais e Gestão*
- Soares, Pinto. 1980.** *Aços - características e tratamentos*. 1980. [Pág. 73 a 112];
- Suchy, Ivana. 2006.** *Handbook of Die Design*. s.l. : McGraw-Hill, 2006. [Pág. 105 a 118; 149 a 152; 213 a 228; 620 a 679];
- ISBN: 0-07-146271-6
- Teixeira, António. 2013.** *Terminal Defect Analysis and Classification Methodology for Automotive Industry*. 2013. [Pág. 21 a 35];
- *Tese de Mestrado*
- Tschaetsch, Heinz. 2006.** *Metal Forming Practise*. s.l. : Springer, 2006. [Pág. 5 a 14; 199 a 204];
- ISBN: 3-540-33216-2
- Tyco Electronics, Automotive. 2012.** *Wire and Cable Products for the Automotive Industry*. 2012. [Pág. 6 a 7];
- *Catálogo*
- Ugural, Ansel C. 2004.** *Mechanical Design - An Integrated Approach*. s.l. : McGraw Hill, 2004. [Pág. 560 a 575];
- ISBN: 0-07-242155-X

5.2 Outras Fontes de Informação

Balzers, Oerlikon. 2015. www.oerlikon.com. 2015. [Citação: 12 de Agosto de 2015];
<http://www.oerlikon.com/balzers/en/know-how/coating-technologies/pvd-process>

Balzers, Oerlikon. 2015. www.oerlikonbalzerscoating.com. [Citação: 12 de Agosto de 2015];
<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bpt/por/01-products-services/02-balinit-coatings/indexW3DnavidW261.php>

Favorit. 2016. www.favorit.com.br. Favorit. 2016. [Citação: 8 de Agosto de 2015];
http://www.favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos_ferramentas_0.html

FMI, Future Market Insights. 2015. www.futuremarketinsights.com. [Citação: 14 de Agosto de 2015];
<http://www.futuremarketinsights.com/reports/global-automotive-wiring-harness-market>

Hauzer. 2015. www.hauzertechnocoating.com. [Citação: 4 de Julho de 2015];
<http://www.hauzertechnocoating.com/en/plasma-coating-explained/dlc-coating>

www.ricardo-barbosa.com/. [Citação: 14 de Julho de 2015];
<http://www.ricardo-barbosa.com>

JST-MFG. 2015. www.jst-mfg.com/. [Citação: 13 de Dezembro de 2015];
http://www.jst-mfg.com/product/pdf/eng/handling_e.pdf

Matweb. 2016. Matweb, Material Property Data. www.matweb.com. [Citação: 13 de Janeiro de 2016];
<http://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=37de2ca8d34c415fbdee5add2f86f06f&ckck=1>

Peterson Enterprises. 2015. Peterson Enterprises. [Citação: 28 de Junho de 2015];
<http://www.petersonenterprises.com/processesproducts/metal-stamping/transfer-die-stamping>

SME. 2015. Sheet Metal Stamping Dies & Processes. [Citação: 28 de Junho de 2015];
<https://www.youtube.com/watch?v=5CuJjSk4U38>

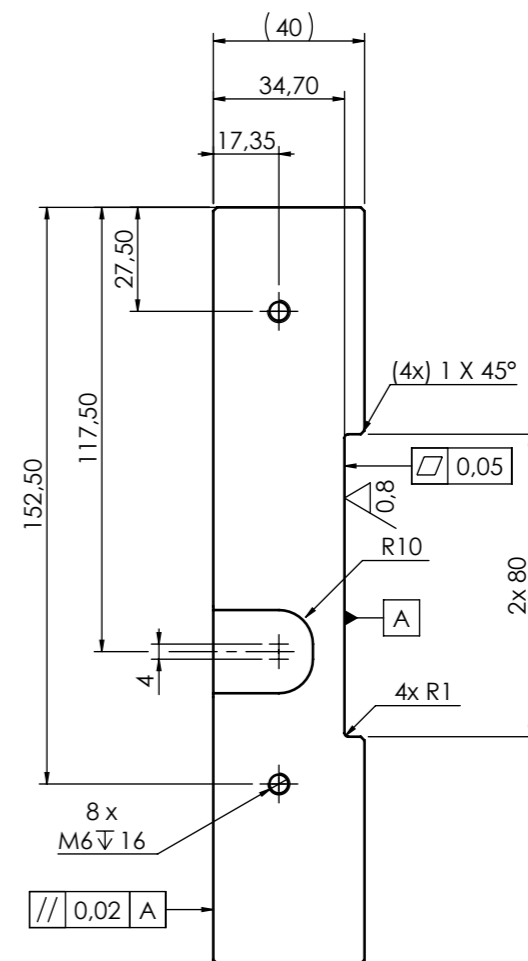
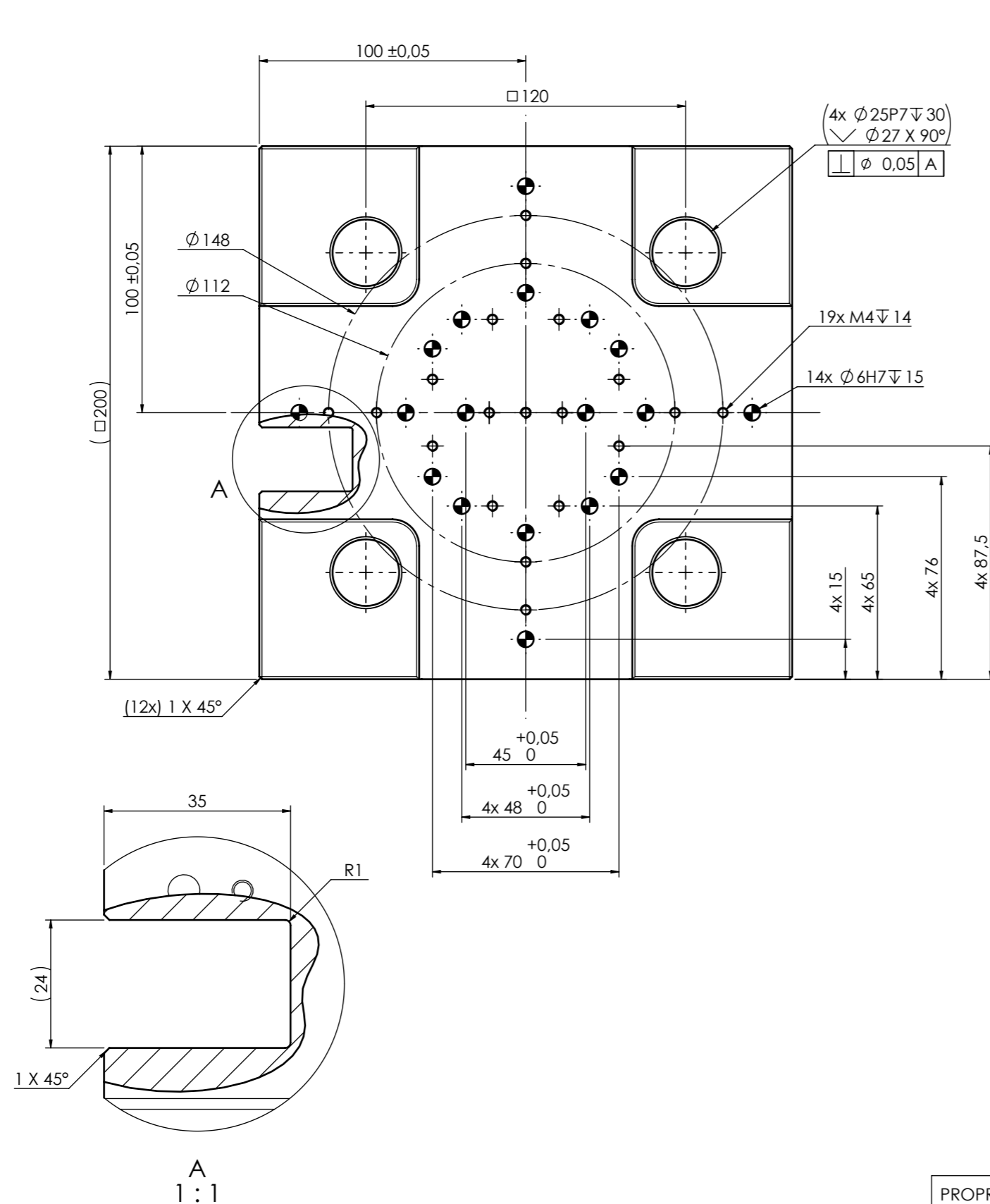
Sumitomo. 2015. www.sws.co.jp. [Citação: 14 de Agosto de 2015];
<http://www.sws.co.jp/en/corporation/history.html>

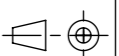
TEandM. 2015. www.teandm.pt. [Citação: 4 de Julho de 2015];
<http://www.teandm.pt/pvd.html>

Yazaki. 2015. www.yazaki-europe.com. [Citação: 12 de Julho de 2015];
<http://www.yazaki-europe.com/company/history.html>

ANEXO I

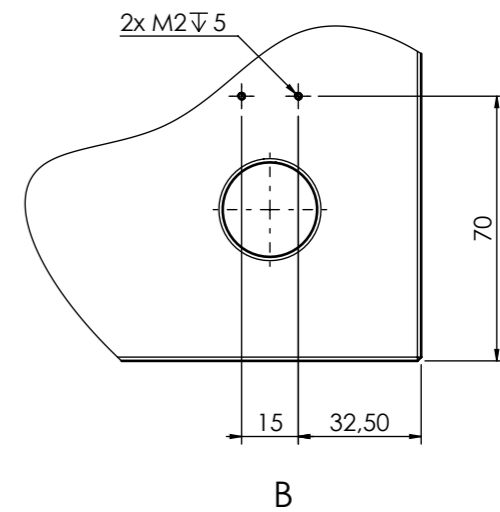
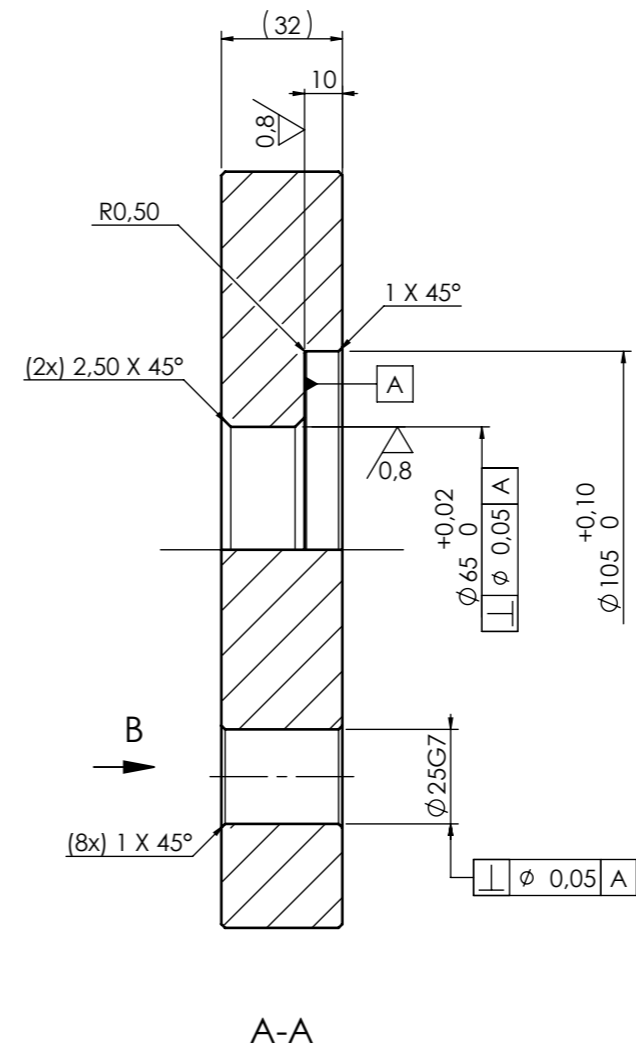
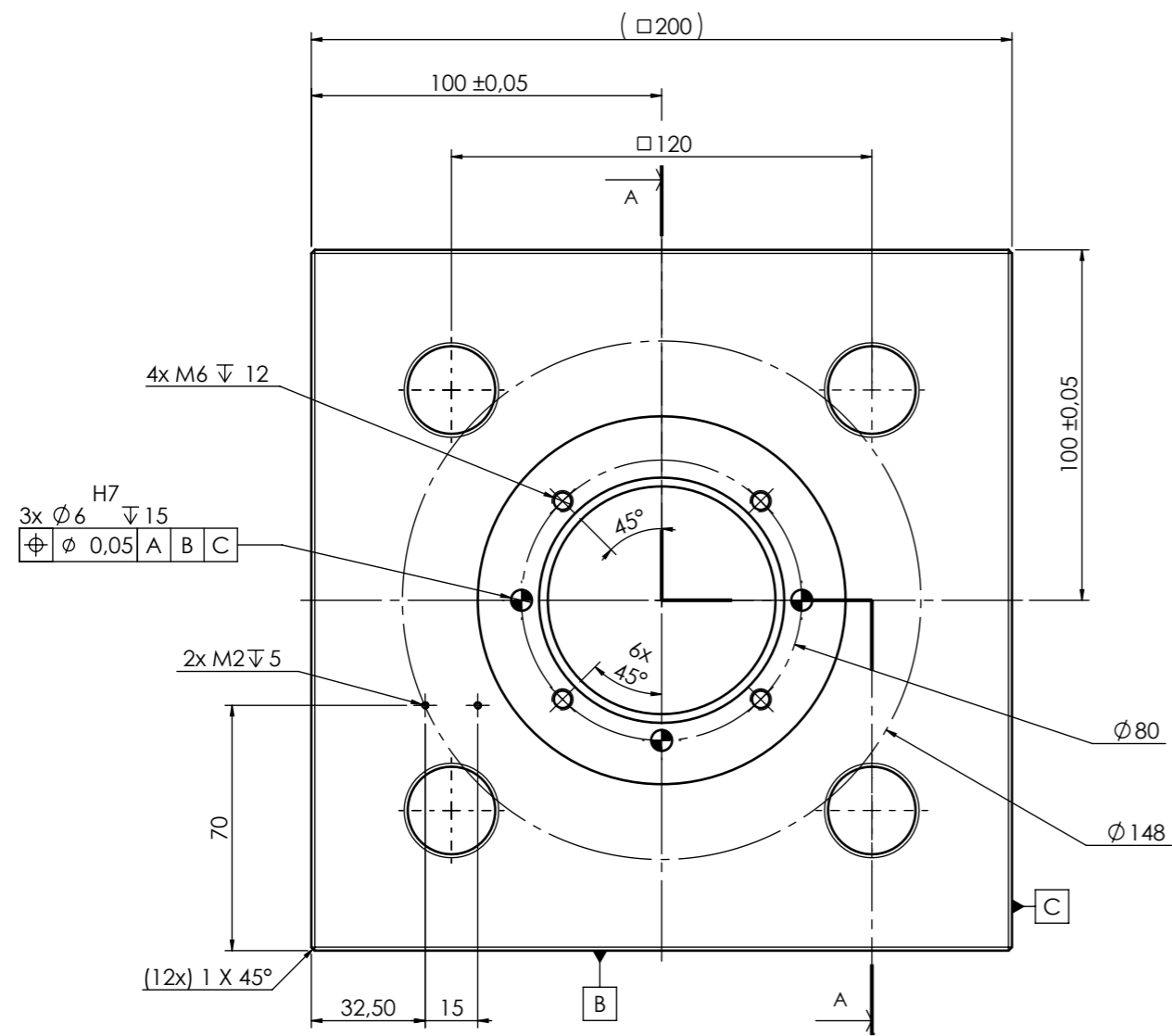
Desenhos dos componentes

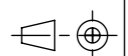


REV.	DESIGNAÇÃO		DES.	DATA
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	REF. CLIENTE	
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A3	
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:		DES. Nº	REVISÃO
1:2	BASE INFERIOR		TC001	
TOL. GERAL ISO 2768-f			QUANT.	MATERIAL
	1	1.0570	TRAT. TERM.	

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É CONFIDENCIAL QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

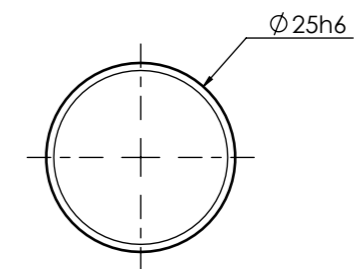
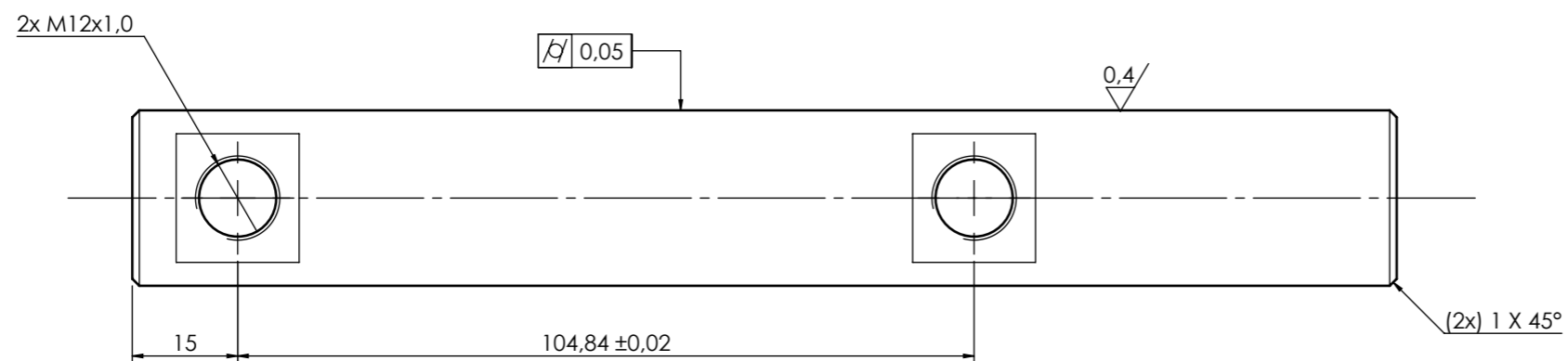
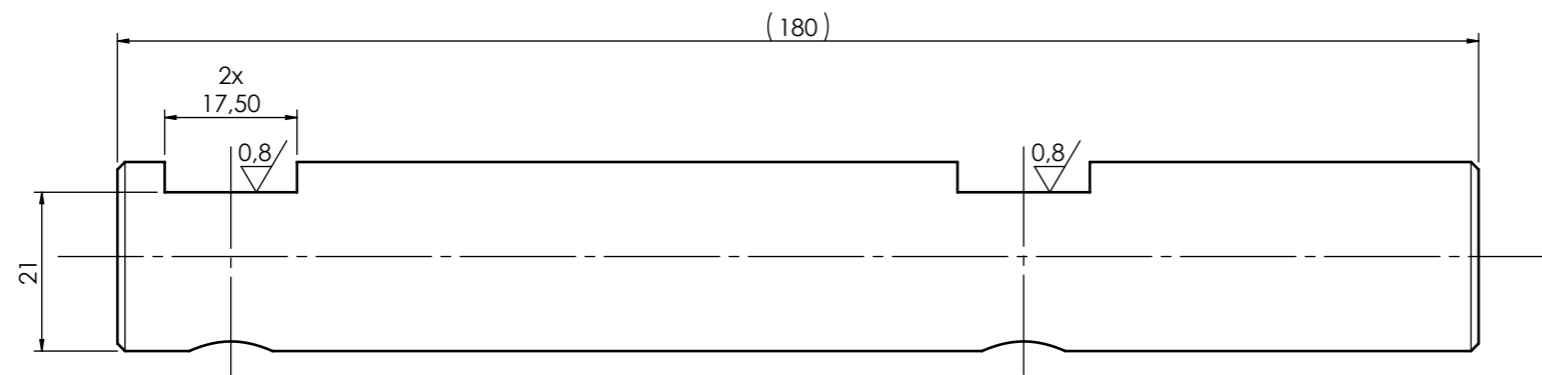
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto



REV.	DESIGNAÇÃO			DES.	DATA
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	REF. CLIENTE		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A3		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
1:2	BASE SUPERIOR			TC002	
TOL. GERAL ISO 2768-f				QUANT.	MATERIAL
	1	TRAT. TERM.			

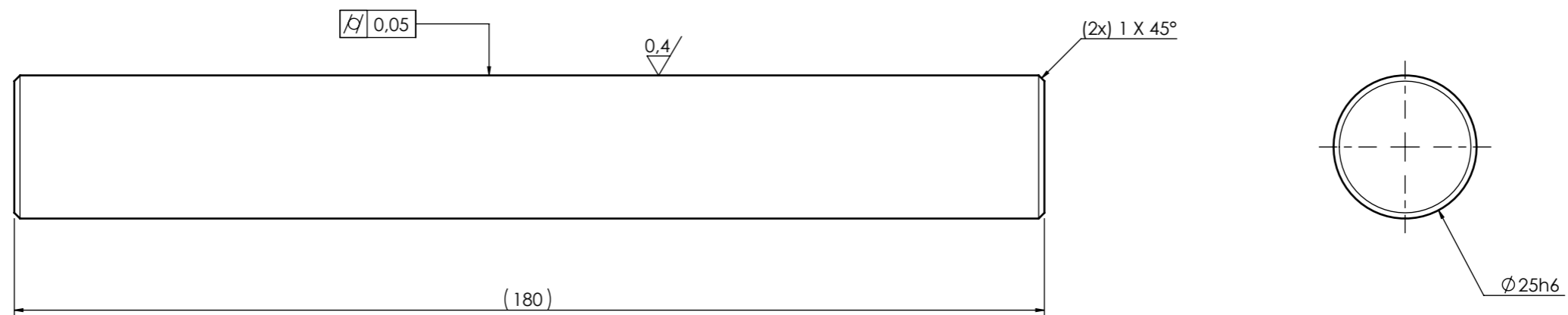
PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
 A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É CONFIDENCIAL QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

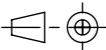




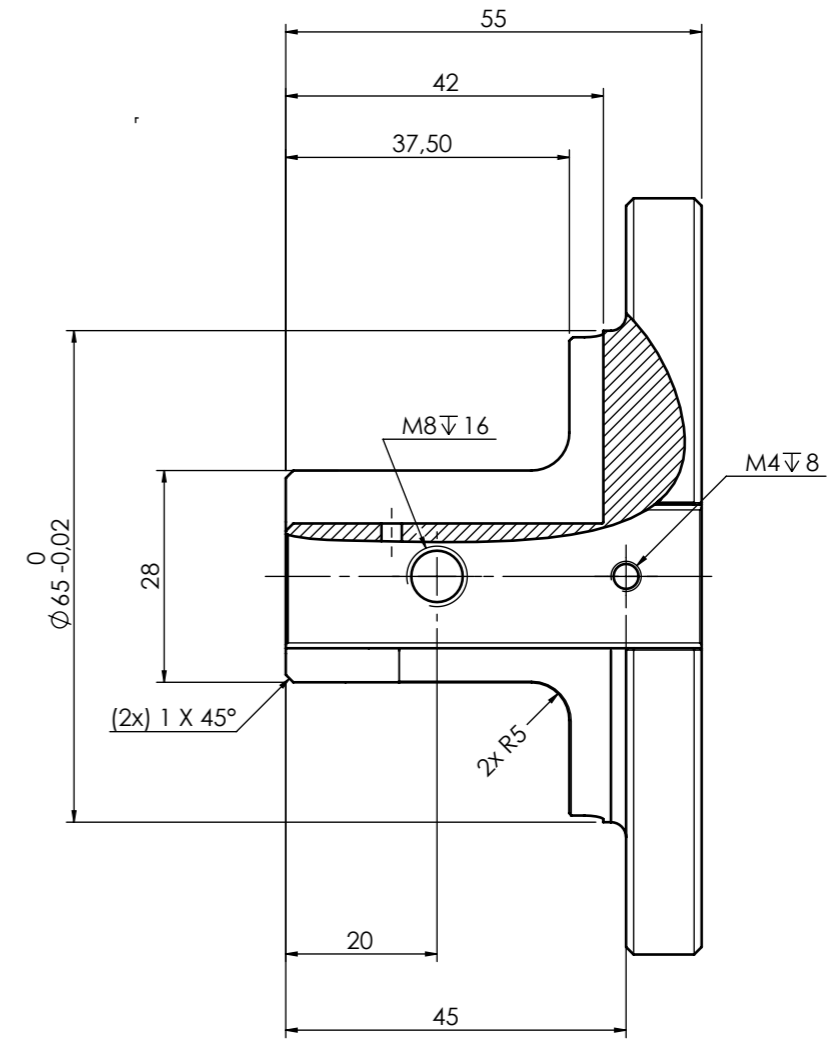
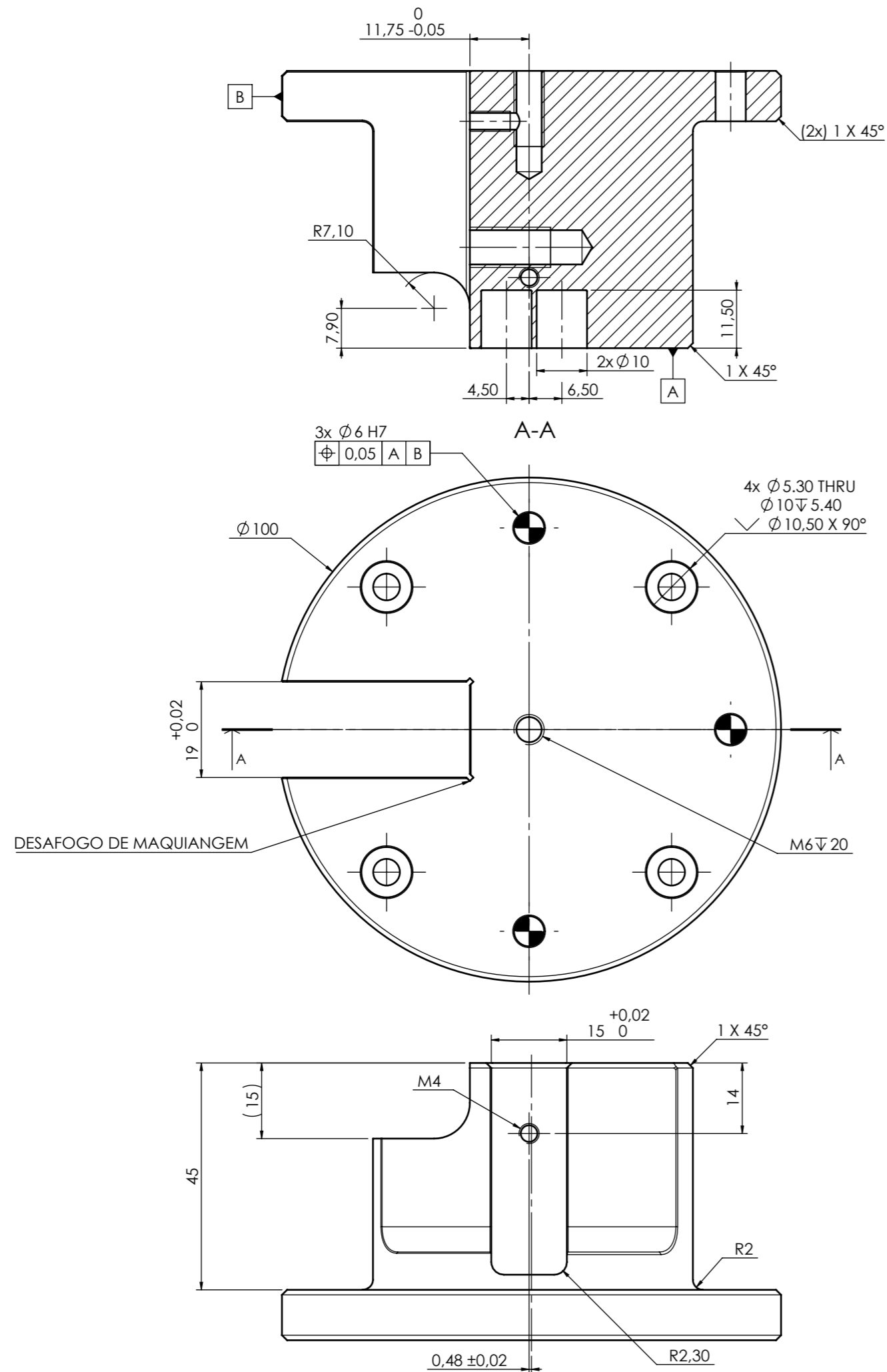
REV.	DESIGNAÇÃO			DES.	DATA
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	REF. CLIENTE		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
1:1	COLUNA GUIA APTA A SENSOR ÓTICO			TC003A	
TOL. GERAL ISO 2768-f				QUANT.	MATERIAL
			1		

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
 A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE
 DESENHO É CONFIDENCIAL
 QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL
 OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR
 ESCRITO É PROIBIDA.



REV.	DESIGNAÇÃO			DES.	DATA
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	REF. CLIENTE		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A3		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
1:1	COLUNA GUIA			TC003B	
TOL. GERAL ISO 2768-f				QUANT.	MATERIAL
	3	AISI 1060			
		TRAT. TERM.			

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
 A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE
 DESENHO É CONFIDENCIAL
 QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL
 OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR
 ESCRITO É PROIBIDA.

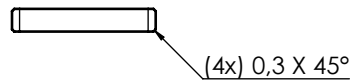
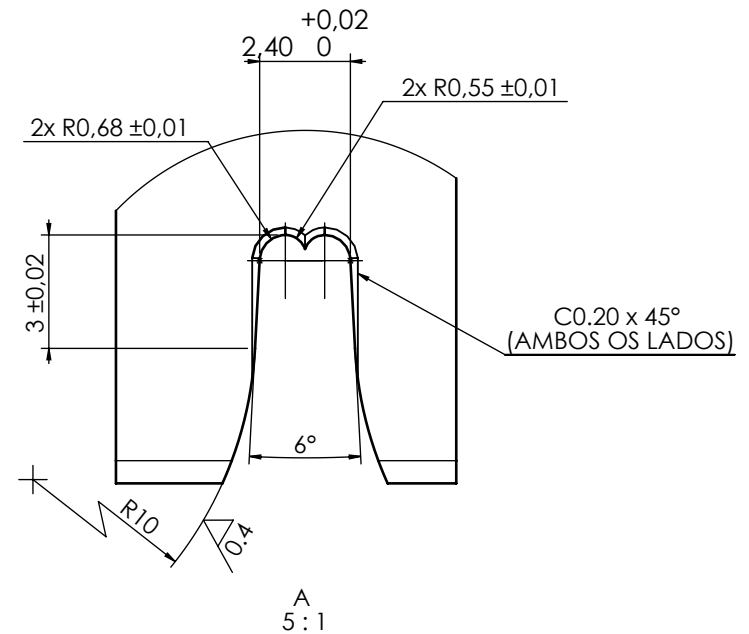
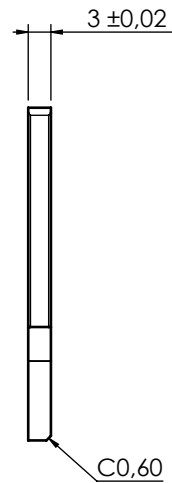
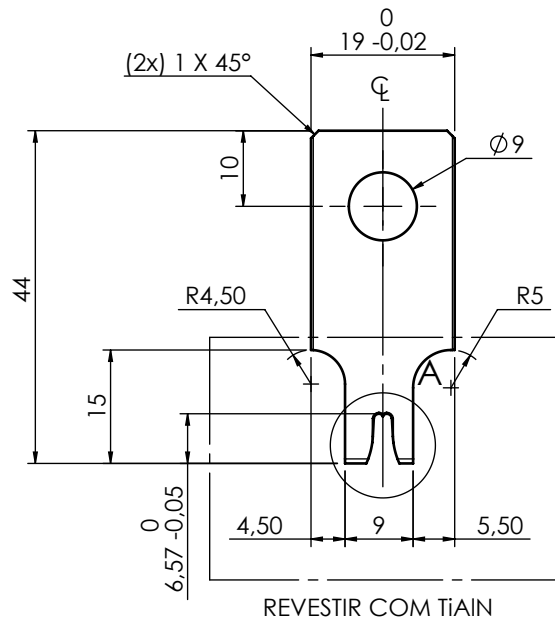


REV.	DESIGNAÇÃO		DES.	DATA
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	REF. CLIENTE	
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A3	
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:		DES. Nº	REVISÃO
1:1	PORTA-PUNÇÕES		TC004	
TOL. GERAL ISO 2768-f			QUANT.	MATERIAL
	1	AI SI 1010		
		TRAT. TERM.		

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
 A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE
 DESENHO É CONFIDENCIAL
 QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL
 OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR
 ESCRITO É PROIBIDA.

isep Instituto Superior de
 Engenharia do Porto

0.8/ [0.4/]



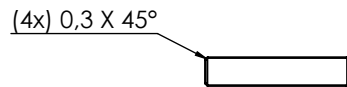
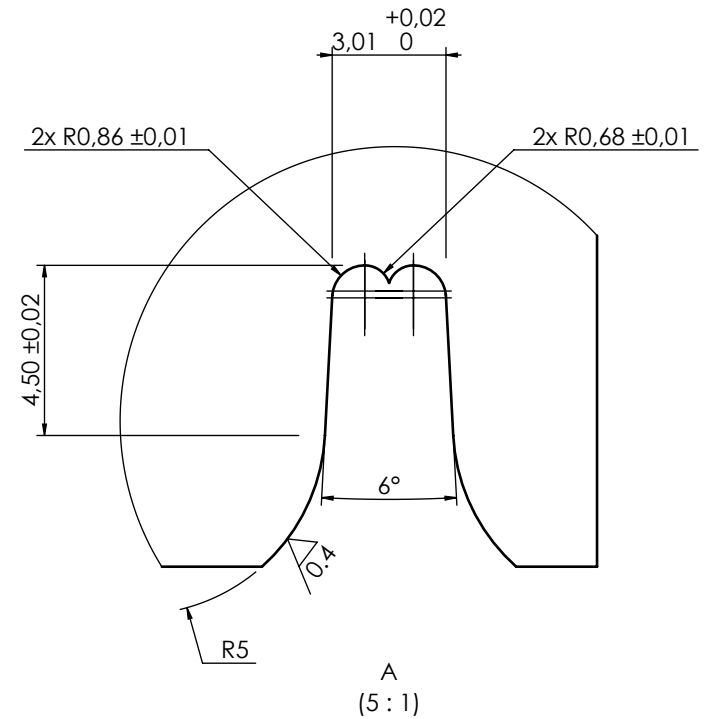
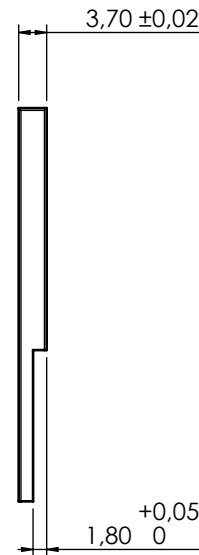
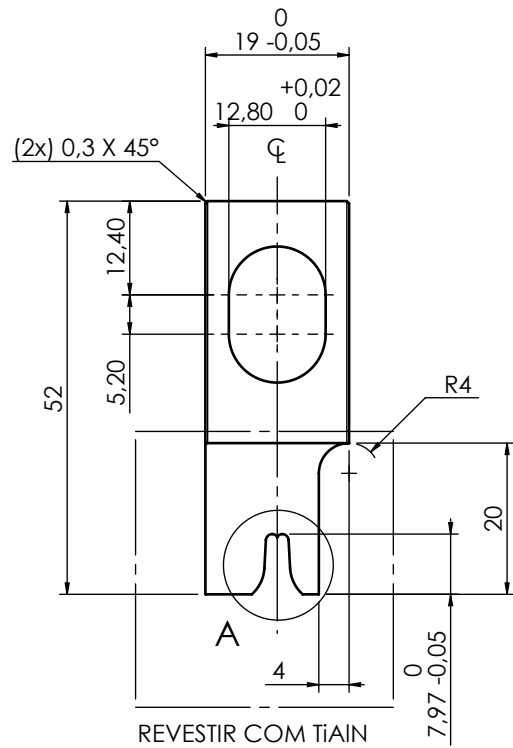
PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016					
APROVADO	T. Castro	21/05/2016					
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°	REVISÃO		
1:1	<p>PUNÇÃO DO COBRE</p>			TC005			
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL		
ISO 2768-f				1	1.2379		
				TRAT. TERM.	Hrc 59/62		

0.8/ [0.4/]

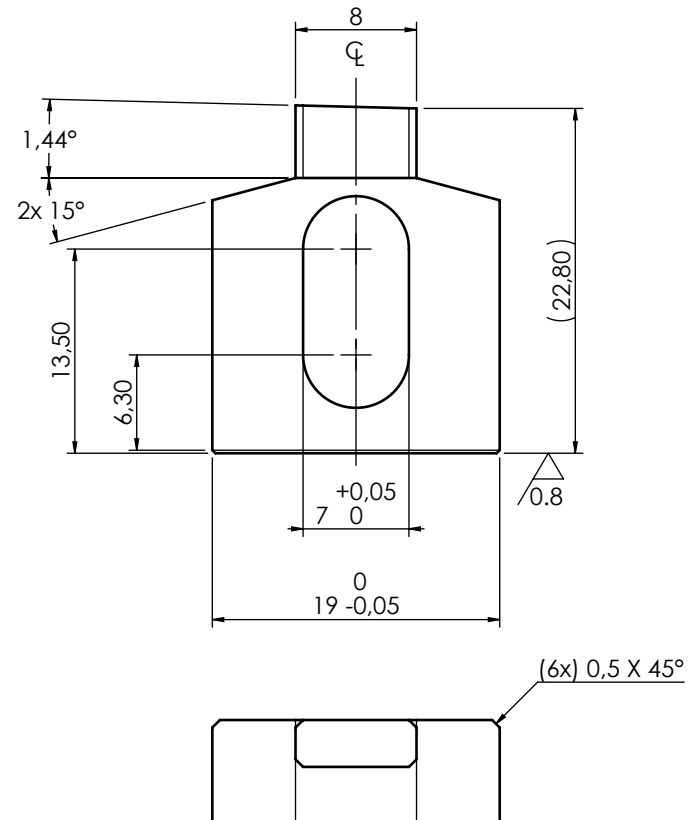
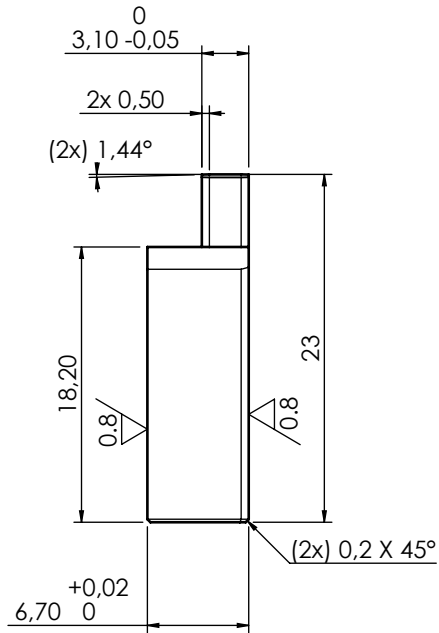


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016				
APROVADO	T. Castro	21/05/2016				
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°		
1:1	PUNÇÃO DO ISOLAMENTO			TC006		
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL	REVISÃO
ISO 2768-f				1	1.2379	
				TRAT. TERM.		
				HRC 59/62		

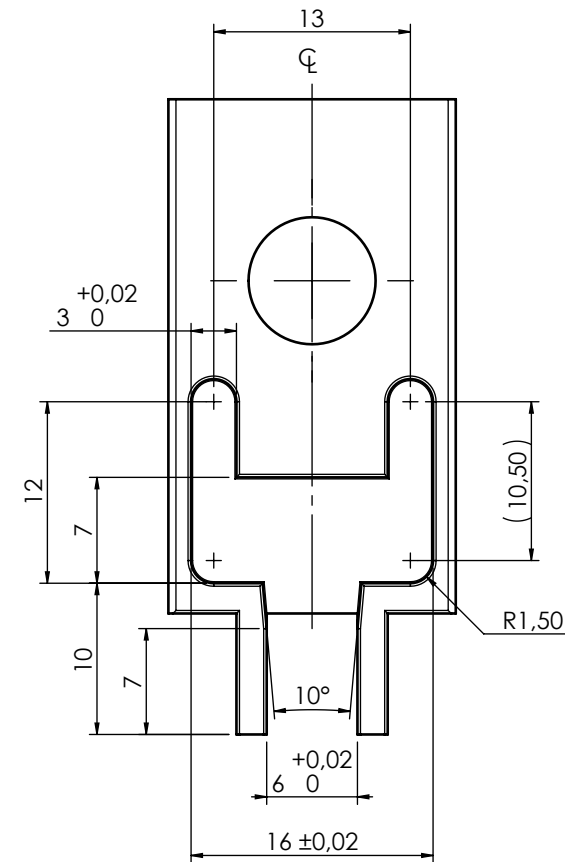
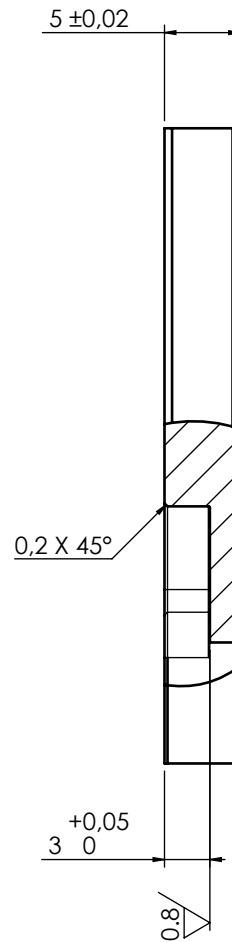
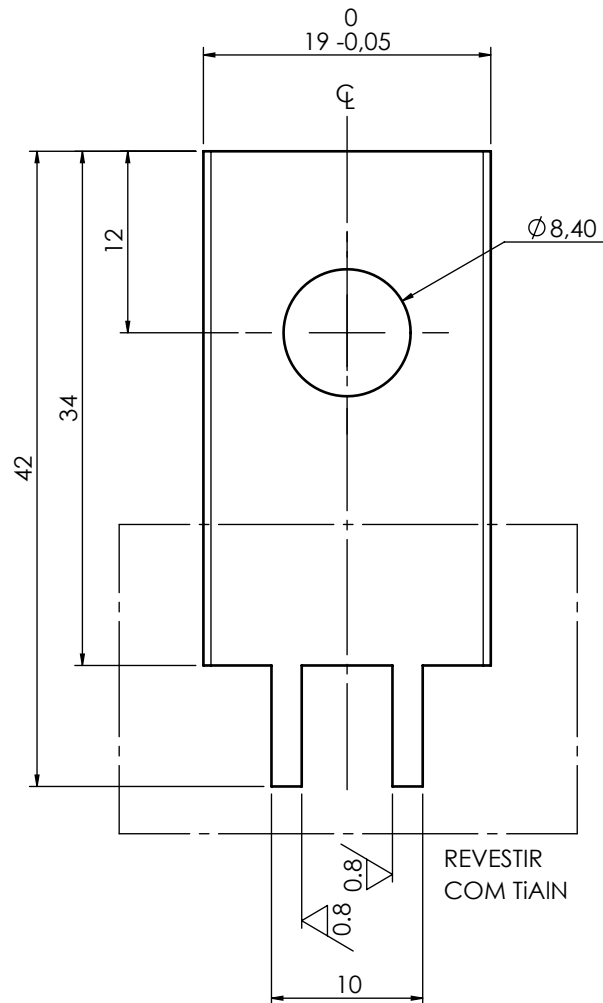


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/04/2016	ISO E A4	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/04/2016		
APROVADO	T. Castro	21/04/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº
2:1	BATENTE DO PUNÇÃO DE ISOLAMENTO			TC007
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	1.1191
				TRAT. TERM.
				HRC 54/56
				REVISÃO

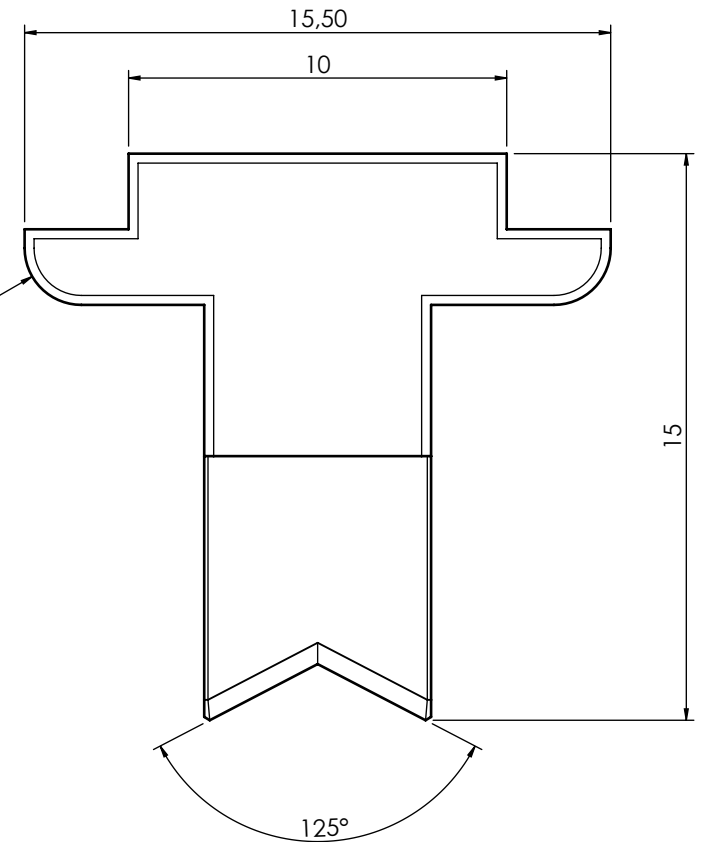
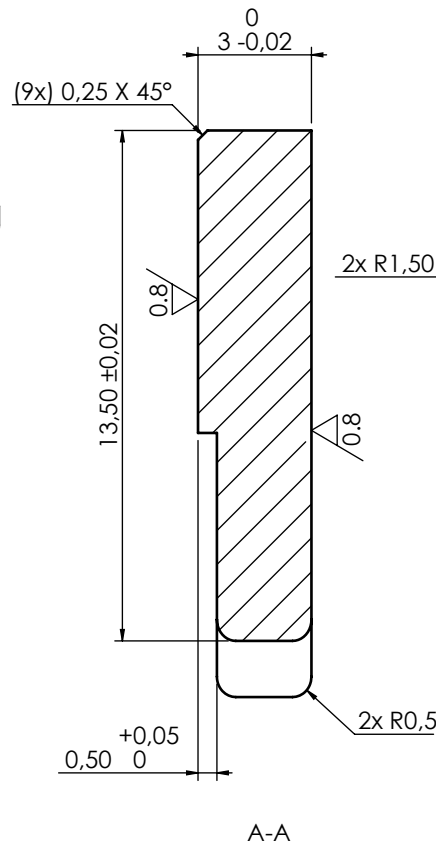
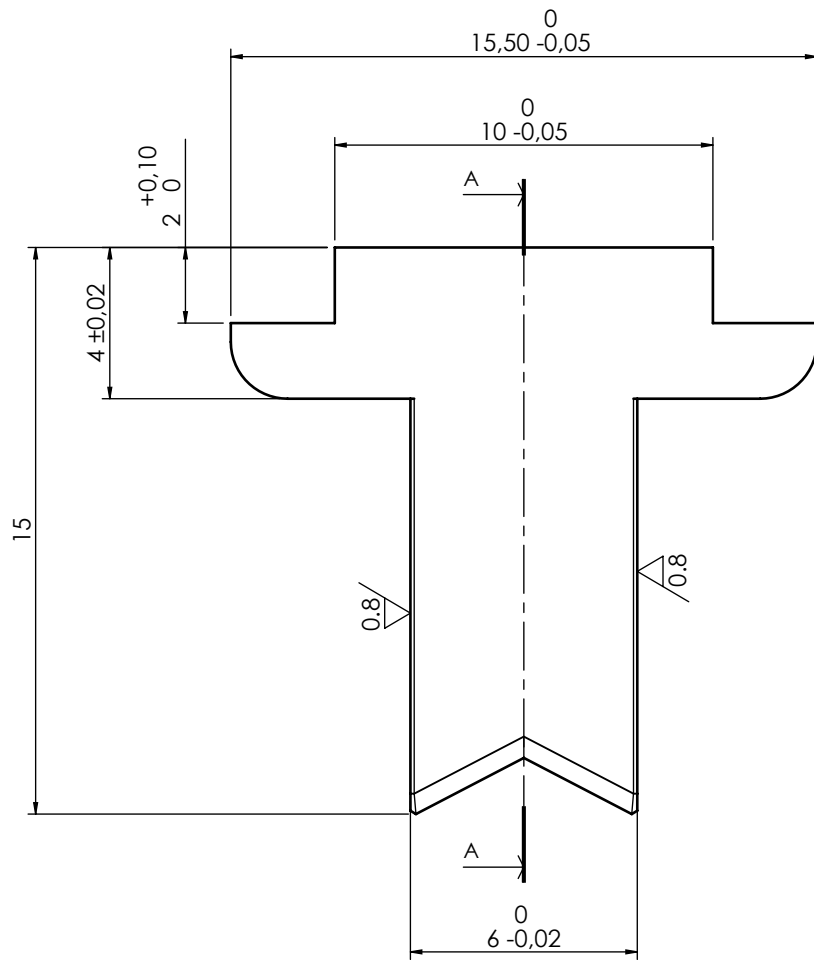


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016			Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N.º	REVISÃO
2:1	PUNÇÃO DE CORTE DO EXCESSO DA BOBINA			TC008	
TOL. GERAL				ISO 2768-f	QUANT.
			1	1.2379	
				TRAT. TERM.	HRC 59/62



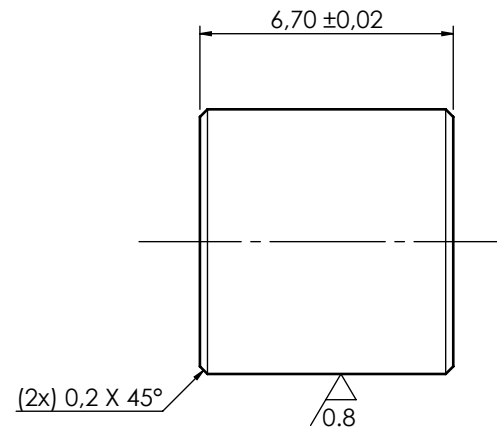
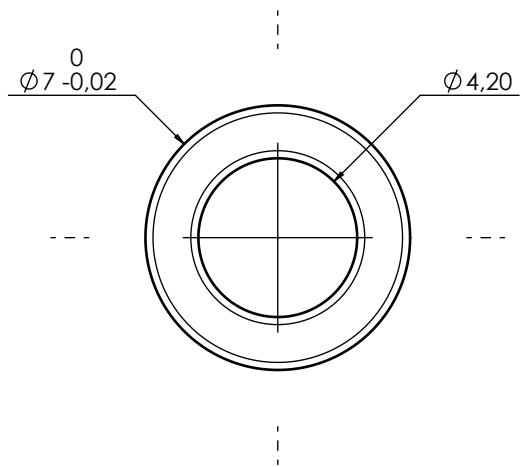
REVESTIR COM TiAIN

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº
5:1	PUNÇÃO DE FIXAÇÃO DO FIO DE COBRE			TC009
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	1.2379
				TRAT. TERM.
				HRC 59/62
				REVISÃO

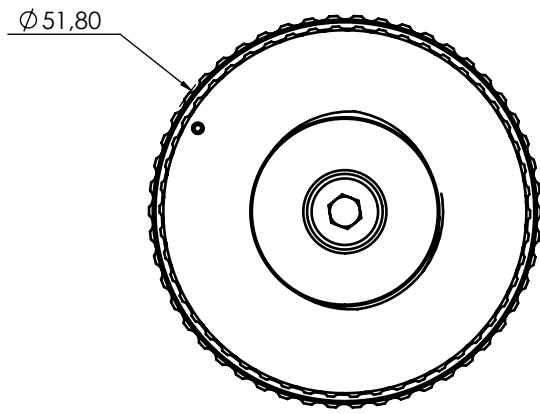
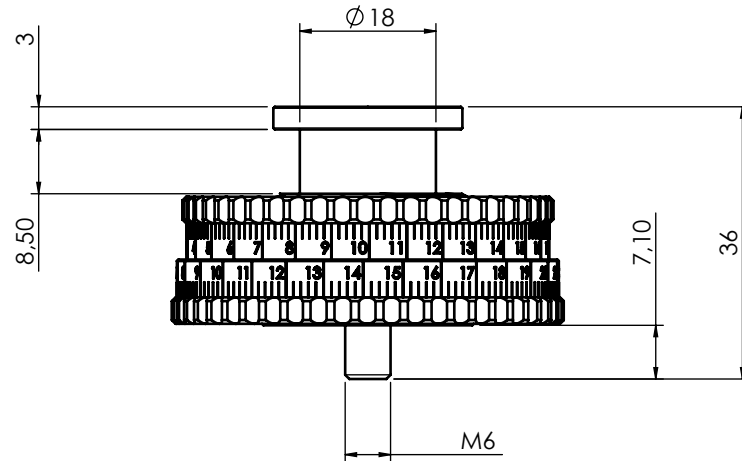


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

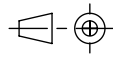

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016			
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
5:1	<p style="text-align: center;">CASQUILHO ESPAÇADOR DO BATENTÉ</p>			TC010	
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	AISI 1020			
			TRAT. TERM.	HRC 54/56	

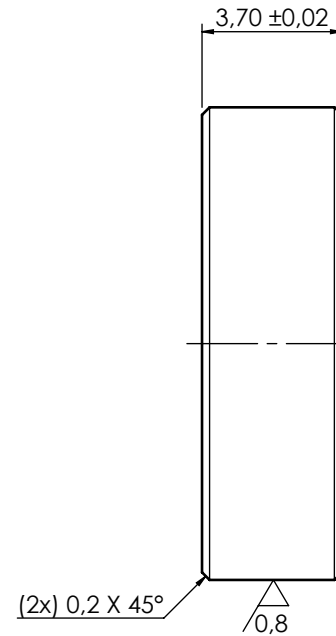
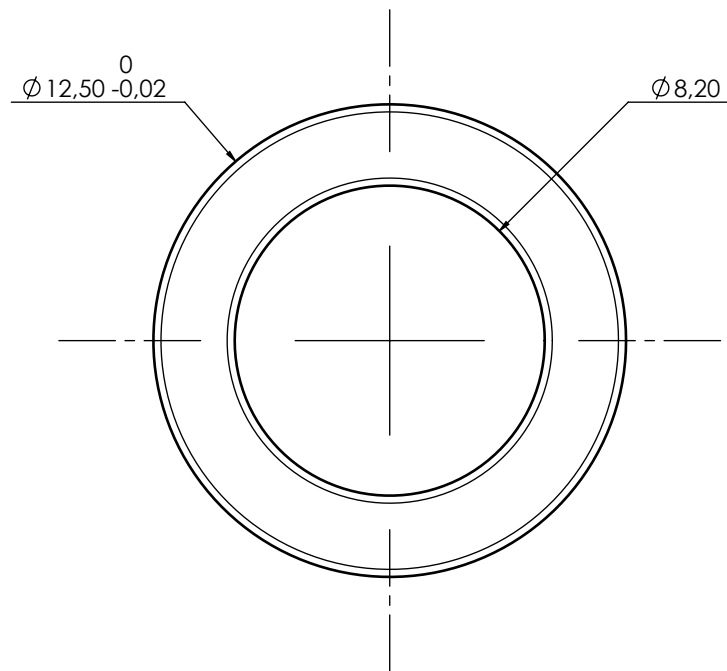


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	 Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°
1:1	CABEÇA DE REGULAÇÃO			TC011
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	TRAT. TERM.
				REVISÃO

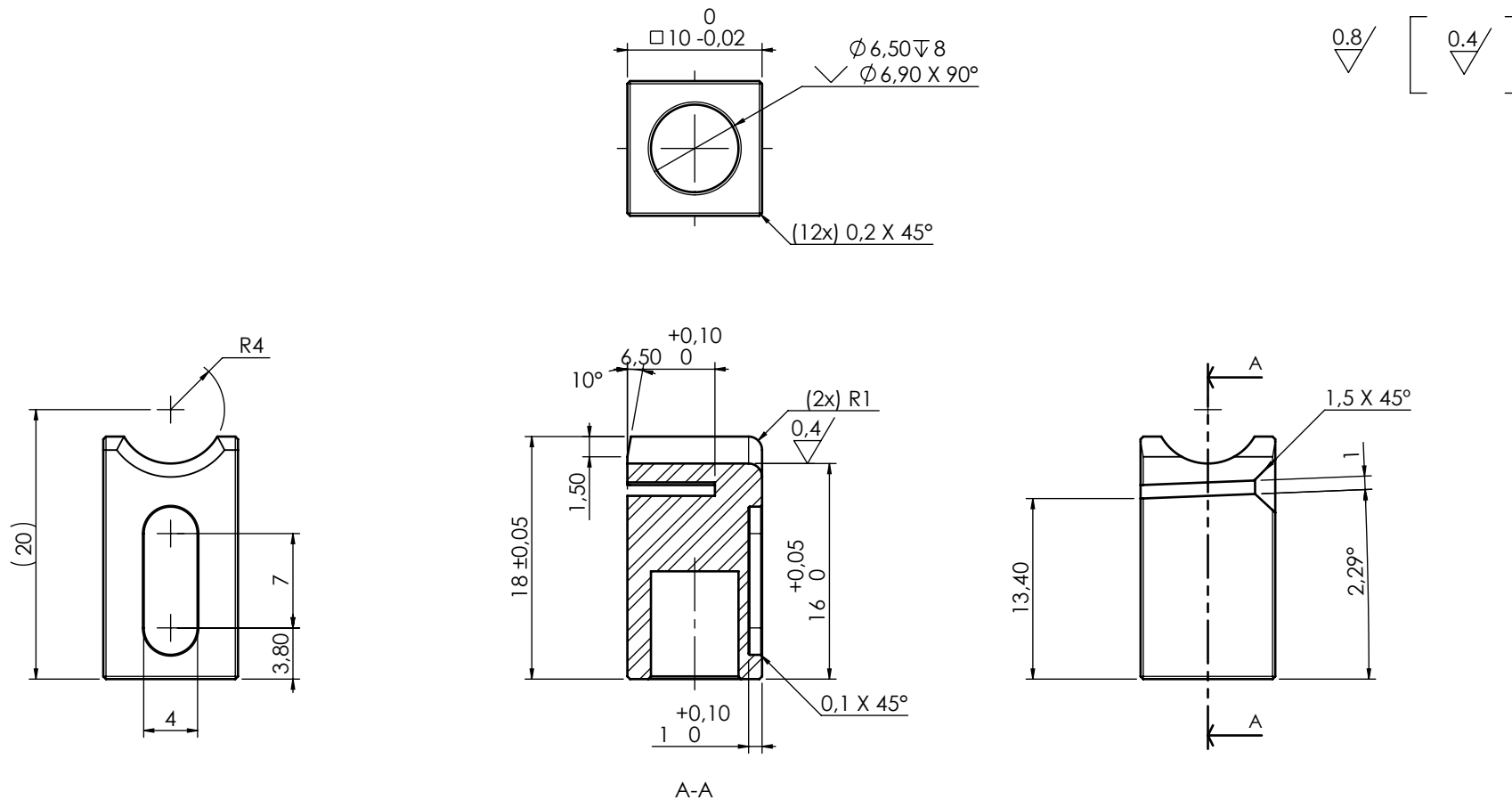


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
5:1	<p style="text-align: center;">CASQUILHO DO PUNÇÃO DE ISOLAMENTO</p>			TC012	
TOL. GERAL ISO 2768-f				QUANT.	MATERIAL
	1	AISI 1020			
		TRAT. TERM. HRC 54/56			



PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016

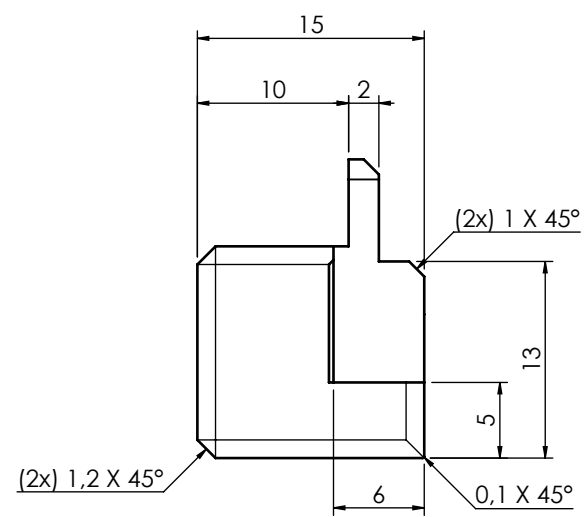
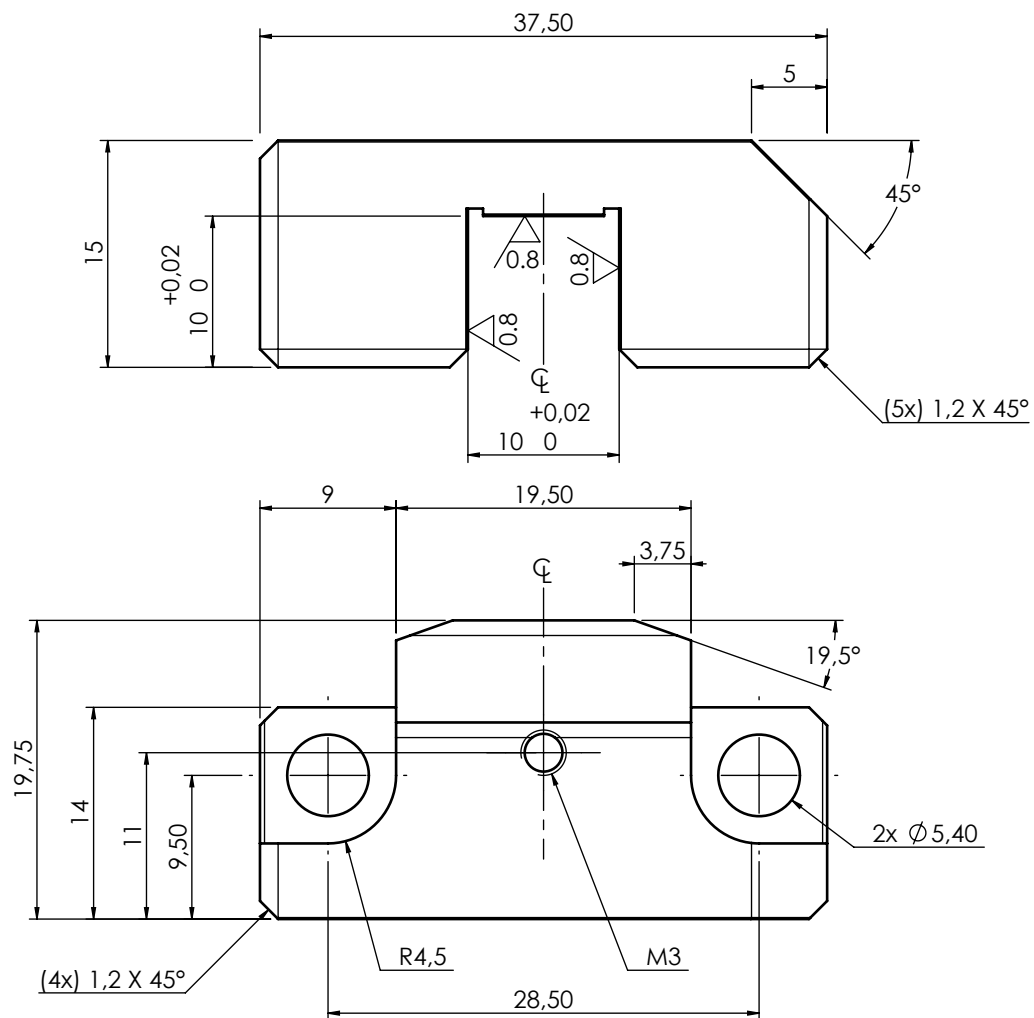
ISO E A4

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

ESCALA	2:1
TOL. GERAL	ISO 2768-f

DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
MATRIZ DE CORTE DO EXCESSO DA BOBINA

DES. Nº	TC013	REVISÃO	
QUANT.	1	MATERIAL	1.2379
		TRAT. TERM.	HRC 59/62

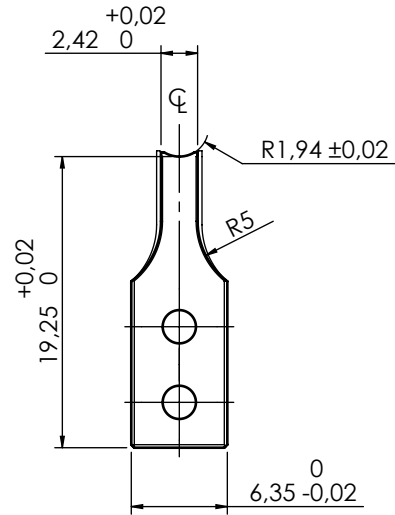


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
 A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

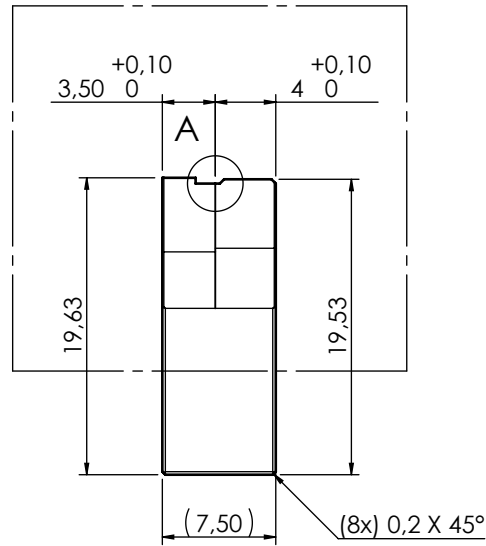
REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E	A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N.º	REVISÃO
2:1	MATRIZ AUXILIAR DE CORTE DO EXCESSO DA BOBINA			TC014	
TOL. GERAL				ISO 2768-f	QUANT.
			1	1.2379	
				TRAT. TERM.	HRC 59/62

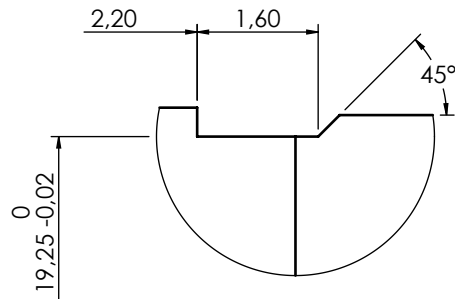
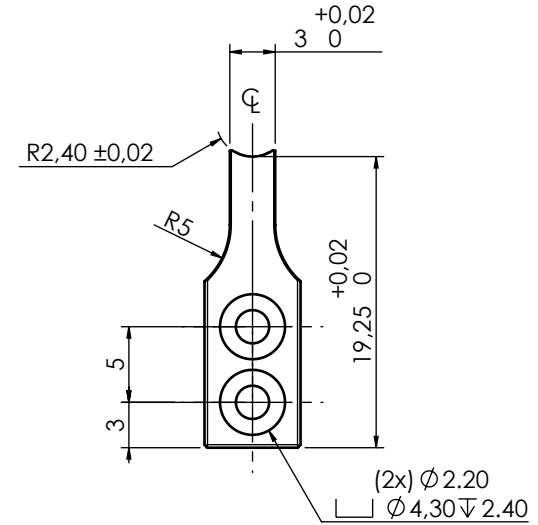
CRAVAÇÃO DO COBRE



REVESTIR COM TiAIN



CRAVAÇÃO DO ISOLAMENTO



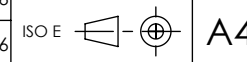
A
10:1

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016

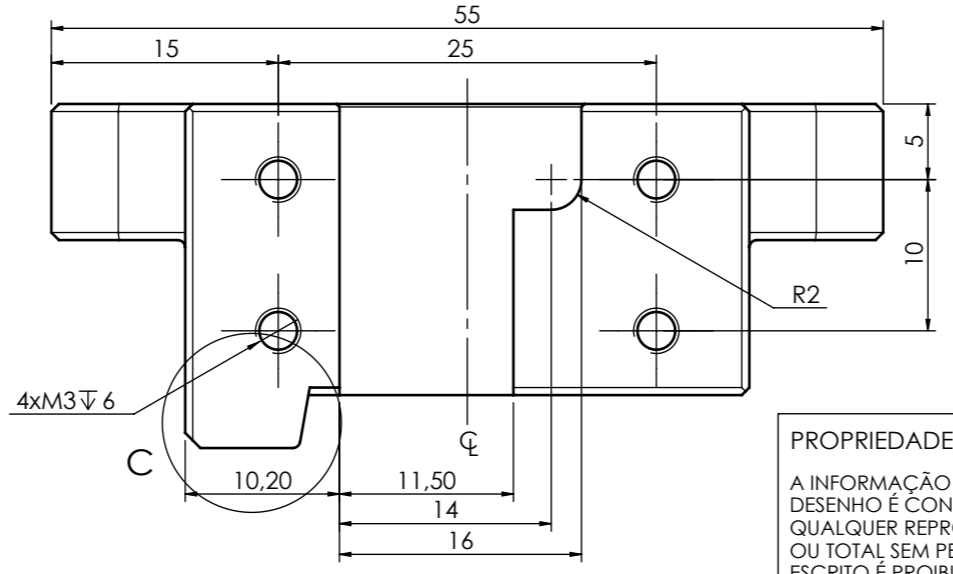
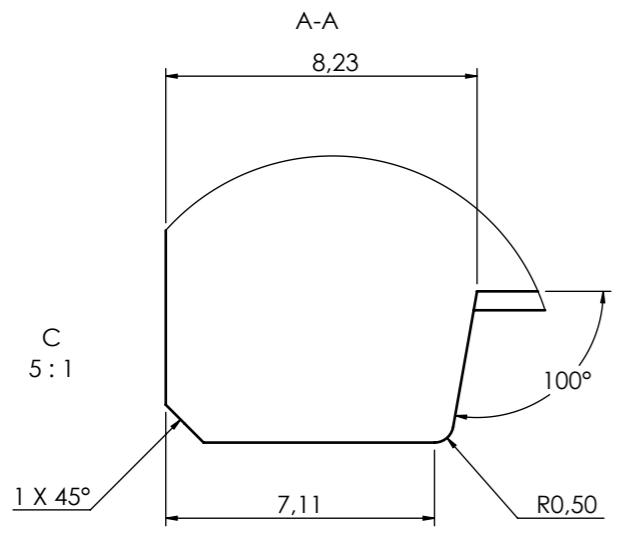
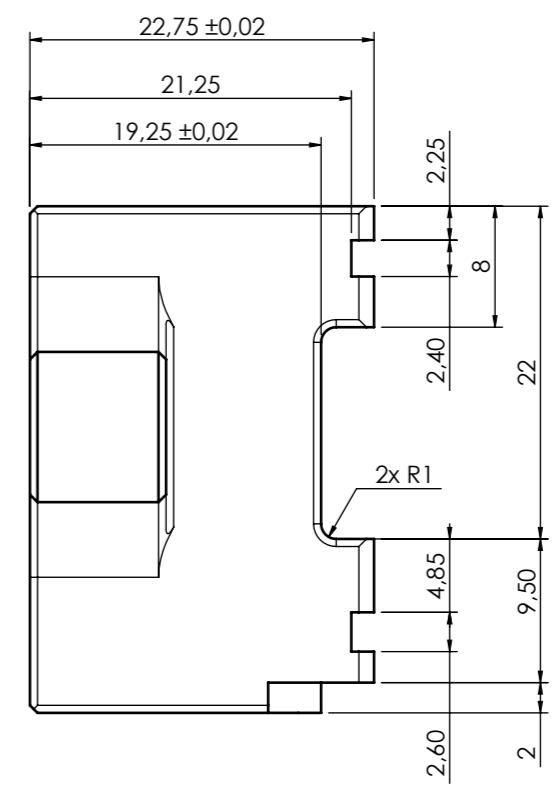
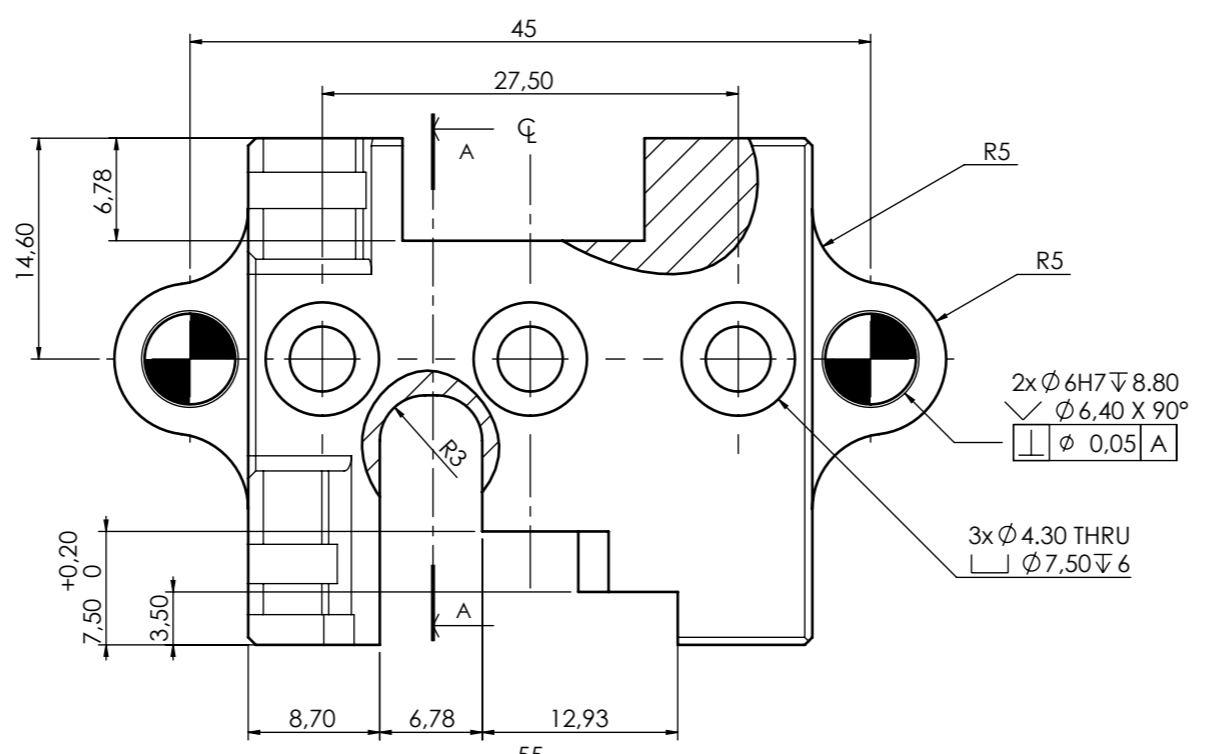
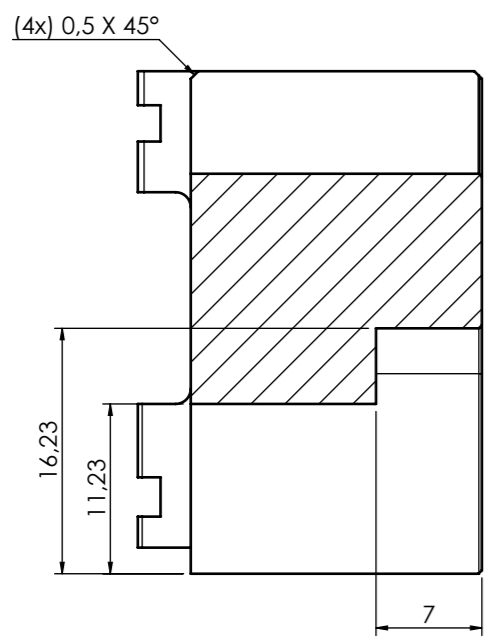
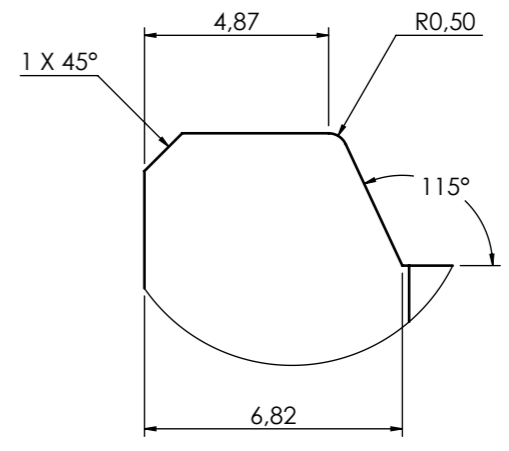
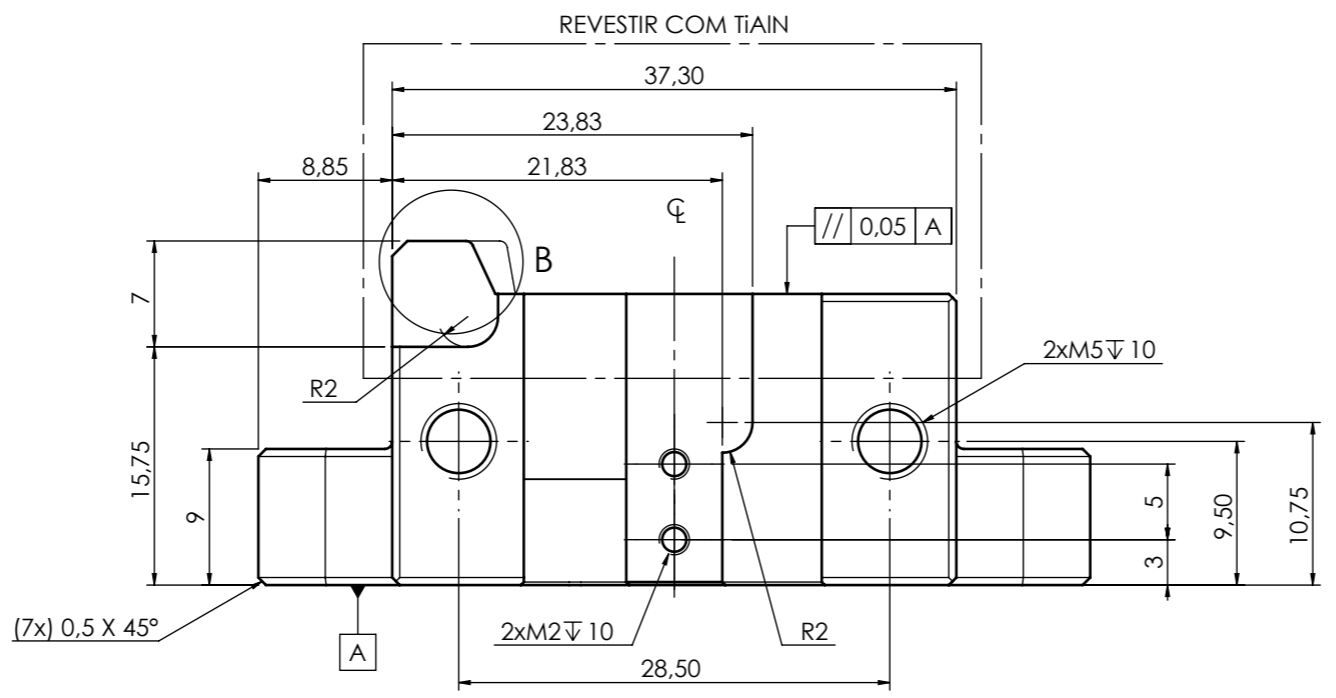


isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
2:1	MATRIZ DE CRAVAÇÃO
TOL. GERAL	
ISO 2768-f	

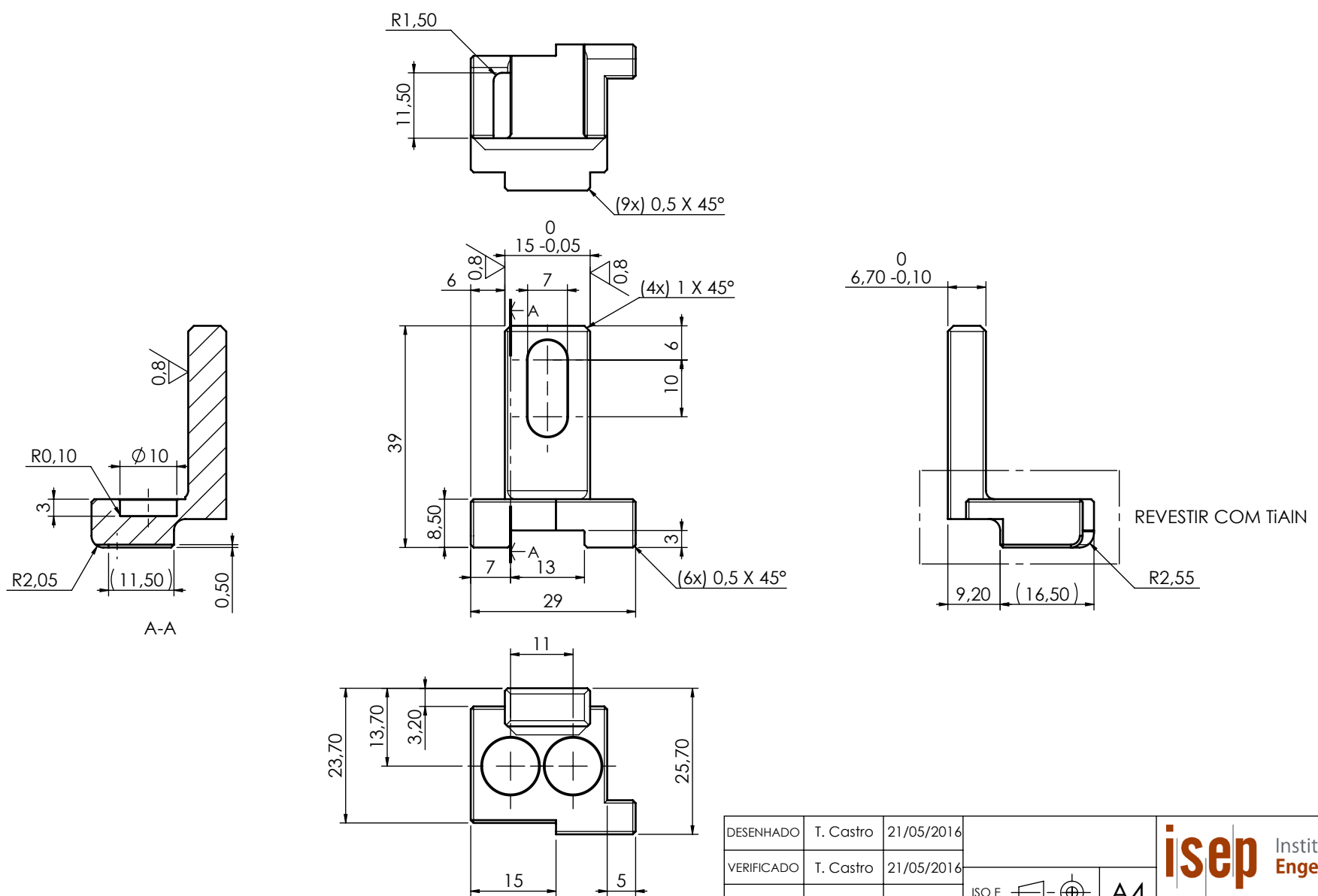
DES. Nº	TC015	REVISÃO
QUANT.	MATERIAL	1.2379
1	TRAT. TERM.	HRC 59/62

0,8



PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
 A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE
 DESENHO É CONFIDENCIAL
 QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL
 OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR
 ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO		DES.	DATA
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	REF. CLIENTE	
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E A3	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:		DES. Nº	REVISÃO
2:1	MATRIZ PRINCIPAL		TC016	
TOL. GERAL ISO 2768-f			QUANT.	MATERIAL
	1	TRAT. TERM.	HRC 59/62	



PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

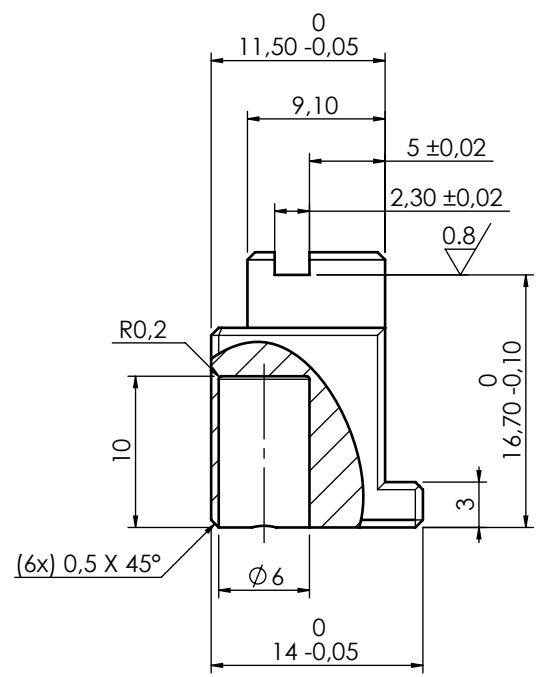
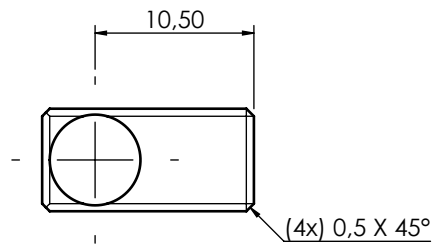
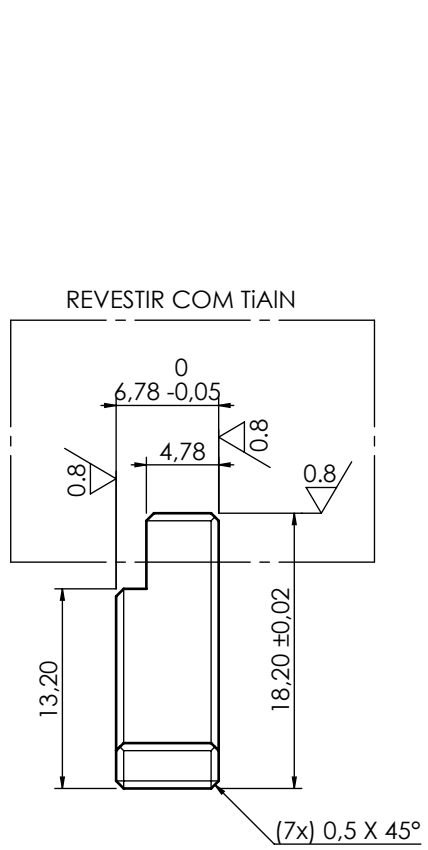
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016

ISO E A4



ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
1:1	CERRA-CHAPAS
TOL. GERAL	
ISO 2768-f	

DES. Nº	TC017	REVISÃO
QUANT.	MATERIAL	
1	1.2379	
	TRAT. TERM.	
	HRC 59/62	



PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

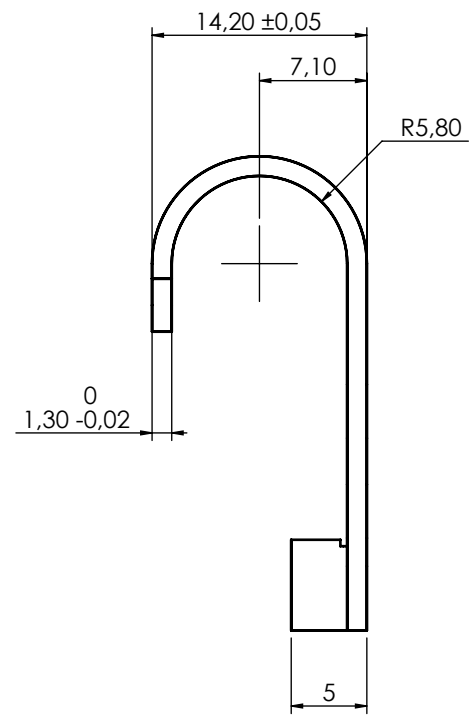
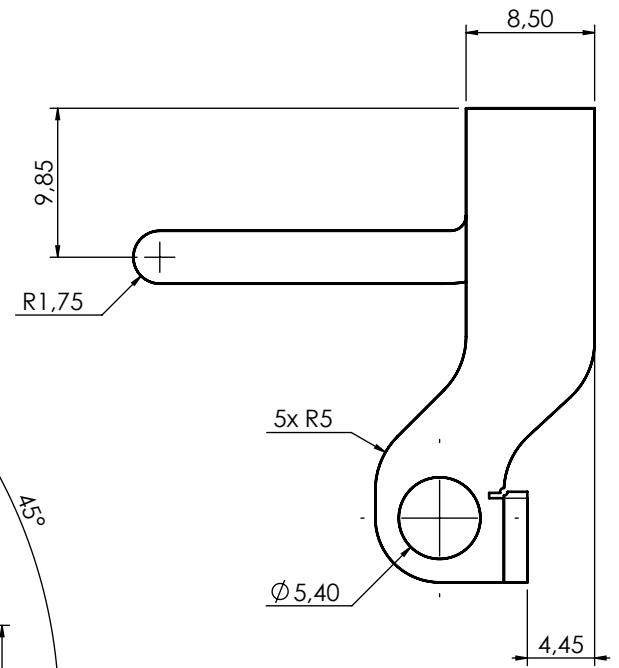
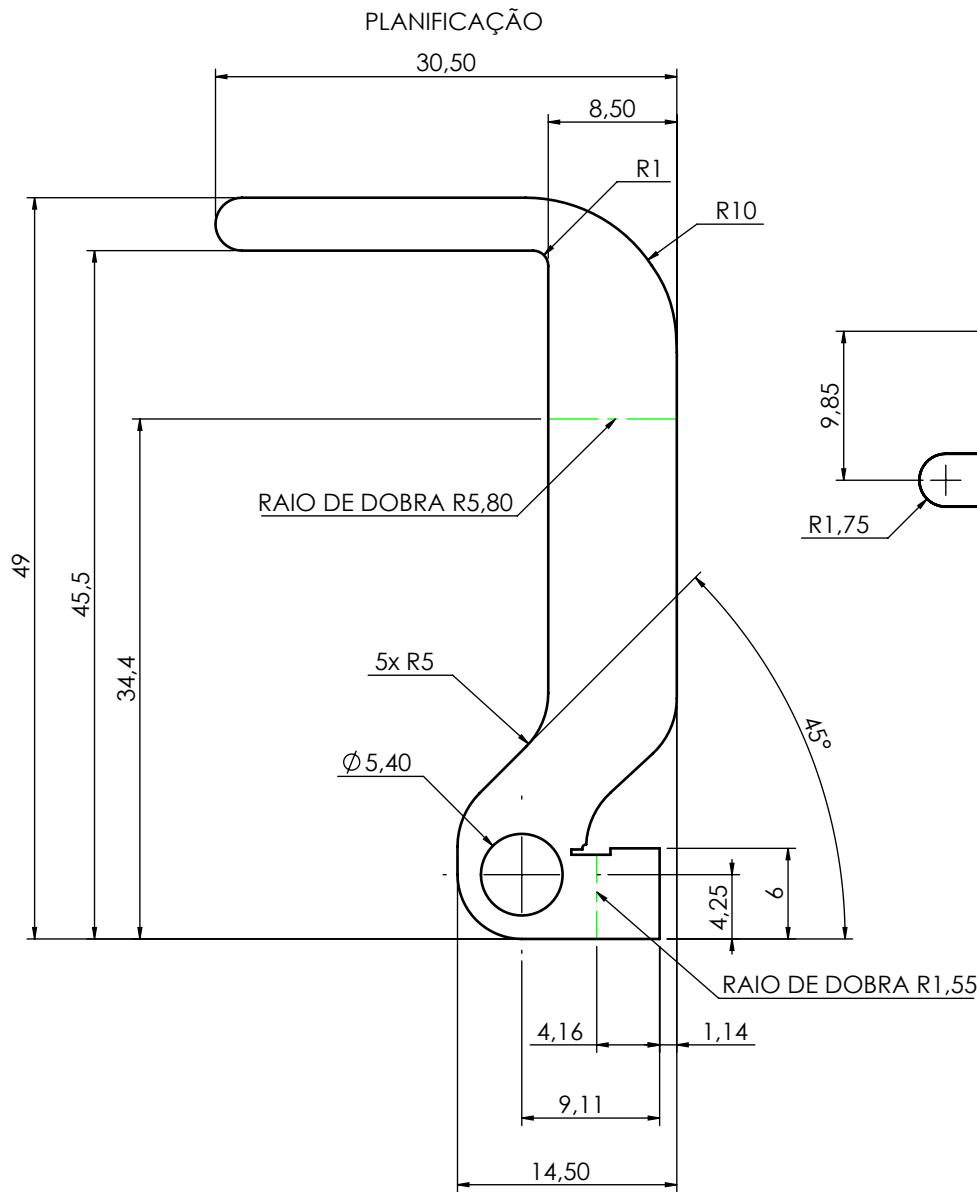
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016

ISO E A4

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
2:1	MATRIZ SECUNDÁRIA A
TOL. GERAL	
ISO 2768-f	

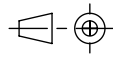
DES. N°	TC018	REVISÃO
QUANT.	MATERIAL	1.2379
1	TRAT. TERM.	HRC 59/62



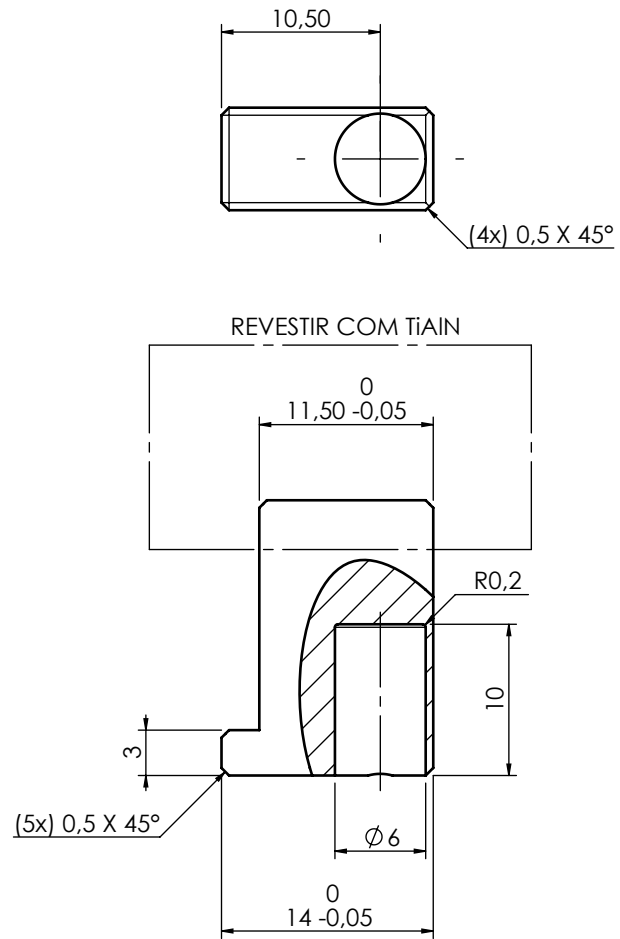
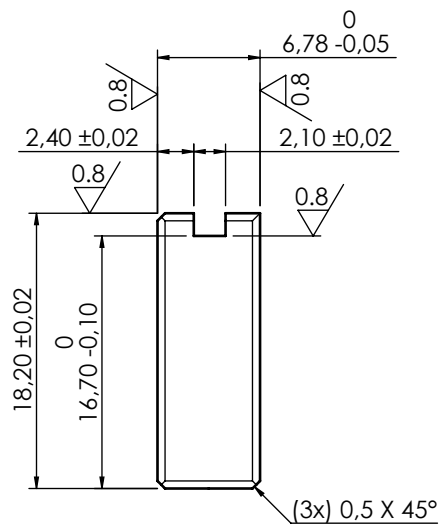
PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	
APROVADO	T. Castro	21/05/2016	
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:		
2:1	BATENTE DO TERMINAL		
TOL. GERAL			

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	
DES. Nº	TC019
QUANT.	MATERIAL
1	1.1121
	TRAT. TERM.

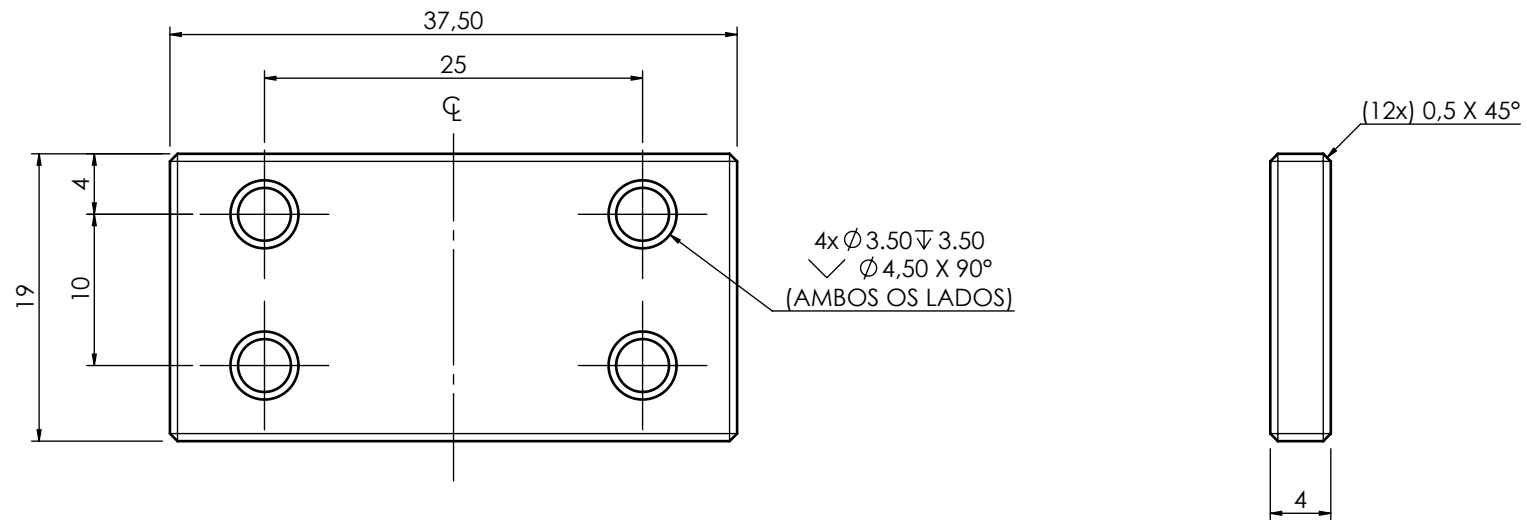


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016				
APROVADO	T. Castro	21/05/2016				
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº		
2:1	MATRIZ SECUNDÁRIA B			TC020		
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL	REVISÃO
ISO 2768-f				1	1.2379	
				TRAT. TERM.		
				HRC 59/62		

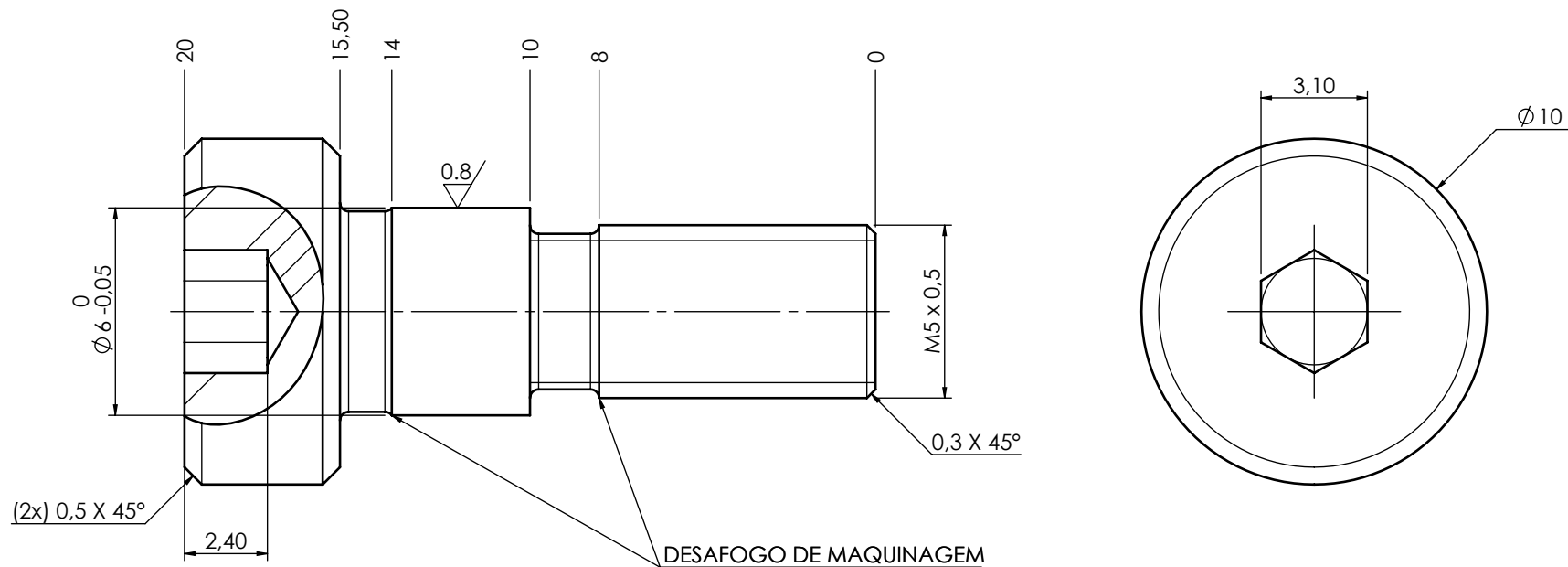


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
2:1	PLACA DE FECHO DA MATRIZ PRINCIPAL			TC021	
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	1.1191			

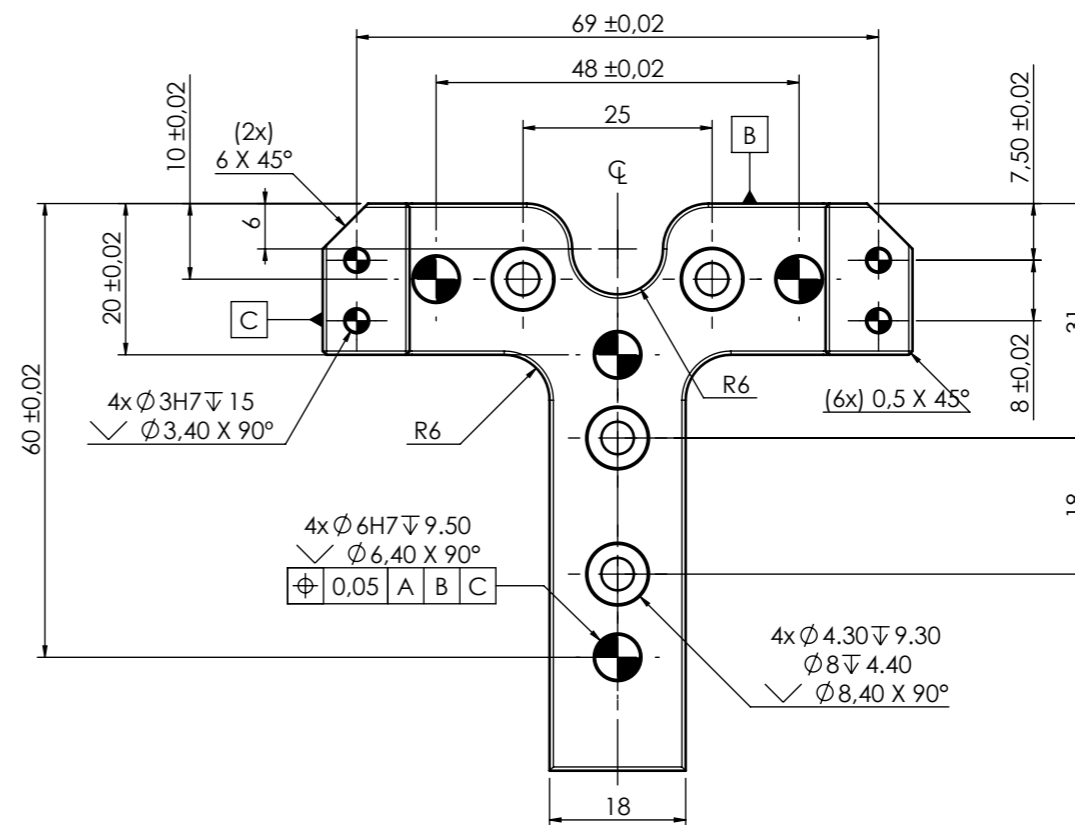
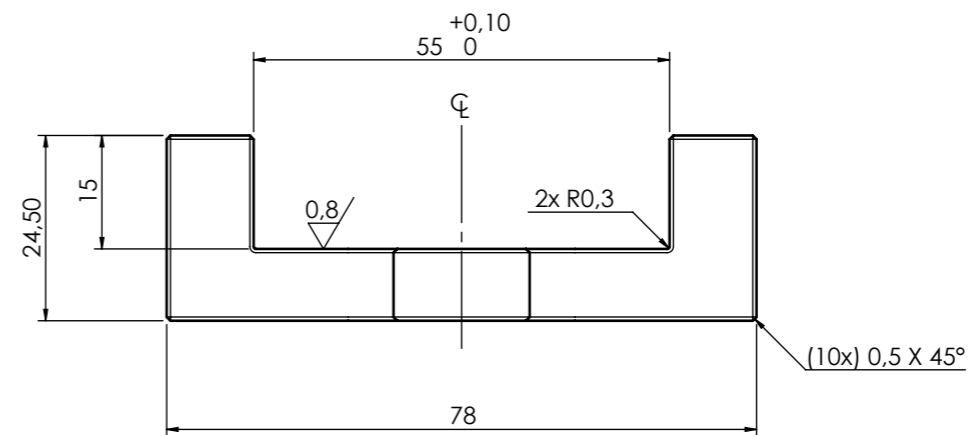
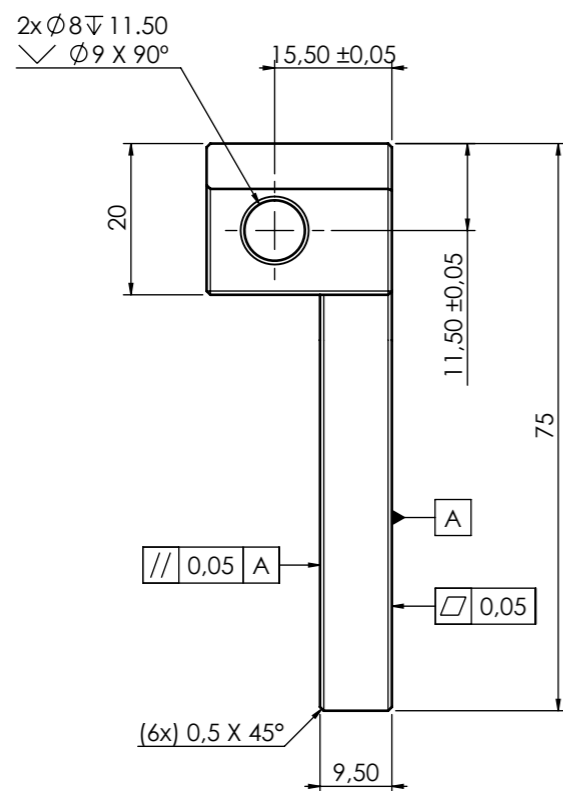


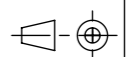
PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

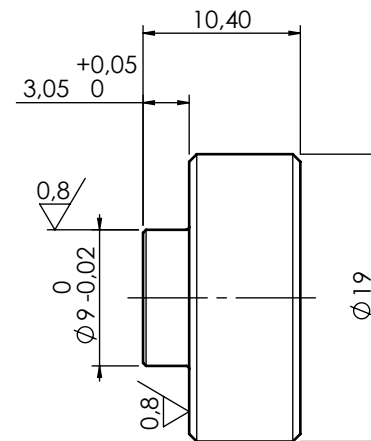
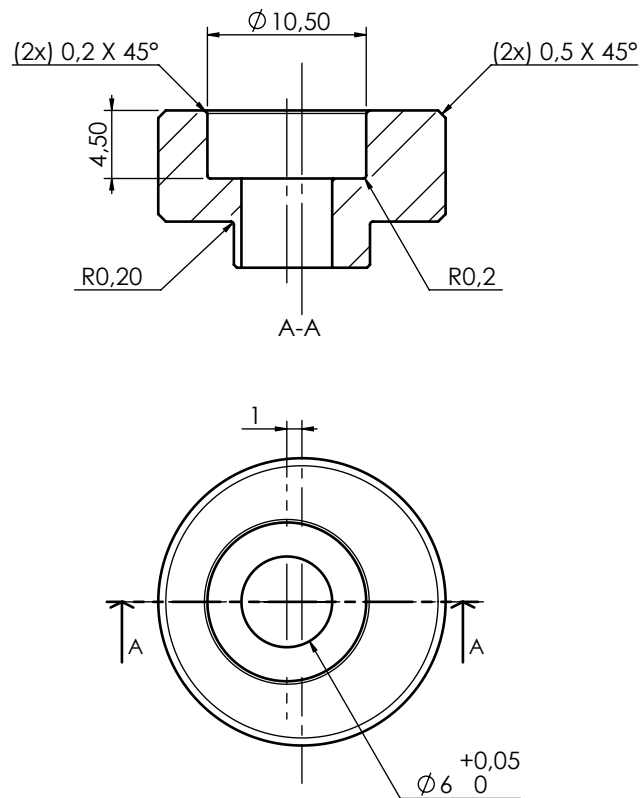
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016				
APROVADO	T. Castro	21/05/2016				
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº		
5:1	PARAFUSO DE AJUSTE M5x8			TC022		
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL	REVISÃO
ISO 2768-f				1	1.1191	
				TRAT. TERM.		



REV.	DESIGNAÇÃO		DES.	DATA
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	REF. CLIENTE	
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A3	
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:		DES. Nº	REVISÃO
1:1	BASE DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO		TC023	
TOL. GERAL ISO 2768-f			QUANT.	MATERIAL
	1	1.1191	TRAT. TERM.	

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É CONFIDENCIAL QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

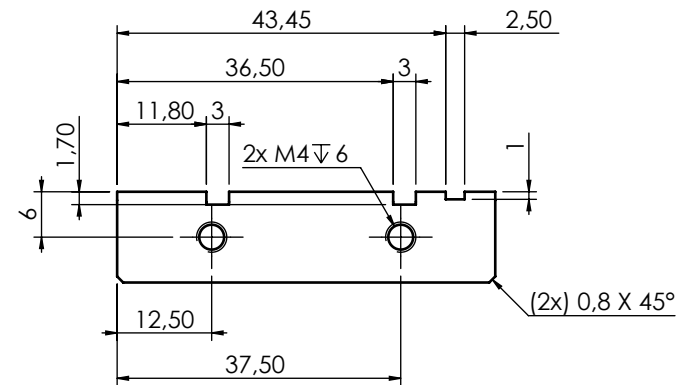
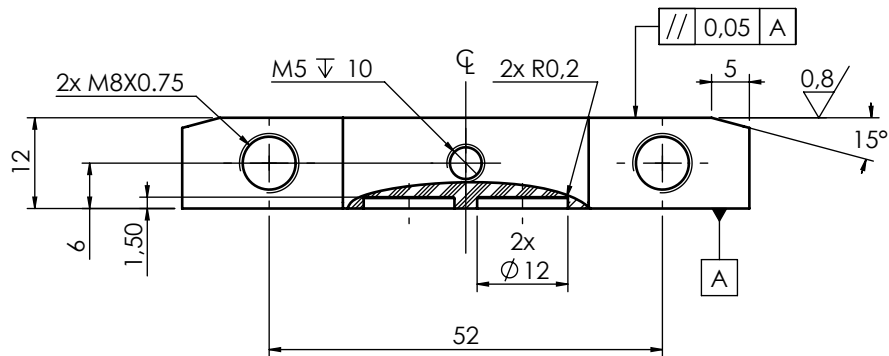
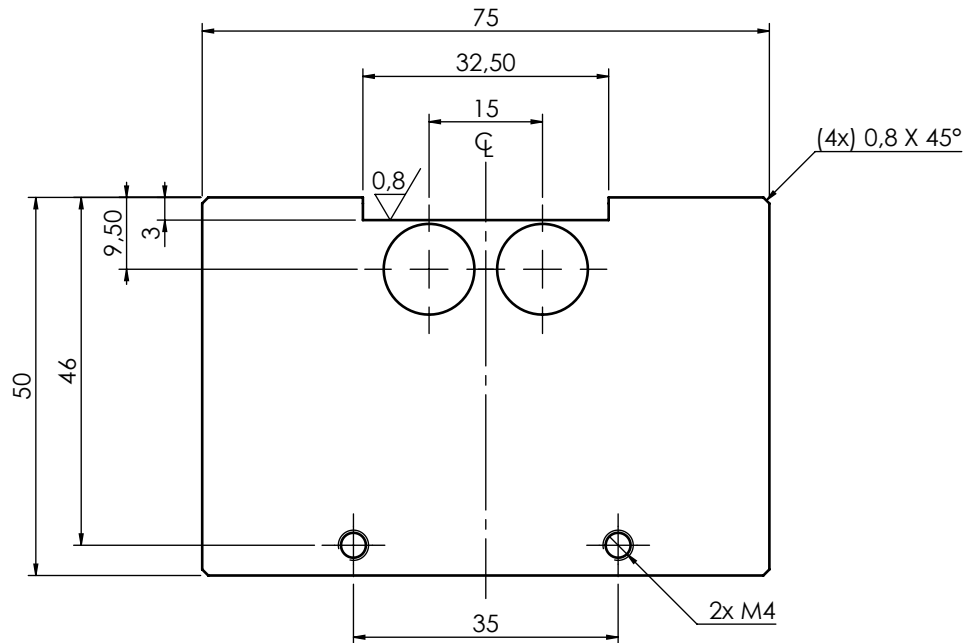


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	 Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°
2:1	CASQUILHO DE AJUSTE DE PRESSÃO DA BOBINA			TC024
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	1.1191
				TRAT. TERM.
				REVISÃO

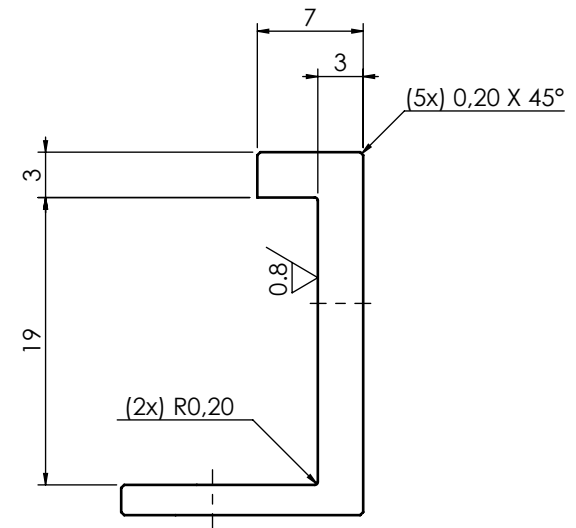
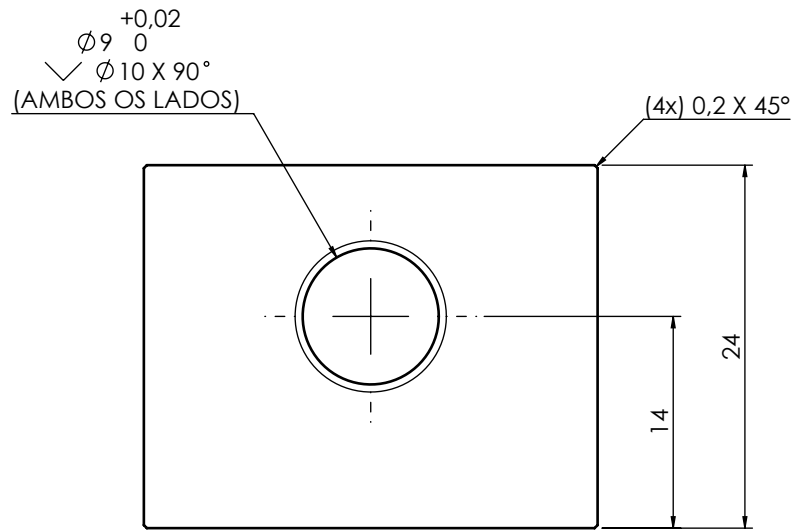
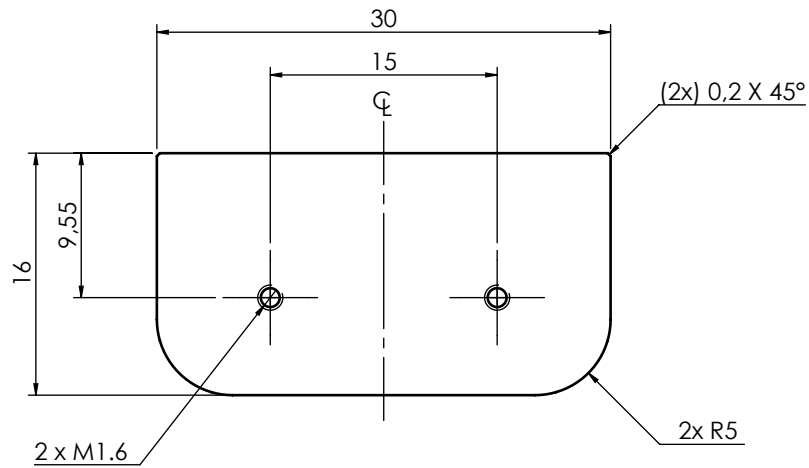


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°
1:1	BASE DO CALCADOR DA BOBINA			TC025
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	ASTM A159
				TRAT. TERM.
				REVISÃO

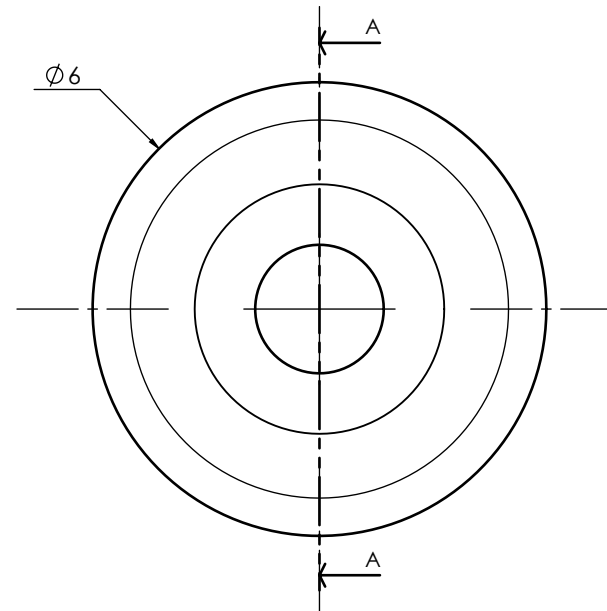
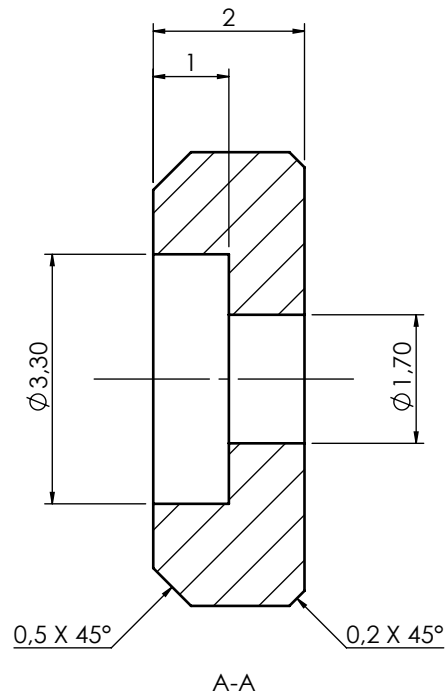


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°	REVISÃO
2:1	<p style="text-align: center;">CALCADOR DA BOBINA</p>			TC026A	
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	AISI 1010			
		TRAT. TERM.			

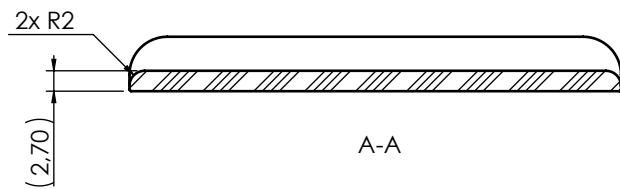
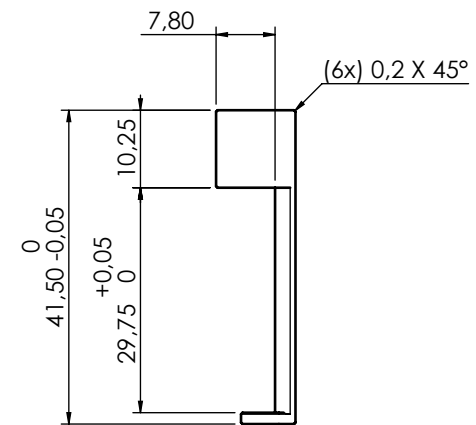
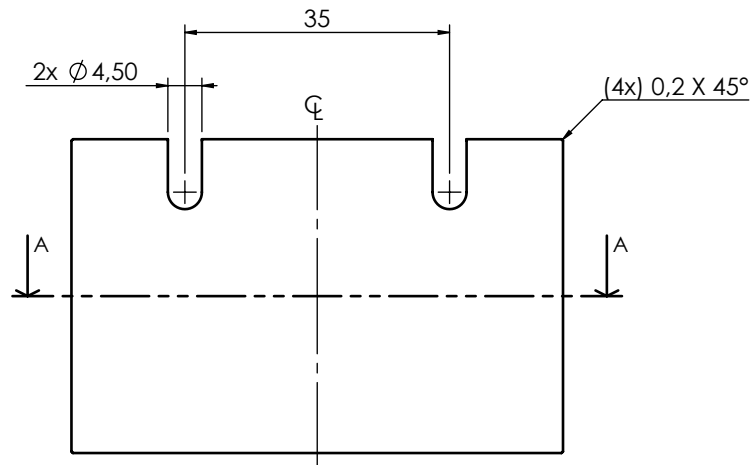
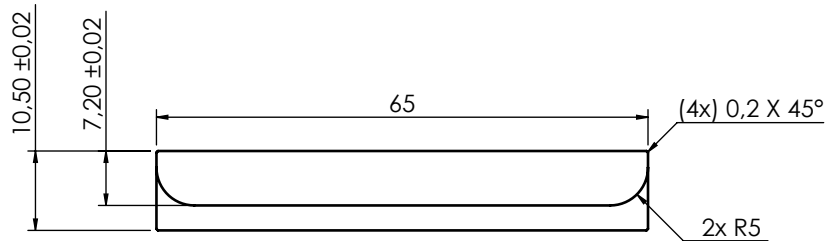


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	 Instituto Superior de Engenharia do Porto		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016				
APROVADO	T. Castro	21/05/2016				
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº		
10:1	GUIAMENTO DA MOLA F			TC026B		
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL	REVISÃO
ISO 2768-f				2	1.1191	
				TRAT. TERM.		

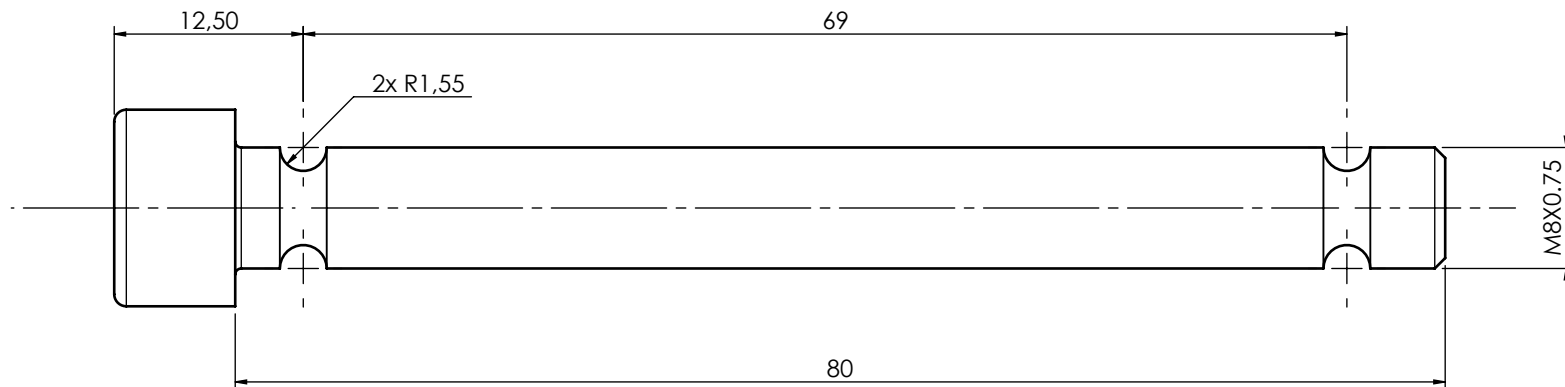


DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:		DES. N°	REVISÃO
1:1	GUIA DA BOBINA		TC027	
TOL. GERAL			QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	ASTM A159	TRAT. TERM.	

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

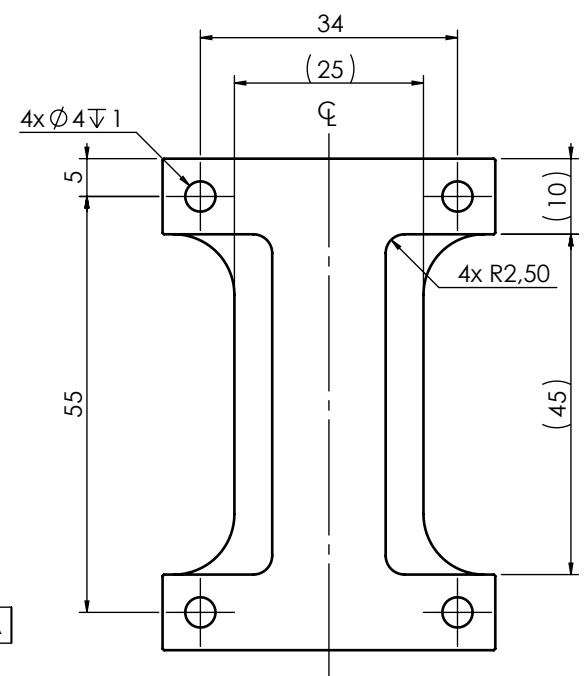
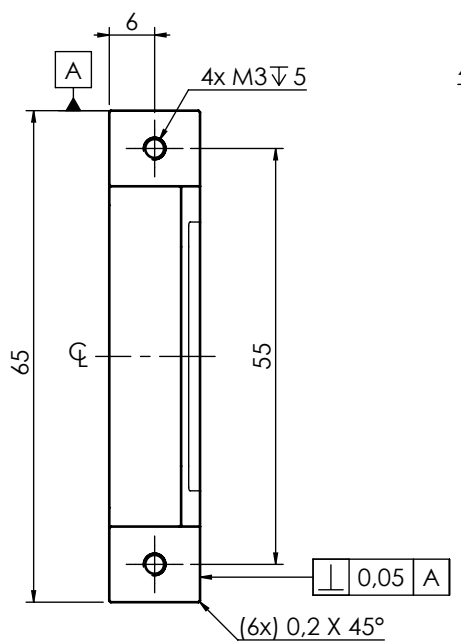
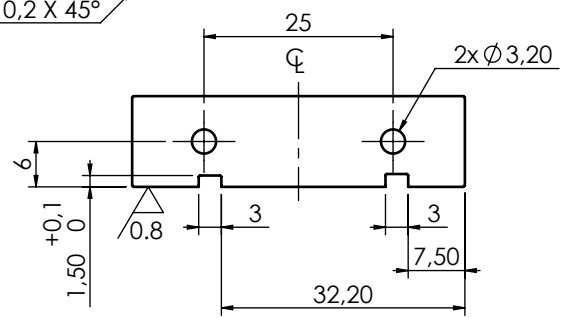
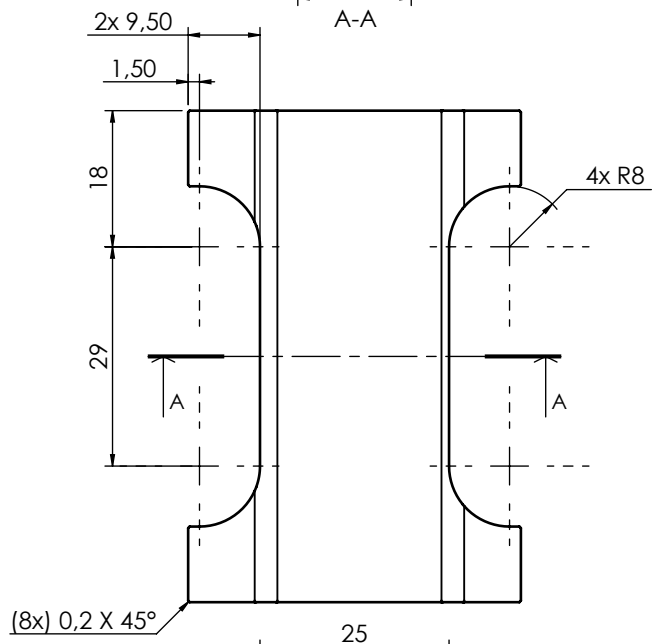
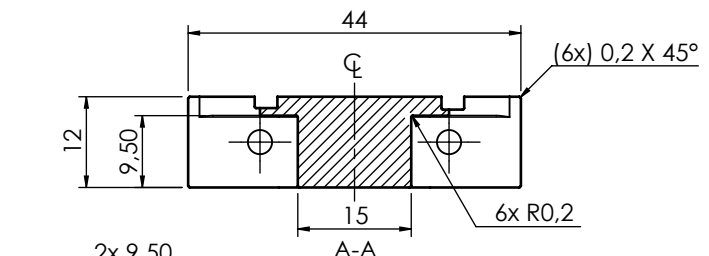


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°	REVISÃO
2:1	PARAFUSO DE GUIAMENTO DA BOBINA M8x80			TC028	
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	PARAF. CHC DIN 912 M8X0,75			
		TRAT. TERM.			



PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016

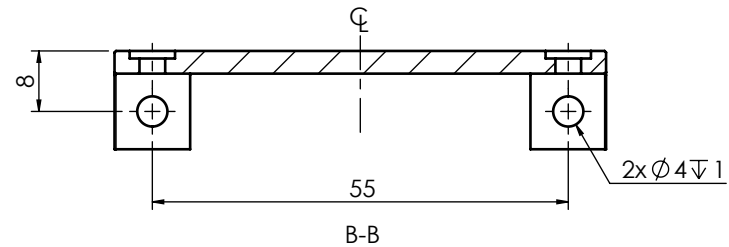
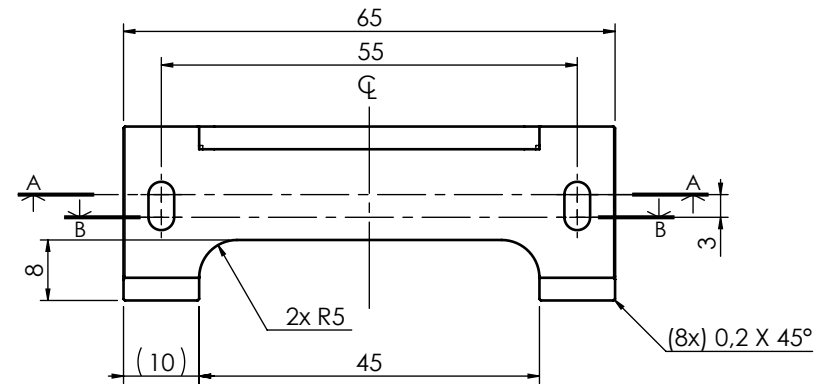
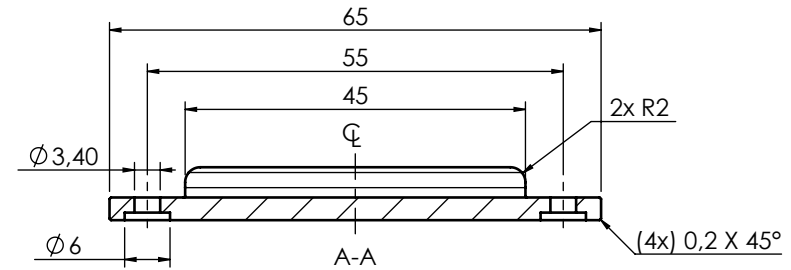
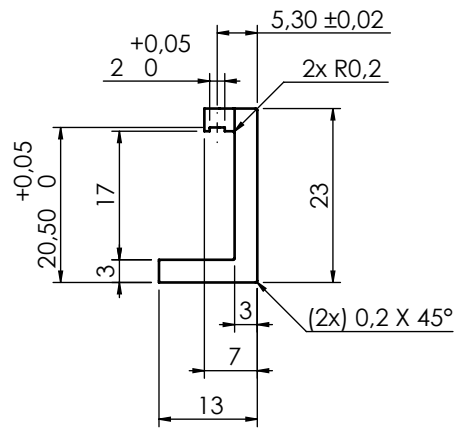
ISO E A4

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

ESCALA	1:1
TOL. GERAL	ISO 2768-f

DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
BASE-GUIA DE ENTRADA DA BOBINA

DES. N°	TC029	REVISÃO	
QUANT.	1	MATERIAL	ASTM A159
		TRAT. TERM.	

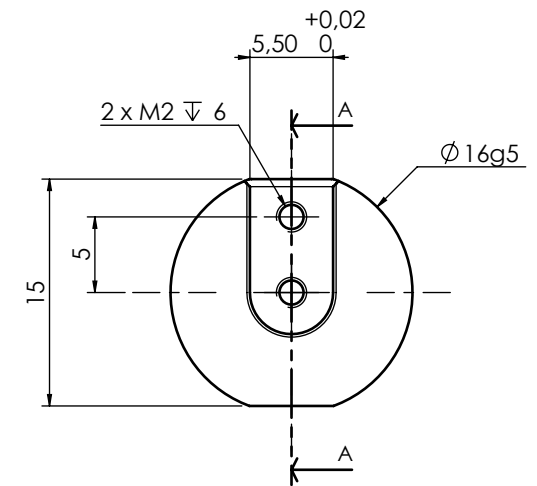
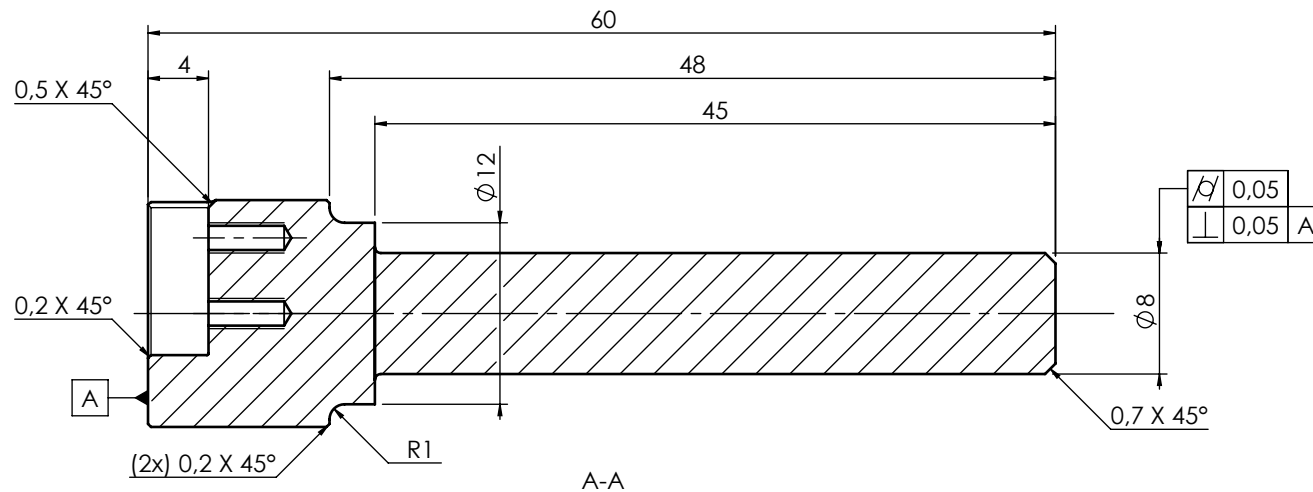


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
1:1	CALCADOR DE ENTRADA DA BOBINA			TC030	
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	AISI 1010			
		TRAT. TERM.			



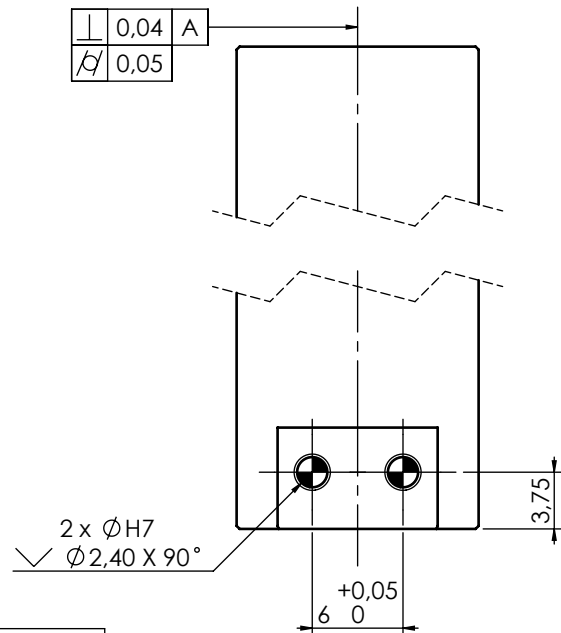
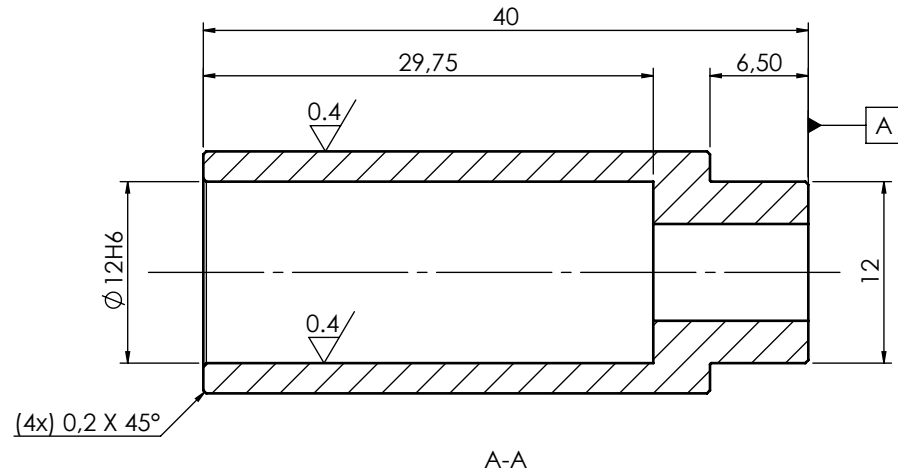
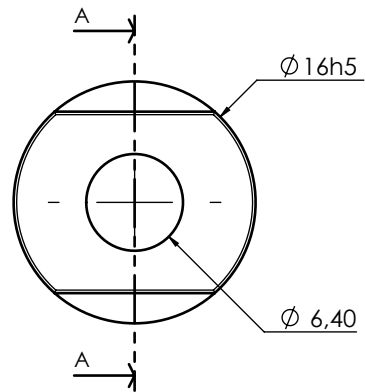
PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E A4	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº
2:1	VEIO DE ALIMENTAÇÃO			TC032A
TOL. GERAL				QUANT.
ISO 2768-f	1	1.1191		
		TRAT. TERM.		

0.8/ [0.4/]

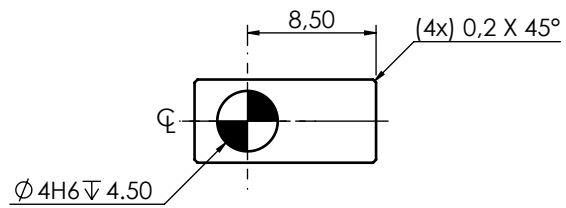
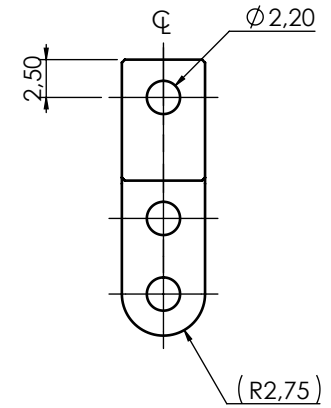
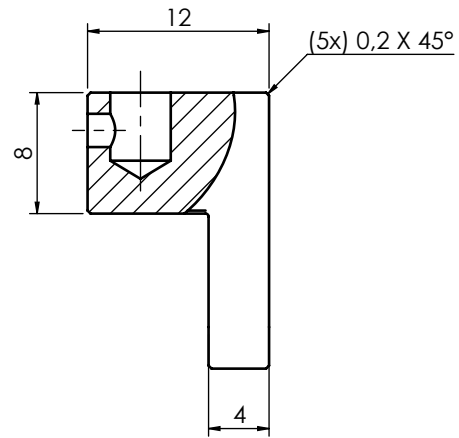
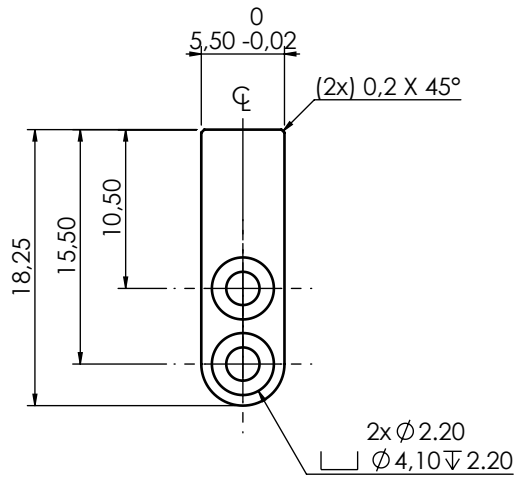


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°	REVISÃO
2:1	<p style="text-align: center;">VEIO OCO DE AVANÇO</p>			TC032B	
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	AISI 1010			
			TRAT. TERM.		

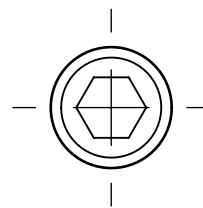
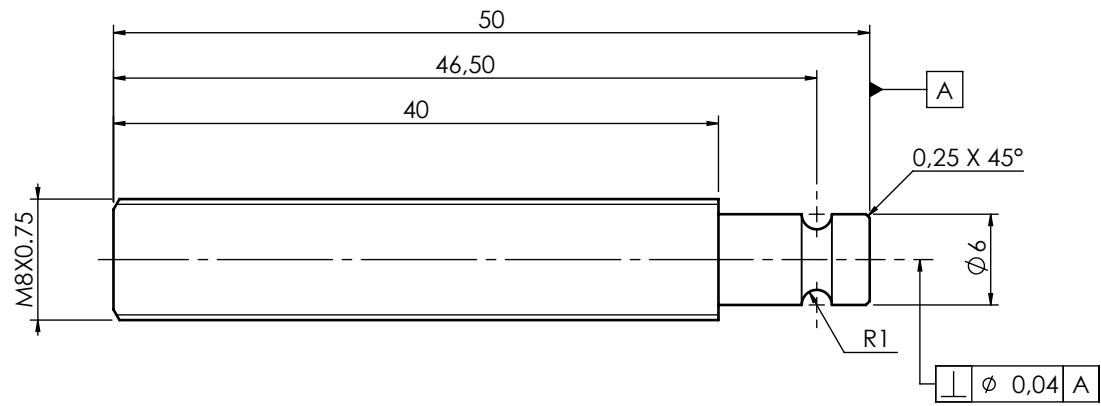


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016					
APROVADO	T. Castro	21/05/2016					
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO		
2:1	<p style="text-align: center;">SUPORTE DA UNHA</p>			TC032C			
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL		
ISO 2768-f				1	1.1191	TRAT. TERM.	



PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016

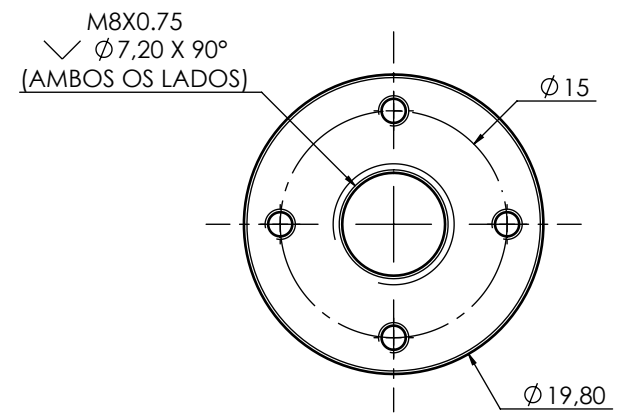
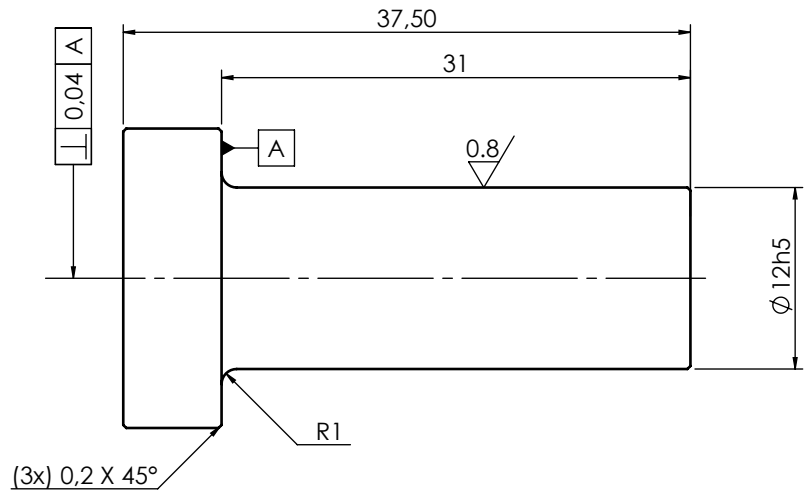
ISO E A4

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

ESCALA	2:1
TOL. GERAL	ISO 2768-f

DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
PARAFUSO DE AJUSTE DO PASSO M8x50

DES. N°	TC032D	REVISÃO	
QUANT.	1	MATERIAL	PERNO M8X50 DIN 913
		TRAT. TERM.	

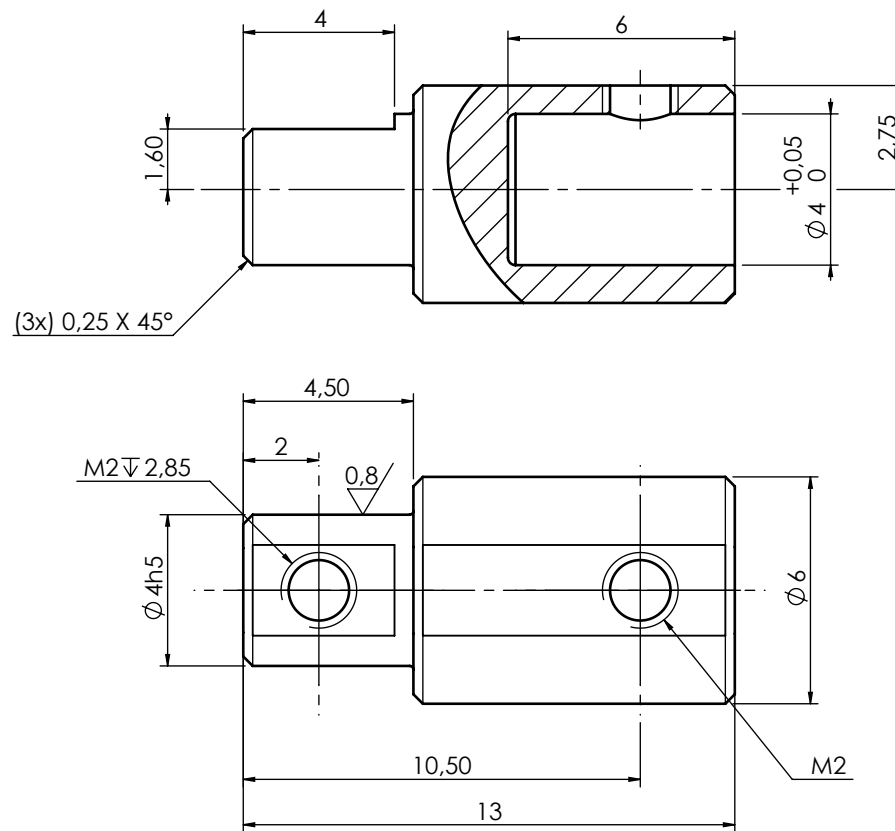


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

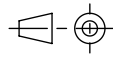

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto		
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016					
APROVADO	T. Castro	21/05/2016					
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°	REVISÃO		
2:1	VEIO ROSCADO INTERIOR AJUSTÁVEL			TC032E			
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL		
ISO 2768-f				1	AISI 1010		
				TRAT. TERM.			

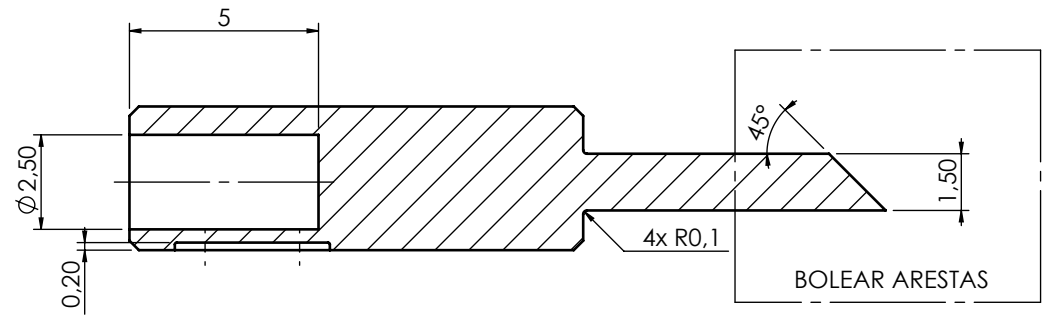
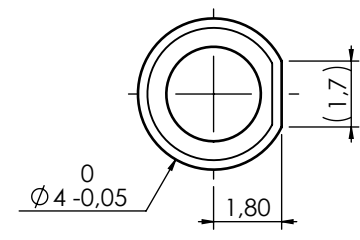
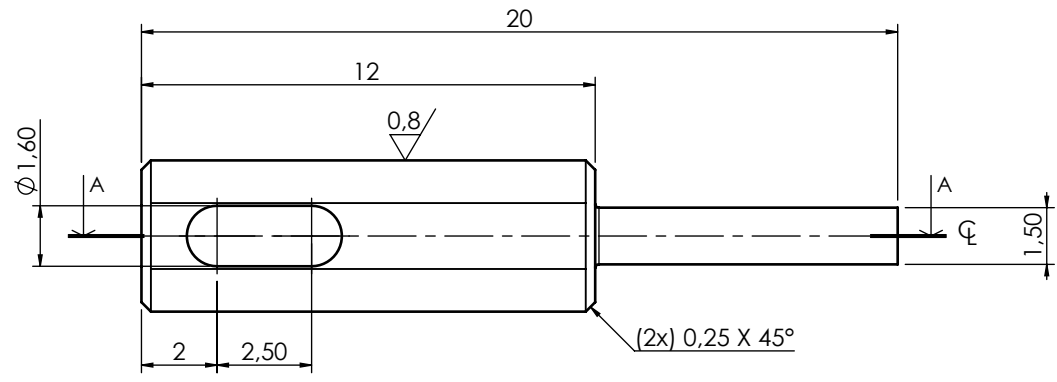


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	 Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº
5:1	<p style="text-align: center;">TRAVÃO DA UNHA</p>			TC033
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	1.1191
				TRAT. TERM.
				REVISÃO



A-A

PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL
 A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016

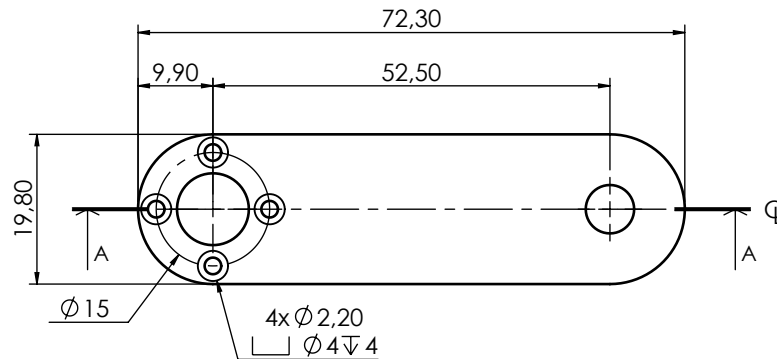
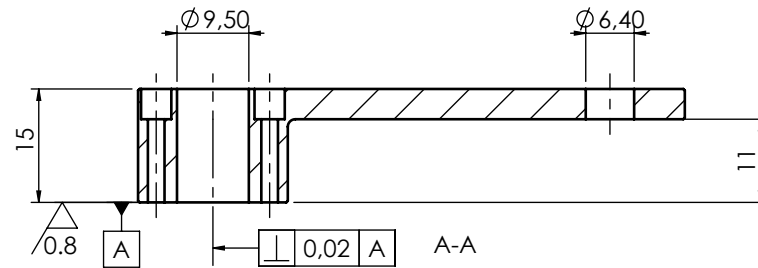
ISO E A4

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

ESCALA	5:1
TOL. GERAL	ISO 2768-f

DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
UNHA DE ALIMENTAÇÃO

DES. Nº	TC034	REVISÃO	
QUANT.	1	MATERIAL	1.1191
		TRAT. TERM.	

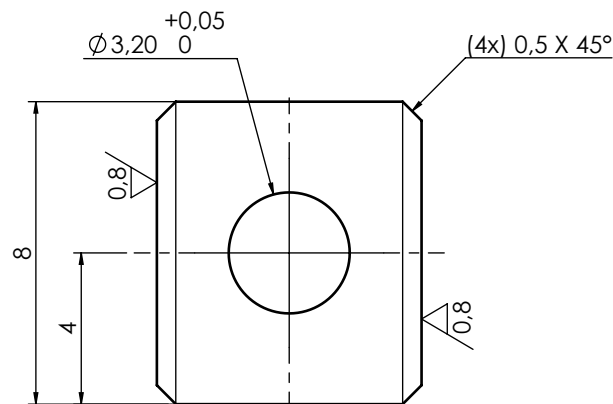
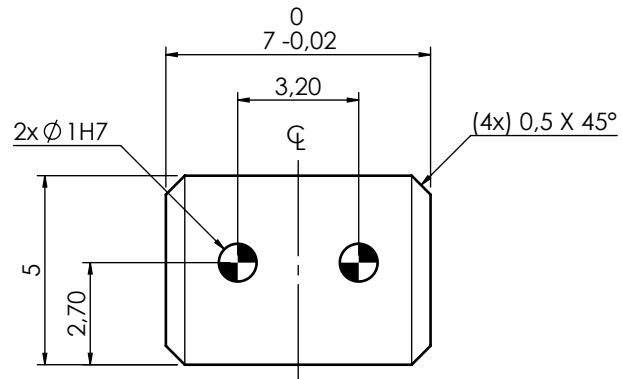


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016		A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016			
APROVADO	T. Castro	21/05/2016			
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº	REVISÃO
1:1	ACOPLAMENTO DO CILINDRO PNEUMÁTICO			TC035	
TOL. GERAL				QUANT.	MATERIAL
ISO 2768-f	1	ASTM A159			
		TRAT. TERM.			

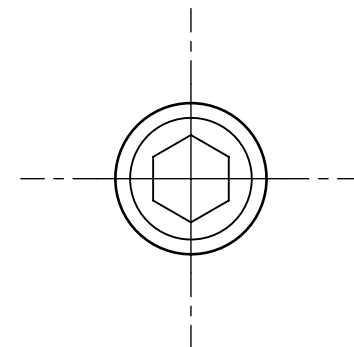
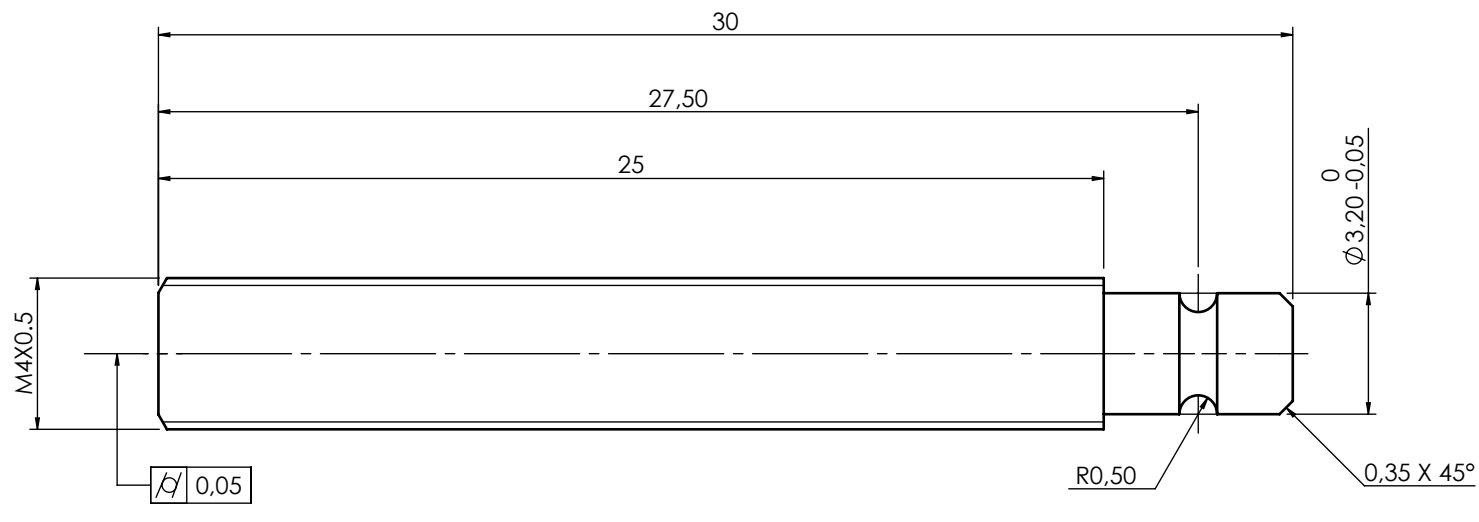


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

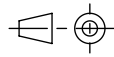
DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	A4	Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº
5:1	BATENTE DE RECVO DA ALIMENTAÇÃO			TC036A
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	1.1191
				TRAT. TERM.
				REVISÃO

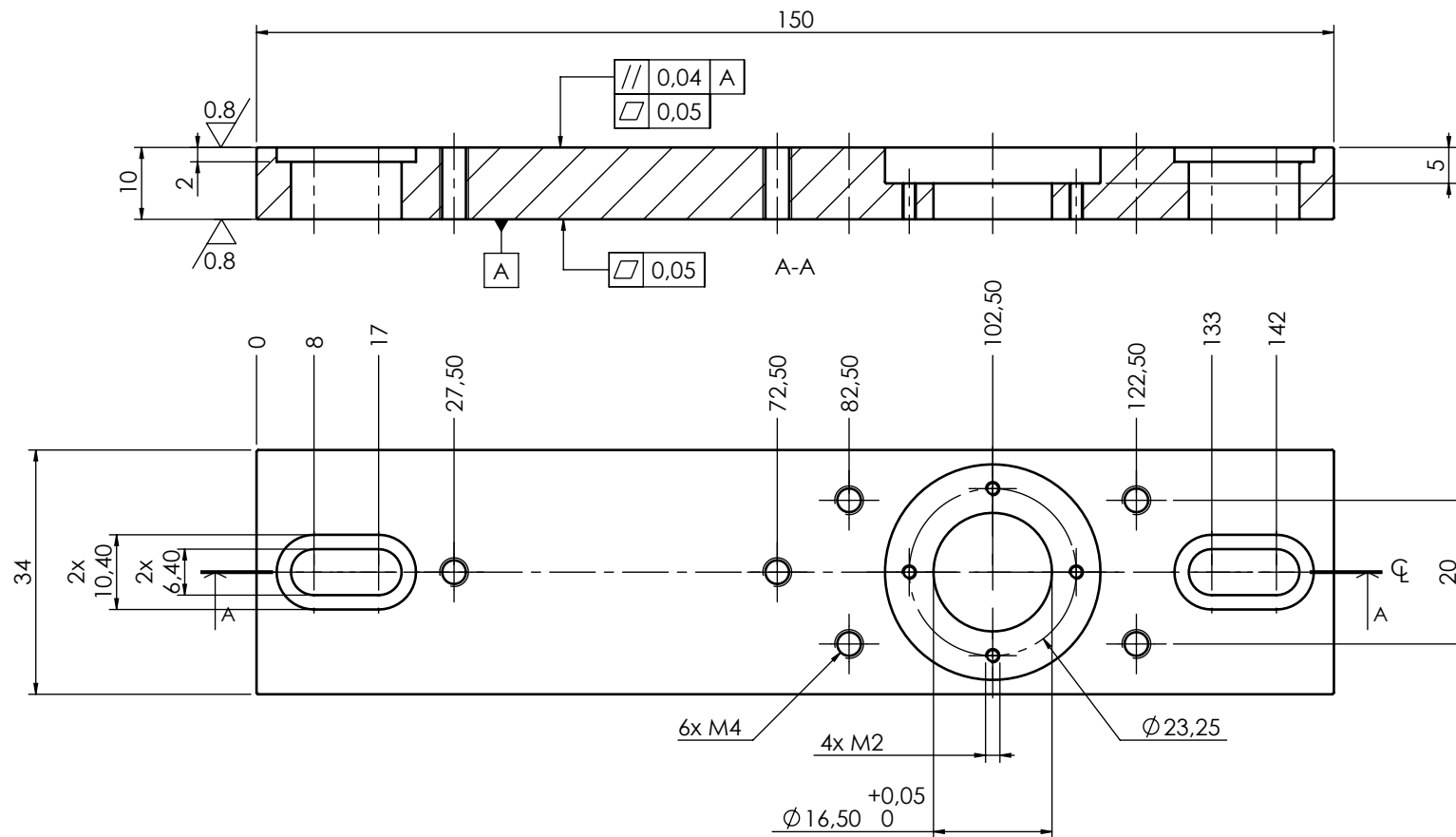


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. N°
5:1	PARAFUSO DE AJUSTE DO BATENTE M4x30			TC036B
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	PERNO M4X30 DIN 913
				TRAT. TERM.
				REVISÃO

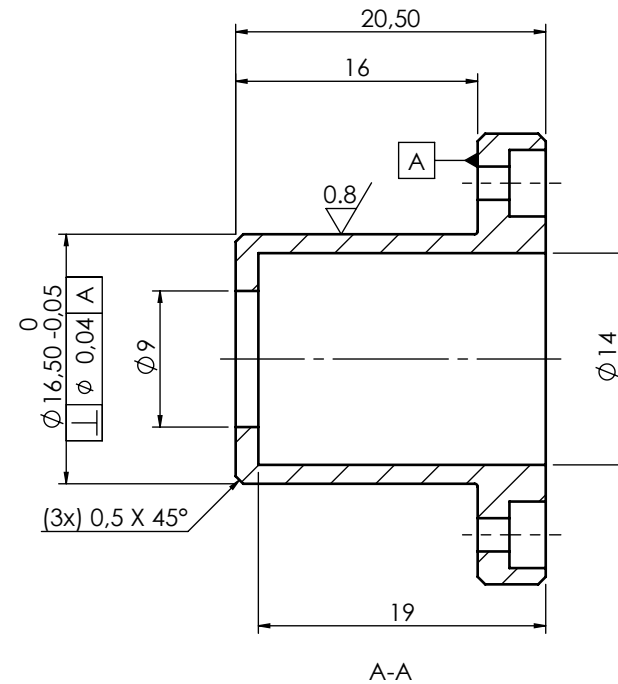
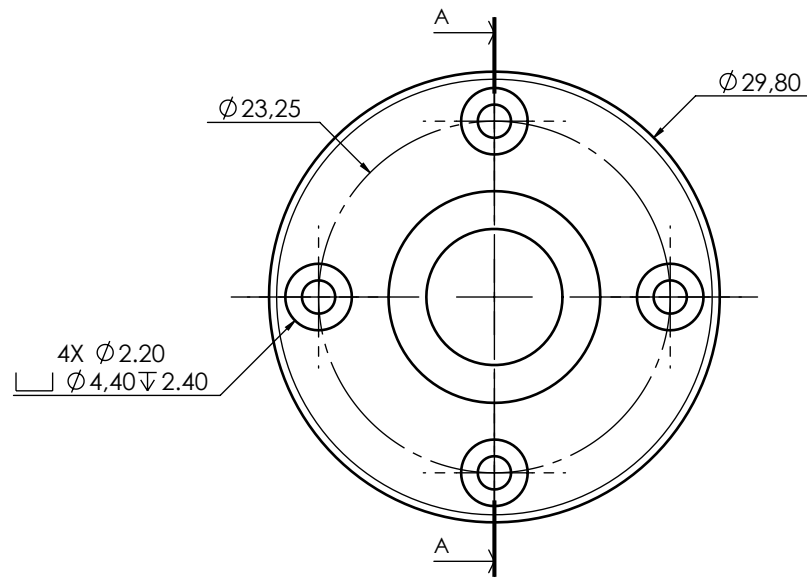


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº
1:1	PLACA DE ALINHAMENTO DO MECANISMO			TC037
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	1.1191
				TRAT. TERM.
				REVISÃO

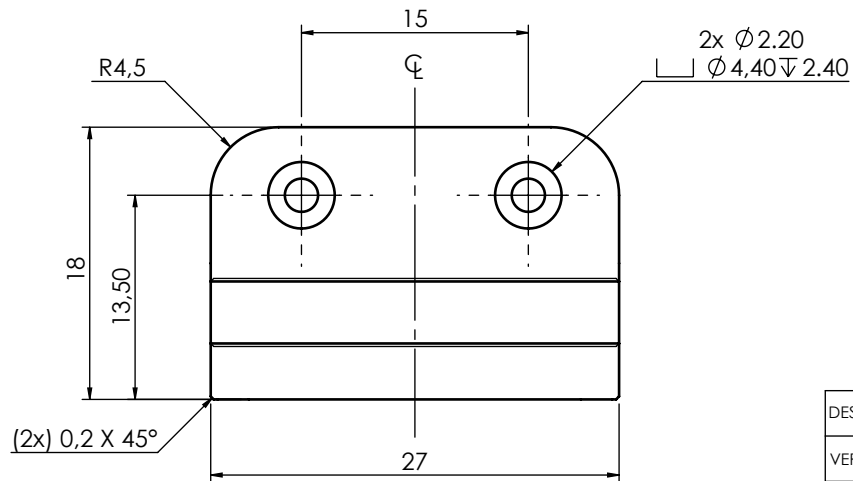
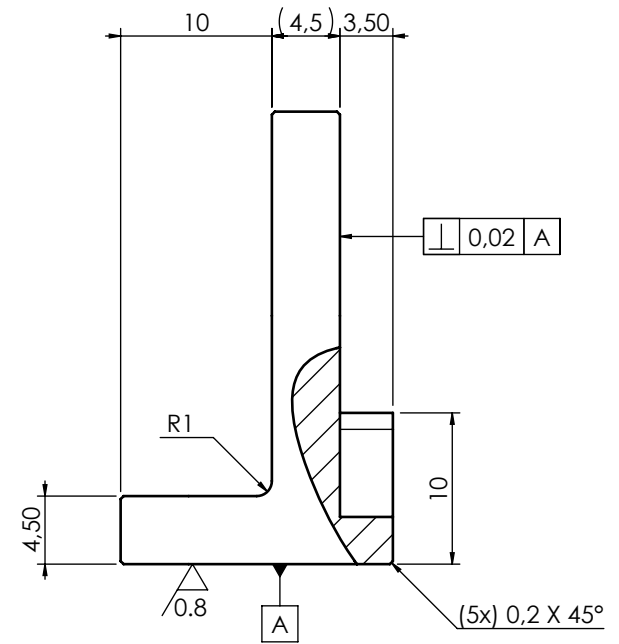
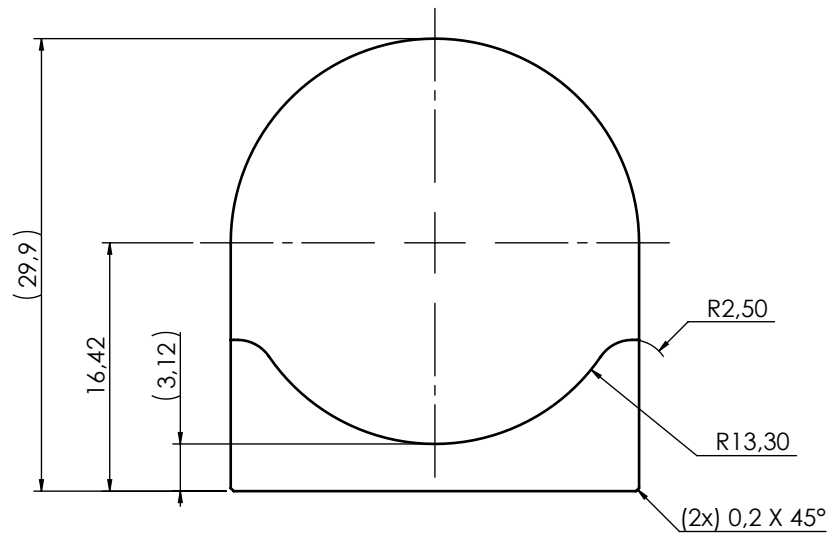


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016	ISO E  A4	 Instituto Superior de Engenharia do Porto
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016		
APROVADO	T. Castro	21/05/2016		
ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:			DES. Nº
2:1	GUIAMENTO DA MOLA I			TC038
TOL. GERAL				ISO 2768-f
			1	1.1191
				TRAT. TERM.
				REVISÃO

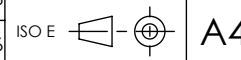


PROPRIEDADE E CONFIDENCIAL

A INFORMAÇÃO CONTIDA NESTE DESENHO É PROPRIEDADE CONFIDENCIAL. QUALQUER REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM PERMISSÃO POR ESCRITO É PROIBIDA.

REV.	DESIGNAÇÃO	DES.	DATA

DESENHADO	T. Castro	21/05/2016
VERIFICADO	T. Castro	21/05/2016
APROVADO	T. Castro	21/05/2016



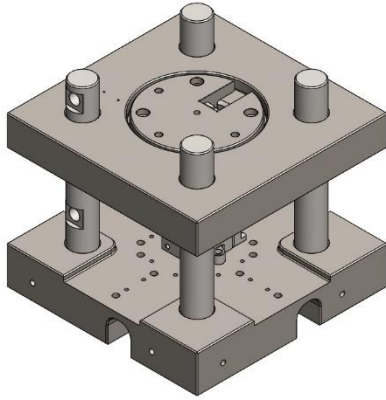
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

ESCALA	DESIGNAÇÃO DA PEÇA:
2:1	SUPORE DO REFLETOR
TOL. GERAL	
ISO 2768-f	

DES. N°	REVISÃO
TC042	
QUANT.	MATERIAL
1	1.1191
	TRAT. TERM.

ANEXO II

Relatório da simulação pelo Método dos Elementos Finitos



Simulation

Date: 26 de março de 2016

Designer: Solidworks

Study name: Press

Analysis type: Static

Table of Contents

Description.....	Erro! Marcador não definido.
Assumptions	2
Model Information	2
Study Properties	6
Units	6
Material Properties	7
Contact Information.....	8
Mesh information	9
Resultant Forces	10
Study Results	11

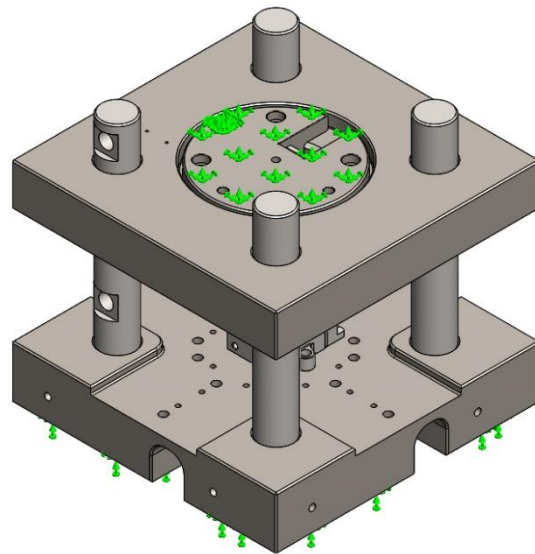


SOLIDWORKS

Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

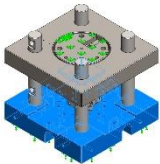
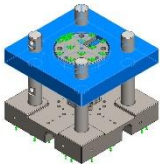
Assumptions

Model Information



Model name: Simul
Current Configuration: Default

Solid Bodies

Label	Treated As	Volumetric Properties	Component
	Solid Body	Mass:10.2717 kg Volume:0.00130517 m ³ Density:7870 kg/m ³ Weight:100.662 N	TC001
	Solid Body	Mass:8.28119 kg Volume:0.00105225 m ³ Density:7870 kg/m ³ Weight:81.1557 N	TC002



	Solid Body	Mass:0.644076 kg Volume:8.25738e-005 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:6.31194 N	TC003A
	Solid Body	Mass:0.688591 kg Volume:8.82808e-005 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:6.74819 N	TC003B
	Solid Body	Mass:0.688591 kg Volume:8.82808e-005 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:6.74819 N	TC003B
	Solid Body	Mass:0.688591 kg Volume:8.82808e-005 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:6.74819 N	TC003B
	Solid Body	Mass:0.986583 kg Volume:0.00012536 m³ Density:7870 kg/m³ Weight:9.66852 N	TC004
	Solid Body	Mass:0.0141865 kg Volume:1.83052e-006 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.139028 N	TC005
	Solid Body	Mass:0.0158183 kg Volume:2.04107e-006 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.155019 N	TC006



	Solid Body	<p>Mass:0.0139262 kg Volume:1.7854e-006 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:0.136476 N</p>	TC007
	Solid Body	<p>Mass:0.0202373 kg Volume:2.61126e-006 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.198325 N</p>	TC008
	Solid Body	<p>Mass:0.00243444 kg Volume:3.14121e-007 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.0238575 N</p>	TC009
	Solid Body	<p>Mass:0.00129255 kg Volume:1.63614e-007 m³ Density:7900 kg/m³ Weight:0.012667 N</p>	TC010
	Solid Body	<p>Mass:0.00202287 kg Volume:2.56059e-007 m³ Density:7900 kg/m³ Weight:0.0198241 N</p>	TC012
	Solid Body	<p>Mass:0.0101257 kg Volume:1.30655e-006 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.0992323 N</p>	TC013
	Solid Body	<p>Mass:0.0393379 kg Volume:5.07586e-006 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.385512 N</p>	TC014



	Solid Body	Mass:0.00464218 kg Volume:5.98991e-007 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.0454934 N	TC015
	Solid Body	Mass:0.144365 kg Volume:1.86278e-005 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:1.41478 N	TC016
	Solid Body	Mass:0.0406058 kg Volume:5.23946e-006 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.397937 N	TC017
	Solid Body	Mass:0.0074884 kg Volume:9.66246e-007 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.0733864 N	TC018
	Solid Body	Mass:0.0048115 kg Volume:6.16859e-007 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:0.0471527 N	TC019
	Solid Body	Mass:0.0207046 kg Volume:2.65444e-006 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:0.202905 N	TC021
	Solid Body	Mass:0.00878308 kg Volume:1.1333e-006 m³ Density:7750 kg/m³ Weight:0.0860742 N	TC022



Study Properties

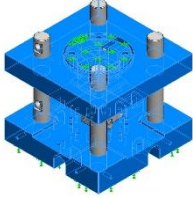
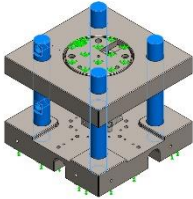
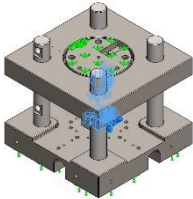
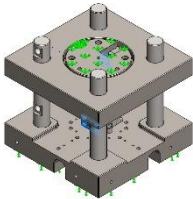
Study name	Press
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off

Units

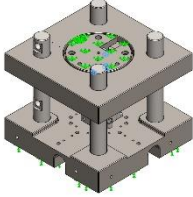
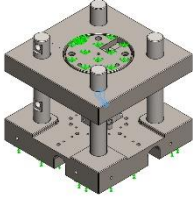
Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²



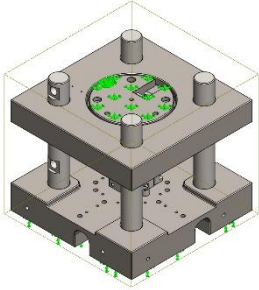
Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	<p> Name: AISI 1010 Steel, hot rolled bar Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 1.8e+008 N/m² Tensile strength: 3.25e+008 N/m² Elastic modulus: 2e+011 N/m² Poisson's ratio: 0.29 Mass density: 7870 kg/m³ Shear modulus: 8e+010 N/m² Thermal expansion coefficient: 1.22e-005 /Kelvin </p>	<p> TC001-1 TC002-1 TC004-1 </p>
	<p> Name: Cast Carbon Steel Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 2.48168e+008 N/m² Tensile strength: 4.82549e+008 N/m² Elastic modulus: 2e+011 N/m² Poisson's ratio: 0.32 Mass density: 7800 kg/m³ Shear modulus: 7.6e+010 N/m² Thermal expansion coefficient: 1.2e-005 /Kelvin </p>	<p> TC003A-1 TC003B-1 TC003B-2 TC003B-3 </p>
	<p> Name: 1.2316 (X36CrMo17) Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 9.35e+008 N/m² Tensile strength: 1.135e+009 N/m² Elastic modulus: 2.07e+011 N/m² Poisson's ratio: 0.28 Mass density: 7750 kg/m³ Shear modulus: 7.9e+010 N/m² Thermal expansion coefficient: 1.1e-005 /Kelvin </p>	<p> TC005-1 TC006-1 TC008-1 TC009-1 TC013-1 TC014-1 TC015-1 TC016-1 TC017-1 TC018-1 TC022-1 </p>
	<p> Name: 1.1191 (C45E) Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 5.65e+008 N/m² Tensile strength: 7.5e+008 N/m² Elastic modulus: 2.1e+011 N/m² Poisson's ratio: 0.28 Mass density: 7800 kg/m³ Shear modulus: 7.9e+010 N/m² Thermal expansion coefficient: 1.1e-005 /Kelvin </p>	<p> TC007-1 TC021-1 </p>



	<p> Name: AISI 1020 Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 3.51571e+008 N/m² Tensile strength: 4.20507e+008 N/m² Elastic modulus: 2e+011 N/m² Poisson's ratio: 0.29 Mass density: 7900 kg/m³ Shear modulus: 7.7e+010 N/m² Thermal expansion coefficient: 1.5e-005 /Kelvin </p>	<p> TC010-1 TC010-2 TC012-1 </p>
	<p> Name: 1.1121 (C10E) Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 3.45e+008 N/m² Tensile strength: 4.3e+008 N/m² Elastic modulus: 2.1e+011 N/m² Poisson's ratio: 0.28 Mass density: 7800 kg/m³ Shear modulus: 7.9e+010 N/m² Thermal expansion coefficient: 1.1e-005 /Kelvin </p>	<p>TC019-1</p>

Contact Information

Contact	Contact Image	Contact Properties
<p>Global Contact</p>		<p> Type: Bonded Components: 1 component(s) Options: Compatible mesh </p>



Mesh information

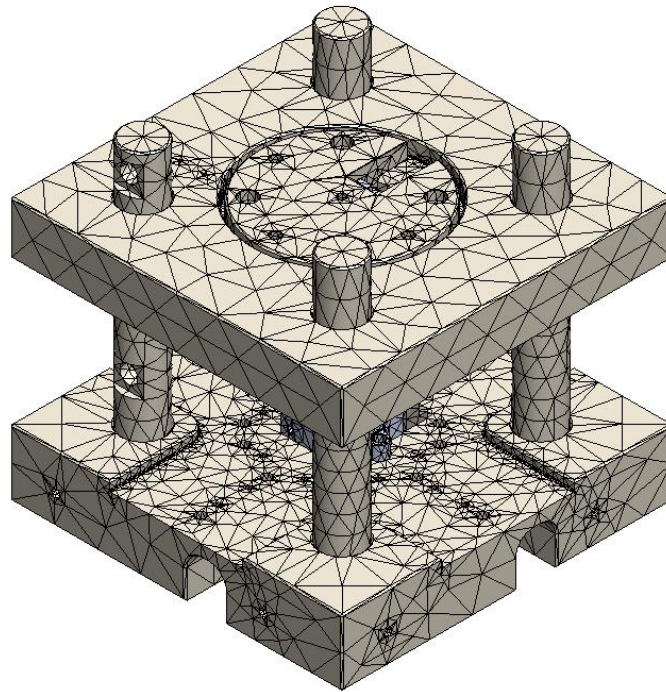
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	At Nodes
Maximum element size	22.8813 mm
Minimum element size	2.37627 mm
Mesh Quality	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	On

Mesh information - Details

Total Nodes	208361
Total Elements	136216
Maximum Aspect Ratio	62.247
% of elements with Aspect Ratio < 3	79.8
% of elements with Aspect Ratio > 10	2.52
% of distorted elements(Jacobian)	0.677
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:23



Model name: Simul
Study name: Press(-Default-)
Mesh type: Solid Mesh



Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	0.0830002	-958.185	0.0195827	958.185

Reaction Moments

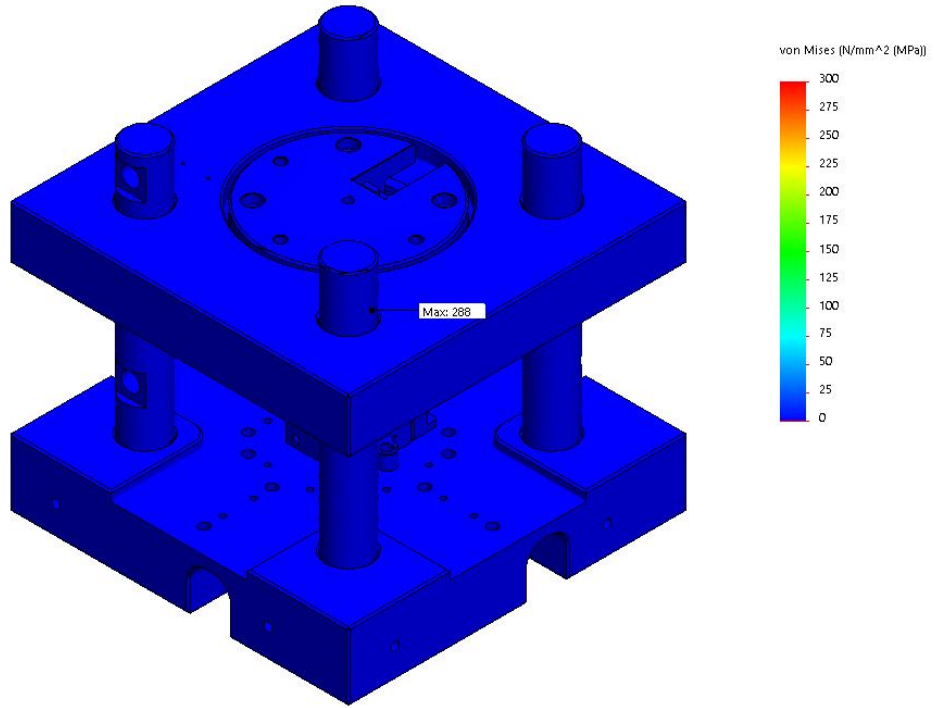
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0



Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	2.04311e-005 N/mm ² (MPa) Node: 142270	288.078 N/mm ² (MPa) Node: 171233

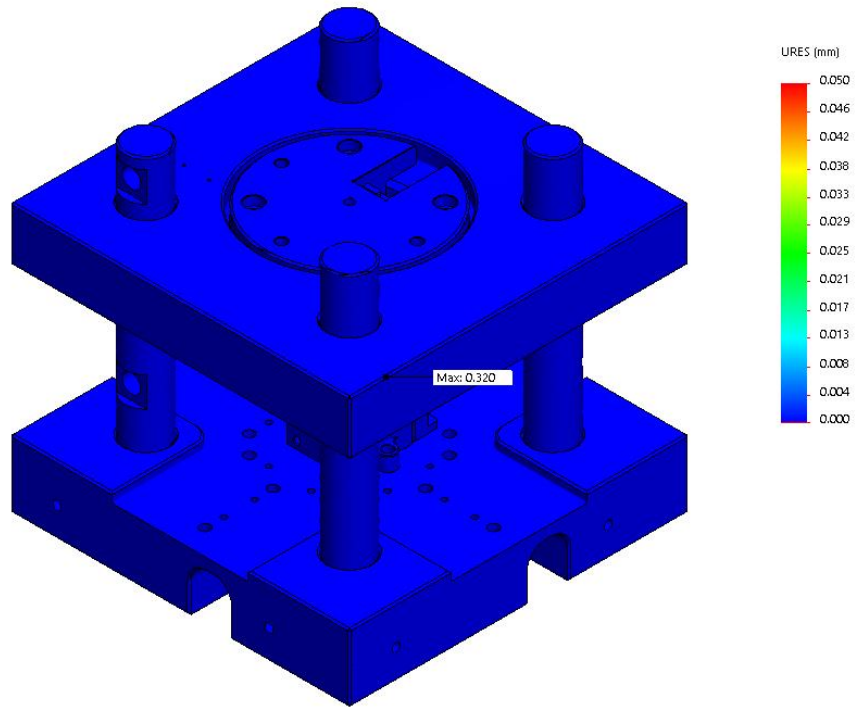
Model name: Simul
 Study name: Press(-Default-)
 Plot type: Static nodal stress: Stress1
 Deformation scale: 1



Simul-Press-Stress-Stress1

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 51	0.320226 mm Node: 205011

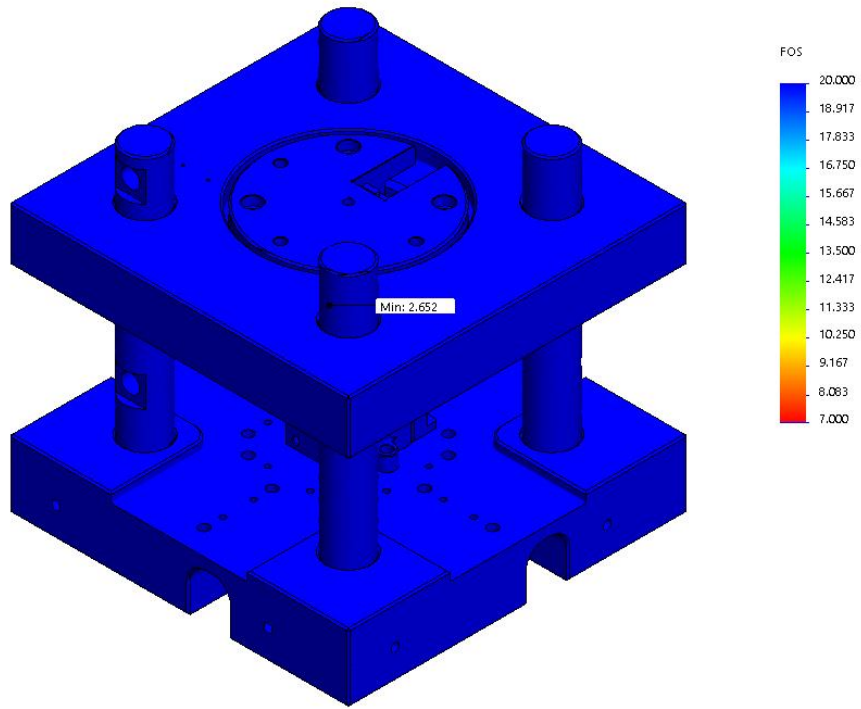
Model name: Simul
 Study name: Press(-Default-)
 Plot type: Static displacement Displacement1
 Deformation scale: 10



Simul-Press-Displacement-Displacement1

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Automatic	2.65222 Node: 149127	1.21466e+007 Node: 142270

Model name: Simul
Study name: Press(-Default-)
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
Criterion : Automatic
Factor of safety distribution: Min FOS = 2.7



Simul-Press-Factor of Safety-Factor of Safety1



SOLIDWORKS

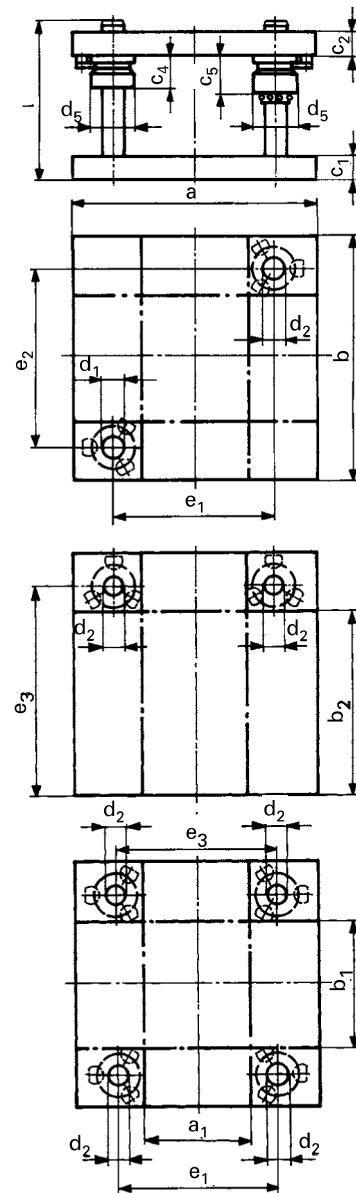
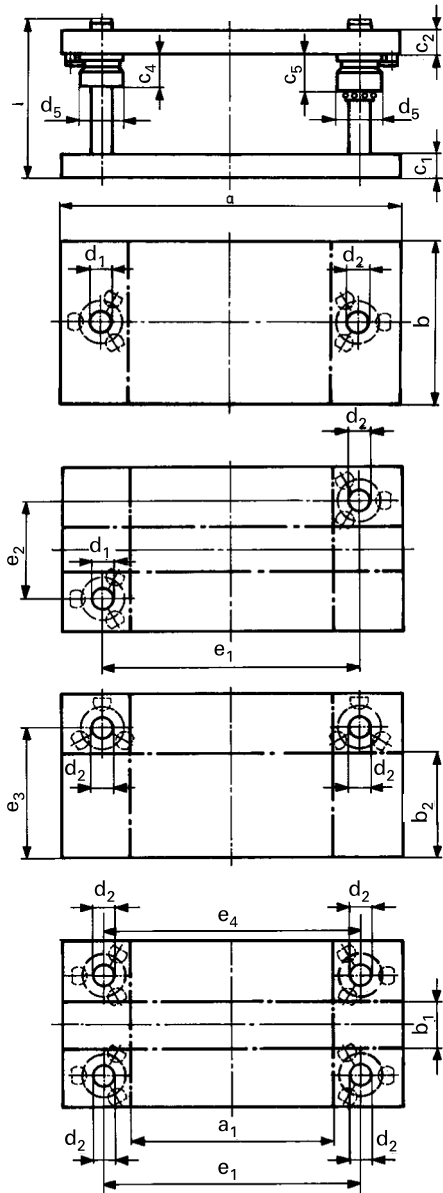
Analyzed with SOLIDWORKS Simulation

ANEXO III

Especificações dos componentes normalizados do módulo de estrutura

Die sets ST 35..

without stripper plate



Rectangular working area
2 or 4 pillars

Material: 1.0570 (St 52.3) aluminium on request

The plates are cleanly flame cut and normalized.
Upon request edges finished. Please state on order.

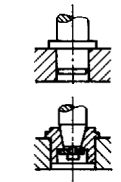
Position of bushings:

Normally the positions of bushings will be as shown. If different positions are required indicate this on the order.

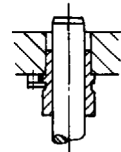
DIN 9868

Different Guide pillars length on request

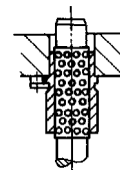
Lifting devices see under accessories



Removable pillars upon request
ST 7120 or
ST 7181/82

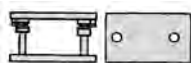


Sliding guide
hardened
steel bushing
bronze plated
Guide bushing with shoulder ST 7419 (medium version)



Ball guide
Guide bushing with shoulder ST 7412 long version
Cage travel = 1/2 length of stroke

Add size and combination of plates



Order no. **ST 3539.**

Order no. **ST 3532.**

x



Order no. **ST 3549.**

Order no. **ST 3542.**

x



Order no. **ST 3559.**

Order no. **ST 3552.**

x



Order no. **ST 3569.**

Order no. **ST 3562.**

x

Die sets ST 35..

without stripper plate

Order example:

Die set with 2 rear mounted pillars,
bronze-plated steel **ST 3559**, sliding guide
Size a x b = 250 x 250
c₁ = 40, c₂ = 32
Add **250 x 250.3**
Order number **ST 3559. 250 x 250.3**

Add
size and combination
of plates
to order number

a x b	a ₁	b ₁	b ₂	c ₁ ^{+0,5} _{+0,2}	c ₂ ^{+0,5} _{+0,2}	c ₄	c ₅	d ₅	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	ST 7100 d ₁ /d ₂ x l	
160 x 80	60	-	-	32	32	20	36	40	100	-	50	-	19/20 x 160	160 x 080
160 x 100	60	-	50	32	32	20	36	40	100	-	70	-	19/20 x 160	160 x 100
160 x 125	60	-	75	32	32	20	36	40	100	-	95	-	19/20 x 160	160 x 125
160 x 160	60	60	110	32	32	20	36	40	100	100	130	103	19/20 x 160	160 x 160
200 x 100	70	-	-	40	40	37	57	48	120	-	-	-	24/25 x 180	200 x 100.1
				32	40									200 x 100.2
				40	32									200 x 100.3
				32	32									200 x 100.4
200 x 125	70	-	60	40	40	37	57	48	120	-	85	-	24/25 x 180	200 x 125.1
				32	40									200 x 125.2
				40	32									200 x 125.3
				32	32									200 x 125.4
200 x 160	70	-	95	40	40	37	57	48	120	-	120	-	24/25 x 180	200 x 160.1
				32	40									200 x 160.2
				40	32									200 x 160.3
				32	32									200 x 160.4
200 x 200	70	70	135	40	40	37	57	48	120	120	160	123	24/25 x 180	200 x 200.1
				32	40									200 x 200.2
				40	32									200 x 200.3
				32	32									200 x 200.4
250 x 125	120	-	60	40	40	37	57	48	170	-	85	-	24/25 x 180	250 x 125.1
				32	40									250 x 125.2
				40	32									250 x 125.3
				32	32									250 x 125.4
250 x 160	120	-	95	40	40	37	57	48	170	-	120	-	24/25 x 180	250 x 160.1
				32	40									250 x 160.2
				40	32									250 x 160.3
				32	32									250 x 160.4
250 x 200	120	70	135	40	40	37	57	48	170	120	160	173	24/25 x 180	250 x 200.1
				32	40									250 x 200.2
				40	32									250 x 200.3
				32	32									250 x 200.4
250 x 250	120	120	185	40	40	37	57	48	170	170	210	173	24/25 x 180	250 x 250.1
				32	40									250 x 250.2
				40	32									250 x 250.3
				32	32									250 x 250.4
315 x 160	165	-	85	50	50	45	63	56	225	-	115	-	30/32 x 200	315 x 160.1
				40	50									315 x 160.2
				50	40									315 x 160.3
				40	40									315 x 160.4
315 x 200	165	50	125	50	50	45	63	56	225	110	155	228	30/32 x 200	315 x 200.1
				40	50									315 x 200.2
				50	40									315 x 200.3
				40	40									315 x 200.4
315 x 250	165	100	175	50	50	45	63	56	225	160	205	228	30/32 x 200	315 x 250.1
				40	50									315 x 250.2
				50	40									315 x 250.3
				40	40									315 x 250.4
315 x 315	165	165	240	50	50	45	63	56	225	225	270	228	30/32 x 200	315 x 315.1
				40	50									315 x 315.2
				50	40									315 x 315.3
				40	40									315 x 315.4
400 x 200	250	50	125	50	50	45	63	56	310	110	155	313	30/32 x 200	400 x 200.1
				40	50									400 x 200.2
				50	40									400 x 200.3
				40	40									400 x 200.4
400 x 250	250	100	175	50	50	45	63	56	310	160	205	313	30/32 x 200	400 x 250.1
				40	50									400 x 250.2
				50	40									400 x 250.3
				40	40									400 x 250.4

Die sets ST 35..

without stripper plate

STEINEL®
NORMALIEN

Order example:

Die set with 2 rear mounted pillars,
bronze-plated steel **ST 3559**, sliding guide
Size a x b = 250 x 250
c₁ = 40, c₂ = 32
Add **250 x 250.3**
Order number **ST 3559. 250 x 250.3**

Add
size and combination
of plates
to order number

a x b	a ₁	b ₁	b ₂	c ₁ ^{+0,5} _{1+0,2}	c ₂ ^{+0,5} _{2+0,2}	c ₄	c ₅	d ₅	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	ST 7100 d ₁ /d ₂ x l	
400 x 315	250	165	240	50	50	45	63	56	310	225	270	313	30/32 x 200	400 x 315.1
				40	50									400 x 315.2
				50	40									400 x 315.3
				40	40									400 x 315.4
400 x 400	250	250	325	50	50	45	63	56	310	310	355	313	30/32 x 200	400 x 400.1
				40	50									400 x 400.2
				50	40									400 x 400.3
				40	40									400 x 400.4
500 x 250	330	80	165	50	50	45	70	66	400	150	200	403	38/40 x 200	500 x 250.1
				40	50									500 x 250.2
				50	40									500 x 250.3
				40	40									500 x 250.4
500 x 315	330	145	230	50	50	45	70	66	400	215	265	403	38/40 x 200	500 x 315.1
				40	50									500 x 315.2
				50	40									500 x 315.3
				40	40									500 x 315.4
500 x 400	330	230	315	50	50	45	70	66	400	300	350	403	38/40 x 200	500 x 400.1
				40	50									500 x 400.2
				50	40									500 x 400.3
				40	40									500 x 400.4
500 x 500	330	330	415	50	50	45	70	66	400	400	450	403	38/40 x 200	500 x 500.1
				40	50									500 x 500.2
				50	40									500 x 500.3
				40	40									500 x 500.4
630 x 315	430	115	215	63	63	50	80	80	510	195	255	513	48/50 x 250	630 x 315.1
				50	63								48/50 x 224	630 x 315.2
				63	50								48/50 x 250	630 x 315.3
				50	50								48/50 x 224	630 x 315.4
630 x 400	430	200	300	63	63	50	80	80	510	280	340	513	48/50 x 250	630 x 400.1
				50	63								48/50 x 224	630 x 400.2
				63	50								48/50 x 250	630 x 400.3
				50	50								48/50 x 224	630 x 400.4
630 x 500	430	300	400	63	63	50	80	80	510	380	440	513	48/50 x 250	630 x 500.1
				50	63								48/50 x 224	630 x 500.2
				63	50								48/50 x 250	630 x 500.3
				50	50								48/50 x 224	630 x 500.4
630 x 630	430	430	530	63	63	50	80	80	510	510	570	513	48/50 x 250	630 x 630.1
				50	63								48/50 x 224	630 x 630.2
				63	50								48/50 x 250	630 x 630.3
				50	50								48/50 x 224	630 x 630.4
710 x 400	510	200	300	63	63	50	80	80	590	280	340	593	48/50 x 250	710 x 400.1
				50	63								48/50 x 224	710 x 400.2
				63	50								48/50 x 250	710 x 400.3
				50	50								48/50 x 224	710 x 400.4
710 x 500	510	300	400	63	63	50	80	80	590	380	440	593	48/50 x 250	710 x 500.1
				50	63								48/50 x 224	710 x 500.2
				63	50								48/50 x 250	710 x 500.3
				50	50								48/50 x 224	710 x 500.4
710 x 630	510	430	530	63	63	50	80	80	590	510	570	593	48/50 x 250	710 x 630.1
				50	63								48/50 x 224	710 x 630.2
				63	50								48/50 x 250	710 x 630.3
				50	50								48/50 x 224	710 x 630.4
800 x 400	600	200	300	63	63	50	80	80	680	280	340	683	48/50 x 250	800 x 400.1
				50	63								48/50 x 224	800 x 400.2
				63	50								48/50 x 250	800 x 400.3
				50	50								48/50 x 224	800 x 400.4
800 x 500	600	300	400	63	63	50	80	80	680	380	440	683	48/50 x 250	800 x 500.1
				50	63								48/50 x 224	800 x 500.2
				63	50								48/50 x 250	800 x 500.3
				50	50								48/50 x 224	800 x 500.4
800 x 630	600	430	530	63	63	50	80	80	680	510	570	683	48/50 x 250	800 x 630.1
				50	63								48/50 x 224	800 x 630.2
				63	50								48/50 x 250	800 x 630.3
				50	50								48/50 x 224	800 x 630.4

Acceptance specifications

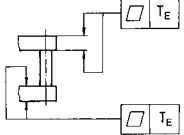
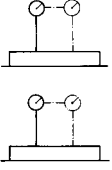
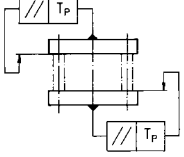
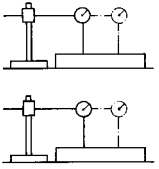
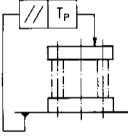
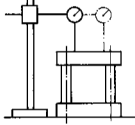
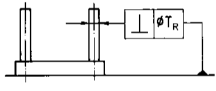
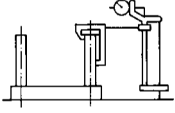
for die sets made of steel and aluminium

Similar to DIN 9811 part 1

Sizes without tolerances

for machined surfaces: DIN 7168 – middle

Tolerances of flatness, parallelism and squareness

	Test specimen	Testing position	Max. overall length of working		Testing data T_p, T_E, T_R
			over	to	
Flatness of surface			-	-	0,005 per 100 mm length of working surface *)
Parallelism of working surfaces			0	100	0,005
			100	200	0,008
			200	300	0,011
			300	400	0,014
			400	500	0,017
			500	600	0,020
Parallelism of contact surfaces			0	100	0,008
			100	200	0,012
			200	300	0,018
			300	400	0,024
			400	500	0,030
			500	600	0,036
Squareness of guide pillars			-	-	0,005 per 100 mm length of pillars *)

*) When testing larger or smaller lengths, multiply tolerance value accordingly with the relevant factor.

ANEXO IV

Especificações do cilindro pneumático selecionado



Compact Cylinder: Standard Type

Single Acting, Single Rod, Spring Return/Extend

Series CQS

ø12, ø16, ø20, ø25

How to Order

Without auto switch

CQS B 20 10 S

With auto switch

CDQS B 20 10 S F9BWV S

Built-in magnet

Mounting style

B	Through-hole/Both ends tapped common (Standard)
L	Foot style
F	Rod side flange style
G	Head side flange style
D	Double clevis style

* Mounting brackets are shipped together, (but not assembled).

Bore size

12	12 mm
16	16 mm
20	20 mm
25	25 mm

Cylinder stroke (mm)

Standard Stroke

Bore size (mm)	Standard stroke (mm)
12, 16, 20, 25	5, 10

Number of auto switches

Nil	2 pcs.
S	1 pc.
n	"n" pcs.

Auto switch

Nil	Without auto switch (Built-in magnet)
-----	---------------------------------------

* For the applicable auto switch model, refer to the table below.
* Auto switches are shipped together, (but not assembled).

Note) There is the case A9□V type, M9□V type auto switches cannot be mounted on the port surface, depending on the cylinder's stroke and the fitting size for piping. Please confirm SMC separately.

Body option

Nil	Standard (Rod end female thread)
M	Rod end male thread

Action

S	Single acting, Spring return
T	Single acting, Spring extend

* For the applicable auto switch model, refer to the table below.

Applicable Auto Switch/Refer to page 7-9-1 for further information on auto switches.

Type	Special function	Electrical entry	Indicator/light	Wiring (Output)	Load voltage			Auto switch model		Lead wire length (m)*			Pre-wire connector	Applicable load	
					DC	AC	Perpendicular	In-line	0.5 (Nil)	3 (L)	5 (Z)	IC circuit		Relay, PLC	
															24 V
Reed switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN equivalent)	—	5 V	—	A96V	A96	●	●	—	—	IC circuit	—
				2-wire	24 V	12 V	100 V	A93V	A93	●	●	—	—	—	Relay, PLC
Solid state switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN)	24 V	5 V, 12 V	—	M9NV	—	●	●	○	○	IC circuit	Relay, PLC
				3-wire (PNP)				M9PV	—	●	●	○	○		
				2-wire	M9BV	—		●	●	○	○	—			
				3-wire (NPN)	F9NWV	—		●	●	○	○	IC circuit			
				3-wire (PNP)	F9PWV	—		●	●	○	○	—			
				2-wire	F9BWV	—		●	●	○	○	—			

* Lead wire length symbols: 0.5 m.....Nil
3 m.....L
5 m.....Z

(Example) A93
(Example) A93L
(Example) F9NWZ

* Solid state switches marked with "○" are produced upon receipt of order.

- Since there are other applicable auto switches than listed, refer to page 7-4-45 for details.
- For details about auto switches with pre-wire connector, refer to page 7-9-36.

Compact Cylinder: Standard Type Single Acting, Single Rod, Spring Return/Extend Series CQS



JIS Symbol

Single acting,
Spring return

Single acting,
Spring extend



⚠ Caution

Snap Ring Installation/Removal

- For installation and removal, use an appropriate pair of pliers (tool for installing a type C snap ring).
- Even if a proper plier (tool for installing type C snap ring) is used, it is likely to inflict damage to a human body or peripheral equipment, as a snap ring may be flown out of the tip of a plier (tool for installing a type C snap ring). Be much careful with the popping of a snap ring. Besides, be certain that a snap ring is placed firmly into the groove of rod cover before supplying air at the time of installment.

Allowable Kinetic Energy (J)

Bore size (mm)	12	16	20	25
Standard	0.022	0.038	0.055	0.09
With rubber bumper	0.043	0.075	0.11	0.18

Minimum Operating Pressure (MPa)

Bore size (mm)	12	16	20	25
Minimum operating pressure	0.25	0.25	0.18	0.18

Body Option

Description	Application
Rod end male thread	Available for all standard models of single acting, single rod.

Mounting Bracket Part No.

Bore size (mm)	Foot (1)	Flange	Double clevis
12	CQS-L012	CQS-F012	CQS-D012
16	CQS-L016	CQS-F016	CQS-D016
20	CQS-L020	CQS-F020	CQS-D020
25	CQS-L025	CQS-F025	CQS-D025

Note 1) When ordering foot bracket, order 2 pieces per cylinder.

Note 2) Parts belonging to each bracket are as follows.

Foot or Flange style: Body mounting bolt
Double clevis style: Clevis pin, Type C snap ring for axis, Body mounting bolt.

Standard Specifications

Type	Pneumatic (Non-lube)
Action	Single acting, Single rod
Fluid	Air
Proof pressure	1.5 MPa
Maximum operating pressure	1.0 MPa
Ambient and fluid temperature	Without auto switch: -10 to 70°C (No freezing) With auto switch: -10 to 60°C (No freezing)
Rubber bumper	None
Rod end thread	Female thread
Rod end thread tolerance	JIS Class 2
Stroke length tolerance	+1.0 0
Mounting	Through-hole/Both ends tapped common
Piston speed	50 to 500 mm/s

Minimum Stroke for Auto Switch Mounting (mm)

No. of auto switches mounted	D-A9□, D-F9□WV	D-A9□V	D-M9□V
2	10	10	5
1	10 (Note)	5	5

Note) Please consult with SMC for shorter stroke length than indicated in the table.

Theoretical Output (N)

Action	Bore size (mm)	Rod size (mm)	Operating direction	Piston area (mm ²)	Operating pressure (MPa)			Retracted side	Extended side
					0.3	0.5	0.7		
Spring return	12	6	IN	—	20	43	65	14	4
			OUT	113					
	16	8	IN	—	45	86	126	15	6
			OUT	201					
	20	10	IN	—	78	141	204	15	6
			OUT	314					
	25	12	IN	—	126	224	323	21	11
			OUT	491					
Spring extend	12	6	IN	84.8	14	31	48	10	3
			OUT	—					
	16	8	IN	151	24	54	85	19	4
			OUT	—					
	20	10	IN	236	44	91	138	27	5
			OUT	—					
	25	12	IN	378	84	160	235	29	10
			OUT	—					

Manufacture of Intermediate Stroke (Single acting, Spring retract type is excluded.)

Description	Spacer is installed in the standard stroke body.	
Part no.	Refer to "How to Order" for the standard model no. (page at left)	
Description	Intermediate strokes by the 1 mm interval are available by using spacers with standard stroke cylinders.	
Stroke range	Bore size	Stroke range
	12 to 25	1 to 9
Example	Part no.: CQSB20-3T CQSB20-5T with 2 mm width spacer inside. B dimension is 24.5 mm.	

CUJ

CU

CQS

CQM

CQ2

RQ

MU

D-

-X

20-

Data

Series CQS

Weight/Without Auto Switch Spring return (Spring extend) (g)

Bore size (mm)	Cylinder stroke (mm)	
	5	10
12	29 (31)	36 (37)
16	39 (39)	48 (47)
20	63 (68)	76 (79)
25	92 (98)	108 (113)

* (): Denotes the values of spring extend.

Weight/With Auto Switch (Built-in magnet) Spring return (Spring extend) (g)

Bore size (mm)	Cylinder stroke (mm)	
	5	10
12	37 (39)	44 (45)
16	49 (51)	58 (59)
20	94 (104)	107 (115)
25	130 (150)	146 (165)

* (): Denotes the values of spring extend.



Made to Order Specifications (For details, refer to page 7-10-1.)

Symbol	Specifications
-XA□	Change of rod end shape
-XB10	Intermediate stroke (Using exclusive body)
-XC6	Piston rod and rod end nut made of stainless steel

Additional Weight (g)

Bore size (mm)		12	16	20	25
Rod end male thread	Male thread	1.5	3	6	12
	Nut	1	2	4	8
Foot style (Including mounting bolt)		55	65	159	181
Rod side flange style (Including mounting bolt)		58	70	143	180
Head side flange style (Including mounting bolt)		56	66	137	171
Double clevis style (Including pin, snap ring, bolt)		34	40	92	127

Calculation: (Example) CQSG16-10S

• Cylinder weight: CQSB16-10S..... 48 g

• Option weight: Head side flange style.....66 g

114 g

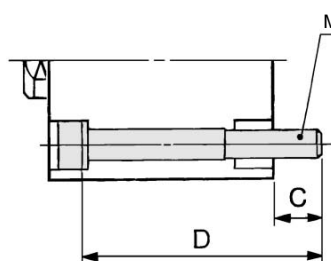
Mounting Bolt for CQS

Mounting method: Mounting bolt for through-hole mounting style of CQS is available as an option.

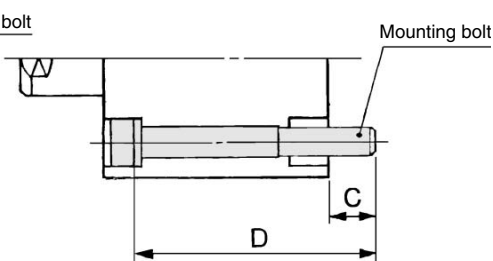
Ordering: Add the word "Bolt" in front of the bolts to be used.

Example) Bolt M3 x 25ℓ 4 pcs.

Single acting, Spring return



Single acting, Spring extend



Note) When mounting a cylinder with through-hole, be sure to use the attached plain washer.

Single Acting, Spring Return

Model	C	D	Mounting bolt
CQSB12-5S	6.5	25	M3 x 25ℓ
-10S		30	x 30ℓ
CQSB16-5S	6.5	25	M3 x 25ℓ
-10S		30	x 30ℓ
CQSB20-5S	6.5	25	M5 x 25ℓ
-10S		30	x 30ℓ
CQSB25-5S	8.5	30	M5 x 30ℓ
-10S		35	x 35ℓ

Single Acting, Spring Extend

Model	C	D	Mounting bolt
CQSB12-5T	6.5	25	M3 x 25ℓ
-10T		30	x 30ℓ
CQSB16-5T	6.5	25	M3 x 25ℓ
-10T		30	x 30ℓ
CQSB20-5T	6.5	25	M5 x 25ℓ
-10T		30	x 30ℓ
CQSB25-5T	8.5	30	M5 x 30ℓ
-10T		35	x 35ℓ

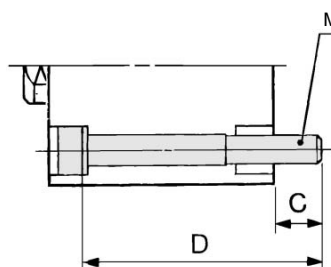
Mounting Bolt for CDQS with Auto Switch

Mounting method: Mounting bolt for through-hole mounting style of CDQS is available as an option.

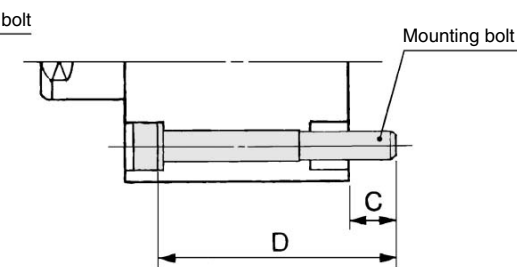
Ordering: Add the word "Bolt" in front of the bolts to be used.

Example) Bolt M3 x 30ℓ 4 pcs.

Single acting, Spring return



Single acting, Spring extend



Note) When mounting a cylinder with through-hole, be sure to use the attached plain washer.

Single Acting, Spring Return

Model	C	D	Mounting bolt
CDQSB12-5S	6.5	30	M3 x 30ℓ
-10S		35	x 35ℓ
CDQSB16-5S	6.5	30	M3 x 30ℓ
-10S		35	x 35ℓ
CDQSB20-5S	6.5	35	M5 x 35ℓ
-10S		40	x 40ℓ
CDQSB25-5S	8.5	40	M5 x 40ℓ
-10S		45	45ℓ

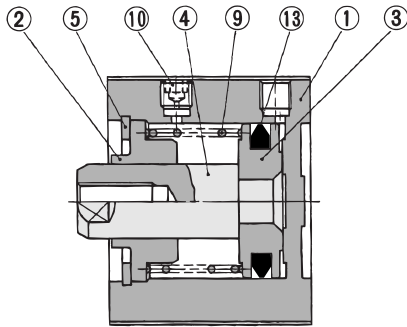
Single Acting, Spring Extend

Model	C	D	Mounting bolt
CDQSB12-5T	6.5	30	M3 x 30ℓ
-10T		35	x 35ℓ
CDQSB16-5T	6.5	30	M3 x 30ℓ
-10T		35	x 35ℓ
CDQSB20-5T	6.5	35	M5 x 35ℓ
-10T		40	x 40ℓ
CDQSB25-5T	8.5	40	M5 x 40ℓ
-10T		45	x 45ℓ

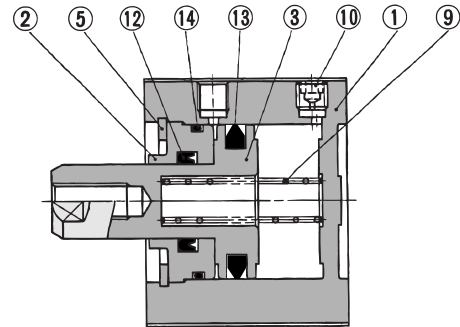
Compact Cylinder: Standard Type Single Acting, Single Rod, Spring Return/Extend Series CQS

Construction

Single acting, Spring return

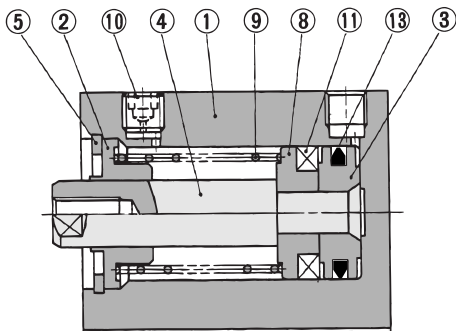


Single acting, Spring extend

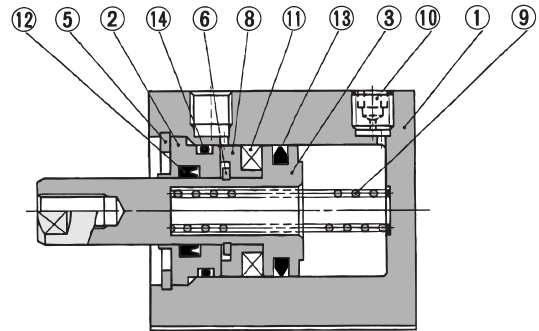


Single acting, Spring return/With auto switch (Built-in magnet)

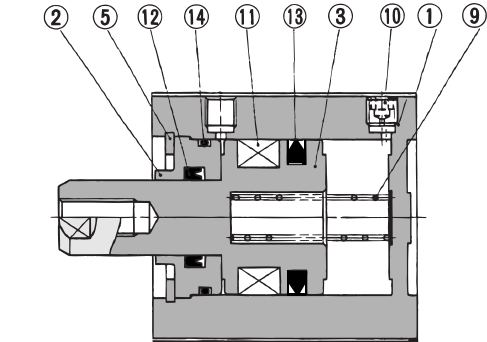
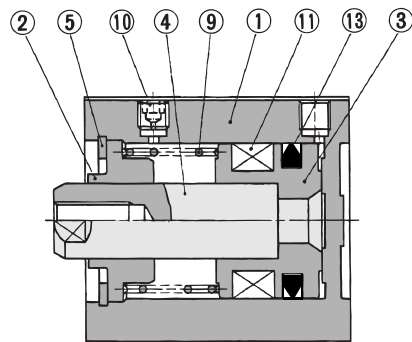
ø12, ø16



Single acting, Spring extend/With auto switch (Built-in magnet)



ø20, 25



Component Parts

No.	Description	Material	Note
①	Cylinder tube	Aluminum alloy	Hard anodized
②	Collar	Aluminum alloy	Anodized
③	Piston	Aluminum alloy	Single acting, Spring return
		Stainless steel	Single acting, Spring extend
④	Piston rod	Stainless steel	
⑤	Snap ring	Carbon tool steel	Phosphate coated
⑥	Snap ring	Carbon tool steel	Nickel plated
⑦	Rod end nut	Carbon steel	Nickel plated
⑧	Spacer for switch type	Aluminum alloy	Chromated
⑨	Return spring	Piano wire	Zinc chromated
⑩	Plug with fixed orifice	Alloy steel	Nickel plated
⑪	Magnet	—	
⑫*	Rod seal	NBR	
⑬*	Piston seal	NBR	
⑭*	Tube gasket	NBR	

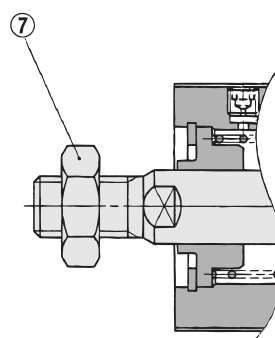
Replacement Parts: Seal Kit

Action	Bore size (mm)	Kit no.	Contents
Single actng, Spring return	12	CQSB12-S-PS	Set of nos. above ⑬
	16	CQSB16-S-PS	
	20	CQSB20-S-PS	
	25	CQSB25-S-PS	

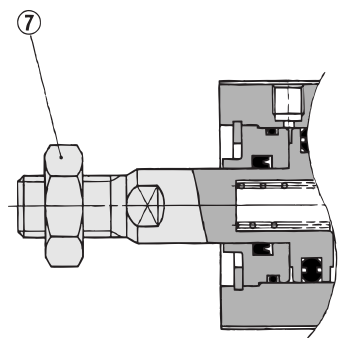
* Seal kit includes ⑬. Order the seal kit, based on each bore size.

Rod end male thread

Single acting, Spring return



Single acting, Spring extend



Replacement Parts: Seal Kit

Action	Bore size (mm)	Kit no.	Contents
Single acting, Spring extend	12	CQSB12-T-PS	Set of nos. above ⑫, ⑬, ⑭
	16	CQSB16-T-PS	
	20	CQSB20-T-PS	
	25	CQSB25-T-PS	

* Seal kit includes ⑫, ⑬, ⑭. Order the seal kit, based on each bore size.

CUJ

CU

CQS

CQM

CQ2

RQ

MU

D-

-X

20-

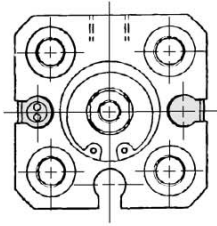
Data

Series CQS

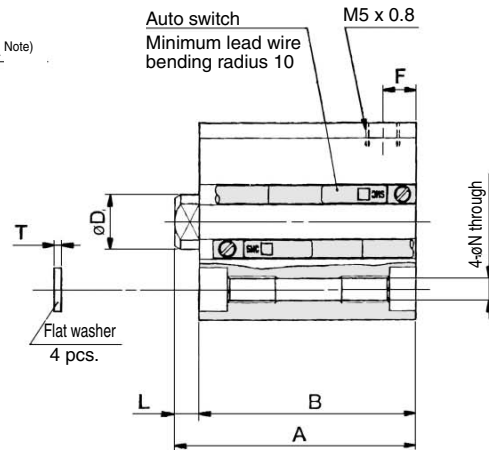
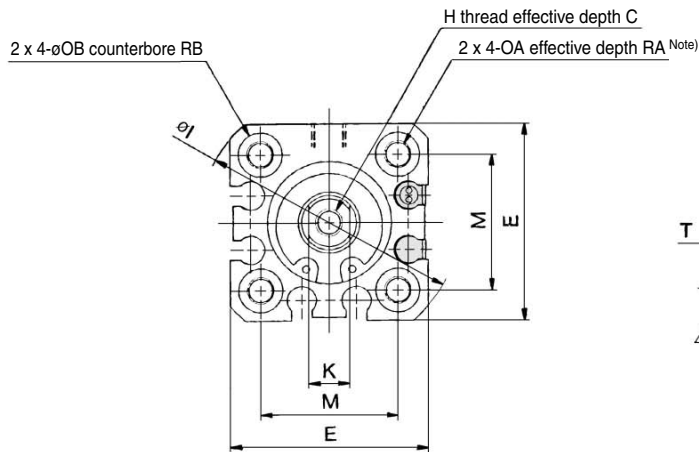
Dimensions: $\phi 12$ to $\phi 25$ /Single Acting, Spring Return

Basic style (Through-hole/Both ends tapped common): CQSB/CDQSB

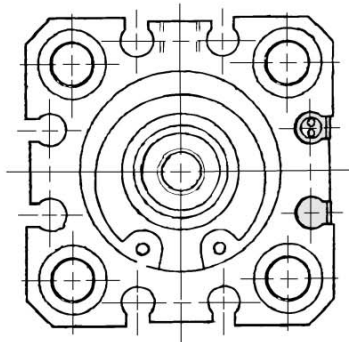
$\phi 12$



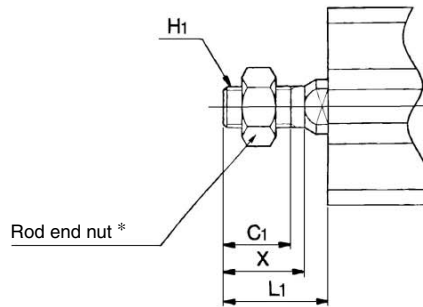
$\phi 16$



$\phi 20, \phi 25$



Rod end male thread



Rod End Male Thread

Bore size (mm)	C ₁	H ₁	L ₁	X
12	9	M5 x 0.8	14	10.5
16	10	M6 x 1.0	15.5	12
20	12	M8 x 1.25	18.5	14
25	15	M10 x 1.25	22.5	17.5

Basic Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch				With auto switch				C	D	E	F	H	I	K	L	M	N	OA	OB	RA	RB	T
		A		B		A		B																
		5 ST	10 ST	5 ST	10 ST	5 ST	10 ST	5 ST	10 ST															
12	5, 10	25.5	30.5	22	27	30.5	35.5	27	32	6	6	25	5	M3 x 0.5	32	5	3.5	15.5	3.5	M4 x 0.7	6.5	7	4	0.5
16		25.5	30.5	22	27	30.5	35.5	27	32	8	8	29	5	M4 x 0.7	38	6	3.5	20	3.5	M4 x 0.7	6.5	7	4	0.5
20		29	34	24.5	29.5	39	44	34.5	39.5	7	10	36	5.5	M5 x 0.8	47	8	4.5	25.5	5.4	M6 x 1.0	9	10	7	1
25		32.5	37.5	27.5	32.5	42.5	47.5	37.5	42.5	12	12	40	5.5	M6 x 1.0	52	10	5	28	5.4	M6 x 1.0	9	10	7	1

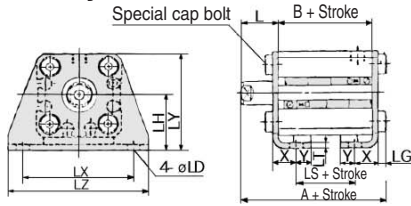


Note) For basic style $\phi 12$ and $\phi 16$ with 5 stroke, through-hole is threaded over the entire length.
 For basic style $\phi 20, \phi 25$ with 5 and 10 stroke, through-hole is threaded over the entire length.
 With auto switch (Built-in magnet)/ $\phi 20$; 5 stroke.

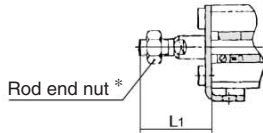
* For details about the rod end nut and accessory brackets, refer to page 7-6-20.

Compact Cylinder: Standard Type Single Acting, Single Rod, Spring Return/Extend Series CQS

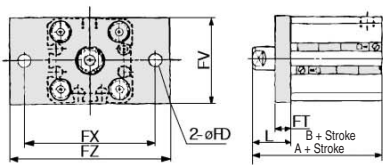
Foot style: CQSL/CDQSL



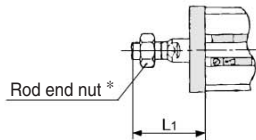
Rod end male thread



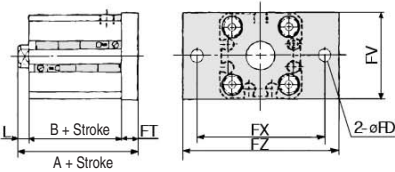
Rod side flange style: CQSF/CDQSF



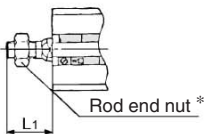
Rod end male thread



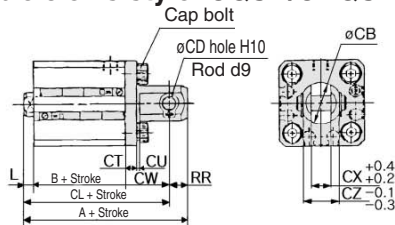
Head side flange style: CQSG/CDQSG



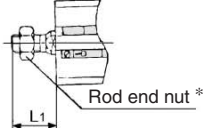
Rod end male thread



Double clevis style: CQSD/CDQSD



Rod end male thread



Foot Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch			With auto switch			L	L ₁	LD	LG	LH	LT	LX	LY	LZ	X	Y
		A	B	LS	A	B	LS											
12	5, 10	35.3	17	5	40.3	22	10	13.5	24	4.5	2.8	17	2	34	29.5	44	8	4.5
16		35.3	17	5	40.3	22	10	13.5	25.5	4.5	2.8	19	2	38	33.5	48	8	5
20		41.2	19.5	7.5	51.2	29.5	17.5	14.5	28.5	6.6	4	24	3.2	48	42	62	9.2	5.8
25		44.7	22.5	7.5	54.7	32.5	17.5	15	32.5	6.6	4	26	3.2	52	46	66	10.7	5.8

Foot bracket material: Carbon steel

Rod Side Flange Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch		With auto switch		FD	FT	FV	FX	FZ	L	L ₁
		A	B	A	B							
12	5, 10	30.5	17	35.5	22	4.5	5.5	25	45	55	13.5	24
16		30.5	17	35.5	22	4.5	5.5	30	45	55	13.5	25.5
20		34	19.5	44	29.5	6.6	8	39	48	60	14.5	28.5
25		37.5	22.5	47.5	32.5	6.6	8	42	52	64	15	32.5

Flange bracket material: Carbon steel

Head Side Flange Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch		With auto switch		FD	FT	FV	FX	FZ	L	L ₁
		A	B	A	B							
12	5, 10	26	17	31	22	4.5	5.5	25	45	55	3.5	14
16		26	17	31	22	4.5	5.5	30	45	55	3.5	15.5
20		32	19.5	42	29.5	6.6	8	39	48	60	4.5	18.5
25		35.5	22.5	45.5	32.5	6.6	8	42	52	64	5	22.5

Flange bracket material: Carbon steel

Double Clevis Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch			With auto switch			CB	CD	CT	CU	CW	CX	CZ	L	L ₁	RR
		A	B	CL	A	B	CL										
12	5, 10	40.5	17	34.5	45.5	22	39.5	12	5	4	7	14	5	10	3.5	14	6
16		41.5	17	35.5	46.5	22	40.5	14	5	4	10	15	6.5	12	3.5	15.5	6
20		51	19.5	42	61	29.5	52	20	8	5	12	18	8	16	4.5	18.5	9
25		57.5	22.5	47.5	67.5	32.5	57.5	24	10	5	14	20	10	20	5	22.5	10

Double clevis bracket material: Carbon steel

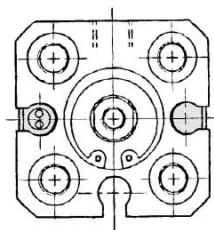
* For details about the rod end nut and accessory brackets, refer to page 7-6-20.

Series CQS

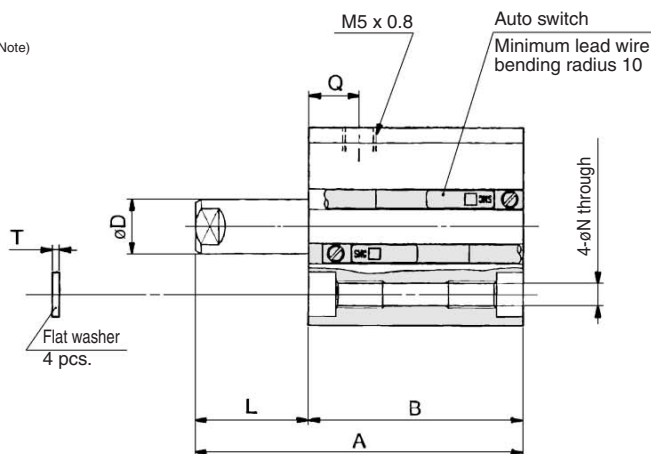
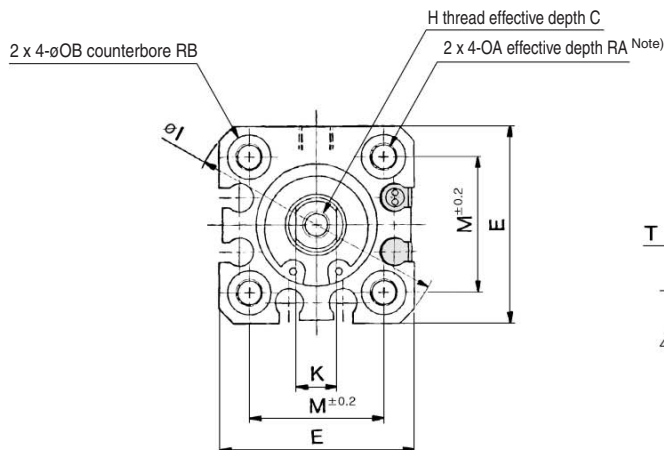
Dimensions: $\phi 12$ to $\phi 25$ /Single Acting, Spring Extend

Basic style (Through-hole/Both ends tapped common): CQSB/CDQSB

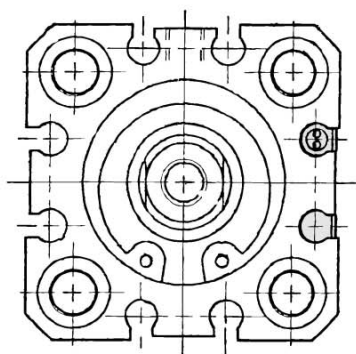
$\phi 12$



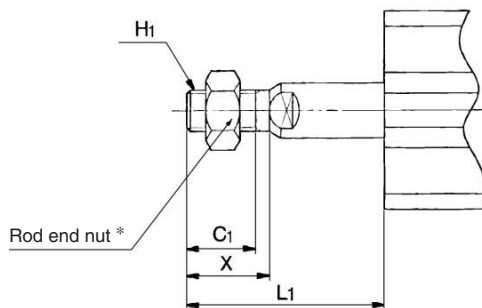
$\phi 16$



$\phi 20, \phi 25$



Rod end male thread



Rod End Male Thread

Bore size (mm)	C ₁	H ₁	L ₁		X
			5 ST	10 ST	
12	9	M5 x 0.8	19	24	10.5
16	10	M6 x 1.0	20.5	25.5	12
20	12	M8 x 1.25	23.5	28.5	14
25	15	M10 x 1.25	27.5	32.5	17.5

Basic Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch				With auto switch				C	D	E	H	I	K	L		M	N	OA	OB	Q	RA	RB	T
		A		B		A		B								5 ST	10 ST								
		5 ST	10 ST	5 ST	10 ST	5 ST	10 ST	5 ST	10 ST																
12	5, 10	30.5	40.5	22	27	35.5	45.5	27	32	6	6	25	M3 x 0.5	32	5	8.5	13.5	15.5	3.5	M4 x 0.7	6.5	7.5	7	4	0.5
16		30.5	40.5	22	27	35.5	45.5	27	32	8	8	29	M4 x 0.7	38	6	8.5	13.5	20	3.5	M4 x 0.7	6.5	7.5	7	4	0.5
20		34	44	24.5	29.5	44	54	34.5	39.5	7	10	36	M5 x 0.8	47	8	9.5	14.5	25.5	5.4	M6 x 1.0	9	9	10	7	1
25		37.5	47.5	27.5	32.5	47.5	57.5	37.5	42.5	12	12	40	M6 x 1.0	52	10	10	15	28	5.4	M6 x 1.0	9	11	10	7	1

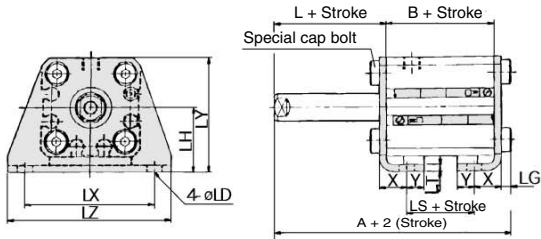


Note) For basic style $\phi 12$ and $\phi 16$ with 5 stroke, through-hole is threaded over the entire length.
For basic style $\phi 20, \phi 25$ with 5 and 10 stroke, through-hole is threaded over the entire length.
With auto switch (Built-in magnet)/ $\phi 20$; 5 stroke.

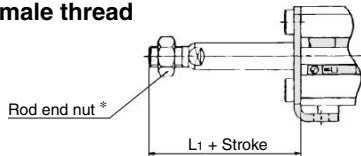
* For details about the rod end nut and accessory brackets, refer to page 7-6-20.

Compact Cylinder: Standard Type Single Acting, Single Rod, Spring Return/Extend Series CQS

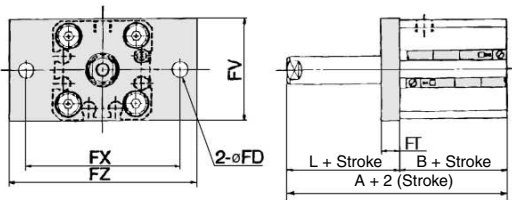
Foot style: CQSL/CDQSL



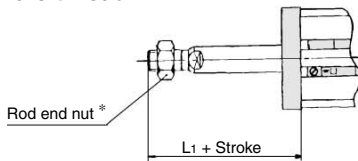
Rod end male thread



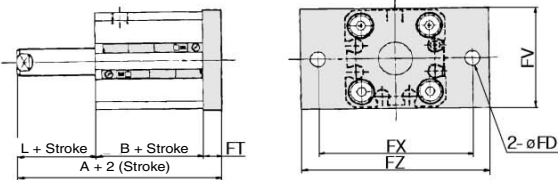
Rod side flange style: CQSF/CDQSF



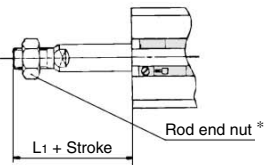
Rod end male thread



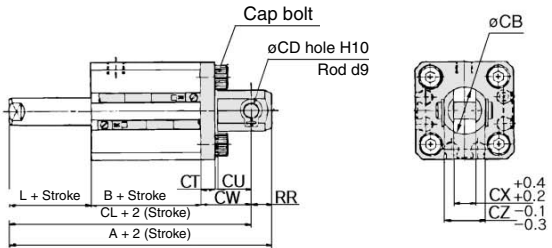
Head side flange style: CQSG/CDQSG



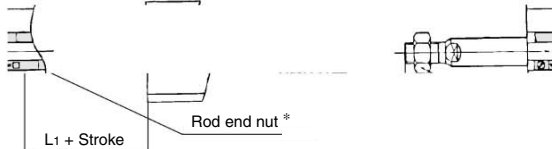
Rod end male thread



Double clevis style: CQSD/CDQSD



Rod end male thread



Foot Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch			With auto switch		
		A	B	LS	A	B	LS
12	5, 10	35.3	17	5	40.3	22	10
16		35.3	17	5	40.3	22	10
20		41.2	19.5	7.5	51.2	29.5	17.5
25		44.7	22.5	7.5	54.7	32.5	17.5

Bore size (mm)	L	L ₁	LD	LG	LH	LT	LX	LY	LZ	X	Y
12	13.5	24	4.5	2.8	17	2	34	29.5	44	8	4.5
16	13.5	25.5	4.5	2.8	19	2	38	33.5	48	8	5
20	14.5	28.5	6.6	4	24	3.2	48	42	62	9.2	5.8
25	15	32.5	6.6	4	26	3.2	52	46	66	10.7	5.8

Foot bracket material: Carbon steel

Rod Side Flange Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch		With auto switch		FD	FT	FV	FX	FZ	L	L ₁
		A	B	A	B							
12	5, 10	30.5	17	35.5	22	4.5	5.5	25	45	55	13.5	24
16		30.5	17	35.5	22	4.5	5.5	30	45	55	13.5	25.5
20		34	19.5	44	29.5	6.6	8	39	48	60	14.5	28.5
25		37.5	22.5	47.5	32.5	6.6	8	42	52	64	15	32.5

Flange bracket material: Carbon steel

Head Side Flange Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch		With auto switch		FD	FT	FV	FX	FZ	L	L ₁
		A	B	A	B							
12	5, 10	26	17	31	22	4.5	5.5	25	45	55	3.5	14
16		26	17	31	22	4.5	5.5	30	45	55	3.5	15.5
20		32	19.5	42	29.5	6.6	8	39	48	60	4.5	18.5
25		35.5	22.5	45.5	32.5	6.6	8	42	52	64	5	22.5

Flange bracket material: Carbon steel

Double Clevis Style

Bore size (mm)	Stroke range (mm)	Without auto switch			Without auto switch		
		A	B	CL	A	B	CL
12	5, 10	40.5	17	34.5	45.5	22	39.5
16		41.5	17	35.5	46.5	22	40.5
20		51	19.5	42	61	29.5	52
25		57.5	22.5	47.5	67.5	32.5	57.5

Bore size (mm)	CB	CD	CT	CU	CW	CX	CZ	L	L ₁	RR
12	12	5	4	7	14	5	10	3.5	14	6
16	14	5	4	10	15	6.5	12	3.5	15.5	6
20	20	8	5	12	18	8	16	4.5	18.5	9
25	24	10	5	14	20	10	20	5	22.5	10

Double clevis bracket material: Carbon steel

* For details about the rod end nut and accessory brackets, refer to page 7-6-20.

ANEXO V

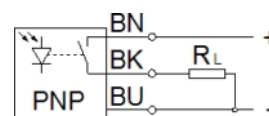
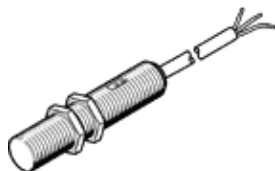
Especificações do sensor ótico e do refletor selecionado

Sensor de retroreflexão SOEG-RSP-M12-PS-K-2L

Código da peça: 537683

FESTO

Com luz polarizada, formato redondo.

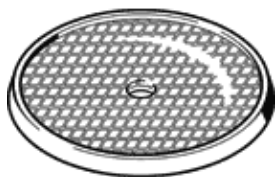


Ficha técnica

Característica	Valores
Design	redonda
Conforme norma	EN 60947-5-2
Autorização	RCM Mark c UL us - Listed (OL)
Certificação CE (veja Declaração de Conformidade)	conforme Diretriz EU-EMV
Observações sobre material	Isento de cobre e PTFE
Variável	Posição
Princípio de medição	Optoeletrônico
Método de medição	Sensor de retro-reflexão
Tipo de luz	vermelho, polarizado
Alcance	1.500 mm
Temperatura ambiente	-25 ... 55 °C
Saída de comutação	PNP
Função do elemento de comutação	Ativa com escuridão
Frequência máxima de comutação	1.000 Hz
Corrente máxima de saída	200 mA
Queda de tensão	≤ 2 V
Resistência a curto-circuito	por pulso
Faixa de tensão operacional c.c.	10 ... 36 V
Ondulação residual	20 %
Corrente sem carga	15 mA
Proteção contra inversão de polaridade	para todas as conexões elétricas
Conexão elétrica	Cabo de 3 fios
Comprimento do cabo	2,5 m
Informação sobre material, revestimento do cabo	TPE-U(PUR)
Dimensões	M12x1
Tipo de fixação	com contraporca
Torque	10 Nm
Peso do produto	100 g
Informação sobre material, corpo	Latão cromado
Informação sobre material, porca de aperto	Latão cromado
Indicador do estado de comutação	LED amarelo
Indicador de reserva operacional	LED verde
Temperatura ambiente para instalação móvel de cabos	-5 ... 55 °C
Classe de proteção	IP65 IP67
Classe de resistência à corrosão KBK	1

Refletor
SOEZ-RFS-20
Código da peça: 165363

FESTO



Ficha técnica

Característica	Valores
Observações sobre material	Isento de cobre e PTFE
Método de medição	Refletor
Temperatura ambiente	-40 ... 70 °C
Tipo de fixação	colado
Peso do produto	3 g
Informação sobre material, corpo	PMMA
Classe de resistência à corrosão KBK	4

