



# PROJETO DE UMA FERRAMENTA DE APERTO HIDRÁULICO PARA A MAQUINAGEM DE COMPONENTES MECÂNICOS COMPLEXOS

CLÁUDIO MIGUEL GOMES DA COSTA

setembro de 2018

**PROJETO DE UMA FERRAMENTA DE APERTO  
HIDRÁULICO PARA A MAQUINAGEM DE COMPONENTES  
MECÂNICOS COMPLEXOS**

Cláudio Miguel Gomes da Costa

**2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Engenharia Mecânica





# PROJETO DE UMA FERRAMENTA DE APERTO HIDRÁULICO PARA A MAQUINAGEM DE COMPONENTES MECÂNICOS COMPLEXOS

Cláudio Miguel Gomes da Costa  
1111492

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 e Coorientação do Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho, Professores Adjuntos do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP

**2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

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

## **Co-orientador**

Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutor José Duarte Ribeiro Marafona

Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, obrigado à minha família e em particular aos meus pais por todo o apoio prestado ao longo dos anos, sem nunca duvidarem da minha capacidade e acreditando que eu faria as escolhas corretas.

Ao meu irmão que de uma forma ou de outra, me levou a escolher o caminho da indústria metalomecânica e pelo qual me apaixonei. Também por ser um bom profissional e onde vejo um bom exemplo daquilo que eu quero representar no mercado de trabalho.

Ao meu caro ex-coordenador de turma que veio a ser amigo e colega de trabalho, Eng. Joaquim Rocha, por me mostrar o caminho da engenharia e por me dar todo o apoio nesse percurso e no desenvolvimento das minhas competências técnicas na minha aprendizagem, que ainda hoje me distinguem.

Ao meu orientador Eng. Francisco Silva por todo o apoio prestado e pelas oportunidades que me tem dado, tanto a nível académico como profissional, e por ser capaz de ver todo o potencial e as capacidades que tenho.

Ao Professor Rui Martinho pela sua disponibilidade e minuciosidade na revisão deste trabalho.

Aos meus amigos, que sem eles certamente teria terminado mais cedo e com melhores notas, mas não tinha sequer metade do significado.

À ABER, por me ter permitido desenvolver este trabalho em conjunto com a empresa, e pelo tempo que lá passei. Saí por minha vontade, mas posso dizer que fui bem recebido e aprendi coisas que dificilmente aprendo noutro lado.

A todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, me mostraram o que é ser um bom profissional e que o trabalho efetivamente recompensa.

## **PALAVRAS CHAVE**

Maquinagem, Ferramentas de aperto, Otimização de processo, Produtividade, Projeto

## **RESUMO**

Toda e qualquer indústria roda em volta da qualidade e em grande parte da indústria, fatores como a produtividade e a rentabilidade são determinantes para o crescimento e sustentabilidade de uma empresa.

Novamente, em todo e qualquer processo é importante garantir repetibilidade e estabilidade do processo, particularmente na maquinagem por arranque de apara. Para tal acontecer, é necessário definir perfeitamente o processo, a sequência de maquinagem e criar ferramentas físicas e organizacionais que sejam menos propícias ao erro.

No que toca a *setup* de máquina, este é passível de vários erros que por vezes são difíceis de detetar através de ferramentas de controlo tradicionais como o controlo dimensional. Há casos em que o produto final apresenta falhas e torna-se difícil rastrear o erro quando este apenas pode ser prevenido, mas até certo ponto indetetável aquando da existência deste. Para evitar esses erros, é importante criar ferramentas de fácil afinação, que exijam o mínimo de esforço possível, e criar mecanismos que permitam a deteção de falhas durante a produção, e não apenas no produto final.

Este trabalho oferecerá um melhoramento do processo de maquinagem de um componente com forte incidência no *setup* de máquina para uma das etapas do processo de fabrico desse mesmo componente, através do desenvolvimento de uma ferramenta de aperto que virá facilitar toda a etapa de *setup*.



**KEYWORDS**

*Machining, Clamping tools, Process optimization, Productivity, Design*

**ABSTRACT**

Each and every industry revolves around quality and on a big portion of the industry factors as productivity and profitability are crucial to the growth and sustainability of a company.

Again, in each and every process it is important to ensure process repeatability and stability, particularly in machining through chipping. For this happens, it is necessary to perfectly define the process, machining sequence and to create physical and organizational tools that are less prone to error.

Regarding machine setup, it is susceptible to several errors which are sometimes difficult to detect through traditional control tools such as dimensional inspection. There are some cases in which the final product is faulty and it is difficult to trace the error when the error can only be prevented, but sometimes undetectable when it occurs. To avoid those errors, it is important to create tools of easily tuning which require minimal effort to use and to create mechanisms which allow for flaw detection during production and not only during final test.

This work will bring a chance to improve the machining process of a component with strong incidence in machine setup of one component's manufacturing process through the development of a clamping tool which will make the setup easier.



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

C.S.	Coeficiente de Segurança
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NC	<i>Numerical Control</i>
SRI	<i>Stanford Research Institute</i>
VG	<i>Viscosity Grade</i>

### Lista de Unidades

$\mu\text{m}$	Micrometro (mícron)
bar	Bar
HRC	dureza Rockwell
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	Newton
Pa	Pascal

### Lista de Símbolos

$\mu$	Coeficiente de atrito
$a_e$	Largura de corte
$a_p$	Profundidade de corte
$F_{\text{aperto}}$	Força de aperto
$F_{\text{maquinagem}}$	Força de maquinagem
$f_z$	Avanço por dente
$V_c$	Velocidade de corte



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

Cadência	Medida da capacidade de um sistema ou equipamento produtivo em completar um determinado conjunto de operações. Normalmente é apresentado sob a forma de unidades por período de tempo sendo que as unidades utilizadas são escolhidas de forma a serem mais convenientes e fáceis de interpretar mediante a indústria a que se refere.
Cementação	Tratamento termoquímico realizado em aços, semelhante à têmpera, mas realizado numa atmosfera rica em carbono. A temperatura de austenitização não é atingida e o carbono insere-se na superfície da peça endurecendo-a e permitindo que o núcleo mantenha as propriedades originais.
Ferramenta de corte	Toda a ferramenta que é utilizada em máquinas industriais dedicadas à maquinagem por arranque de apara independentemente do processo.
Fresagem	Processo de maquinagem por arranque de apara em que a forma final é obtida por levar uma ferramenta de corte em rotação elevada contra uma peça estacionária, que será o produto final. Apenas se designa por fresagem aqueles que respeitam esta descrição e são realizados em centros de maquinagem, fresadoras ou outras máquinas que sejam capazes de reproduzir as condições da fresagem tradicional.
<i>Lead time</i>	Termo técnico transversal a muitas indústrias, que mede o tempo entre o início do fabrico de um componente e o fim do seu fabrico, ou a entrega ao cliente.
Maquinagem	Todo o processo industrial que fabrica um componente através da remoção de material por arranque de apara.
Operador	Técnico que trabalha com máquinas industriais. Pode ter diferentes competências, de acordo com a indústria em que está inserido ou a máquina com que trabalha.
<i>Payback</i>	Termo que define o tempo em que um determinado investimento é recuperado pela empresa.
Retificação	Processo de maquinagem que usa mós em rotação contra uma

---

	peça que pode estar fixa ou em movimento, de forma a fornecer as dimensões finais. Utilizada normalmente para acabamentos devido à qualidade superficial que oferece e à precisão que consegue garantir. Preferido sobre outros métodos de maquinagem quando se trata de peças ou superfícies muito duras, resultado de tratamento térmico.
Têmpera	Tratamento térmico que consiste em aquecer uma peça de aço até à temperatura de austenitização e conseqüente arrefecimento em atmosfera controlada. Visa conferir maior dureza.
Torneamento	Processo de maquinagem por arranque de aparas que move uma peça em rotação contra uma ferramenta móvel, mas sem rotação própria. Preferencial para fabricar peças de revolução, normalmente em tornos convencionais ou de CNC ( <i>Computer Numerical Control</i> ). Com a evolução da indústria, surgiram nos últimos anos alguns centros de maquinagem capazes de realizar torneamento.
Tratamento térmico	Tratamento que consiste em ciclos de aquecimento e arrefecimento, com tempo, temperatura e atmosfera controlados, realizado em peças metálicas, que visa conferir propriedades mecânicas diferentes das propriedades originais, por alteração da sua microestrutura. Pode afetar toda a peça ou apenas a superfície, e também pode ser total ou localizado.

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DE DIFERENTES POSSÍVEIS OPERAÇÕES DE FACEJAMENTO [3].	32
FIGURA 2 - FRESAGEM DE PERFIL [4].	33
FIGURA 3 - DIFERENTES MÉTODOS PARA ABERTURA DE RASGOS [5].	33
FIGURA 4 - DIFERENTES PROCESSOS PARA ABERTURA DE CAVIDADES NA FRESAGEM [29].	34
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DA MAQUINAGEM DE CHANFROS [29].	35
FIGURA 6 - PRIMEIRA MÁQUINA NC ( <i>NUMERICAL CONTROL</i> ) DEMONSTRADA NO MIT EM 1953 [6].	36
FIGURA 7 - TORNO COPIADOR OU TORNO DE BLANCHARD, MOVIDO A VAPOR DE ÁGUA, DO ARMEIRO HARPERS FERRY ARMORY [10].	37
FIGURA 8 - EXEMPLO DE CARTÃO PERFURADO DE 5 E 8 BITS (ESQUERDA) [11] E MÁQUINA CNC COM LEITURA POR CARTÃO PERFURADO (DIREITA) [12].	37
FIGURA 9 - BLOCO EM BRUTO DE ALUMÍNIO (ESQUERDA) E BRUTO PROVENIENTE DE FORJA (DIREITA).	39
FIGURA 10 - PRENSA COMUM USADA EM FRESAGEM [15].	40
FIGURA 11 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA DE APERTO EM ESCADA [16].	41
FIGURA 12 - EXEMPLO DE GRAMPOS LATERAIS [17].	42
FIGURA 13 - ALAVANCAS MANUAIS NA FRESAGEM DE MADEIRA [18].	42
FIGURA 14 - SISTEMA DE APERTO COM GRAMPOS HIDRÁULICOS [19].	43
FIGURA 15 - BUCHA PARA FRESAGEM [20].	43
FIGURA 16 - DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO MAGNÉTICA MONTADO NUMA RETIFICADORA PLANA [21].	44
FIGURA 17 - GABARI PARA FIXAÇÃO DE UMA PEÇA FUNDIDA EM LIGA DE MAGNÉSIO COM PONTOS DE FIXAÇÃO ADESIVA [22].	45
FIGURA 18 - GABARI COM GRAMPOS DE ACIONAMENTO MANUAL E HIDRÁULICO [23].	46
FIGURA 19 - FACES DE ELEVADA IMPORTÂNCIA (A AZUL).	53
FIGURA 20 - 3ª OPERAÇÃO DE FRESAGEM.	55
FIGURA 21 - SUPERFÍCIES MAQUINADAS NA PRIMEIRA OPERAÇÃO DE FRESAGEM (ESQUERDA) E RESPECTIVO <i>SETUP</i> (DIREITA).	56
FIGURA 22 - SUPERFÍCIES MAQUINADAS NA SEGUNDA OPERAÇÃO DE FRESAGEM (ESQUERDA) E RESPECTIVO <i>SETUP</i> (DIREITA).	57
FIGURA 23 - DETALHE DA 3ª OPERAÇÃO DE FRESAGEM.	58
FIGURA 24 - SUPERFÍCIES MAQUINADAS NA OPERAÇÃO DE TORNEAMENTO (ESQUERDA) E RESPECTIVA FERRAMENTA DE APERTO (DIREITA).	58
FIGURA 25 - SUPERFÍCIES RETIFICADAS NA OPERAÇÃO DE RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA (ESQUERDA) E RESPECTIVA FERRAMENTA DE APERTO (DIREITA).	59
FIGURA 26 - SUPERFÍCIES RETIFICADAS NA OPERAÇÃO DE RETIFICAÇÃO PLANA (ESQUERDA) E ASPETO FINAL DO COMPONENTE (DIREITA).	59
FIGURA 27 - PRIMEIRO ESBOÇO PARA A FERRAMENTA DE APERTO.	61
FIGURA 28 - NOVO ESBOÇO DA FERRAMENTA (MAIS PRÓXIMO DO ESTADO FINAL).	61
FIGURA 29 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA.	63
FIGURA 30 – DETALHE DAS ESFERAS DE CENTRAMENTO A AMARELO.	64

FIGURA 31 - ASPETO FINAL DA FERRAMENTA DE APERTO.	65
FIGURA 32 - GRAMPO SUPERIOR EM "V", PARA GARANTIR MAIOR ESTABILIDADE NO APERTO.	66
FIGURA 33 - CAVIDADES CÔNICAS DE CENTRAGEM PARA EVITAR TORÇÃO NO APERTO.	67
FIGURA 34 - ESQUEMA HIDRÁULICO DA FERRAMENTA.	68
FIGURA 35 - VISTA EXPLODIDA DA FERRAMENTA FINAL.	69
FIGURA 36 - FERRAMENTA DE CORTE UTILIZADA NO PROCESSO ATUAL.	70
FIGURA 37 - VISTA GERAL DA SIMULAÇÃO DE ESFORÇOS DURANTE O DESBASTE.	71
FIGURA 38 - PORMENOR DAS TENSÕES TRANSMITIDAS À PEÇA NA OPERAÇÃO DE DESBASTE.	72
FIGURA 39 - TENSÕES INSTALADAS NOS APOIOS DURANTE A OPERAÇÃO DE DESBASTE.	72
FIGURA 40 - DEFORMAÇÃO PREVISTA DURANTE A OPERAÇÃO DE DESBASTE (ESQUERDA) E ACABAMENTO (DIREITA).	73
FIGURA 41 - DEFORMAÇÃO DA PEÇA NO EIXO Z DURANTE A OPERAÇÃO DE DESBASTE.	74
FIGURA 42 - EXTENSÃO CALCULADA SEGUNDO O EIXO Z.	75
FIGURA 43 - ANÁLISE DO FACTOR DE SEGURANÇA OBSERVADO.	76
FIGURA 44 - REPRESENTAÇÃO DA PEÇA 001_MESA_FALSA.	78
FIGURA 45 - REPRESENTAÇÃO DA PEÇA 003_GRAMPO.	78
FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 006_BASE.	79
FIGURA 47 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 007_APOIO.	80
FIGURA 48 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 010_ESFERA_CENTRAMENTO.	81
FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 001_ENCOSTO_RADIAL.	82
FIGURA 50 - REPRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES 016_CHAPA_LATERAL_ESQUERDA E 066_CHAPA_LATERAL_DIREITA.	82
FIGURA 51 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 019_PORCA_M24X1.5.	83
FIGURA 52 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 021_CHAPA_SUPERIOR.	83
FIGURA 53 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 053_CHAVETA_18X25X50.	84
FIGURA 54 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 054_TÊ.	84
FIGURA 55 - REPRESENTAÇÃO DO COMPONENTE 076_SUPORTE_INTENSIFICADOR_PRESSÃO.	85

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – OS SIGNIFICADOS DA QUALIDADE [28].	48
TABELA 2 – ANÁLISE SWOT DA FERRAMENTA.	49
TABELA 3 – PARÂMETROS DEFINIDOS PARA A OPERAÇÃO DE DESBASTE.	70
TABELA 4 – ANÁLISE FMEA DA FERRAMENTA.	88



# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
GLOSSÁRIO DE TERMOS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>27</b>
1.1 Enquadramento	27
1.2 Objetivos	27
1.3 Metodologia	27
1.4 Estrutura	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>31</b>
<b>2.1 Introdução aos processos de maquinagem</b>	<b>31</b>
2.1.1 Fundamentos sobre processos de maquinagem	31
2.1.2 Conceitos sobre fresagem	31
2.1.3 Controlo CNC na maquinagem	35
<b>2.2 Conceitos de fixação de peças para maquinagem</b>	<b>38</b>
2.2.1 Referenciação	39
2.2.2 Posicionamento	39

2.2.3	Força necessária e área de aperto	46
<b>2.3</b>	<b>Conceitos de qualidade</b>	<b>48</b>
2.3.1	Conceitos gerais de qualidade	48
2.3.2	Conceitos de qualidade ligados à maquinagem por arranque de apara	49
<b>2.4</b>	<b>Análise SWOT</b>	<b>49</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da empresa</b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Identificação do problema, requisitos e objetivos</b>	<b>53</b>
3.2.1	Sequência operatória atual	55
<b>3.3</b>	<b>Tempestade de ideias</b>	<b>60</b>
<b>3.4</b>	<b>Anteprojeto do dispositivo de fixação</b>	<b>61</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise crítica das ideias e seleção do caminho a percorrer</b>	<b>62</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise de melhorias a implementar</b>	<b>66</b>
<b>3.7</b>	<b>Projeto</b>	<b>68</b>
3.7.1	Vista geral explodida	69
3.7.2	Subsistemas	69
3.7.3	Cálculo estrutural	70
3.7.4	Cálculo do sistema hidráulico	76
3.7.5	Identificação de situações críticas	77
<b>3.8</b>	<b>Seleção de materiais e processos de fabrico</b>	<b>77</b>
<b>3.9</b>	<b>Lista de peças e componentes</b>	<b>86</b>
<b>3.10</b>	<b>Análise FMEA</b>	<b>88</b>
<b>3.11</b>	<b>Manual de utilização</b>	<b>92</b>
<b>3.12</b>	<b>Manual de manutenção</b>	<b>92</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>97</b>
<b>4.1</b>	<b>Conclusões</b>	<b>97</b>
<b>4.2</b>	<b>Trabalhos futuros</b>	<b>97</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO</b>	<b>101</b>

<b>5.1</b>	<b>Referências</b>	<b>101</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>109</b>
<b>6.1</b>	<b>Desenho 000_Montagem_Mesa</b>	<b>109</b>
<b>6.2</b>	<b>Desenho 057_Montagem_Base</b>	<b>110</b>
<b>6.3</b>	<b>Desenho 059_Montagem_Apoios</b>	<b>111</b>
<b>6.4</b>	<b>Desenho 062_Montagem_Atuaadores</b>	<b>112</b>
<b>6.5</b>	<b>Desenho 065_Montagem_Grampos</b>	<b>113</b>
<b>6.6</b>	<b>Desenho 101_Montagem_Conectores</b>	<b>114</b>
<b>6.7</b>	<b>Desenho 068_Montagem_Esferas_Encostos</b>	<b>115</b>
<b>6.8</b>	<b>Desenho 067_Montagem_Chapas</b>	<b>116</b>
<b>6.9</b>	<b>Desenho 092_Montagem_Intensificador_Pressão</b>	<b>117</b>
<b>6.10</b>	<b>Desenho 093_Montagem_Válvula_2-2</b>	<b>118</b>
<b>6.11</b>	<b>Desenho 095_Montagem_Admissão</b>	<b>119</b>
<b>6.12</b>	<b>Desenho 096_Montagem_Bloco</b>	<b>120</b>
<b>6.13</b>	<b>Desenho 097_Montagem_Válvula_Sequenciadora</b>	<b>121</b>
<b>6.14</b>	<b>Desenho 098_Montagem_Retorno</b>	<b>122</b>
<b>6.15</b>	<b>Desenho 099_Montagem_Linha_Admissão</b>	<b>123</b>
<b>6.16</b>	<b>Desenho 100_Montagem_Alimentação_Válvula</b>	<b>124</b>
<b>6.17</b>	<b>Desenho 071_Montagem_Estrutura</b>	<b>125</b>
<b>6.18</b>	<b>Desenho 102_Montagem_Alimentação_Atuaadores</b>	<b>126</b>
<b>6.19</b>	<b>Desenho 001_Mesa_Falsa</b>	<b>127</b>
<b>6.20</b>	<b>Desenho 003_Grampo</b>	<b>128</b>
<b>6.21</b>	<b>Desenho 006_Base</b>	<b>129</b>
<b>6.22</b>	<b>Desenho 007_Apoio_Esquerdo</b>	<b>130</b>
<b>6.23</b>	<b>Desenho 008_Apoio_Direito</b>	<b>131</b>

---

6.24	Desenho 010_Esfera_Centramento	132
6.25	3Desenho 011_Encosto_Radial	133
6.26	Desenho 016_Chapa_Lateral_Esquerda	134
6.27	Desenho 019_Porca_M24x1.5	135
6.28	Desenho 021_Chapa_Superior	136
6.29	Desenho 052_Mesa_Máquina	137
6.30	Desenho 053_Chaveta_18x25x50	138
6.31	Desenho 054_Tê	139
6.32	Desenho 076_Suporte_Intensificador_Pressão	140
6.33	Datasheet Super PB (Ramada Aços)	141
6.34	Datasheet G15 Special (Ramada Aços)	142
6.35	Datasheet BCW (Ramada Aços)	143
6.36	Datasheet F10 (Ramada Aços)	144
6.37	Datasheet AMF 6964H-11-2	145
6.38	Datasheet AMF 6919-2	147
6.39	Datasheet AMF 6918-2	149
6.40	Datasheet AMF 6951FP-22-11	150
6.41	Datasheet AMF 6951FP-22-12	152
6.42	Datasheet AMF 6983-1-600	154
6.43	Cálculo do esforço de corte no acabamento	155
6.44	Cálculo do esforço de corte no desbaste	157

# INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

Com uma indústria cada vez mais desenvolvida e competitiva, as empresas necessitam de apostar não só na qualidade funcional e estética dos seus produtos, mas também na qualidade do seu processo de fabrico e na qualidade dos serviços que oferecem. Na globalidade da indústria metalomecânica, um dos grandes desafios é a otimização dos seus processos de fabrico, de modo a obter um produto final de igual qualidade, ou superior, com menos custos e menos tempo de produção.

No caso em particular, será desenvolvida uma ferramenta de aperto hidráulico para a maquinagem de um componente de geometria complexa.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é otimizar o processo de fabrico de um componente. Essa melhoria no processo de fabrico tem diferentes vertentes:

- Garantia da qualidade do produto;
- Diminuição do tempo de setup;
- Diminuição do tempo de maquinagem;
- Diminuição do número de apertos;
- Diminuição da dificuldade de setup.

Com isto será possível diminuir o número de peças em produção, o *lead time* do componente e melhorar a repetibilidade do processo.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregue no desenvolvimento do trabalho é comum e indicada para problemas deste âmbito. Apesar de alguns pontos sofrerem de iteração ou serem desenvolvidos simultaneamente, a ordem cronológica de resolução de assuntos foi a seguinte:

- Identificação do problema/proposta de melhoria;
- Identificação de pontos críticos;
- Definição de objetivos a atingir;

- Esboço inicial das diferentes ideias;
- Análise de prós e contras das diferentes ideias e seleção da melhor abordagem;
- Desenho e montagem da ferramenta;
- Dimensionamento dos componentes mecânicos;
- Dimensionamento dos componentes hidráulicos;
- Escolha de materiais e processos de fabrico;
- Definição de componentes/operações subcontratadas.

Os seguintes pontos apenas serão efetuados após a conclusão da tese, e ficam a cargo e responsabilidade da ABER, Embraigens e Comandos Hidráulicos, António Bernardes Lda., empresa onde foi desenvolvido o projeto:

- Encomenda de matéria-prima e componentes externos;
- Subcontratação das operações necessárias;
- Fabricação;
- Montagem;
- Teste.

## 1.4 ESTRUTURA

A estrutura deste trabalho divide-se em quatro capítulos. Uma introdução, onde é apresentado e explicado o âmbito do trabalho. Uma primeira componente teórica, onde é enquadrado o trabalho e se abordam os temas mais importantes para o desenvolvimento deste, mas que não tem necessariamente desenvolvimento prático *per se*. Neste campo, são desenvolvidos alguns conhecimentos técnicos e algumas áreas do conhecimento que, de uma forma global, são necessárias para a abordagem de problemas idênticos.

O desenvolvimento do trabalho consiste numa abordagem técnica ao problema proposto, identificando problemas e melhorias que levam à produção da ferramenta. Neste processo, são detalhados os pormenores técnicos para o qual o engenheiro é necessário e foi preparado.

No final são apresentadas as conclusões justapostas com os objetivos propostos para o trabalho desenvolvido.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 Introdução aos processos de maquinagem

### 2.1.1 Fundamentos sobre processos de maquinagem

#### 2.1.2 Conceitos sobre fresagem

#### 2.1.3 Controlo CNC na maquinagem

## 2.2 Conceitos de fixação de peças para maquinagem

### 2.2.1 Referenciação

### 2.2.2 Posicionamento

### 2.2.3 Força necessária e área de aperto

## 2.3 Conceitos de qualidade

### 2.3.1 Conceitos gerais de qualidade

### 2.3.2 .. Conceitos de qualidade ligados à maquinagem por arranque de apara

## 2.4 Análise SWOT



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS DE MAQUINAGEM

#### 2.1.1 FUNDAMENTOS SOBRE PROCESSOS DE MAQUINAGEM

O termo maquinagem engloba vários processos distintos entre si, mas que tem por base o mesmo conceito. Todos eles partem de um dado volume de matéria-prima que é cortada de forma a obter uma geometria e tamanho finais, através de um processo devidamente controlado. Os processos conhecidos por removerem controladamente material para obtenção da forma final, são também conhecidos por produção subtrativa [1].

Antes de meados do século XVIII, a madeira era o principal recurso utilizado em estruturas e obras de engenharia, sendo que parte dos mecanismos para trabalhar madeira eram eles próprios também feitos em madeira. Exceções existem como no caso dos canhões, pequenos componentes metálicos como parafusos, utensílios e ferramentas que eram feitos de metal e exigiam também ferramentas metálicas para serem trabalhados. Com o início da revolução industrial e o aparecimento do motor a vapor, houve também uma grande evolução no que toca a ferramentas de corte e processos de fabrico, que permitiram a construção de equipamentos mais rígidos e precisos, feitos em metal que até então eram de madeira. Desde então que a indústria metalomecânica tem crescido e evoluído, sem previsões de abrandar nos anos vindouros [2].

#### 2.1.2 CONCEITOS SOBRE FRESAGEM

A fresagem, como processo de maquinagem por arranque de apana, tem evoluído ao longo dos anos, muito devido à evolução das máquinas que fazem estas operações. As operações que eram descritas como operações comuns de fresagem, já não são tão comuns nos dias que correm, por isso requer uma abordagem diferente na sua descrição, por forma a se enquadrar melhor nos dias que correm.

Seguidamente será apresentada uma abordagem a algumas das operações mais comuns na fresagem.

## Facejamento

O facejamento é das operações mais básicas da fresagem, sendo que muitos componentes começam por esta operação, particularmente quando a matéria prima provém de barras laminadas ou de fundição. O facejamento pode produzir apenas uma face maquinada, como também pode produzir duas comumente, a 90°, sendo que nesses casos temos uma combinação de maquinagem periférica com maquinagem de face. Diferentes condições para esta operação podem ser observadas na Figura 1.

Os casos mais comuns serão a maquinagem de faces sem necessidade de paredes a 90°, em que a ferramenta utiliza pastilhas redondas ou a 45°, dada a sua maior produtividade, desgaste inferior e menor propensão a vibrações [3].



Figura 1 - Ilustração de diferentes possíveis operações de facejamento [3].

## Fresagem de perfil:

Numa indústria cada vez mais avançada, maquinagens complexas já fazem parte do dia a dia de muitas empresas, mesmo quando se trata de produções em série, algo que, para ser reproduzido, era necessário recorrer a moldes muitas vezes em madeira, com recurso a bons artesãos e uma fresadora copiadora. Hoje em dia, é muito mais fácil com recurso a um software de CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) e um centro de maquinagem ou um torno CNC (*Computer Numerical Control*).



Figura 2 - Fresagem de perfil [4].

### Fresagem de rasgos

A fresagem de rasgos ou ranhuramento, como é normalmente chamado, pode ser realizado de formas bastante distintas. Na Figura 3 é possível observar os dois grandes grupos de processos e respectivas ferramentas utilizadas. À esquerda, fazendo uso de fresagem lateral com ferramentas em forma de disco (normalmente preferível), e à direita com ataque de topo, fazendo uso de ferramentas bem distintas das anteriores.

A escolha do processo incide na maior parte dos casos na posição do rasgo relativamente à ferramenta de corte, dada a geometria do resto da peça. A fresagem lateral é preferida devido ao escoamento da apanha, mas não é capaz de abrir rasgos na vertical sem saída com raio. A fresagem de “topo” é difícil, quando se trata de rasgos profundos, mas consegue ser bastante produtiva para rasgos largos ou em materiais difíceis, com estratégias de corte e ferramentas adequadas.



Figura 3 - Diferentes métodos para abertura de rasgos [5].

## Abertura de furos e cavidades

A furação é normalmente preferida quando se precisa de remover material de uma peça, numa dada geometria fechada, mas se fica normalmente restrito a furos cilíndricos. A fresagem amplia as geometrias disponíveis, com estratégias e ferramentas adequadas para o efeito. Apesar de uma broca ser a ferramenta adequada para penetrar material a cortar de topo, não significa que uma fresa não possa fazer o seu trabalho. Na realidade, uma combinação dos dois processos como observado na Figura 4 acaba por ser a escolha favorita, com a furação a permitir uma melhor entrada no material e a fresagem de perfil a permitir geometrias complexas e rendimentos elevados no processo.



Figura 4 - Diferentes processos para abertura de cavidades na fresagem [29].

## Chanframento

Os chanfros nas peças metálicas desempenham desde funções mais simples, como o melhor manuseamento de peças e melhor apresentação estética, a funções mais importantes, como facilitar a montagem de componentes ou impedir que se danifiquem outras peças em contacto com esta.

Na maquinagem, é normal optar por se quebrar todas as arestas, de forma a facilitar o manuseamento, mesmo quando não é explícito, salvo expressa indicação em projeto. A maquinagem por retrocesso, representada na Figura 5, não é uma operação muito comum, tanto na abertura de chanfros como em outras operações, mas por vezes é o suficiente para evitar um aperto adicional.

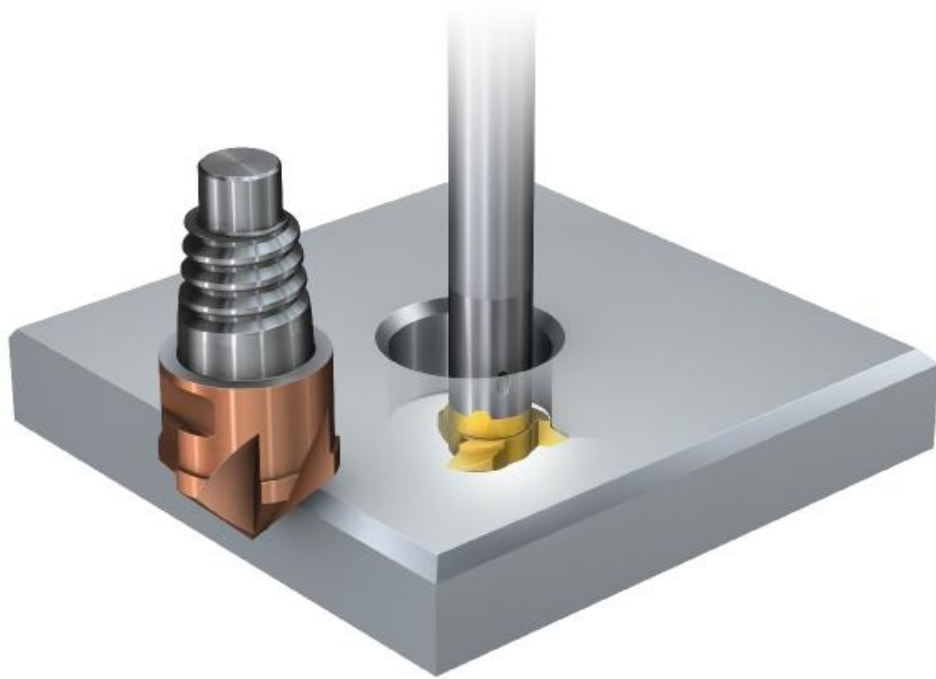


Figura 5 - Representação da maquinagem de chanfros [29].

### 2.1.3 CONTROLO CNC NA MAQUINAGEM

A maquinagem industrial data de há bastantes anos e as necessidades crescentes da indústria levaram e continuam a levar a inovações, de forma a dar-lhes resposta. O controlo CNC é hoje em dia abrangente a muito mais do que maquinagem, mas o primórdio do controlo computadorizado deu-se na década de 40, através de John T. Parsons, potenciado pela indústria bélica e aeronáutica [6]. No entanto, o primeiro protótipo daquilo que hoje conhecemos como CNC, foi desenvolvido pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) em 1953 (Figura 6).

Começando ainda nos primórdios da automação, os primeiros registos de máquinas com algum elemento de controlo automático datam do século XIX. O inventor Thomas Blanchard construiu alguns tornos para cópia de corpos de espingardas e outras armas, exemplo que pode ser observado na Figura 7, entre 1820 e 1830 [7]. A evolução dos tornos automáticos com base em cames continuou, com o trabalho do inventor Christopher Miner Spencer, também para otimizar o trabalho na produção de armas [8]. Desde sempre a necessidade de poder bélico foi das maiores, ou até mesmo a maior impulsionadora da tecnologia a vários níveis, mas particularmente da produção automatizada.



Figura 6 - Primeira máquina NC (*Numerical Control*) demonstrada no MIT em 1953 [6].

A tecnologia de cames evoluiu bastante até ao início do século XX, mas esta difere bastante do que é a tecnologia do controlo numérico, uma vez que não pode ser programada de forma abstrata. As cames destas máquinas continham a informação dos movimentos da máquina e das ferramentas, da mesma forma que as cames de um motor de combustão interna contém a informação do movimento das válvulas, mas estas são programadas na sua construção, através de maquinagem ou outros métodos. E sempre que se quer alterar o “programa”, é preciso refazer, remaquinar ou encher as cames, de forma a corrigir os movimentos das ferramentas.

O desenvolvimento de sistemas hidráulicos e a sua aplicação em sistemas de controlo por cames, foi também um grande impulso nesta tecnologia, mas continuava a recorrer a um tipo de programação física. Só com a introdução de sistemas de controlo elétrico com motores passo a passo e, posteriormente, a introdução de servomecanismos com controlo retroativo, viria a ser possível a complexidade de máquinas e controlo que hoje conhecemos.

Durante muitos anos, a maquinagem de superfícies complexas recorria a moldes e máquinas copiadoras, sendo que a qualidade final da peça era comprometida pela qualidade do molde. Obrigava também a que a um dado momento do processo, fosse sempre necessário alguém com elevada experiência em maquinagem, para conseguir preparar o trabalho. Um dos grandes passos para melhorar a maquinagem era conseguir que a qualidade do produto final dependesse apenas das ferramentas e da máquina, não de um objeto físico ou de sistemas de controlo físicos. Foi essa a melhoria que se conseguiu com a criação de sistemas de controlo por cartão perfurado [9].



Figura 7 - Torno copiador ou torno de Blanchard, movido a vapor de água, do armeiro Harpers Ferry Armory [10].

Um grande impulsionador desta tecnologia foi novamente a indústria aeronáutica. A Lockheed Martin estava com problemas a maquinar alguns componentes para as asas dos seus aviões, e recorreram a máquinas copiadoras de 5 eixos para as fabricar. O problema com que eles se depararam foi que a precisão da peça estava a ser comprometida pela precisão dos modelos. Foi nessa altura que eles recorreram a Parsons, de forma a desenvolver uma máquina [6].



Figura 8 - Exemplo de cartão perfurado de 5 e 8 bits (esquerda) [11] e máquina CNC com leitura por cartão perfurado (direita) [12].

Existiam ainda assim muitos problemas associados a esta tecnologia. O papel, representado na Figura 8, é frágil, continua a ser difícil de programar, susceptível a erros, e a alteração de um programa é bastante limitada e complexa. O tempo de maquinagem tinha de facto reduzido, mas havia agora muito tempo perdido na programação [13].

Muito havia ainda a melhorar nas máquinas. Um dos grandes problemas que era frequente acontecer, prendia-se com a potência dos motores. Naquela altura, cada eixo era movido independentemente, com um motor que atuava de acordo com o seu próprio modelo ou cartão, mas os esforços de corte variáveis durante a maquinagem, contrariavam o esforço do motor de forma não linear, levando a erros de posicionamento que não conseguiam ser combatidos facilmente. A resposta a este problema passava por criar um sistema de feedback e acoplá-lo às máquinas, que surgiu em colaboração com o MIT.

As vantagens do controlo numérico eram explícitas, mas mesmo assim a tecnologia era pouco conhecida e as máquinas muito caras. A proliferação desta tecnologia foi impulsionada com a iniciativa do exército norte americano, que construiu e emprestou 120 máquinas de controlo numérico a várias empresas, de forma a popularizar o seu uso [6].

O grande passo no combate à dificuldade e tempo de programação surgiu durante o desenvolvimento do Whirlwind I, um dos primeiros computadores de tubos de vácuo digital, que operava em tempo real com memória magnética. John Runyon conseguiu codificar subrotinas capazes de automaticamente produzir cartões perfurados sob controlo, calculando os pontos necessários, dando alguns *inputs* como pontos e velocidades. Não só isto viria a produzir um corte mais suave e constante durante a maquinagem, como reduzia em alguns casos o tempo de programação de 8 horas para 15 minutos. Nessa altura, a força aérea norte americana deu os primeiros passos na uniformização do código CNC, com a linguagem APT [14].

Nos dias de hoje, quase todos os controladores CNC aceitam linguagem ISO (*International Organization for Standardization*) na sua programação, se a própria linguagem não for idêntica a esta. Por norma, nos controladores com linguagem conversacional, como Heidenhain e Mazatrol, estes também aceitam programação em linguagem ISO, de acordo com a norma ISO 6983 ou DIN 66025 (*Deutsches Institut für Normung*), apesar de poderem existir algumas variações.

## 2.2 CONCEITOS DE FIXAÇÃO DE PEÇAS PARA MAQUINAGEM

Desde que existe maquinagem, a fixação das peças pode comprometer a acessibilidade das ferramentas, limitando as operações que são possíveis de realizar em determinado componente. Hoje em dia, mesmo com máquinas e ferramentas complexas, o bom aperto das peças pode ditar o quão fácil ou difícil é maquinar uma peça, ou o número de fixações necessárias à maquinagem da peça.

### 2.2.1 REFERENCIAÇÃO

Uma boa referenciação na maquinagem, é como uma boa cotagem num desenho técnico. Para se conseguir eliminar os erros que daí poderão advir, é preciso ter a capacidade de olhar à frente e perceber o que pode correr mal, e de que forma pode correr mal. Também é preciso entender de que forma a precisão da máquina e das ferramentas podem influenciar o processo de referenciação.

Regra geral, é aconselhável manter o zero-peça no centro do bloco, ou da geometria de referência quando esta tem superfícies em bruto, irregulares ou que ainda vão ser remaquinadas, de forma a equilibrar o erro de posicionamento que pode provir dessas superfícies. A figura abaixo mostra duas dessas situações.

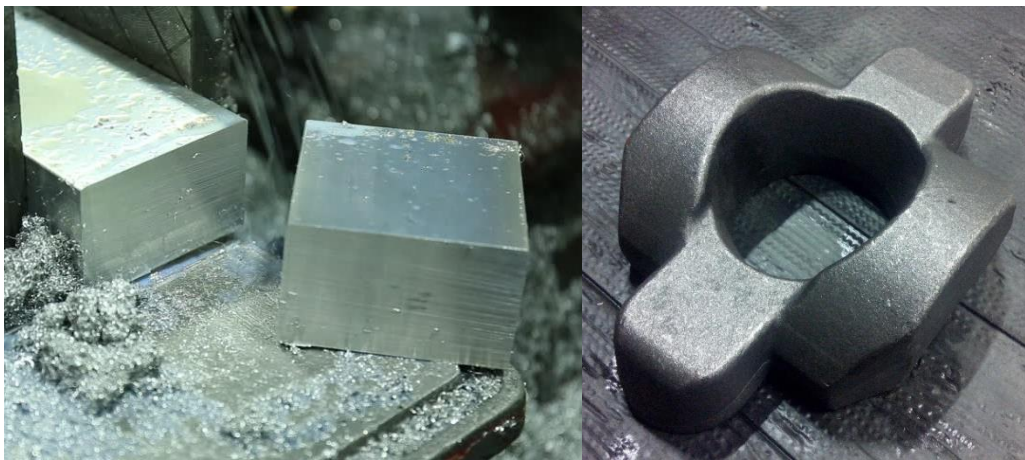


Figura 9 - Bloco em bruto de alumínio (esquerda) e bruto proveniente de forja (direita).

Quando o corte provém do serrote (Figura 9 esquerda), erros como desgaste da serra, corte enviesado ou pontas imperfeitas da barra, podem ser compensados com o zero ao centro. A sobreespesura de maquinagem em ambos os lados vai absorver o erro por igual, aumentando a probabilidade de existirem faces por maquinar devido à falta de material. Já na peça forjada, o mesmo pode acontecer, se bem que os erros provém de defeitos como moldes desencontrados, da própria variação do processo, que pode ser elevada em alguns casos, ou linhas de apartação muito salientes.

Quando uma operação de maquinagem já foi antecedida por outras, ou existem superfícies de referência para o posicionamento da peça, estas deverão ser tomadas como referência para a operação seguinte. Relembra-se que o zero-peça não tem que ser necessariamente nestas superfícies, mas estas devem ser utilizadas para o marcar.

### 2.2.2 POSICIONAMENTO

O posicionamento das peças para a maquinagem tem enorme influência sob a forma como a maquinagem pode ou não ser executada. Deste modo é crucial escolher os

métodos mais adequados, quando se pensa numa maquinagem difícil ou numa produção em série.

### **Prensa**

A prensa é uma ferramenta bastante simples de usar, e bastante comum na maior parte das indústrias. Esta pode ou não ter funcionalidades como regulação angular, mas a mais comum pode ser observada na Figura 10. Não é muito comum ver-se soluções com prensas automatizadas, mas algumas de acionamento pneumático ou hidráulico já são mais passíveis dessa automatização, sendo que as hidráulicas conseguem produzir maior força de aperto que as pneumáticas. Mesmo de forma manual, a troca de peça costuma ser rápida.



Figura 10 - Prensa comum usada em fresagem [15].

A prensa é muito empregue em peças que provém de barras de secção quadrangular ou retangular, até cerca de 300 mm, apesar de existirem prensas mais abrangentes. Também é empregue na fresagem de peças com pelo menos duas faces paralelas, que possam fornecer um aperto estável, sem entraves à ferramenta na operação seguinte. Não deixa as superfícies de aperto marcadas, quando bem utilizada, e é também uma ferramenta versátil quando utilizada em conjunto com calços ou mordentes especiais.

### **Grampos de escada**

Este tipo de solução, observado na Figura 11, é muito empregue quando se tem peças com grande área de aperto. A troca de peça é mais demorada do que nos casos em que esta é apertada por prensa, mas continua a ser uma boa alternativa, quando não se dispõe de prensas com elevada capacidade. Como todos os sistemas de aperto, alguns cuidados devem ser observados:

- Distribuir os calços de forma a minimizar vibrações;
- Atentar aos movimentos das ferramentas, uma vez que os calços se encontram sobre a área de maquinagem em vários casos;

- Ter cuidado à profundidade de maquinagem, que é muitas vezes limitada pela mesa;
- Garantir que a zona mais baixa do calço se encontra do lado da peça, para maximizar o esforço de aperto.



Figura 11 - Exemplo de aplicação do sistema de aperto em escada [16].

Esta solução é difícil de ser automatizada, pelo que a sua aplicação vê-se limitada pelas indústrias que a conseguem utilizar de forma eficiente. Mesmo assim, existem muitas indústrias ainda que usam este tipo de aperto regularmente.

### **Grampos laterais**

É uma boa alternativa à solução anterior, evitando o problema de existirem componentes sobre a área de maquinagem como pode ser observado na Figura 12. Estes marcam a peça, por isso não é aconselhável usar em superfícies que não possam ter defeitos.

### **Alavancas de fixação:**

As alavancas mostram-se vantajosas quando se procura troca rápida de peças. A sua força de aperto é, por norma, limitada, quando comparadas com uma prensa, mas são bastante úteis em maquinagens mais leves. No entanto, como observado na Figura 13, podem colocar obstáculo aos movimentos das ferramentas de corte, uma vez que geralmente se colocam sobre a peça a ser maquinada.



Figura 12 - Exemplo de grampos laterais [17].



Figura 13 - Alavancas manuais na fresagem de madeira [18].

Estas alavancas podem assumir várias formas e feitios: ajustáveis, fixas, rotativas entre outras opções. Também existem sistemas idênticos a estes, mas providos de força pneumática ou hidráulica como o representado na Figura 14.

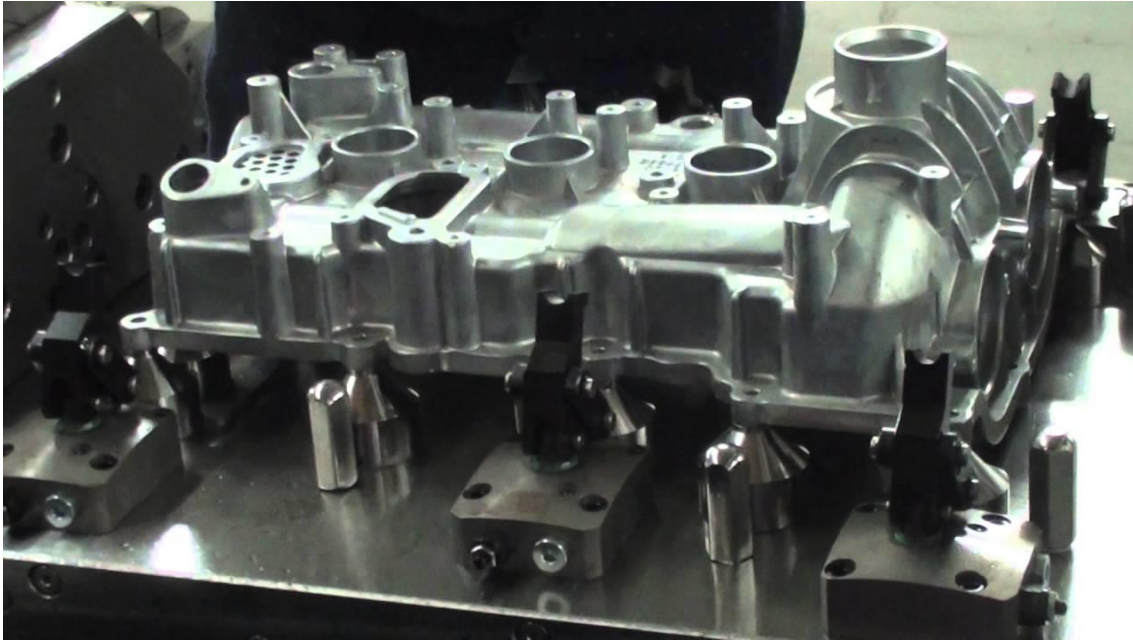


Figura 14 - Sistema de aperto com grampos hidráulicos [19].

Estes sistemas são normalmente preferidos no que toca a automatização industrial, mas envolvem também um projeto cuidadoso e um investimento superior.

### **Buchas e pinças**

As buchas como método de fixação, são muito comuns em torneamento, mas também são bastante utilizadas em fresagem. Normalmente, são uma solução prática quando as superfícies de aperto são cilíndricas, ou quando a empresa não dispõe de tornos CNC capazes de fazer fresagem.

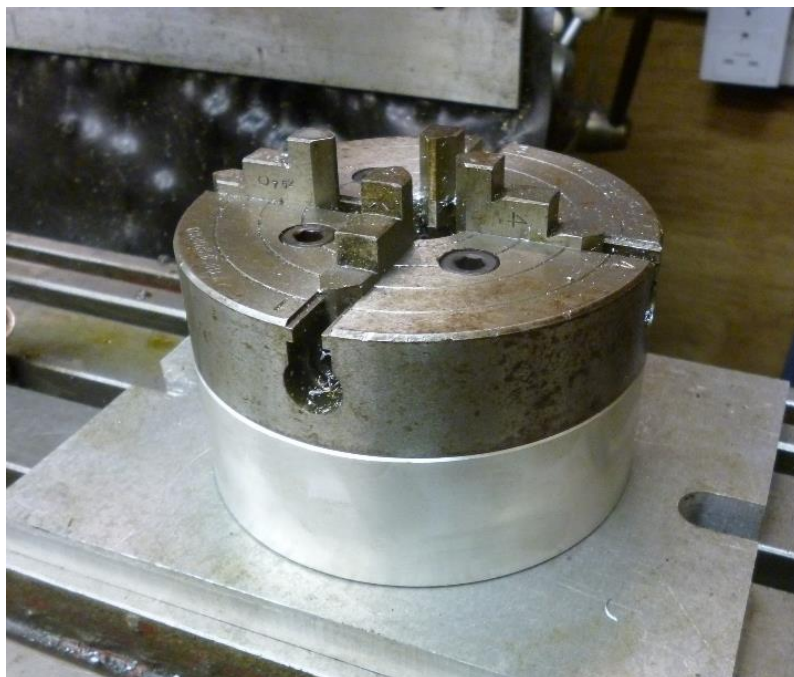


Figura 15 - Bucha para fresagem [20].

As pinças para aperto de peças, vêm alguma aplicação no torneamento de peças cilíndricas, mas estas são utilizadas em conjunto com a bucha. Visam conseguir um aperto uniforme de peças de dimensões reduzidas, ou aumentar a acessibilidade da ferramenta, diminuindo o risco de colisões entre bucha e ferramenta de corte.

### Dispositivos de fixação magnéticos e por vácuo

Por vezes, a acessibilidade à peça é de extrema importância e as ferramentas de fixação magnética ou por vácuo são as mais utilizadas neste campo. No entanto, são limitadas no que toca à força de aperto, pelo que apenas são aconselhados em operações de esforço reduzido e com superfícies grandes e planas, para se conseguir uma boa fixação. Ambos são muito utilizados quando se trata de peças bastante finas, planas e com uma grande área, pois estes métodos ajudam a manter a planeza da peça, evitando deformações durante a maquinação.



Figura 16 - Dispositivo de fixação magnética montado numa retificadora plana [21].

Os dispositivos de fixação magnética, como o da Figura 16, encontram aplicações em quase todas as indústrias, mas são mais comumente utilizados em operações de baixo esforço, como a retificação plana e a eletroerosão por penetração. Também são limitados pelo facto de apenas conseguirem fixar peças ferromagnéticas e de atraírem as aparas resultantes do processo, pelo que em alguns casos pode dificultar a remoção da aparas da zona de trabalho. Existem algumas aplicações em que se consegue apertar peças antiferromagnéticas, mas carecem de estudos prévios, com construção de gabaris para o efeito.

Já os dispositivos de fixação por vácuo, encontram a maior parte do seu uso na indústria da madeira aplicados em *routers*, em particular para a maquinação de placas de madeira de grandes dimensões. Também são limitados a peças com superfícies planas para aperto, e a forças de aperto relativamente baixas. Ambos os dispositivos de fixação magnéticos e por vácuo, promovem uma troca rápida de peça, crucial na produção em série.

### Fixação adesiva e gabaris

A fixação adesiva é ainda difícil de se encontrar na indústria. Uma das maiores indústrias a utilizar este tipo de fixação é a aeronáutica, na maquinagem de peças leves e com geometrias complexas. Muitas vezes, esta vem associada também à construção de gabaris para o efeito.

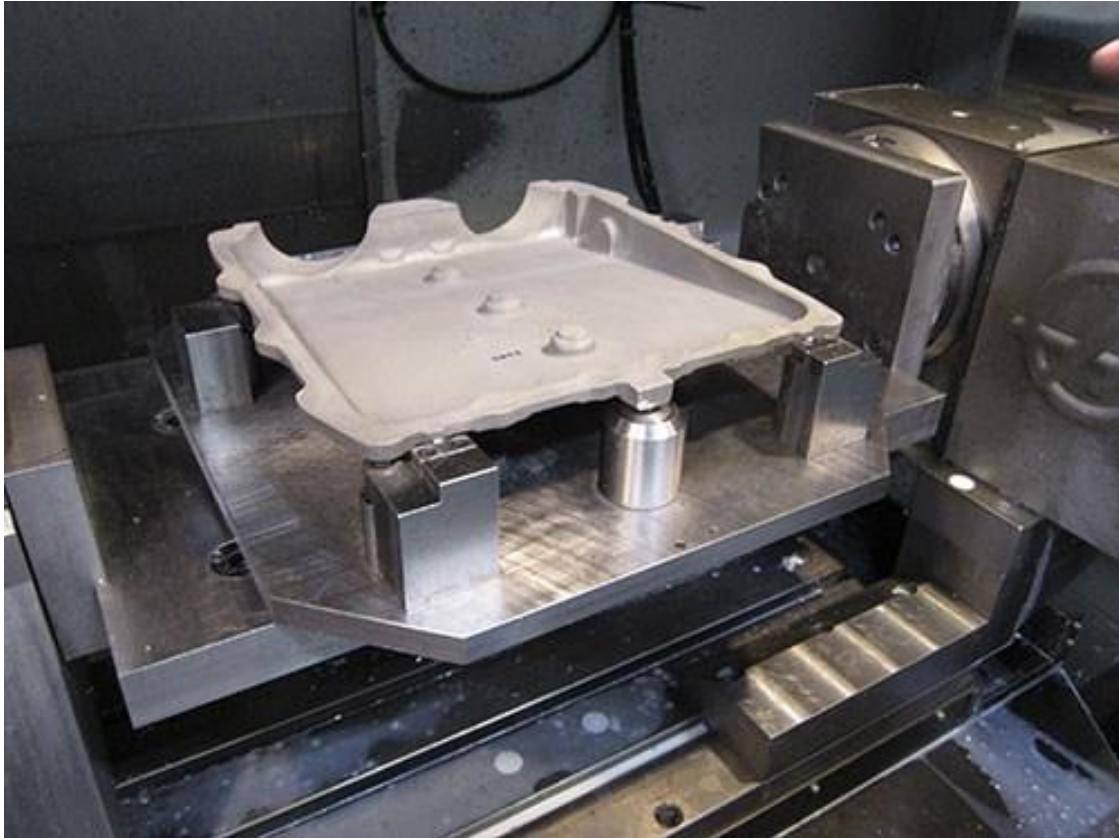


Figura 17 - Gabari para fixação de uma peça fundida em liga de magnésio com pontos de fixação adesiva [22].

A fixação adesiva não é uma solução que promova trocas de peça muito rápidas, mas certamente consegue evitar torção, mesmo em peças de geometria complexa, quando comparado com outros sistemas de aperto mecânico. Antes de se colocar a peça, deve-se colocar adesivo nos pontos corretos e fazer a cura deste, após a colocação da peça. É um processo que pode demorar cerca de 30 segundos por ponto de fixação, só para a cura do adesivo, o que significa que no caso da Figura 17, onde existem 9 pontos de fixação, cerca de 4 minutos e meio eram necessários para a cura do adesivo. Após a remoção da peça, também é necessário remover qualquer resto de adesivo, de modo a maquinar a próxima peça. Esta operação consegue, em alguns casos, ser efetuada com uma pequena maquinagem nas zonas de aperto.



Figura 18 - Gabarito com grampos de acionamento manual e hidráulico [23].

Os gabaritos, como o apresentado na Figura 18, continuam a ser uma das formas de fixação mais versáteis para a maquinagem do mais variado tipo de componentes. Estes podem ser desenvolvidos para peças grandes, pequenas, complexas ou simples. Por vezes, o objetivo de um gabarito não é apertar uma peça que de outra forma não seria possível, mas sim conseguir otimizar e automatizar o processo de troca de peça, eliminando a necessidade do operador. O grande problema destes, é a necessidade de projeto e construção, que pode atrasar o início da produção de um dado componente e requer alguém com conhecimento e experiência para tal.

### 2.2.3 FORÇA NECESSÁRIA E ÁREA DE APERTO

O aperto da peça para maquinagem não é complicado, quando se trata de peças de geometria simples ou com pouco rigor, mas a escolha e desenvolvimento de um aperto eficaz que elimine ou reduza todos os problemas que podem ser por ele provocados, pode em alguns casos ser considerado uma arte [24]. Algumas regras são bastante simples e todo o operador de máquinas deveria saber, independentemente de ser ou não o responsável pelo *setup* das máquinas. No caso mais comum da fresagem com recurso a uma prensa para efetuar o aperto das peças, podemos constatar:

- Quanto maior for a área de aperto, melhor. Isto deve-se ao facto de que a força necessária para segurar a peça, não vai ser determinada pela área em que esta aperta, mas pelo esforço de corte desenvolvido. Em peças paralelepípedicas, resulta que as faces mais indicadas para aperto serão as mais compridas diminuindo também desta forma a distância entre os mordentes. Deste modo, se se conseguir uma área de aperto superior, a pressão de aperto será menor e reduzirá o risco de marcar a peça;
- Os materiais devem ser apertados por mordentes de igual ou menor dureza que o material a maquinar. Isto é válido quando se quer evitar marcas na peça. Não é necessariamente verdade, quando se aperta faces brutas que sofram maquinagem posterior. Ao invés de mordente, pode-se colocar uma proteção entre o mordente e a peça para este efeito (e. g. folhas de latão, peças de cobre ou alumínio);
- Deve-se procurar que a peça tenha a menor altura possível acima da prensa. Da mesma forma que ferramentas muito compridas são propensas a vibrações, peças que sobressaiam muito da sua zona de aperto, sofrem do mesmo problema.

Estes princípios para o aperto de peças devem estar presentes nos operadores de máquinas e nas pessoas que definem e preparam os componentes a serem produzidos. Para os métodos de aperto mecânico mais comuns, prensa, bucha, grampos e afins, a fórmula seguinte é válida:

$$F_{aperto} = \frac{F_{maquinagem} * C.S.}{\mu} \quad (2.1)$$

Apesar da maior parte das aplicações da engenharia tomarem um valor de 1.5 para coeficiente de segurança, nestes casos é importante limitar a força, de modo a não marcar as faces de aperto quando necessário. Por isso, valores entre 1.1 e 1.25 podem ser aplicados. Quanto ao coeficiente de atrito, pode ser conveniente entrar com o coeficiente de atrito entre os materiais lubrificados, pois se a maquinagem utilizar refrigeração, os resíduos de líquido de corte podem influenciar no aperto [25].

## 2.3 CONCEITOS DE QUALIDADE

### 2.3.1 CONCEITOS GERAIS DE QUALIDADE

O que é a qualidade ou como é que esta pode ser definida? Por vezes, torna-se difícil chegar a um consenso, pois esta questão pode ser respondida de formas distintas, sem que nenhuma destas esteja necessariamente errada. Esta divergência pode ser explicada pelo contexto ou pelo foco em que se está a avaliar a qualidade, aquando da pergunta.

Dizer que “Qualidade” é representada por todas as características de um determinado produto que satisfazem a necessidade do cliente, é tão correto como dizer que “Qualidade” significa a ausência de defeitos [26, 27]. Apesar de ser possível interpretar o mesmo de outras formas, e de orientar o conceito de qualidade a outros campos, no que toca ao mundo da produção e ao mundo do negócio estas duas são as definições mais universais e globalmente aceites. Na Tabela 1 vemos uma excelente representação destas duas orientações para a qualidade.

Tabela 1 – Os significados da qualidade [28].

Caraterísticas do produto que correspondem às necessidades do consumidor	Liberdade de defeitos
<p>Maior qualidade permite às empresas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a satisfação do cliente;</li> <li>• Tornar os produtos vendáveis;</li> <li>• Aumentar a competitividade;</li> <li>• Aumentar a quota de mercado;</li> <li>• Aumentar os lucros;</li> <li>• Diminuir preços.</li> </ul>	<p>Maior qualidade permite às empresas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir taxas de erro;</li> <li>• Reduzir retrabalho, desperdício;</li> <li>• Reduzir retomas em garantia;</li> <li>• Reduzir insatisfação do cliente;</li> <li>• Reduzir inspeção e teste;</li> <li>• Reduzir tempo de colocação no mercado;</li> <li>• Aumentar produtividade, capacidade;</li> <li>• Melhorar desempenho.</li> </ul>
Produz maior efeito nas vendas	Produz maior efeito nos custos
Regra geral, maior qualidade custa mais	Regra geral, maior qualidade custa menos

### 2.3.2 CONCEITOS DE QUALIDADE LIGADOS À MAQUINAGEM POR ARRANQUE DE APARA

No que toca à maquinagem, a visão de qualidade debruça-se sobre a redução do erro e o aumento da produtividade, o que difere da visão de quem desenvolve o produto, pois este está focado na necessidade do cliente e em responder às suas necessidades. A qualidade na maquinagem resulta do controlo de diferentes fatores, com diferentes graus de influência sobre o produto final. O controlo dos elementos que influenciam a qualidade final de um produto, como a ferramenta e a máquina, é feito com base em observações diretas ou indiretas dos seus efeitos.

### 2.4 ANÁLISE SWOT

A análise *SWOT* é uma ferramenta de análise muito empregue em diversas indústrias, que permite avaliar se os objetivos propostos para o produto ou empresa são atingíveis, ou para avaliar a sua vantagem competitiva. É uma ferramenta versátil capaz de ser aplicada a produtos, empresas ou até mesmo pessoas.

Apesar da sua origem não ser muito bem definida, a sua criação é normalmente atribuída ao trabalho de Albert S. Humphrey na década de 60, enquanto trabalhava para o SRI (*Stanford Research Institute*), sendo que este atribui a sua criação a Harvard ou ao MIT [29].

O acrónimo *SWOT* significa pela seguinte ordem: *strengths* (forças), *weaknesses* (fraquezas), *opportunities* (oportunidades) e *threats* (ameaças).

Tabela 2 – Análise SWOT da ferramenta.

<p><b><i>Strengths:</i></b></p> <p>Possibilidade de controlo dimensional completo das superfícies maquinadas na primeira operação;            Redução do tempo de maquinagem;            Melhor repetibilidade;            Maior independência do operador.</p>	<p><b><i>Weaknesses:</i></b></p> <p>Investimento inicial para construção da ferramenta;            Necessidade de “equipamento” externo;            Menor flexibilidade para alterações posteriores.</p>
<p><b><i>Opportunities:</i></b></p> <p>Menor <i>lead time</i>;            Menor custo unitário;            Maior cadência.</p>	<p><b><i>Threats:</i></b></p> <p><i>Payback</i> longo e dependente do mercado.</p>



# DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Caracterização da empresa
- 3.2 Identificação do problema, requisitos e objetivos
  - 3.2.1 Sequência operatória atual
- 3.3 Tempestade de ideias
- 3.4 Anteprojeto do dispositivo de fixação
- 3.5 Análise crítica das ideias e seleção do caminho a percorrer
- 3.6 Análise de melhorias a implementar
- 3.7 Projeto
  - 3.7.1 Vista geral explodida
  - 3.7.2 Subsistemas
  - 3.7.3 Cálculo estrutural
  - 3.7.4 Cálculo do sistema hidráulico
  - 3.7.5 Identificação de situações críticas
- 3.8 Seleção de materiais e processos de fabrico

3.9 Lista de peças e componentes

3.10 Análise FMEA

3.11 Manual de utilização

3.12 Manual de manutenção

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A ABER é uma empresa ligada ao ramo da óleo-hidráulica, especializada em componentes de transmissão de potência. Os seus produtos principais consistem em:

- Bombas e motores hidráulicos de deslocamento positivo (bombas de carretos, bombas de pistões inclinadas e bombas de caudal variável);
- Tomadas de força;
- Distribuidores e desviadores de caudal;
- Depósitos e sistemas de elevação hidráulicos.

A ABER exporta cerca de 90% dos seus produtos, sendo que alguns dos seus principais mercados são a Rússia e a França. Fundada em 1972, a sua área de negócio era inicialmente de embraiagens e comandos pneumáticos, sendo que o mercado alvo foi migrando para a área da hidráulica, devido à diminuição da procura desse tipo de produtos.

Detentora de várias patentes, a ABER é das poucas empresas da área que tem um gabinete de projeto a desenvolver o próprio produto e é a única em Portugal com essa característica. Atualmente, emprega cerca de 100 pessoas. Os sistemas de elevação são desenvolvidos na sua subsidiária, a ABERMOVE.

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA, REQUISITOS E OBJETIVOS

A maquinação do componente em estudo, é algo que atualmente passa por um *setup* de média complexidade, mas com pormenores que não estão ao alcance de um operador CNC. Em causa, está também a qualidade do produto final, pois o *setup* da

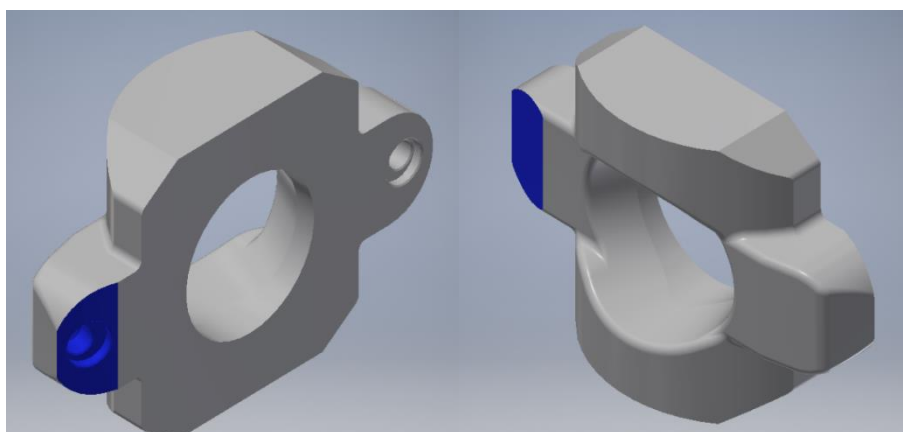


Figura 19 - Faces de elevada importância (a azul).

máquina terá muita influência no seu controlo dimensional.

No processo de maquinagem atual, as duas faces azuis da Figura 19 não são maquinadas no mesmo aperto, o que implica que se existir algum erro na maquinagem de primeiro aperto, este só poderá ser detetado e corrigido quando o segundo lado for maquinado, o que leva à rejeição de pelo menos uma peça, caso esse erro se detete.

O *setup* é atualmente muito complexo, e não está de acordo com os objetivos e as necessidades atuais da empresa. Como se trata de uma peça maquinada num centro de maquinagem horizontal que tem diversas indexações, quando se faz o *setup* da peça é necessário fazer o zero peça de uma das posições de maquinagem, nomeadamente a  $0^\circ$  e calcular a posição do zero peça noutras posições de indexação, neste caso a  $21^\circ$ . A resolução é simples e a maior parte dos operadores ao serviço da ABER, são capazes de fazer o cálculo quando se tratam de indexações ortogonais ( $90^\circ$  e múltiplos), mas para além disso apenas duas pessoas na empresa são atualmente capazes de o fazer de forma autónoma. Existem outras pessoas que poderão ser capazes de o fazer, mas com o apoio do gabinete de projeto, que apenas trabalha um turno e com a maior parte das horas de trabalho coincidentes com os trabalhadores anteriormente mencionados.

Detalhando melhor o problema do *setup* em si, os cálculos são metódicos e podem ser sistematizados, pois apenas se trata de um problema de trigonometria, em que um ponto, o zero-peça, roda num plano em torno de um eixo, o centro de rotação da palete, mas devemos-nos lembrar que a maior parte dos operadores, quer atuais, quer futuros, apostou na vida e no ensino profissional, de forma a evitar os problemas que a matemática lhes podia trazer no futuro e aqueles em que esta afirmação não se aplica, não tem a prática suficiente para produzirem resultados com certezas do seu trabalho. A forma como a ABER tem estruturada ou está a tentar estruturar a produção, implica que o responsável operacional de cada um dos turnos faça o *setup* e o ensaio que aconteçam no seu turno, o que significa que teoricamente apenas estes precisariam de saber fazer o *setup* deste componente, mas também tenta trabalhar no sentido de que qualquer um consiga fazê-lo, desde que saiba trabalhar com as máquinas. Esta filosofia deve ser cumprida o melhor possível, devido à rotatividade de pessoal que a empresa tem observado. O setor dos centros de maquinagem em particular, viu a responsabilidade de *setups* de máquinas mudar de pessoas três vezes nos últimos dois anos, ainda que algumas dessas pessoas ainda estejam presentes na empresa, por isso, não é uma boa política para a empresa que algumas pessoas tenham a solução para alguns dos problemas que todos enfrentam.

Alterações ao componente obrigaram a alterar a gama operatória, incluindo uma operação de fresagem adicional, tendo agora três operações de fresagem, sendo que apenas tinha duas inicialmente. É possível ver o que é maquinado nessa terceira operação na Figura 20.



Figura 20 - 3ª operação de fresagem.

Apesar de ser uma operação bastante simples e rápida, que exige poucas e simples ferramentas, existem sempre outras perdas associadas. O simples facto de ter que esperar pela disponibilidade da máquina para a realização da operação, e o facto de poder estar a interromper uma produção estável de outros componentes, gera perdas difíceis de estimar, mas que de facto existem.

A matéria-prima é obtida por forjamento no aço 18 CrNiMo 7-6 (Anexo 34), o que por si só já exige outros cuidados, quando comparado com um aço de fácil maquinagem. Observa-se um desgaste mais acentuado das ferramentas e um esforço superior, quando comparado com a maquinagem dos ferros fundidos, muito utilizado noutros componentes também lá produzidos, mas de uma forma geral as ferramentas empregues atualmente e os processos e métodos de maquinagem estabelecidos, estão bem otimizados e não são de longe a maior necessidade de melhoria.

### 3.2.1 SEQUÊNCIA OPERATÓRIA ATUAL

Atualmente, o processo de fabrico do componente em estudo passa por nove etapas distintas, sendo que seis delas são de transformação por arranque de apara e três dessas etapas são efetuadas nos centro de maquinagem. Para além destas, existem duas lavagens em alturas distintas e a subcontratação da cementação. As duas primeiras operações de fresagem devem ocorrer em simultâneo devido ao difícil controlo dimensional com as tradicionais ferramentas de controlo às quais os operadores têm acesso.

O fabrico do componente passa pelas seguintes etapas:

- 1ª operação de fresagem;
- 2ª operação de fresagem;
- 3ª operação de fresagem;
- Torneamento;
- Lavagem (para tratamento térmico);
- Cementação (subcontratada);
- Retificação cilíndrica;
- Retificação plana;
- Lavagem (para armazenamento).

Na primeira operação de fresagem são maquinadas as faces coloridas representadas na Figura 21, sendo que o *setup* de máquina atual pode ser visualizado na mesma figura do lado direito.

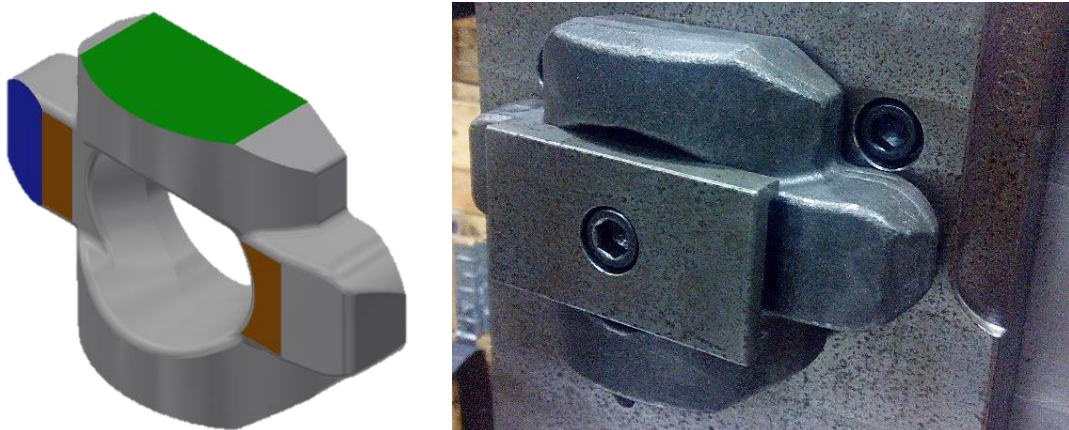


Figura 21 - Superfícies maquinadas na primeira operação de fresagem (esquerda) e respetivo *setup* (direita).

As superfícies a verde são fresadas lateralmente, pelo que exigem um longo comprimento de ferramenta e, conseqüentemente, reduzidos parâmetros de corte. As faces ficam ligeiramente inclinadas resultado da flexão da ferramenta.

As superfícies representadas a laranja não estão ao mesmo nível. Uma delas, não tem qualquer funcionalidade, do ponto de vista da função do componente no produto final, e apenas é maquinada para permitir o *setup* da segunda operação.

A superfície a azul escuro é inclinada  $21^\circ$  e paralela a outra na face oposta que apenas é maquinada na segunda operação. A cota entre as mesmas deve ser controlada e esta é um indicativo se o *setup* da primeira operação está correto.

Na segunda operação de fresagem, são maquinadas as superfícies representadas na Figura 22. Estas superfícies são das mais importantes para a função do componente e o *setup* em operações seguintes. O *setup* para esta operação, pode ser observado na figura abaixo.

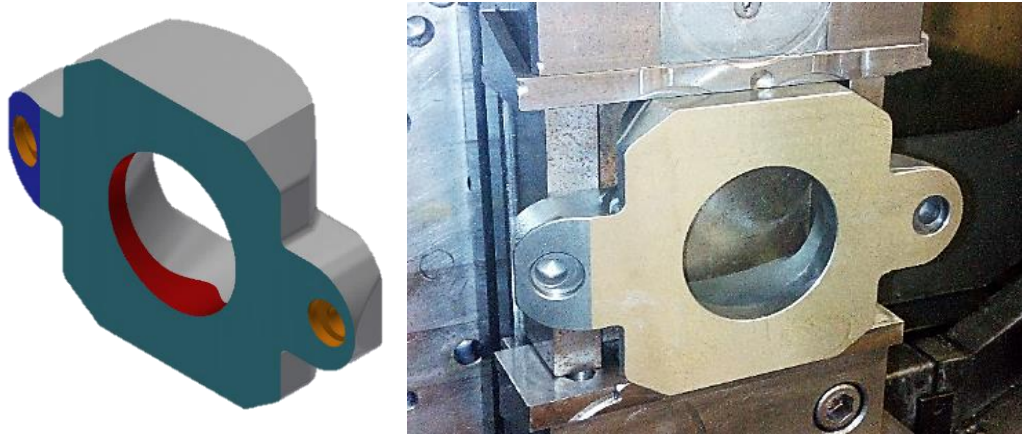


Figura 22 - Superfícies maquinadas na segunda operação de fresagem (esquerda) e respetivo *setup* (direita).

A superfície azul escuro, é paralela à superfície da mesma cor representada na Figura 21. Esta, é um dos limites físicos para o caudal da bomba pois limita a rotação do prato basculante.

A grande superfície plana a azul claro, requer elevada planeza. Esta regula o curso dos pistões através da inclinação do prato, e consequentemente o caudal da bomba. Nela encostam a cabeça dos pistões.

O furo a vermelho, apenas permite a passagem do veio de acionamento, com tamanho consideravelmente inferior, pelo meio desta, mas serve também como posicionamento para as operações de torneamento e retificação cilíndrica. Devido ao aperto lateral da peça nesta operação, é propenso a elevadas ovalizações.

Nos furos a laranja montam pinos cilíndricos, e estes também não devem ficar ovalizados com o processo de fabrico.

A terceira operação de fresagem apenas é responsável por criar uns alívios na peça, que foram necessários após alterações ao projeto inicial. Este detalhe pode ser observado na Figura 23.



Figura 23 - Detalhe da 3ª operação de fresagem.

Esta alteração, permitiu aumentar o caudal da bomba, que por sua vez implicou um maior basculamento do prato e esta maquinação tornou-se necessária de forma ao prato não colidir com o veio de acionamento.

Após toda a fresagem do componente, este é torneado aos pares onde são maquinadas as superfícies verdes representadas na Figura 24.

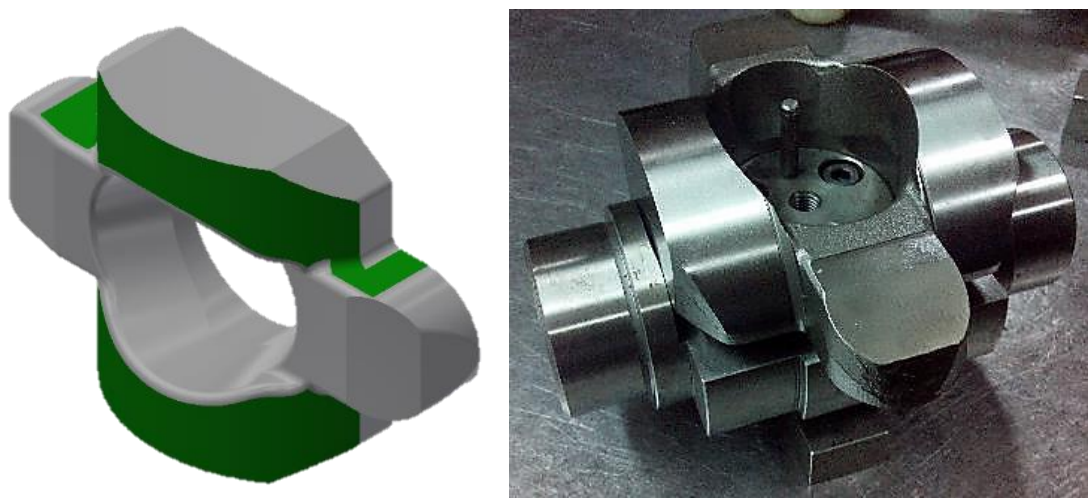


Figura 24 - Superfícies maquinadas na operação de torneamento (esquerda) e respetiva ferramenta de aperto (direita).

As superfícies semi-cilíndricas, no funcionamento do componente, permitem a rotação deste sobre umas placas de desgaste. Possuem uma tolerância dimensional e geométrica apertadas. As superfícies planas, são maquinadas não para garantir a funcionalidade da peça, mas para melhorar a peça do ponto de vista ergonómico, eliminando algumas rebarbas e permitindo um melhor manuseamento da mesma.

Após a operação de torneamento, as peças são lavadas de forma a seguirem para cementação isentas de óleos, aparas ou outros resíduos.

A retificação cilíndrica, é efetuada após o componente voltar do subcontrato de cementação. A operação é em muito idêntica à operação de torneamento, inclusive na ferramenta de aperto que é a mesma.

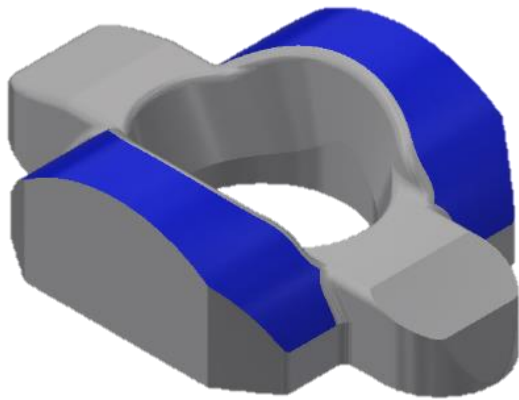


Figura 25 - Superfícies retificadas na operação de retificação cilíndrica (esquerda) e respetiva ferramenta de aperto (direita).

A última operação de transformação realizada no componente é a retificação plana representada na Figura 26.



Figura 26 - Superfícies retificadas na operação de retificação plana (esquerda) e aspeto final do componente (direita).

Como já foi explicado, esta superfície é de grande importância para a funcionalidade do componente, pelo que esta operação visa corrigir empenos e imperfeições provenientes das operações anteriores e da cementação. Após esta operação, a peça é lavada, oleada e armazenada.

### 3.3 TEMPESTADE DE IDEIAS

Tendo em conta a geometria complexa da peça, definiu-se como objetivo mínimo a diminuição do número de apertos das operações de fresagem para duas, sendo que o objetivo ideal seria maquinar a peça num aperto único.

Numa tentativa de se aproximar do objetivo ideal, procurava-se apertar a peça pelas zonas não maquinadas, mas estas têm geometria irregular e poderiam não permitir um bom aperto. Uma outra abordagem, seria garantir melhor consistência no aperto da peça, diminuindo o número de faces maquinadas e utilizando superfícies maquinadas para o segundo aperto, mas apenas permitia reduzir um aperto ao processo atual e não cumpria com alguns dos objetivos propostos.

A primeira abordagem, seria apertar a peça lateralmente, permitindo a maquinagem do furo central e de duas faces planas da peça, que iriam ser usadas para aperto da segunda operação. O aperto da segunda operação seria realizado através de uma bucha de três ou quatro grampos, com grampos especialmente desenvolvidos para a operação, permitindo maquinar todas as outras faces. Apesar da redistribuição das diferentes maquinagens em diferentes operações, esta alternativa obrigava a muitos cuidados com aproximações e movimentos de ferramenta, dado o perigo de colisão com a ferramenta de aperto.

Também se pensou na possibilidade de maquinar a peça em cinco eixos, mas o investimento não é viável. A ABER não dispõe neste momento de um centro de maquinagem com cinco eixos o que obrigaria à compra de uma máquina. Só este componente não viabiliza a máquina. Tendo em conta os componentes que a ABER fabrica, existem várias peças que poderiam ser favorecidas com a existência de uma máquina com 5 eixos pois diminuiria pelo menos um aperto. O grande inconveniente é a necessidade de redesenhar as ferramentas de aperto e algumas ferramentas de corte, que em muitos casos, uma vez que nunca se conseguiria a acessibilidade de ferramenta necessária para maquinar tudo, não seria capaz de reduzir o número de operações. No caso desta peça em particular, e ainda que a ABER já dispusesse de uma máquina de 5 eixos, não seria possível desenvolver uma ferramenta que permitisse a completa maquinagem da mesma. Sendo assim, o investimento numa ferramenta para um centro de maquinagem horizontal, e mantendo a operação de torneamento, será ainda a solução mais viável.

A alternativa que acabou por vingar, foi mesmo a opção de apertar pelas zonas não maquinadas e ligeiramente irregulares, mas com atenção a alguns detalhes técnicos da ferramenta, de modo a prevenir defeitos. Seria também a única opção que viabilizaria a construção da ferramenta de aperto, dada a redução no número de *setups*.

### 3.4 ANTEPROJETO DO DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

O primeiro esboço da ferramenta de aperto tinha o aspeto da Figura 27. O primeiro aperto do lado esquerdo e o segundo do lado direito. Apesar da maior facilidade em desenvolver os sistemas de aperto, teria que se ter muito cuidado com as colisões da ferramenta. O aperto seria feito na face lateral, que não dispõe de muita massa no centro da peça, o que não é muito favorável no que toca a deformações durante a maquinação.

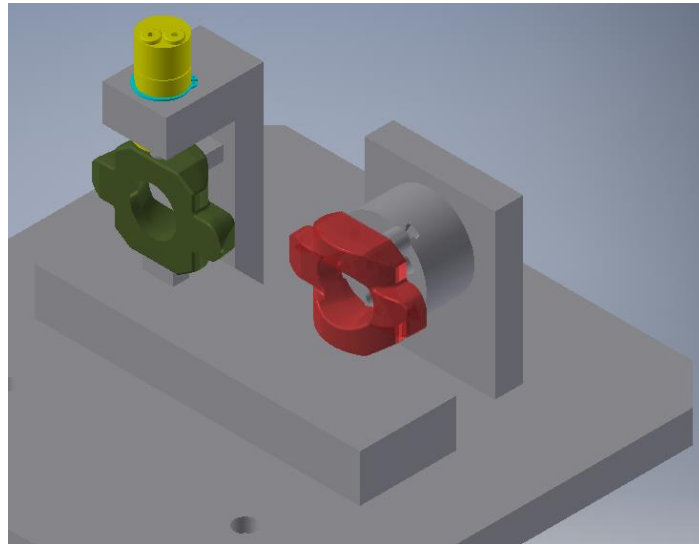


Figura 27 - Primeiro esboço para a ferramenta de aperto.

O segundo aperto do lado direito, seria realizado através de uma bucha acionada hidráulicamente, com grampos especiais maquinados para o efeito. Não respeita o objetivo inicial em maquinar a peça num aperto único, mas com ferramentas de corte escolhidas para o efeito, poderia permitir maquinar as duas faces inclinadas no primeiro aperto, conseguindo cumprir com um dos principais objetivos da ferramenta.

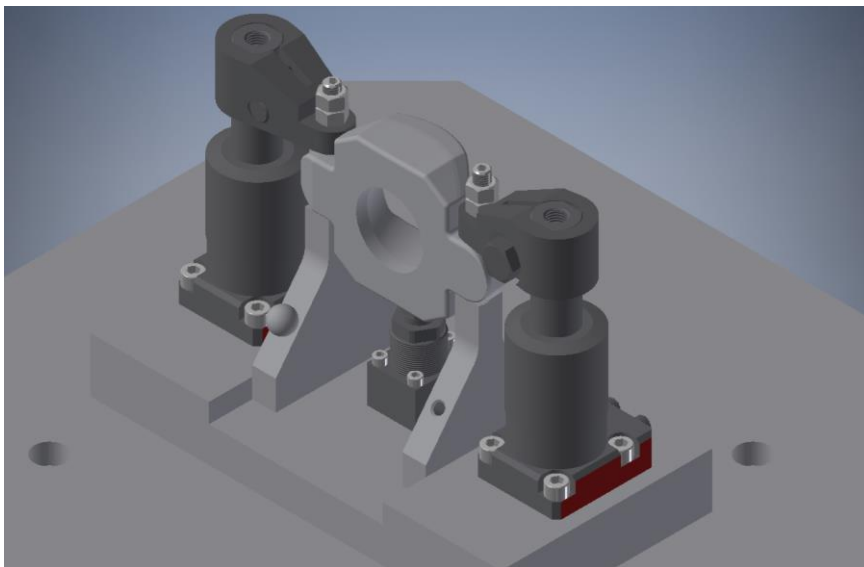


Figura 28 - Novo esboço da ferramenta (mais próximo do estado final).

A solução apresentada na Figura 28, que viria a ser melhorada com alguns pormenores construtivos, visa maquinar a peça num só aperto, que é o objetivo inicial do projeto. Dispõe de suporte a meio da peça, por forma a evitar vibrações e consequentes empenos. A vibração dos componentes durante a maquinação pode dever-se ao facto das superfícies não estarem apoiadas. A vibração pode refletir-se de diferentes modos e em diferentes sítios, por exemplo, pode existir vibração por ressonância na peça, mas esta também pode ocorrer na ferramenta devido ao esforço de corte. A redução do grau de liberdade das superfícies livres, contribui para a diminuição das vibrações durante o processo.

### 3.5 ANÁLISE CRÍTICA DAS IDEIAS E SELEÇÃO DO CAMINHO A PERCORRER

Ideias adicionais seriam sempre muito próximas das duas ideias apresentadas, sendo que a grande diferença entre elas seria sempre a zona onde seria feito o aperto.

O esboço apresentado na Figura 27 apresenta a vantagem de ser uma ferramenta de construção mais simples, mas apresenta outros inconvenientes:

- Possibilidade de empenos no primeiro aperto, visto que o esforço é centrado numa zona desprovida de massa;
- Não era certa a possibilidade de se maquinar ambas as faces inclinadas no primeiro aperto, devido à acessibilidade das ferramentas, não respeitando um dos objetivos desta ferramenta;
- Dificuldade em conseguir que a peça fosse apertada com boa repetibilidade, dado que dispõe de pré-posicionamento rudimentar e incerto, antes do aperto hidráulico;
- Difícil acesso à maquinação da zona interior, sem comprometer a estabilidade da peça ou a maquinação da ferramenta.

A segunda ideia que pode ser vista na Figura 28, dispõe de vantagens claras sobre esta última:

- Aperto efetuado em zonas com maior massa, evitando deformações;
- Aperto e apoio opostos, eliminando empenos por flexão no aperto;
- Completa acessibilidade ao interior da peça, permitindo a maquinação do 3º aperto, ainda que a mudança do molde não seja efetuada;
- Esferas de posicionamento;
- Maquinação das duas faces inclinadas no mesmo aperto;
- Auto centragem da peça através do controlo das folgas entre grampos e do curso dos mesmos;

- Melhor repetibilidade de aperto.

Apesar das melhorias, a ferramenta pode sofrer de outros problemas:

- Mais suscetível de não aceitar desvios dimensionais da matéria-prima;
- Maior suscetibilidade de escorregamento nos pernos de aperto superiores;
- Peça mais próxima do centro da paleta pode obrigar ao uso de ferramentas mais compridas, comprometendo o uso de parâmetros de corte ideais, dada a vibração inerente.

De forma a analisar a hipótese destes problemas ocorrerem, recorreu-se a ferramentas de CAE (*Computer Aided Engineering*), simulando os diferentes instantes que possam levar a comportamentos inesperados da ferramenta e do aperto.

O primeiro ponto crítico a analisar é a própria estabilidade da peça, antes de ser apertada. Para a ferramenta funcionar, e no sentido de posteriormente ser possível automatizar através de alimentação robotizada, a peça deverá manter a sua posição até que os grampos garantam o aperto final. Deste modo, realizou-se uma simulação dinâmica, de modo a observar o comportamento e o movimento da peça quando esta é colocada na ferramenta, sujeita apenas ao seu próprio peso.

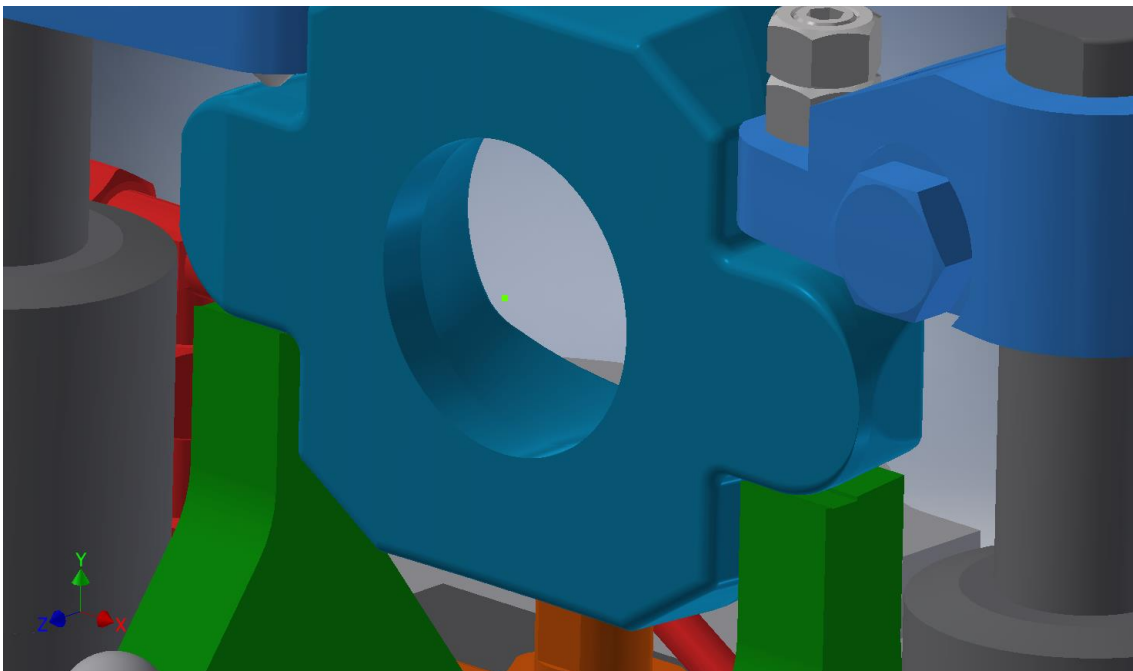


Figura 29 - Resultado da simulação dinâmica.

É possível observar na Figura 29 que a peça mantém a sua posição antes de ser efetuado o aperto. Apesar de ser difícil simular o resultado provocado por pequenos descuidos, como por exemplo a falta de limpeza que pode levar à acumulação de limalha nos apoios, esta simulação dá algumas garantias de que o resultado esperado é atingido desde que se garantam as condições ideais de aperto.

As esferas de centramento, detalhadas na Figura 30, fazem parte da solução para a redução da dificuldade e esforço necessário ao *setup* da máquina. Como a maquinação deste componente é efetuada num centro de maquinação horizontal com indexação de palete em várias posições, é necessário calcular um novo zero-peça para cada indexação efetuada, no caso, três zeros-peça distintos para além do inicial.

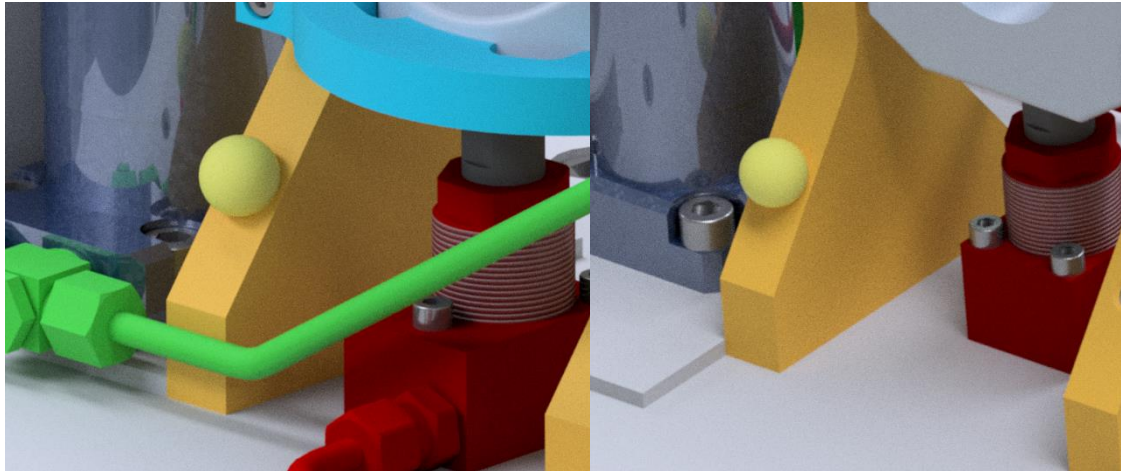


Figura 30 – Detalhe das esferas de centramento a amarelo.

Esse cálculo pode ser automático recorrendo a softwares de CAM ou investindo num opcional para cada máquina que permite automatizar o processo, mas ambas as soluções implicam custos significativos para a empresa ou outros recursos. No caso do software de CAM, implica a existência de alguém que saiba programar e preparar o software independentemente para a cinemática de cada máquina, isto, acrescido ao custo de aquisição e manutenção do software. No caso do opcional para o controlador CNC da máquina, este deve ser adquirido para cada máquina sendo que equipamentos mais antigos podem nem sequer dispor desta opção.

Sendo possível aceder às esferas em cada posição de maquinação com recurso a uma sonda, consegue-se determinar a distância entre estas e a peça. Dessa forma, pode-se calcular a mesma distância quando a paleta indexa sobre os eixos X e Z, uma vez que a paleta roda sobre o eixo Y e a coordenada deste eixo se mantêm inalterada. Para cada posição, é então possível utilizar uma função de deslocamento de zero-peça, como por exemplo o G52 em linguagem ISO, que será constante da ferramenta de aperto e será invariável entre paletes, máquinas ou posições de montagem.

O aspeto final da ferramenta pode ser observado na Figura 31, onde já são visíveis os elementos hidráulicos como o circuito e os atuadores (Anexos 40 e 41). Deu-se preferência a elementos de acionamento simples de forma a simplificar a construção da ferramenta e melhorar a acessibilidade das ferramentas de corte.

Na figura abaixo, é possível identificar o circuito hidráulico por diferentes cores. A azul, o circuito à pressão de admissão (baixa pressão), a verde o circuito de alta pressão após o intensificador de pressão (Anexo 37), a vermelho o circuito de média pressão após a válvula sequenciadora (Anexo 39), e a laranja o circuito de retorno com a válvula 2/2.

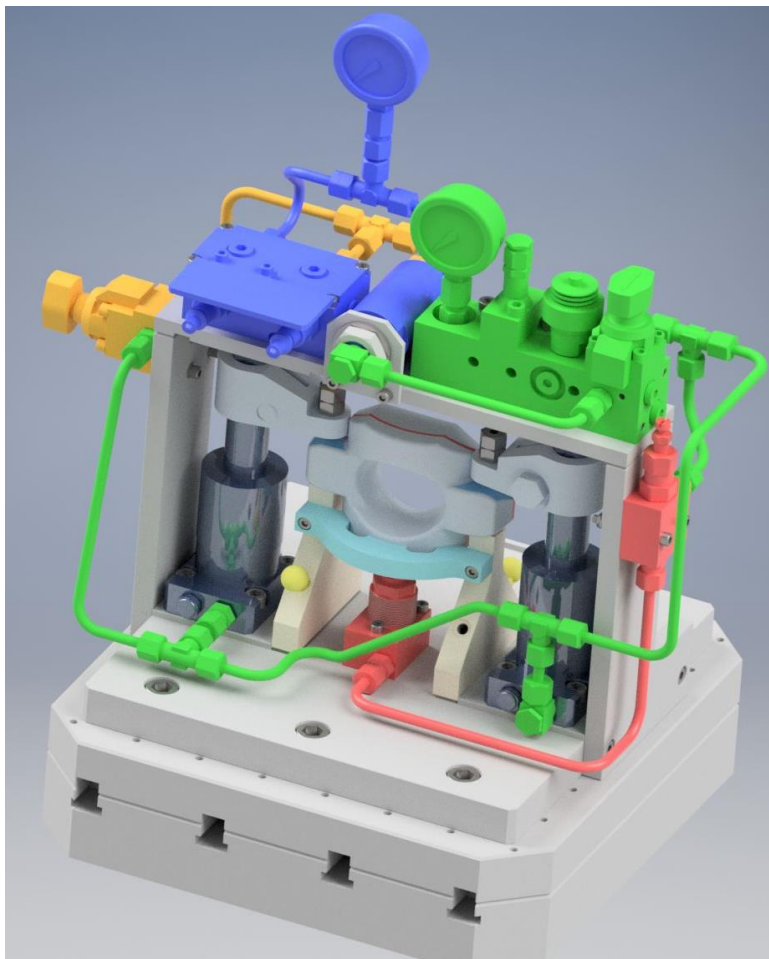


Figura 31 - Aspeto final da ferramenta de aperto.

O intensificador de pressão permite o uso de uma centralina a uma pressão inferior (cerca de 110 bar) à pressão máxima de funcionamento da ferramenta (350 bar) e as duas pressões podem ser verificadas nos dois manómetros (Anexo 42) presentes no circuito. A ferramenta foi projetada para funcionar em conjunto com uma centralina fora da máquina, mas o intensificador de pressão permite também ligar ao circuito hidráulico da máquina que trabalha a uma pressão inferior (entre 50 a 70 bar, dependendo das máquinas).

A válvula sequenciadora, garante que o suporte inferior da peça, apenas atua após os atuadores rotativos fixarem a peça, sob pena desta se deslocar caso a sequência de aperto não fosse respeitada.

Após o aperto da peça, a válvula presente no bloco a verde (Anexo 38) é fechada pelo operador e o acumulador de pressão, presente no mesmo bloco, garante que a pressão de aperto é mantida após se desconectar a centralina e fechar o circuito.

### 3.6 ANÁLISE DE MELHORIAS A IMPLEMENTAR

Fazendo uma análise crítica à ferramenta desenvolvida, existem pormenores que podem levar a uma falha da mesma. Abaixo segue uma pequena descrição e avaliação dos possíveis problemas identificados.

#### **Pré posicionamento instável**

Dada a geometria da peça e dos seus apoios, o apoio em “V” com inclinações a imitar as saídas do molde de forjamento, pode não garantir um pré posicionamento estável e repetível entre apertos. O desenvolvimento de grampos de aperto superiores, idênticos aos apoios, como se pode observar a vermelho na Figura 32, que possam ser aplicados aos atuadores hidráulicos, deverão resolver esse problema.

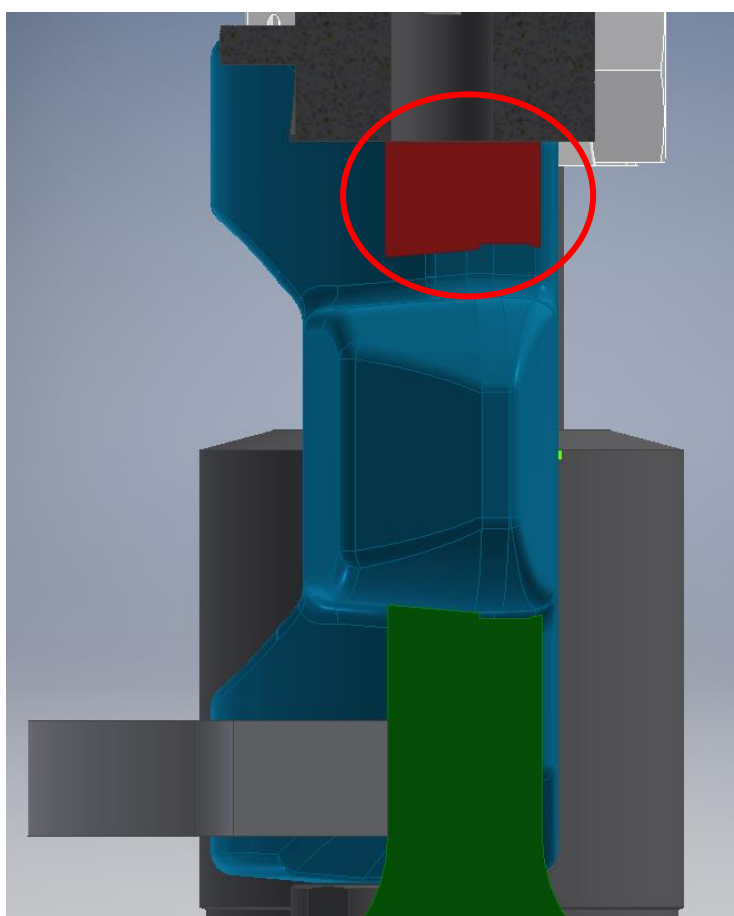


Figura 32 - Grampo superior em "V", para garantir maior estabilidade no aperto.

O controlo do curso dos atuadores, que por sua vez vai regular a folga antes do aperto, também favorecerá o pré posicionamento da peça. Esta solução já não garante o contacto em dois pontos de dimensão reduzida, absorvendo menos erros de forjamento, mas mantendo ainda uma grande flexibilidade. Particularmente, se se permitir que os grampos superiores rodem sobre si e não fiquem estáticos, há pouca perda de flexibilidade em relação aos pinos.

### Torção da peça durante o aperto hidráulico

Apesar da geometria dos apoios, estes não oferecem um forte encravamento mecânico, que garantidamente impeça que a peça rode quando apertada. Poderá ser possível alterar o molde da peça, inserindo cavidades cónicas de centramento visíveis na Figura 33, onde irão apertar os grampos, impedindo desta forma que esta se mexa. O inconveniente nesta solução é na possível existência de erros no forjamento da peça forjada de base, nomeadamente desvios nas cavidades, que impeçam o aperto das peças.

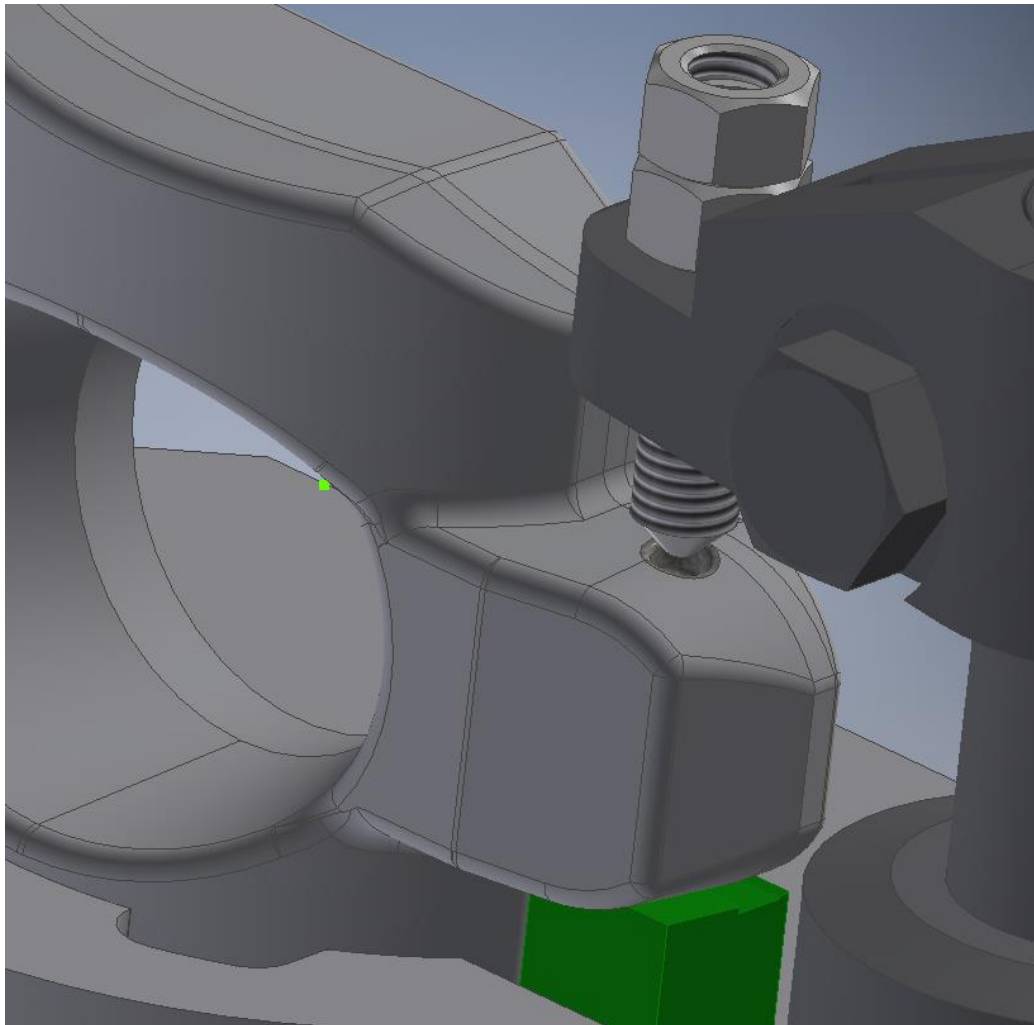


Figura 33 - Cavidades cónicas de centragem para evitar torção no aperto.

Obriga também a alterações ao molde, a contactar com o fornecedor, ou à procura de um novo fornecedor que consiga produzir a peça com estas cavidades, uma vez que estas se encontram na linha de separação do molde. Esta alteração ao molde, pode levar a uma grande alteração do processo de fabrico da peça forjada de base que pode sair custosa à empresa, inviabilizando o projeto.

### 3.7 PROJETO

Na Figura 34 pode ser observado o esquema hidráulico da ferramenta de aperto, desde a alimentação e filtragem no fundo, até aos atuadores hidráulicos no topo. Podem-se distinguir quatro grupos principais de baixo para cima: alimentação, intensificador de pressão, válvula de controlo e atuadores.

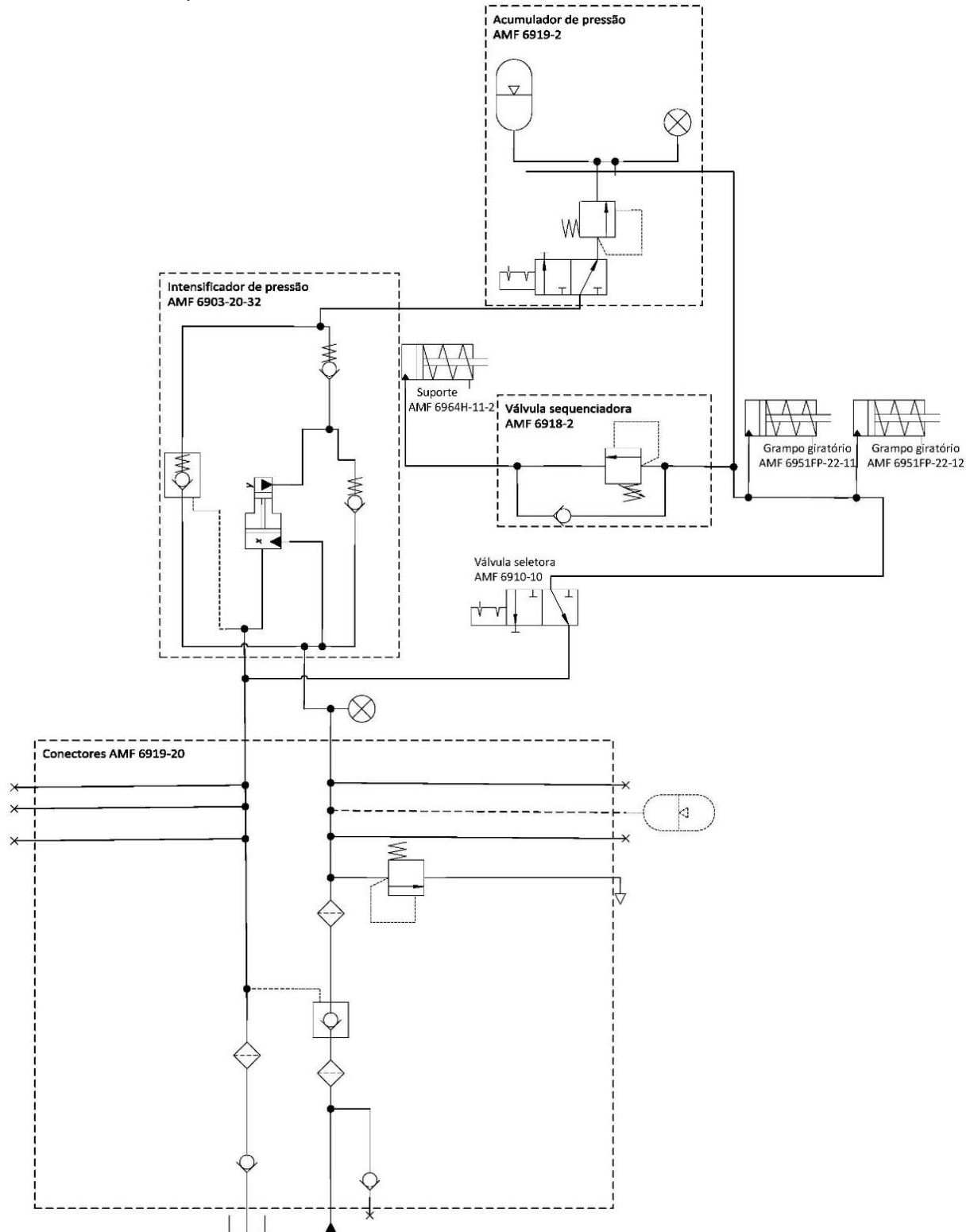


Figura 34 - Esquema hidráulico da ferramenta.

### 3.7.1 VISTA GERAL EXPLODIDA

Na Figura 35 representada abaixo, é possível visualizar todos os componentes que constituem a ferramenta de aperto. Apesar de ser uma solução à medida do componente, dispõe de diversos componentes normalizados diminuindo a necessidade de fabrico interno.

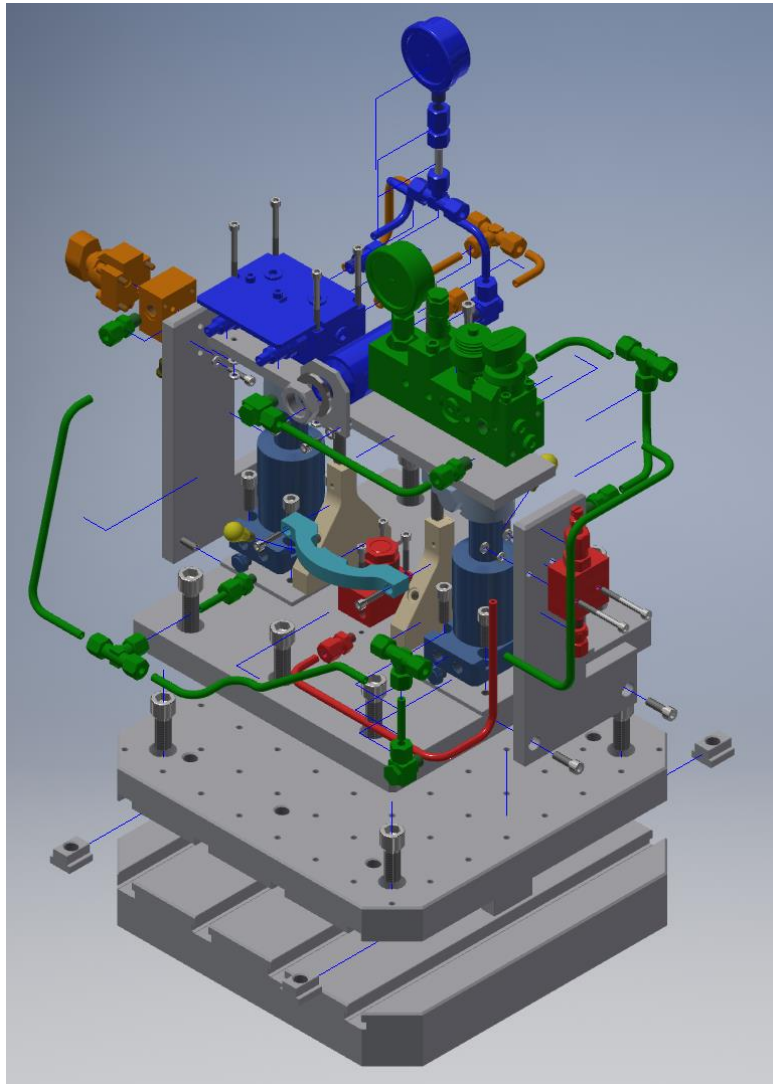


Figura 35 - Vista explodida da ferramenta final.

### 3.7.2 SUBSISTEMAS

A ferramenta é constituída por 3 subsistemas principais:

- O subsistema de acionamento, constituído pelos atuadores hidráulicos;
- O subsistema estrutural, constituído pelos componentes de apoio e suporte dos restantes;
- O subsistema hidráulico, constituído pelo circuito hidráulico e responsável por alimentar os atuadores hidráulicos.

### 3.7.3 CÁLCULO ESTRUTURAL

É difícil prever como a peça se irá comportar nestas condições e de simular diferentes condições, pois trata-se de geometrias bastante complexas. Como tal, recorreu-se a ferramentas de CAE no sentido de se obter uma situação mais próxima da realidade, sem necessidade de construir a ferramenta. Foram analisadas diferentes hipóteses e diferentes parâmetros, que permitissem garantir o bom funcionamento da ferramenta em condições ideais.



Figura 36 - Ferramenta de corte utilizada no processo atual.

A ferramenta em si, pode ser observada na Figura 36. Trata-se de uma fresa *standard* Ø63 mm, com 5 arestas de corte indexáveis. Cada inserto tem 4 arestas utilizáveis e é indicada para operações de facejamento e fresagem a 90°. Para determinar os esforços de corte em desbaste e acabamento, utilizou-se uma ferramenta fornecida pelo fabricante da ferramenta e definiram-se parâmetros de certa forma exagerados, que funcionarão como coeficiente de segurança (Anexos 43 e 44). Permite assim dar algumas garantias no futuro, em que se possa vir a alterar o processo ou a ferramenta que faz esta operação. Essencialmente, definiram-se parâmetros no seu valor máximo, que poderão ocorrer pontualmente, mas nunca em simultâneo.

Tabela 3 – Parâmetros definidos para a operação de desbaste.

Parâmetro [abreviatura]	Valor	Unidades
Velocidade de corte [ $V_c$ ]	220	m/min
Profundidade de corte [ $a_p$ ]	2	mm
Largura de corte [ $a_e$ ]	27	mm
Avanço por dente [ $f_z$ ]	0.2	mm/dente

A primeira análise efetuada pode ser observada entre a Figura 37 e a Figura 43. O grande objetivo é garantir que a operação de desbaste deixe material suficiente para o acabamento posterior e diminuir as tensões na peça. Estas podem mostrar-se gravosas no posterior tratamento térmico que a peça sofre após maquinagem.

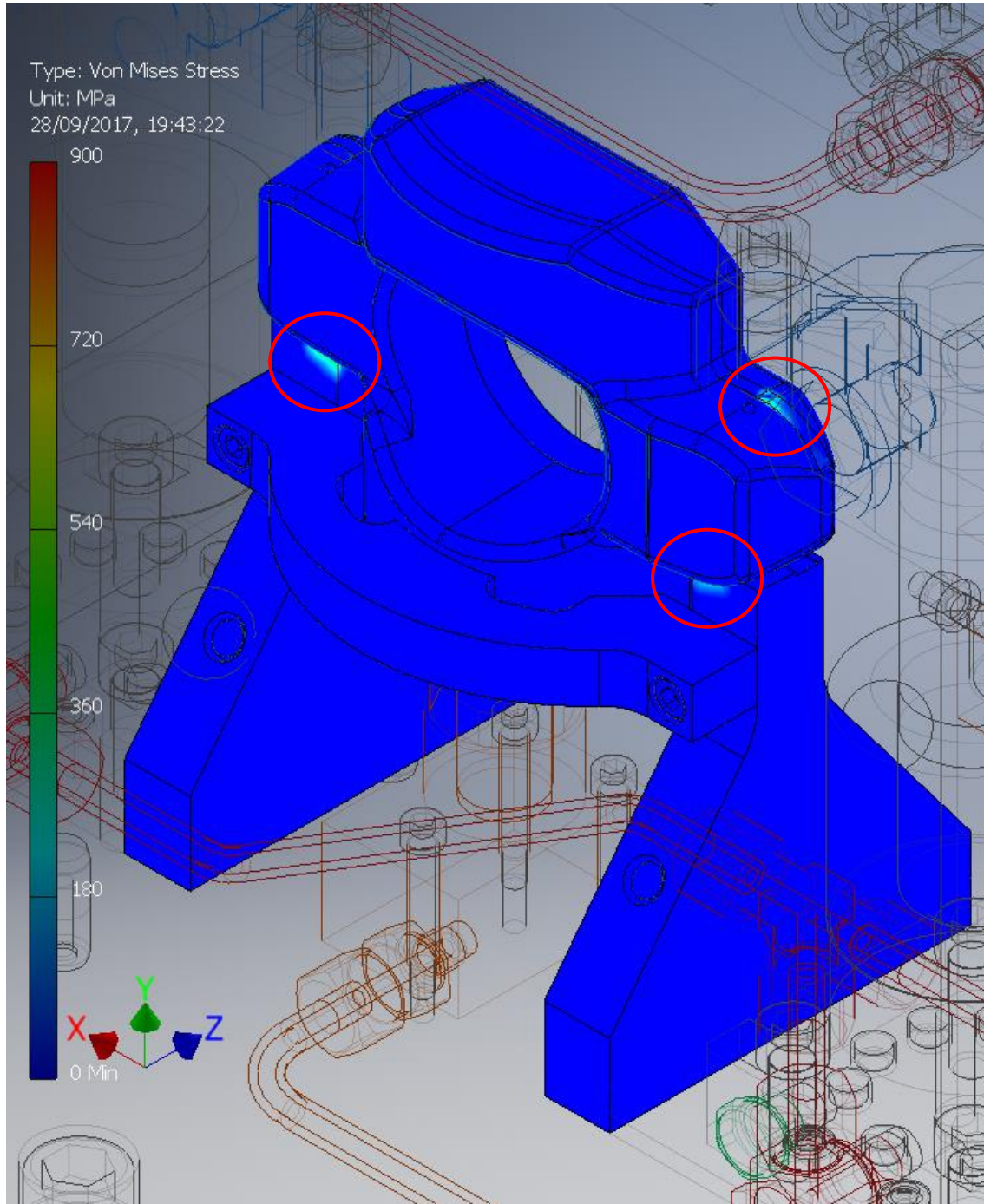


Figura 37 - Vista geral da simulação de esforços durante o desbaste.

Analisando a Figura 37, é possível observar que, de uma forma geral, as tensões na peça mantêm-se abaixo do limite elástico do material. Dando agora um olhar pormenorizado à peça isoladamente, pode-se observar que de facto o esforço é muito concentrado à volta da zona de aperto. A tensão limite de 900 MPa foi definida de acordo com o material da peça. Tendo em conta que a área de apoio é muito reduzida,

era expectável que existissem tensões superiores à limite elástica, mas dado se tratarem de zonas não maquinadas e que não são funcionais, não é preocupante a existência de tensões elevadas nas zonas assinaladas na Figura 38.

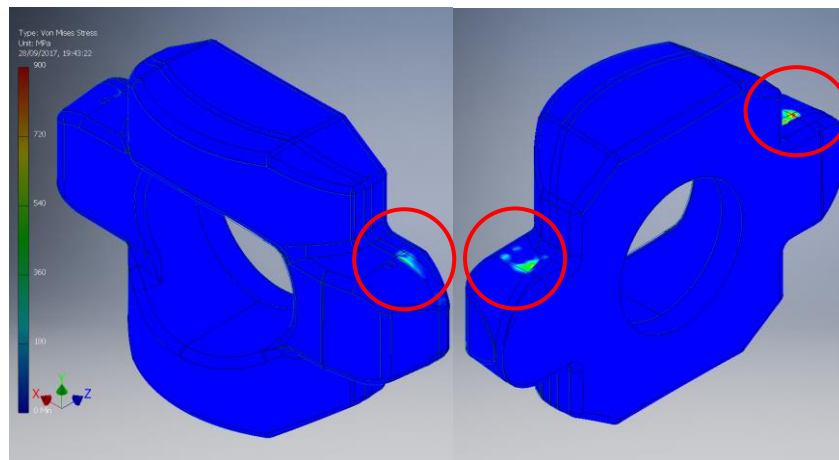


Figura 38 - Pormenor das tensões transmitidas à peça na operação de desbaste.

Olhando agora aos apoios na Figura 39, o cenário é semelhante. O resultado não é perfeitamente simétrico devido ao esforço de corte. Adequando a escala para a tensão de cedência dos apoios, que é consideravelmente inferior à da peça, observa-se que existem zonas cuja tensão ultrapassa o limite elástico do material. A têmpera localizada contribuirá para a minimização da deformação nesta zona da peça, mas mesmo sem têmpera conseguir-se-ia um bom aperto da peça.

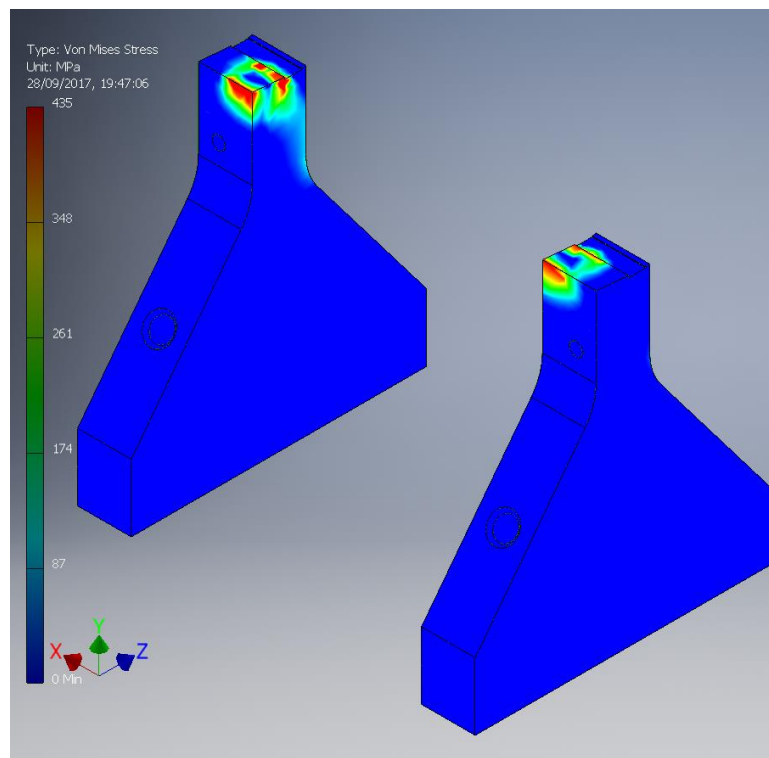


Figura 39 - Tensões instaladas nos apoios durante a operação de desbaste.

Uma vez em funcionamento, o apoio irá sofrer algumas deformações permanentes nos primeiros apertos, com encruamento localizado. Os apoios irão lentamente adequar-se à geometria da peça, até que o encruamento seja o suficiente para evitar mais deformações. Apesar de a deformação prevista não ser suficiente para que exija correções ao programa de maquinagem, será sempre possível corrigir as diferenças após a deformação estabilizar.

Mas mais importante do que as tensões aplicadas à peça e aos diferentes componentes, são as deformações encontradas na peça. Mais do que minimizar as deformações, é importante conseguir quantificar e definir o que é admissível. É necessário perceber que a peça pode estar sujeita a deformações elásticas devido ao aperto, e será maquinada nesse estado de deformação. Após a maquinagem, quando a peça for desapertada, haverá lugar a alguma recuperação elástica e as superfícies que até então estavam planas, poderão deixar de estar, e os furos tem tendência a ovalizar.

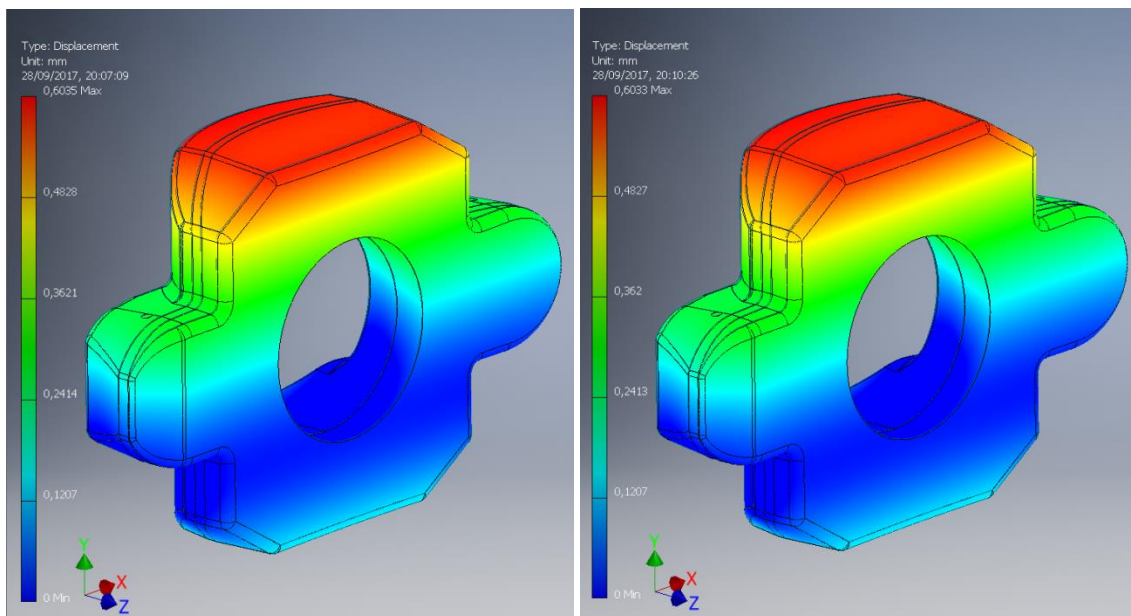


Figura 40 - Deformação prevista durante a operação de desbaste (esquerda) e acabamento (direita).

O primeiro passo é quantificar e perceber onde são originadas as deformações. Na Figura 40, é possível observar que as deformações associadas à operação de desbaste e acabamento são muito semelhantes, sendo que as deformações maiores encontram-se na ordem dos 0.6 mm. Dessa forma, é possível concluir que a força de aperto é a principal responsável pelas deformações impostas. Isto é explicado pelo facto que as forças de aperto são de magnitude muito superior às de maquinagem.

Tendo em conta que a zona de maior importância é a maior face plana da peça, concentrou-se o estudo em torno dessa superfície. Se se conseguir que a ferramenta cumpra os requisitos para que esta superfície fique sã, todas as outras deverão cumprir os requisitos.

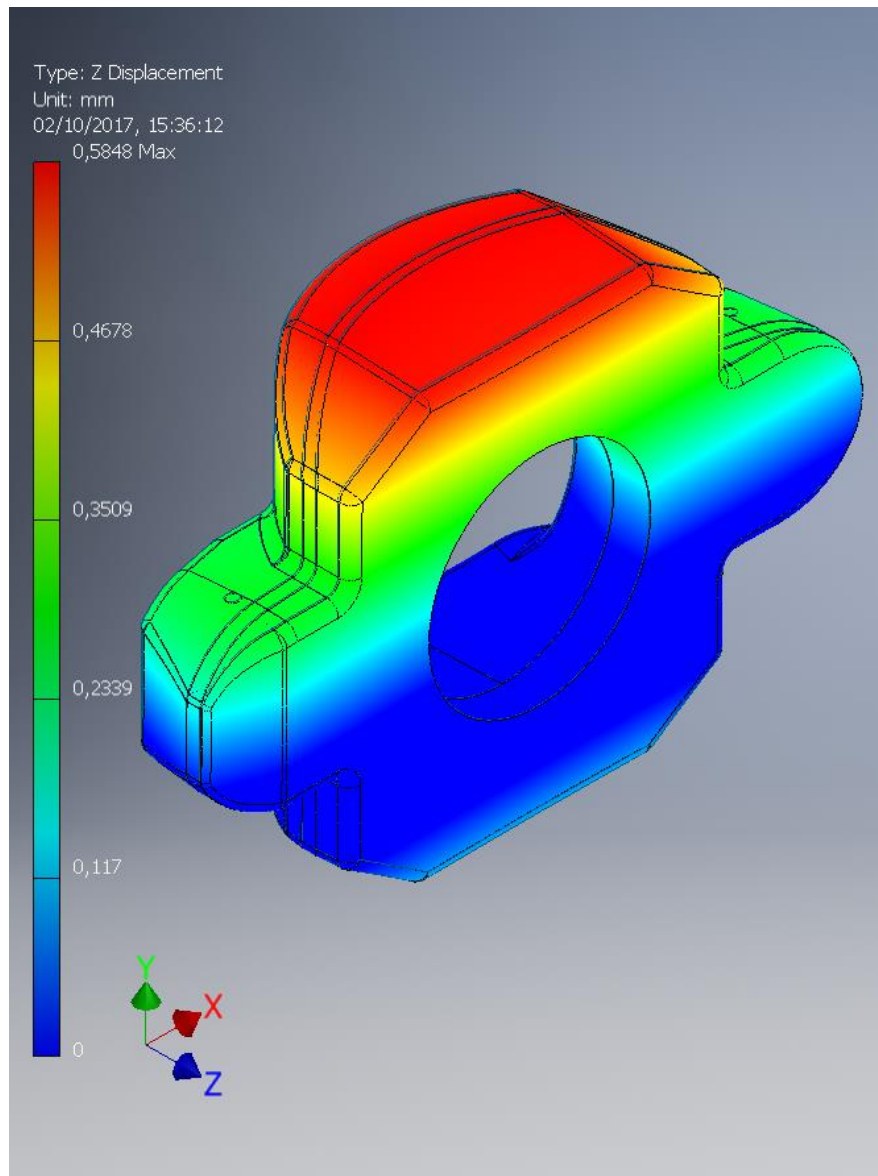


Figura 41 - Deformação da peça no eixo Z durante a operação de desbaste.

Na Figura 41, é possível observar a deformação medida sobre o eixo Z da peça, que correspondem à quase totalidade das deformações observadas. As deformações segundo o eixo X e Y são de magnitude muito inferior, e de menor importância para a qualidade final da peça.

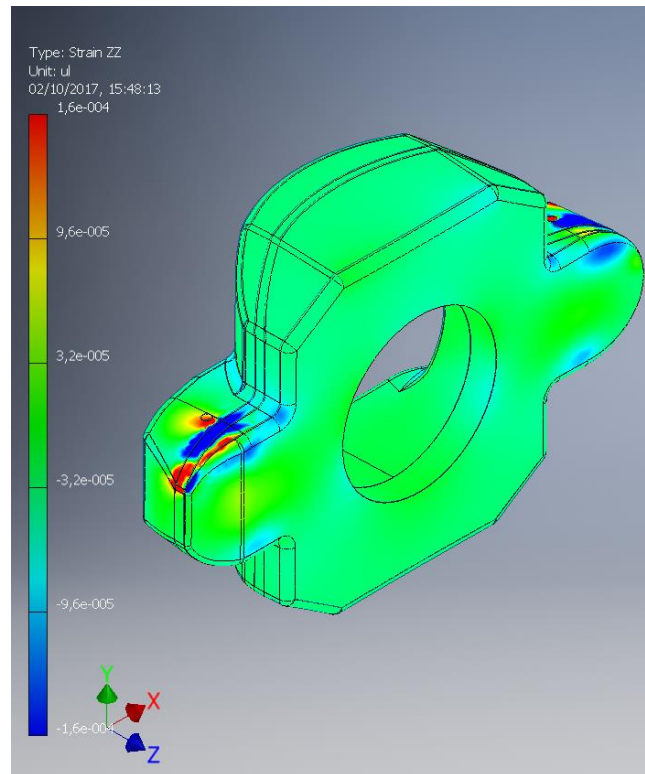


Figura 42 - Extensão calculada segundo o eixo Z.

É importante perceber se as deformações são ou não elásticas, pois a recuperação elástica da peça é que vai trazer resultados diferentes antes e após o desaperto da peça. Para isso, deve-se analisar a extensão observada ao longo da peça e, preferencialmente no mesmo eixo. Só após essa análise, se conseguirão tirar conclusões.

Na Figura 42, é possível observar a distribuição da extensão do material sobre o eixo Z nos diferentes pontos. A escala visível do lado esquerdo, não representa os valores máximos e mínimos, mas sim os valores máximos que poderiam comprometer os requisitos geométricos e dimensionais da peça, após a recuperação elástica. Como factor de segurança, procurou-se simular o pior caso possível, sendo que as condições reais de trabalho deverão ser mais favoráveis do que as simuladas.

Analisando ainda a Figura 42, consegue-se perceber que a deformação imposta na peça não é de facto problemática, mas ao mesmo tempo é possível concluir que a deformação observada não é devido ao material, mas sim um deslocamento da peça, adequando-se ao apoio inferior.

Este deslocamento, deverá ter uma magnitude diminuída ao longo do tempo, devido às deformações que os apoios irão sofrer com o uso, mas mesmo que isto não se observe, o material que será removido em excesso ou a menos nas diferentes zonas da peça, devido ao facto de ela torcer, é mitigado pelo material em excesso para maquinagem.

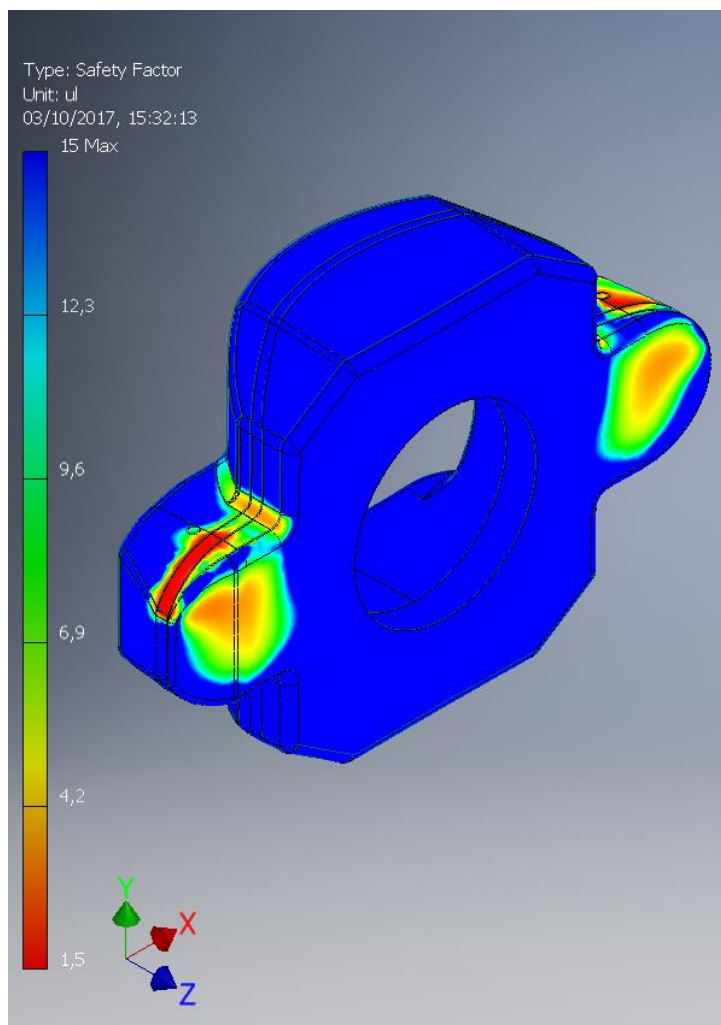


Figura 43 - Análise do factor de segurança observado.

De forma a se tirarem melhores conclusões acerca das solicitações a que estará sujeita a peça, pode-se observar na Figura 43, o fator de segurança calculado durante a operação de desbaste. A escala cromática foi limitada entre o fator de segurança máximo observado, e o mínimo normalmente exigido para este tipo de aplicações, cerca de 1.5.

As zonas que se encontram abaixo deste factor de segurança estão representadas a vermelho na figura anterior e, como previsto e analisado anteriormente, encontram-se concentradas nas zonas de aperto, que por sua vez são zonas não maquinadas e sem importância funcional da peça.

### 3.7.4 CÁLCULO DO SISTEMA HIDRÁULICO

O dimensionamento do sistema hidráulico começou essencialmente pelos atuadores. Após a seleção dos mesmos, que iriam garantir a força de aperto necessária, construiu-se o circuito de alimentação hidráulico que conseguisse garantir as condições de funcionamento necessárias.

Segundo consulta ao fabricante dos atuadores, o tubo hidráulico recomendado por estes tem  $\varnothing 8 \times 2$  mm, de acordo com a norma DIN 2391 C. Tendo em conta a pressão a que estes vão trabalhar e um coeficiente de segurança, estes deverão suportar 525 bar (52.5 MPa) de pressão interna.

### 3.7.5 IDENTIFICAÇÃO DE SITUAÇÕES CRÍTICAS

A ferramenta é susceptível de algumas falhas de funcionamento. Foram tomadas algumas medidas no projecto da ferramenta para evitar problemas, mas alguns podem mesmo assim ocorrer.

O primeiro uso da ferramenta, após um longo período sem uso, pode não conseguir um aperto uniforme em ambos os lados, provocando desequilíbrio da peça e falha no aperto da mesma. Isto deve-se ao facto de não existir garantia de que o óleo consegue mover ambos os atuadores simultaneamente e sincronizadamente, quando o circuito não foi recentemente utilizado, principalmente devido a linhas de alimentação desiguais em comprimento.

Um mecanismo de falha que pode ocorrer, quer nos primeiros usos da ferramenta, quer no uso prolongado da ferramenta, é uma deformação dos apoios que deixe de garantir o aperto estável da peça. As simulações dinâmicas realizadas, só conseguem prever a funcionalidade da ferramenta com base em condições ideais. A existência de muitas variáveis na aplicação real da mesma, como limalhas nos apoios, desvios dimensionais da matéria-prima ou deformação plástica localizada dos apoios, torna difícil prever o seu comportamento a longo prazo.

### 3.8 SELEÇÃO DE MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICO

Nesta ferramenta, quase todas as peças foram pensadas e desenhadas de forma a serem obtidas por fresagem, salvo algumas exceções. Nos componentes que necessitam de soldadura e/ou de tratamento térmico, foi avaliada a necessidade de maquinagens pós soldadura ou pós tratamento, de forma a compensar empenos provenientes dos respetivos processos. Em alguns casos, também foi considerada a hipótese de se inserirem recozimentos das peças entre maquinagens, também com o intuito de aliviar tensões provenientes dos diferentes processos e minimizar empenos que possam prejudicar a montagem ou a qualidade da ferramenta final.

#### **Componente 001\_Mesa\_Falsa**

Este componente existe em todas os centros de maquinaria horizontais instalados na ABER e não necessita ser maquinado. Apenas foi desenhado no sentido de ajudar ao projeto. Esta, tem a função de permitir alterações, em particular furações para fixação de ferramentas, mantendo a mesa da máquina no seu estado original.

Facilita também um passo que a empresa poderá vir a dar no futuro, de ter mesas falsas para cada ferramenta de aperto, sendo que ajuda a normalizar fixações à máquina entre ferramentas.

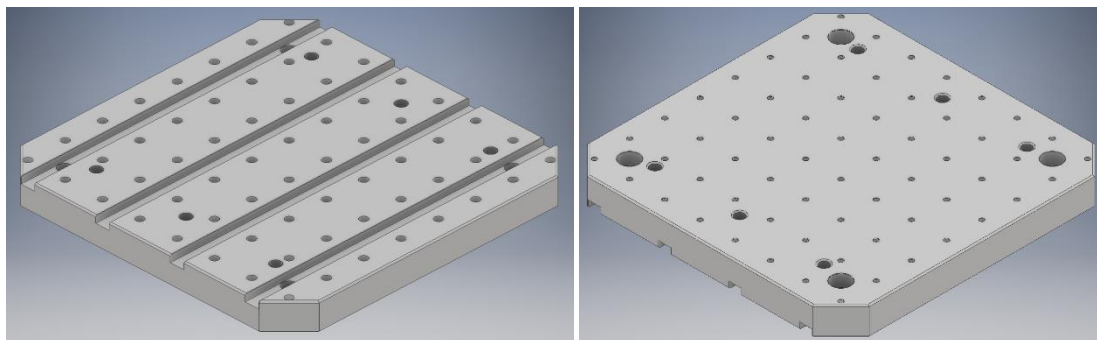


Figura 44 – Representação da peça 001\_Mesa\_Falsa.

A furação na base da ferramenta respeita a furação existente nesta peça como representado na Figura 44, de forma a evitar remaquinar a mesma. Os diversos furos existentes, tem a função de facilmente se definir a posição da ferramenta que nela vai apertar através de 3 pinos cilíndricos.

### Componente 003\_Grampo

O componente representado na Figura 45, apesar de comprado, deve ser submetido a uma pequena maquinagem, de forma a criar a face de encosto das porcas. A maquinagem é simples e pode ser realizada num só aperto, num centro de maquinagem ou numa fresadora convencional.

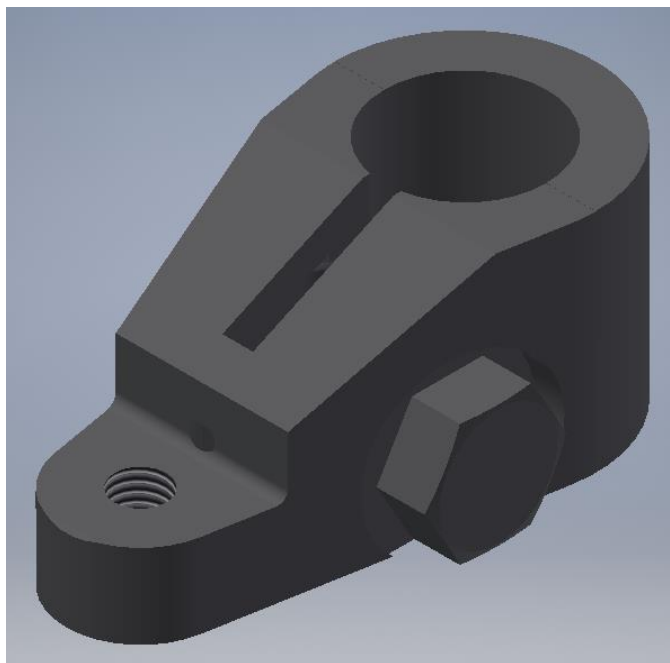


Figura 45 - Representação da peça 003\_Grampo.

### Componente 006\_Base

A base da ferramenta, representada na Figura 46, é também um componente de maquinagem simples, apesar da sua dimensão. Obriga a dois apertos num centro de maquinagem, sendo que se recomenda começar pelo lado com os furos que tem caixa. As furações presentes na peça não são vazadas, o que não ajuda ao posicionamento e fixação num centro de maquinagem horizontal. Dada a irregularidade da distância das furações existentes, não é viável vazar os mesmos e usá-los para apertar a peça nos tês existentes na empresa. É preferível fazer uma furação adicional na peça, de acordo com os furos existentes nas ferramentas da empresa, desde que estes não coincidam com os furos já presentes.

Tendo em conta a função da peça e a forma como a ferramenta foi construída, esta admite erros consideráveis entre as furações de um lado e o outro, facilitando a maquinagem em apertos distintos.

Dada a função e dimensão da peça, deve-se ter particular atenção à planeza das faces maquinadas, comparando a peça entre apertos. Apesar de não ser um parâmetro crítico, deve-se tentar manter o erro de paralelismo entre faces e sua planeza no valor mínimo possível. Não deverá ser necessário aliviar tensões entre processos, mesmo com a grande remoção de material à qual esta estará sujeita.

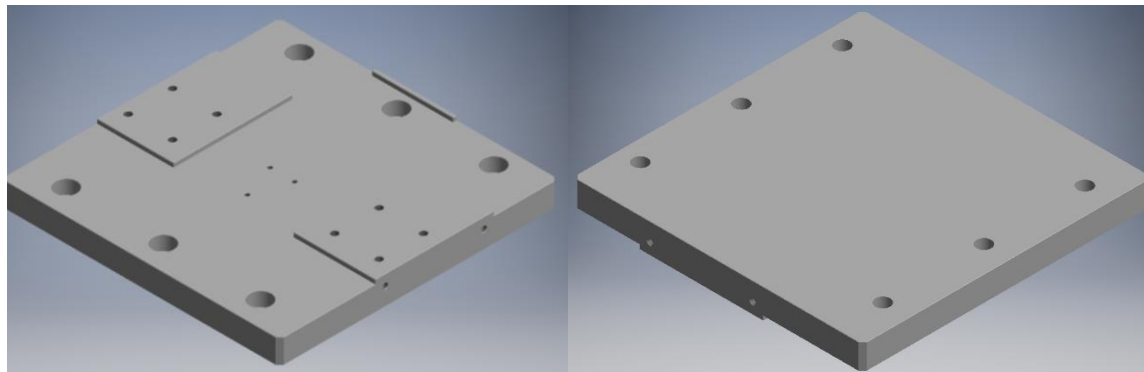


Figura 46 - Representação do componente 006\_Base.

A escolha do aço C45E (Anexo 36) foi pensada no bom equilíbrio que apresenta entre preço, maquinabilidade e soldabilidade, de forma a ligá-la com os apoios numa fase posterior da montagem.

### Componentes 007\_Apoio\_Esquerdo e 008\_Apoio\_Direito

Estas peças, de geometria relativamente simples, devem observar alguns cuidados no seu fabrico. Como é possível observar na Figura 47, os diferentes ângulos apresentados na sua extremidade, obriga a várias indexações de máquina, para conseguir maquiná-los.

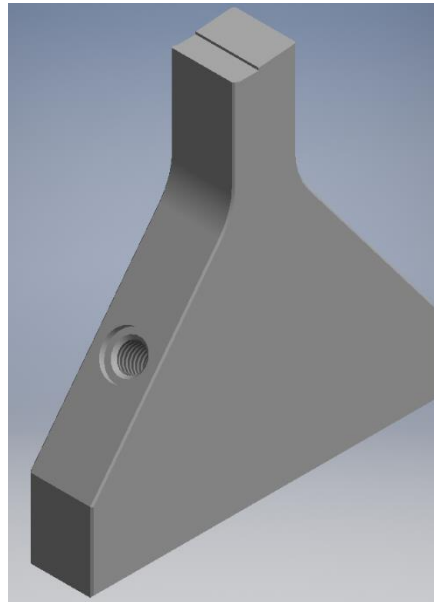


Figura 47 - Representação do componente 007\_Apoio.

Tendo em conta a sua função na ferramenta de aperto, essa zona deve ser tratada termicamente, de forma a suster melhor as deformações localizadas ao longo do seu uso. O aço C45E foi selecionado de forma a se ter a soldabilidade necessária para a ligação com a base e permitir a têmpera localizada por chama na outra extremidade.

Apesar dos diferentes processos poderem ser causadores de deformações, não se justifica a necessidade de recozimentos intermédios. A ferramenta e o processo permitem desvios muito grandes, antes que seja necessária qualquer correção na ferramenta, em particular, nesta peça.

Apenas se deve ter o cuidado de ajustar zeros peça se a deformação neste componente começar a apresentar desvios superiores ao excesso de material para maquinagem existente no forjado. A substituição ou correção física deste componente apenas é necessária se este apresentar falhas estruturais que comprometam a estabilidade da estrutura.

### Componente 010\_Esfera\_Centramento

A esfera, representada na Figura 48, é um componente crítico na ferramenta, mas apesar disso, a grande preocupação é manter a circularidade abaixo dos 0.005 mm de forma a minimizar os desvios provenientes de *setup*. Também no seu uso, deve-se evitar qualquer choque com as mesmas. Como tal, pensou-se no componente de forma a que este seja montado apenas uma vez, e nunca mais se remova da ferramenta. É maior a probabilidade desta ser danificada durante a operação de montar e desmontar/arrumar do que se se mantiver apertada na ferramenta.

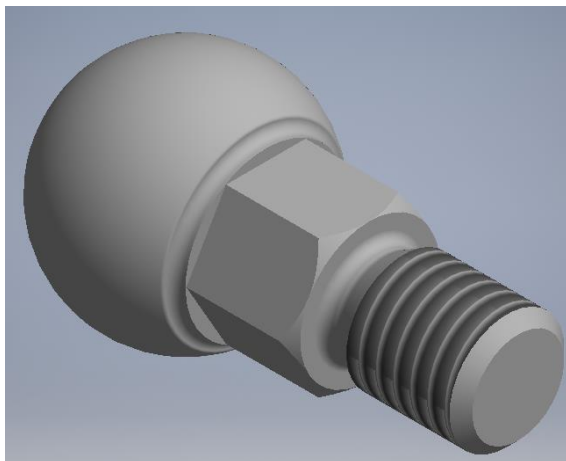


Figura 48 - Representação do componente 010\_Esfera\_Centramento.

Estando permanentemente apertada, será sujeita a projeções de limalha durante a fresagem, que ao longo do tempo riscam e marcam a esfera. De forma a minimizar este efeito e evitando que esta seja substituída num curto espaço de tempo, deverá ser fabricada em 100 MnCrW 4 (Anexo 35), dado que é um aço relativamente acessível, que permite endurecimentos até 65 HRC. Recomenda-se tratamento térmico que lhe conferirá uma dureza entre 62 a 64 HRC, sendo que a retificação da zona esférica deverá ser feita após o tratamento. A fragilidade da rosca com o tratamento não é preocupante, pois só deverá ser montada uma vez.

No que toca à montagem, as faces em forma de sextavado permitem o uso de uma chave de bocas para esse efeito, mas recomenda-se a montagem deste componente com cola. Deste modo, evita-se a desmontagem posterior da peça reduzindo a possibilidade de erros de *setup*.

Dada a geometria da peça, a retificação da mesma poderá ser efetuada pela ABER. De forma a facilitar a retificação da mesma, pode-se efetuar pontos em ambos os lados da peça que permitiriam a retificação entre pontos, mas no caso das peças fabricadas terem erros, a face frontal da esfera é muito importante para fazer o diagnóstico da ferramenta pelo que se recomenda evitar essa solução.

### Componente 011\_Encosto\_Radial

O encosto radial, que pode ser observado na Figura 49, não necessita de grande resistência mecânica, nem de grandes cuidados no processo de fabrico. É uma peça que necessita de três apertos num centro de maquinagem, e o processo de fabrico da mesma, cumprindo com o toleranciamento geral, é garantia suficiente para a precisão que esta necessita.

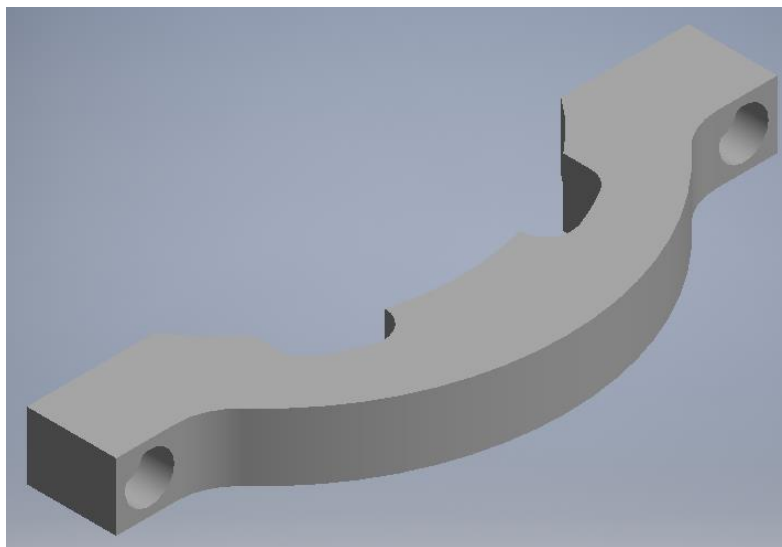


Figura 49 - Representação do componente 001\_Encosto\_Radial.

O aço 11 SMnPb 30 (Anexo 33) é mais económico e de fácil maquinagem, sendo que cumpre com as características necessárias para o efeito a que se destina a peça.

### Componentes 016\_Chapa\_Lateral\_Esquerda e 066\_Chapa\_Lateral\_Direita

As chapas laterais, representadas na Figura 50, são apenas componentes estruturais que não requerem elevada precisão. Para o seu fabrico, seleccionou-se C45E, dado que precisa de ser maquinado e soldado, e é um aço com boa apetência para ambos os processos.

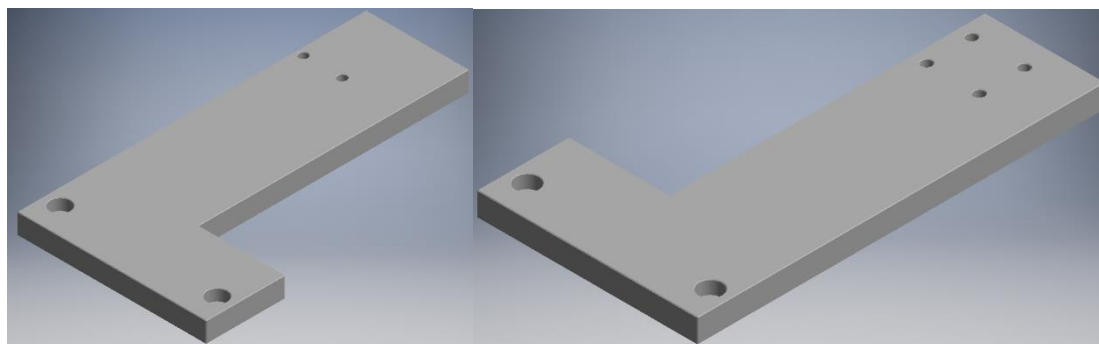


Figura 50 - Representação dos componentes 016\_Chapa\_Lateral\_Esquerda e 066\_Chapa\_Lateral\_Direita.

### Componente 019\_Porca\_M24x1.5

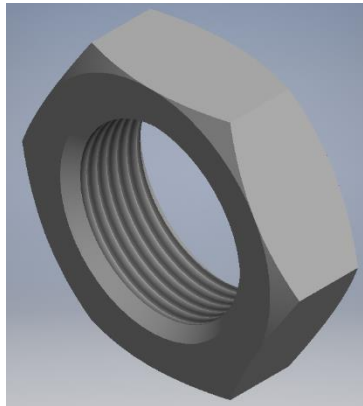


Figura 51 - Representação do componente 019\_Porca\_M24x1.5.

A porca representada na Figura 51, é um componente de baixa complexidade e em tudo semelhante a outros componentes produzidos pela ABER, e cuja função não exige uma resistência mecânica elevada. Como tal, a sua produção pode ser feita nos equipamentos e com as ferramentas disponíveis em C45E.

### Componente 021\_Chapa\_Superior

A chapa superior, visível na Figura 52, desempenha as mesmas funções que ambas as chapas laterais, sendo apenas um componente estrutural. A seleção do aço C45E visa a boa ligação por soldadura às chapas laterais.

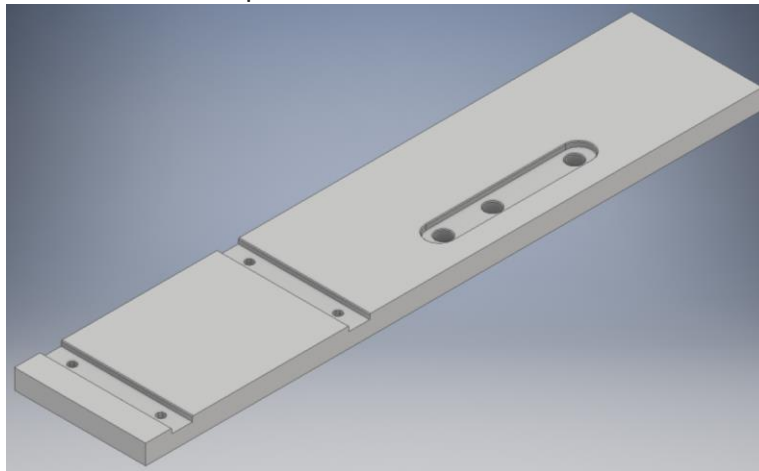


Figura 52 - Representação do componente 021\_Chapa\_Superior.

### Componente 053\_Chaveta\_18x25x50

Este componente, representado na Figura 53, não é mais do que uma chaveta de dimensões anormais. A sua função é de alinhar a ferramenta de acordo com os ragos presentes na mesa da máquina.

O seu fabrico é relativamente simples, sendo que a ABER dispõe dos equipamentos e ferramentas necessários para o efeito.

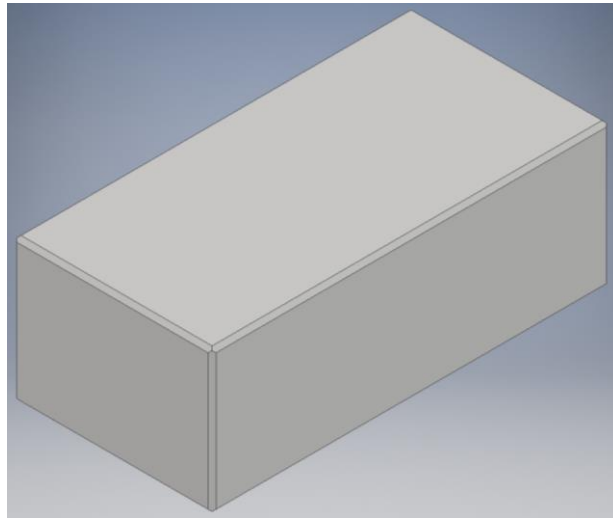


Figura 53 - Representação do componente 053\_Chaveta\_18x25x50.

### Componente 054\_Tê

O tê, Figura 54, é um dos componentes mais comuns na fresagem, quer convencional, quer CNC. Em conjunto com parafusos adequados, estes garantem a fixação das ferramentas de aperto à mesa da máquina e devem ser fabricados de acordo com as dimensões da mesma.

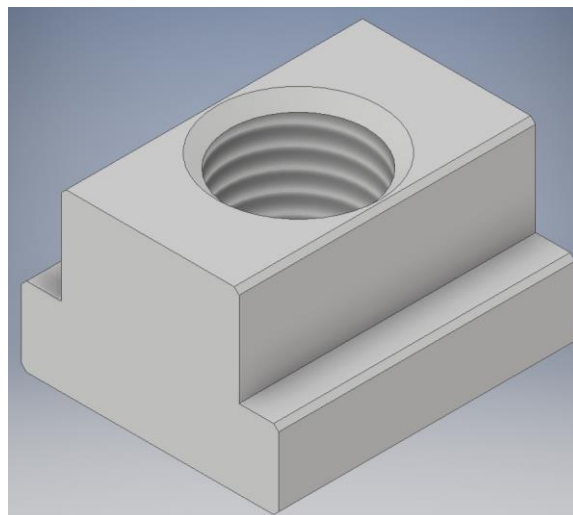


Figura 54 - Representação do componente 054\_Tê.

### Componente 076\_Suporte\_Intensificador\_Pressão

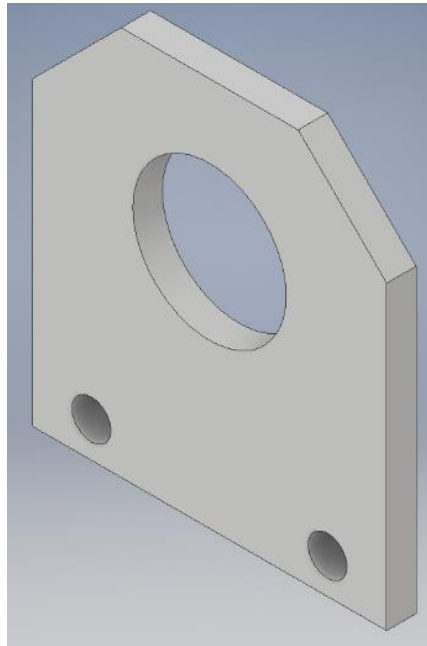


Figura 55 - Representação do componente 076\_Suporte\_Intensificador\_Pressão.

O suporte representado na Figura 55, tem uma função estrutural servindo de apoio à fixação do intensificador de pressão presente no circuito. Trata-se de uma peça de baixa complexidade sem grande precisão necessária. Pode facilmente ser fabricado dentro de portas em C45E.

#### Considerações sobre componentes normalizados

Não existem cuidados especiais nestes componentes, uma vez que, se forem comprados de acordo com a qualidade definida pela norma respectiva, estes deverão operar normalmente. A seleção dos parafusos ISO 4762 com a classe 8.8, deve-se ao facto de ser a qualidade que apresenta a resistência mínima necessária recomendada pelo fabricante dos atuadores hidráulicos. Uma vez que se prevê o aperto destes apenas uma vez, a qualidade deles não deverá ser muito elevada, de forma a permitir a remoção destes por processos não convencionais. Se após muito tempo em funcionamento algum componente precisar de substituição/manutenção, os parafusos já deverão estar calcinados, sendo que poderá ser necessário furar os mesmos ou soldar algum material de forma a facilitar a remoção. A menor resistência e dureza desta qualidade, ajuda a evitar que a cabeça do parafuso parta, dificultando esta operação.

Os pinos cilíndricos, de acordo com a norma ISO 8735, deverão ter a tolerância m6, de forma a permitir uma montagem a martelo com os furos de tolerância H7. A ferramenta não deverá precisar de ser comparada e é apertada pelos parafusos à mesa falsa, sendo que as chavetas garantem o alinhamento da ferramenta. A escolha desta norma em substituição da norma ISO 2338, reside no tratamento térmico dos pinos,

que lhes confere uma durabilidade superior e a existência do furo roscado facilita a desmontagem dos mesmas, no caso de calcinarem ou sofrerem choques laterais que os deformem. A experiência ensina que esse tipo de acidentes podem ser evitados, mas que acontecem por vezes, e se se puder investir em pequenas correções que ajudem à sua resolução, deve-se fazê-lo.

### 3.9 LISTA DE PEÇAS E COMPONENTES

- Mesa falsa;
- Grampo;
- Base;
- Apoio esquerdo;
- Apoio direito;
- Esfera centramento;
- Encosto radial;
- Chapa lateral esquerda;
- Chapa lateral direita;
- Porca M24x1.5;
- Chapa superior;
- Chaveta 18x25x50;
- Tê;
- Tubo hidráulico  $\varnothing 8 \times 2$ ;
- Parafuso ISO 4762 - M6 x 16;
- Parafuso ISO 4762 - M6 x 25;
- Parafuso ISO 4762 - M6 x 35;
- Parafuso ISO 4762 - M6 x 55;
- Parafuso ISO 4762 - M6 x 60;
- Parafuso ISO 4762 - M8 x 25;
- Parafuso ISO 4762 - M8 x 65;
- Parafuso ISO 4762 - M10 x 30;
- Parafuso ISO 4762 - M16 x 40;

- Parafuso ISO 4762 - M16 x 50;
- Porca ISO 4032 - M12;
- Porca ISO 4035 - M6;
- Porca ISO 4035 - M8;
- Anilha ISO 7089 - 6;
- Anilha ISO 7089 - 8;
- Anilha ISO 7089 - 24;
- Perno ISO 4027 - M12 x 45;
- Pino cilíndrico ISO 8735 - 6 x 28;
- Tampão AMF 908-G1/4;
- Intensificador de pressão AMF 6903-20-32;
- Válvula seletora AMF 6910-10;
- Placa de ligação AMF 6910A-05;
- Válvula sequenciadora AMF 6918-2;
- Bloco hidráulico AMF 6919-2;
- Atuador rotativo AMF 6951FP-22-11;
- Atuador rotativo AMF 6951FP-22-12;
- Suporte AMF 6964H-11-2;
- Manómetro AMF 6983-1-600;
- Cotovelo rotativo AMF 6994-03;
- União AMF 6994-05;
- União tê AMF 6994-08;
- União AMF 6994-11;

## 3.10 ANÁLISE FMEA

Tabela 4 – Análise FMEA da ferramenta.

Componente	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Ocorrência	Controles atuais do processo	Deteção	NPR	Potencial causa(s)/mecanismo(s) da(s) falha(s)	Ações recomendadas
044(5)	Baixa força de aperto.	Peça mal apertada.	10	1	Auditiva.	5	50	Efeito Diesel. Rotura dos retentores.	Garantir o correto sangramento do circuito na primeira operação e nas operações de manutenção. Verificar fugas de óleo e controlar a queda de pressão na primeira operação e nas operações de manutenção.
003	Rotura do componente	Peça mal apertada. Falhas na maquinagem.	10	1	Visual. Necessidade de ajuste dos pernos.	2	20	Fadiga.	Limpar corretamente as superfícies de aperto em cada utilização. Substituir o componente aos primeiros sinais de desgaste.
ISO 4027 M12	Empeno Rotura	Peça mal apertada. Falhas na maquinagem.	10	1	Visual. Necessidade de ajuste dos mesmos.	2	20	Fadiga.	Limpar corretamente as superfícies de aperto em cada utilização. Substituir o componente aos primeiros sinais de desgaste.

007(8)	Empeno	Peça mal apertada. Falhas na maquinagem.	10	1	Visual. Necessidade de correção de zero peça.	1	10	Fadiga.	Limpar corretamente as superfícies de aperto em cada utilização. Substituir o componente aos primeiros sinais de desgaste.
010	Lixo Empeno	Falhas na maquinagem.	6	3	Visual.	1	18	Falta de limpeza. Empeno da esfera.	Limpar corretamente a esfera durante o <i>setup</i> . Verificar o estado da esfera e zeros-peça se ocorrer uma colisão.
013	Baixa força de suporte	Peça sujeita a vibrações na maquinagem.	3	1	Auditiva. Visual.	2	6	Fugas no circuito hidráulico. Mau funcionamento da válvula.	Verificar fugas de óleo e controlar a queda de pressão na primeira operação e nas operações de manutenção. Verificar o estado da válvula e substituir ou reparar a mesma.
Tubos e Acessórios	Fuga de óleo	Peça mal apertada.	10	1	Visual. Manómetros.	2	20	Má montagem. Rotura por falha do material.	Seguir os passos corretos durante a montagem. Verificar fugas de óleo e controlar a queda de pressão na primeira operação e nas operações de manutenção.

	<b>Manómetros</b>								Conjugação de vários mecanismos.	Verificar estado dos manómetros sempre que se efetuarem leituras fora do previsto. Calibrar os mesmos com a frequência necessária ou na manutenção da ferramenta. O uso de uma centralina apenas capaz de apenas 125, bar protege contra sobrepressão do circuito, uma vez que os componentes suportam picos de pelo menos 400 bar.
	Má leitura.	Força de aperto incorreta.	10	1	Visual.	1	10			
<b>024</b>	Fuga excessiva de óleo.	Força de aperto baixa.	10	1	Auditiva. Visual.	1	10	Má montagem.  Rotura dos retentores.	Seguir os passos corretos durante a montagem. Instalar um acumulador após o intensificador de pressão. Verificar fugas de óleo e controlar a queda de pressão na primeira operação e nas operações de manutenção.	
<b>025</b>	Retorno de óleo.  Baixa pressão.	Peça sujeita a vibrações durante a maquinação.	3	1	Auditiva. Visual.	2	6	Falha da válvula. Falha do acumulador.	Verificar o estado da válvula e reparar ou substituir. Verificar o estado do acumulador e reparar ou substituir.	

028	Impossibilidade de apertar/ desapertar.	Inoperabilidade e da ferramenta	1	3	Visual.	1	3	Falha dos acopladores de engate rápido.	Substituir os engates rápidos se em fim de vida. Pode-se substituir por uns de capacidade superior para aumentar o tempo de vida.
-----	---	---------------------------------	---	---	---------	---	---	---	--

### 3.11 MANUAL DE UTILIZAÇÃO

A utilização da ferramenta é simples. Esta é alimentada por uma centralina capaz de debitar 110 bar (11 MPa) de pressão. O multiplicador hidráulico de pressão é regulado para a pressão de funcionamento do circuito, que está limitada pelos atuadores hidráulicos a 350 bar (35 MPa).

O óleo do circuito deverá ser filtrado com um *mesh* não superior a 10 µm, como requerido pelo intensificador de pressão. Recomenda-se que a centralina tenha um filtro equivalente ou melhor, caso contrário, ter-se-á que instalar um filtro no circuito. O óleo deverá respeitar o índice de viscosidade ISO VG 22 a 32 (*Viscosity Grade*), de acordo com a norma DIN 51519.

Todo o circuito deve ser sangrado antes da primeira utilização. Não pode haver ar presente no circuito, sob pena de alguns componentes falharem por efeito Diesel. Apesar de ser um mecanismo de falha usual em cilindros de duplo acionamento, este também pode ocorrer noutros componentes hidráulicos. Ocorre quando o ar atmosférico consegue ultrapassar a barreira dos vedantes, entrando no circuito hidráulico, principalmente nos momentos de descompressão. Uma vez no interior do circuito e pressurizado, o ar pode “explodir” danificando os componentes hidráulicos.

Para apertar a peça, deve-se pré posicioná-la manualmente, removendo qualquer limalha que esteja presente e que possa influenciar o aperto da mesma. De seguida, deve-se ligar as duas mangueiras de alimentação e de retorno de óleo ao circuito, e roda a válvula de alimentação para a posição de aberta e a válvula de retorno para a posição de fechada. Feito isto, liga-se a centralina para alimentar o circuito e apertar as peças. Após o circuito estar à pressão de trabalho, roda-se a válvula de admissão para a posição fechada, desliga-se a centralina e removem-se as mangueiras de alimentação.

De forma a remover a peça após ser maquinada, deve-se limpar a peça e a ferramenta de possíveis limalhas existentes e ligar as mangueiras de alimentação de óleo à ferramenta. Abre-se a válvula de alimentação e de retorno, liga-se a centralina e atua-se no sentido contrário ao de aperto. Retira-se a peça e limpa-se novamente limalhas existentes nas zonas móveis e nas zonas de aperto.

### 3.12 MANUAL DE MANUTENÇÃO

Uma das grandes vantagens deste tipo de ferramentas é a baixa manutenção que necessitam. Recomenda-se fazer um teste de pressão estática com a duração de 24 h à pressão máxima dos componentes que compõe a ferramenta da primeira vez que esta for utilizada e a cada 3000 ciclos ou anualmente, qual deles acontecer primeiro.

A pressão desse teste deverá ser de 350 bar (35 MPa), limitado pelos atuadores hidráulicos que apertam a peça. Durante o teste, deverá ser registada a pressão do circuito ao longo do tempo, em períodos não superiores a 8 horas, de forma a analisar se as perdas de pressão existentes serão aceitáveis ou não. A perda de pressão não deverá ultrapassar os 2 bar/h (0.2 MPa/h).

Este teste deverá ser acompanhado por uma limpeza prévia minuciosa, removendo todo e qualquer vestígio de óleo, facilitando a identificação que possa existir e que se evidenciará durante o teste isobárico.

Vários componentes, incluindo os atuadores hidráulicos, dispõem de vedantes nos seus circuitos, que poderão romper ou desgastar-se ao longo do tempo. Teoricamente, não está prevista a necessidade de substituir algum destes componentes durante o tempo de vida útil da ferramenta, no entanto, se algum dos elementos ceder antes do tempo, terá que ser substituído.

Seguindo recomendação do fabricante dos atuadores hidráulicos, o óleo deverá ser substituído semestralmente e o seu nível verificado com regularidade, como em qualquer outro circuito hidráulico.



# CONCLUSÕES

4.1 Conclusões

4.2 Trabalhos futuros



## 4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 4.1 CONCLUSÕES

No que toca ao cumprimento de objetivos, estes foram cumpridos a 100 %:

- O número de apertos para as operações de fresagem da peça diminuiu para um;
- A peça pode ser dimensionalmente controlada na primeira operação, trabalhando no sentido da política zero defeitos;
- O *setup* torna-se muito mais fácil, não só devido ao número reduzido de apertos, mas também ao centramento da peça, que pode agora ser automatizado.

Adicionalmente, a qualidade do produto final aumenta, em consequência destas melhorias, e o custo unitário do componente é também reduzido.

### 4.2 TRABALHOS FUTUROS

A ABER irá contruir a ferramenta e comprovar a sua funcionalidade. Após uma análise crítica, foram identificados alguns problemas que possam existir e como resolvê-los com alterações à ferramenta e a experiência prática através da execução é crucial para identificar essa necessidade. Com ou sem ferramenta, o contacto com o fornecedor da matéria-prima para efetuar uma pequena alteração ao molde elimina a terceira operação de fresagem e diminui o tempo de maquinagem, sendo que este é um passo que a ABER deverá tomar.

Apesar de ainda não ter sido construída a ferramenta, de forma a avaliar a sua eficiência durante o funcionamento, a sua utilidade é enorme. Trata-se da maquinagem de um componente crítico da bomba de caudal variável, produzida e montada pela ABER. É importante perceber que a melhoria do processo de produção deste componente tem também um forte impacto no fluxo de todos os componente associados a este produto e a viabilidade do processo de produção deste componente influencia e reflete-se na viabilidade de todo um produto, e não apenas do componente individual.



# BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Referências



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

### 5.1 REFERÊNCIAS

- [1] "Machining," MIT, 2012. [Online]. Available: <http://fab.cba.mit.edu/classes/863.12/people/laia.mogassoldevila/projects/p7.html>. [Acedido em 29 10 2016].
- [2] Trent, E., Wright, P. (2000), *Metal Cutting*, Butterworth Heinemann, 9780750670692.
- [3] Sandvik Coromant, "General face milling," [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application\\_overview/face\\_milling/general\\_face\\_milling](https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling). [Acedido em 20 Fevereiro 2018].
- [4] Sandvik Coromant, "Profile Milling," [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application\\_overview/profile\\_milling/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/profile_milling/pages/default.aspx). [Acedido em 19 January 2017].
- [5] Sandvik Coromant, "Slot Milling," [Online]. Available: [http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application\\_overview/slot\\_milling](http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/slot_milling). [Acedido em 05 Maio 2017].
- [6] Olexa, R. (2001), The Father of the Second Industrial Revolution, *Manufacturing Engineering*, 127 (2).
- [7] Iles, G. (1912), *Leading American inventors*, New York, H. Holt and company.
- [8] Rolt, L. (1965), *A Short History of Machine Tools*, Cambridge, The MIT Press, 9780262180139.
- [9] Juneja, B. (2003), *Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools*, New Age International, 9788122414677.
- [10] J. Tuszyński, Artist, [Art]. 2015.
- [11] T. Coles, *Five hole and eight hole perforated paper tape as used in telegraph and computer applications*, 2010.
- [12] Three-quarter-ten, *A punched tape reader on a CNC control.*, 2010.
- [13] Sharma, P. (2006), *A Textbook of Production Technology: Manufacturing Process*, S. Chand & Co Ltd, 9788121911146.
- [14] Ross, D. (1978), Origins of the APT Language for Automatically Programmed Tools, In: *History of programming languages conference*, 13 (8), (pp. 61-99). Los Angeles, Association for Computing Machinery, Inc.
- [15] Fastenal Company, "8" -10" Jaw Open Bed Parallel 0.0004" HeavyDuty Milling Vise," [Online]. Available: <https://www.fastenal.com/products/details/0333294>. [Acedido em 12 Outubro 2017].

- [16] F. J. Hoose, "Mini-Mill Accessories," 3 Março 2002. [Online]. Available: [http://www.mini-lathe.com/Mini\\_mill/Accessories/Holding/holding.htm](http://www.mini-lathe.com/Mini_mill/Accessories/Holding/holding.htm). [Acedido em 13 Março 2018].
- [17] Mitee-Bite Products LLC, "T-Slot Toe Clamps," [Online]. Available: <https://www.miteebite.com/products/t-slot-toe-clamps/>. [Acedido em 13 Março 2018].
- [18] Bessey Clamps, "BESSEY SELF ADJUSTING HORIZONTAL TOGGLE CLAMP - STC-HH /20," [Online]. Available: <http://www.besseytools.co.uk/horizontal-toggle-clamp-with-open-arm-and-horizontal-base-plate-stc-hh-20.html>. [Acedido em 13 Março 2018].
- [19] X. Ma, "hydraulic clamping fixture," 7 Abril 2016. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rirH-VFJF5A>.
- [20] john f's workshop, "Milling – workholding – non-rotating chucks," [Online]. Available: <https://johnfsworkshop.org/home/processes-links/processes-removing-metal/the-milling-machine/the-milling-machine-workholding/milling-workholding-non-rotating-chucks/>. [Acedido em 13 Março 2018].
- [21] NYC CNC, "NYC CNC," 2 Março 2014. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=7-eDCMhLPJI>.
- [22] D. Korn, "Shop Finds Fixturing Solution for Flexing Parts," 11 Novembro 2014. [Online]. Available: <https://www.mmsonline.com/articles/shop-finds-fixturing-solution-for-flexing-parts>. [Acedido em 13 Março 2018].
- [23] Kent Machine, Inc., "Work Holding Fixtures," [Online]. Available: <http://www.kentmachine.com/work-holding-fixtures.html>.
- [24] Möhring, H., Nguyen, L., (2017), Stiffness and damping properties of a swing clamp: model and experiment In J. Outeiro, G. Poulachon (Ed.) *16th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations*, 58 (pp. 299-304).
- [25] Vektek LLC, "Tech Tips," [Online]. Available: <http://www.vektek.com/fixhowmuch.aspx>. [Acedido em 6 Março 2018].
- [26] American Society for Quality, *Quality Glossary*.
- [27] Crosby, P., (1979), *Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain*, New York: McGraw-Hill, 9780070145122.
- [28] Juran, J., (1988), *Juran on planning for quality*, Wilton: Free Press, 9780029166819.
- [29] SRI Alumni Association, *SWOT Analysis for Management Consulting*, 2005, pp. 8-9.
- [30] Sandvik Coromant, "Holes and cavities," [Online]. Available: [http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application\\_overview/holes\\_and\\_cavities](http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities). [Acedido em 05 Maio 2017].
- [31] Sandvik Coromant, "Chamfering," [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application\\_overview/chamfering/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/chamfering/pages/default.aspx).

[Acedido em 05 Maio 2017].



# ANEXOS

- 6.1 Desenho 000\_Montagem\_Mesa
- 6.2 Desenho 057\_Montagem\_Base
- 6.3 Desenho 059\_Montagem\_Apoios
- 6.4 Desenho 062\_Montagem\_Atuaadores
- 6.5 Desenho 065\_Montagem\_Grampos
- 6.6 Desenho 101\_Montagem\_Conectores
- 6.7 Desenho 068\_Montagem\_Esferas\_Encostos
- 6.8 Desenho 067\_Montagem\_Chapas
- 6.9 Desenho 092\_Montagem\_Intensificador\_Pressão
- 6.10 Desenho 093\_Montagem\_Válvula\_2-2
- 6.11 Desenho 095\_Montagem\_Admissão
- 6.12 Desenho 096\_Montagem\_Bloco
- 6.13 Desenho 097\_Montagem\_Válvula\_Sequenciadora

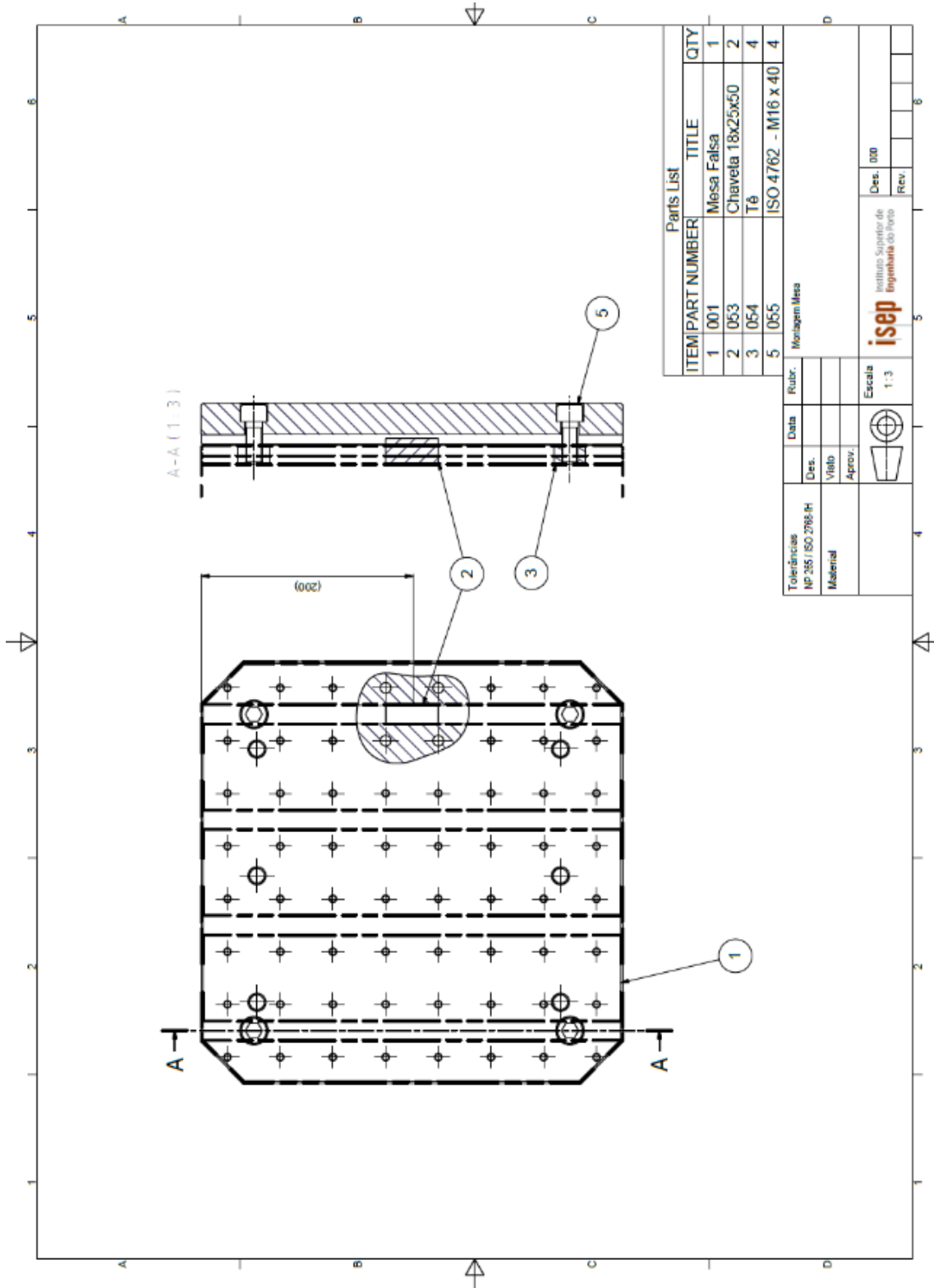
- 6.14 Desenho 098\_Montagem\_Retorno
- 6.15 Desenho 099\_Montagem\_Linha\_Admissão
- 6.16 Desenho 100\_Montagem\_Alimentação\_Válvula
- 6.17 Desenho 071\_Montagem\_Estrutura
- 6.18 Desenho 102\_Montagem\_Alimentação\_Atadores
  - 6.19 Desenho 001\_Mesa\_Falsa
  - 6.20 Desenho 003\_Grampo
  - 6.21 Desenho 006\_Base
  - 6.22 Desenho 007\_Apoio\_Esquerdo
  - 6.23 Desenho 008\_Apoio\_Direito
  - 6.24 Desenho 010\_Esfera\_Centramento
  - 6.25 Desenho 011\_Encosto\_Radial
- 6.26 Desenho 016\_Chapa\_Lateral\_Esquerda
  - 6.27 Desenho 019\_Porca\_M24x1.5
  - 6.28 Desenho 021\_Chapa\_Superior
  - 6.29 Desenho 052\_Mesa\_Máquina
- 6.30 Desenho 053\_Chaveta\_18x25x50

- 6.31 Desenho 054\_Tê
- 6.32 Desenho 076\_Suporte\_Intensificador\_Pressão
- 6.33 Datasheet Super PB (Ramada Aços)
- 6.34 Datasheet G15 Special (Ramada Aços)
- 6.35 Datasheet BCW (Ramada Aços)
- 6.36 Datasheet F10 (Ramada Aços)
- 6.37 Datasheet AMF 6964H-11-2
- 6.38 Datasheet AMF 6919-2
- 6.39 Datasheet AMF 6918-2
- 6.40 Datasheet AMF 6951FP-22-11
- 6.41 Datasheet AMF 6951FP-22-12
- 6.42 Datasheet AMF 6983-1-600
- 6.43 Cálculo do esforço de corte no acabamento
- 6.44 Cálculo do esforço de corte no desbaste

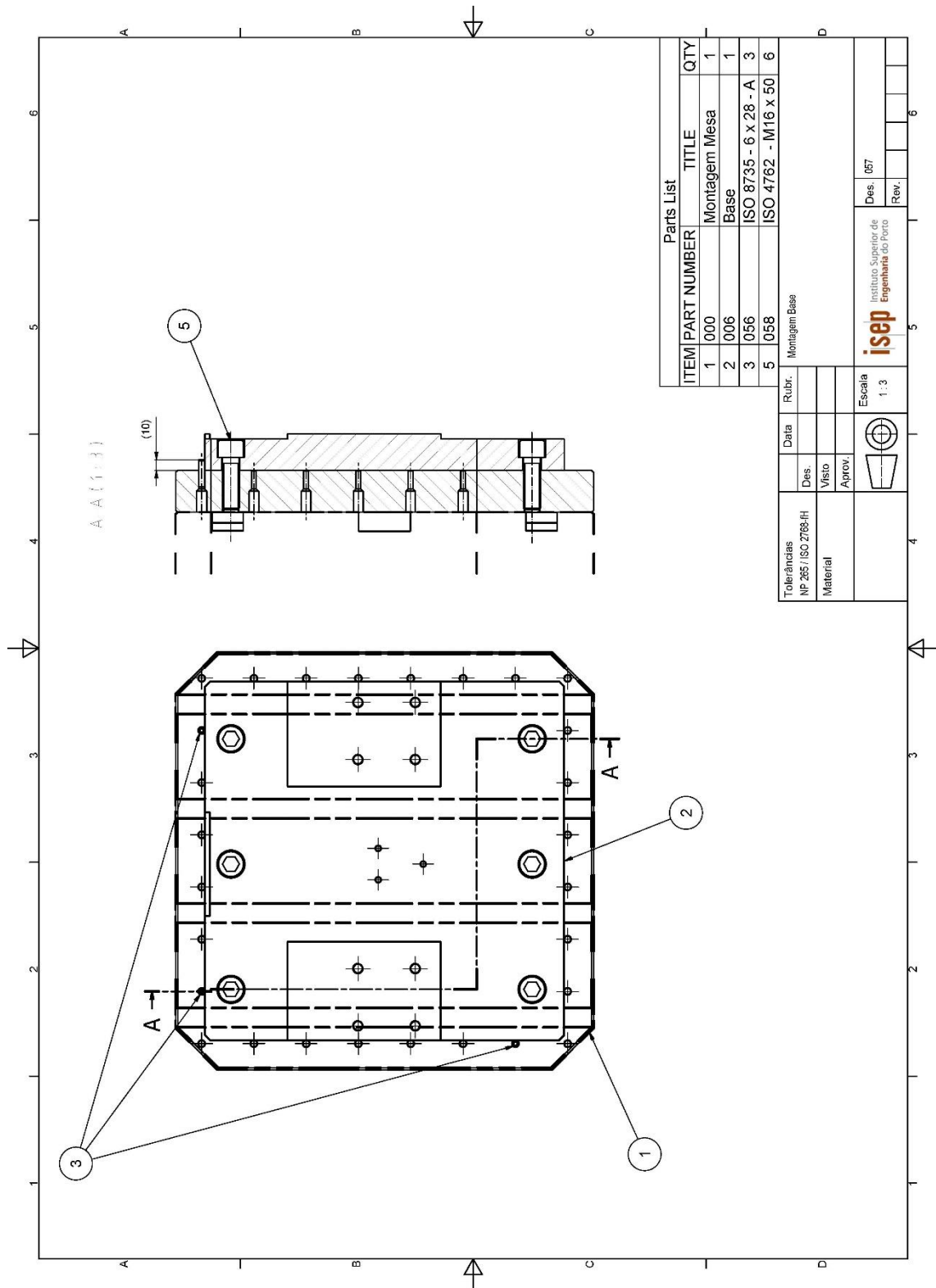


## 6 ANEXOS

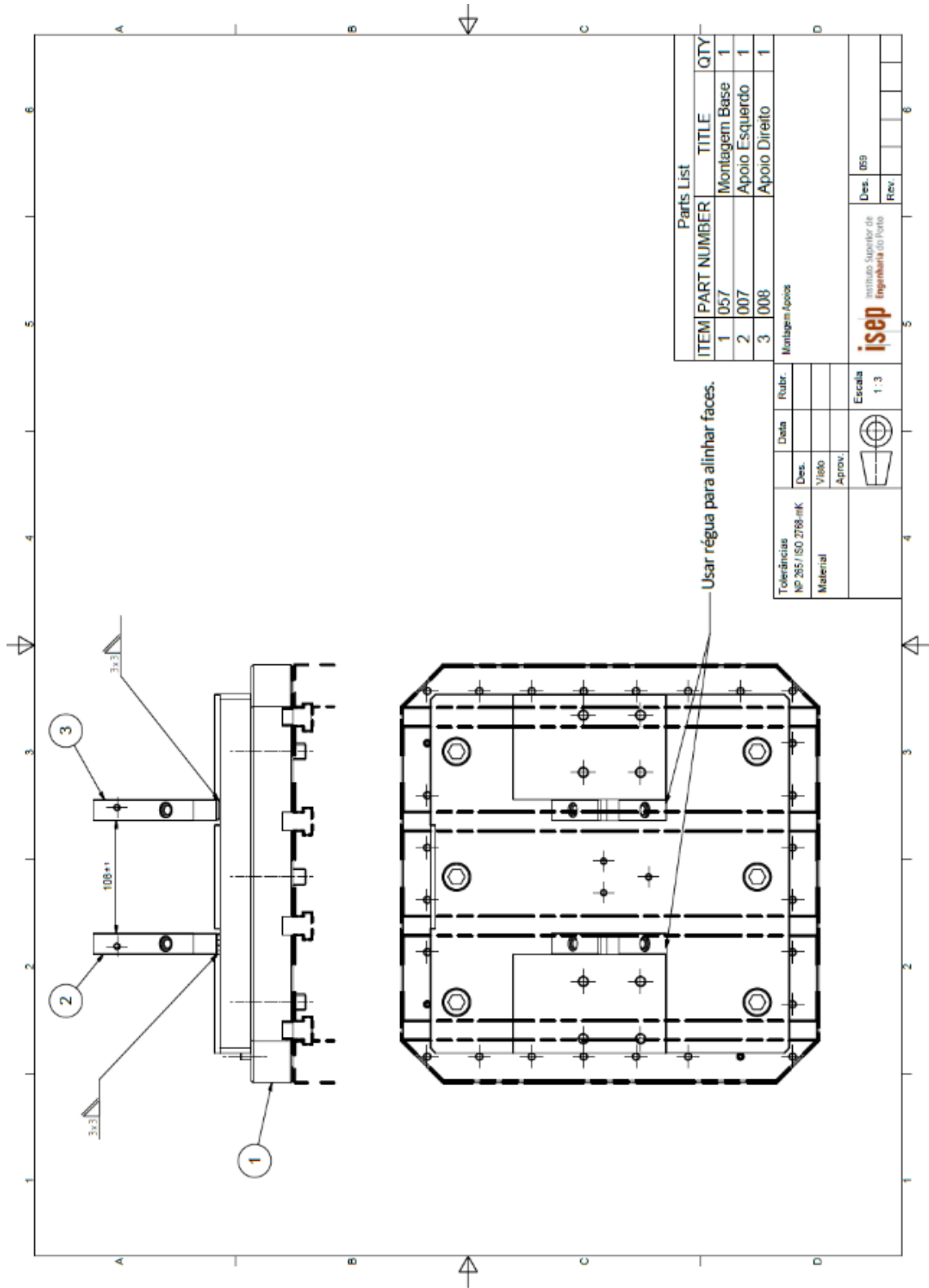
### 6.1 DESENHO 000\_MONTAGEM\_MESA



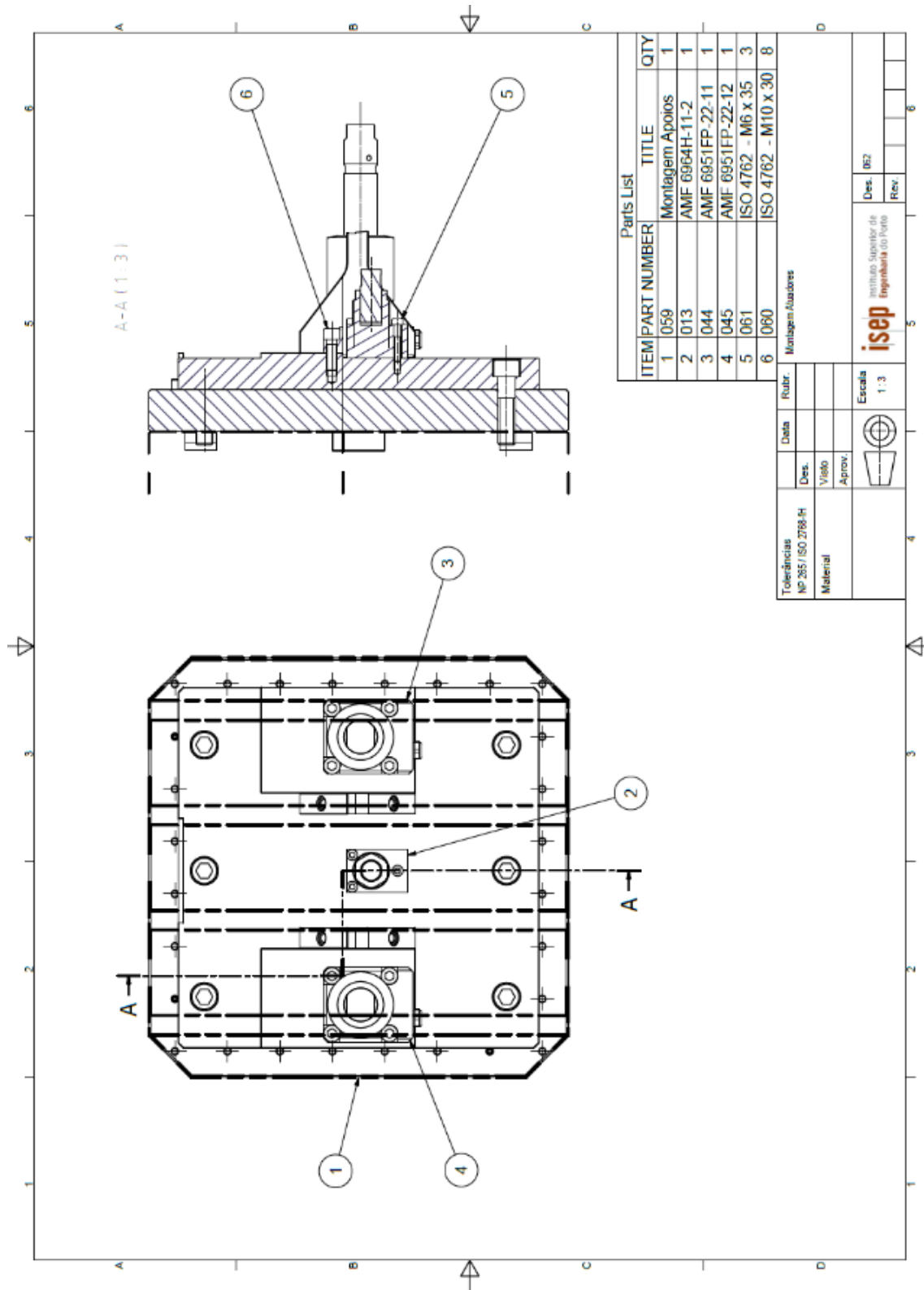
6.2 DESENHO 057\_MONTAGEM\_BASE



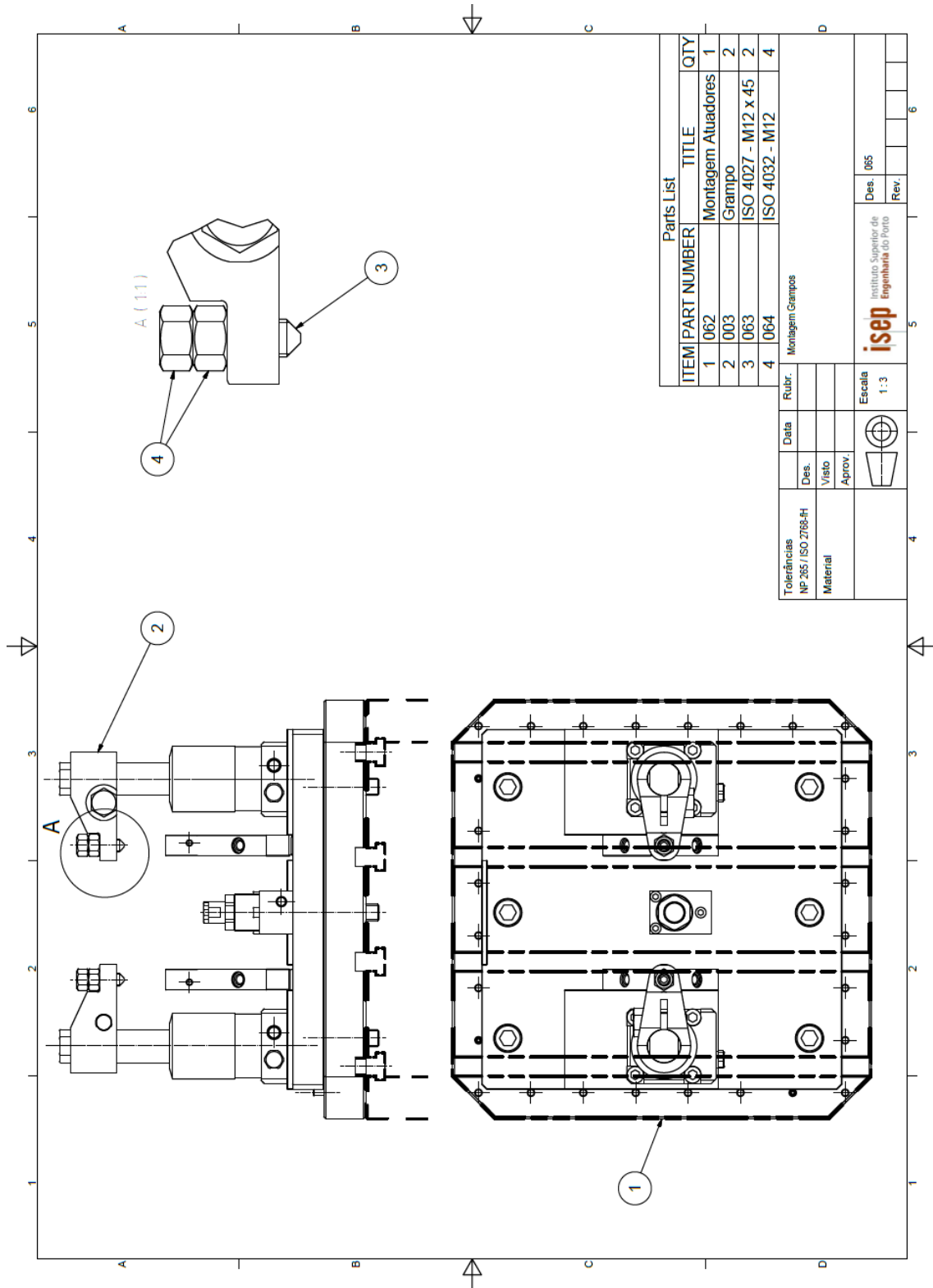
6.3 DESENHO 059\_MONTAGEM\_APOIOS



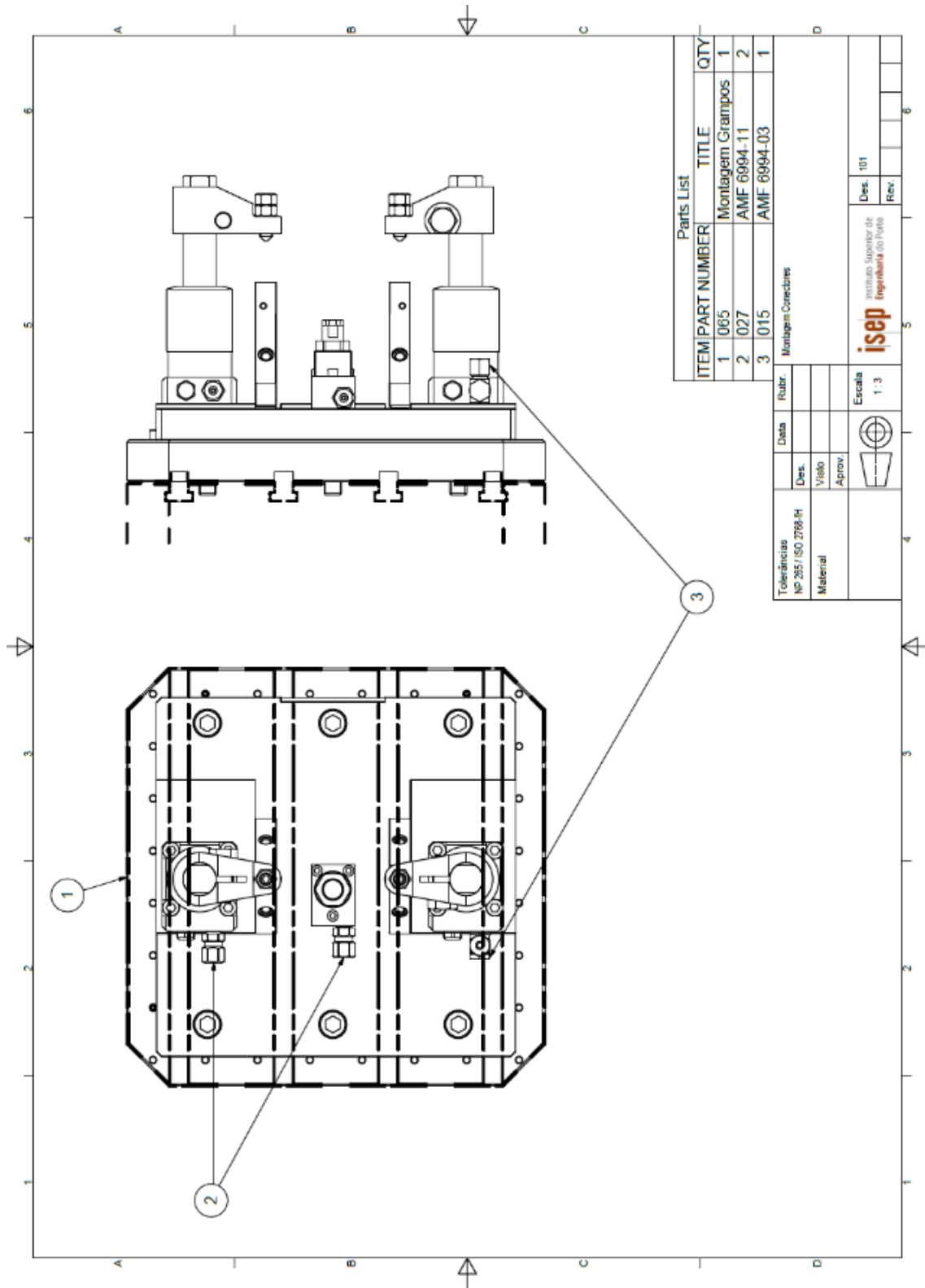
6.4 DESENHO 062\_MONTAGEM\_ATUADORES



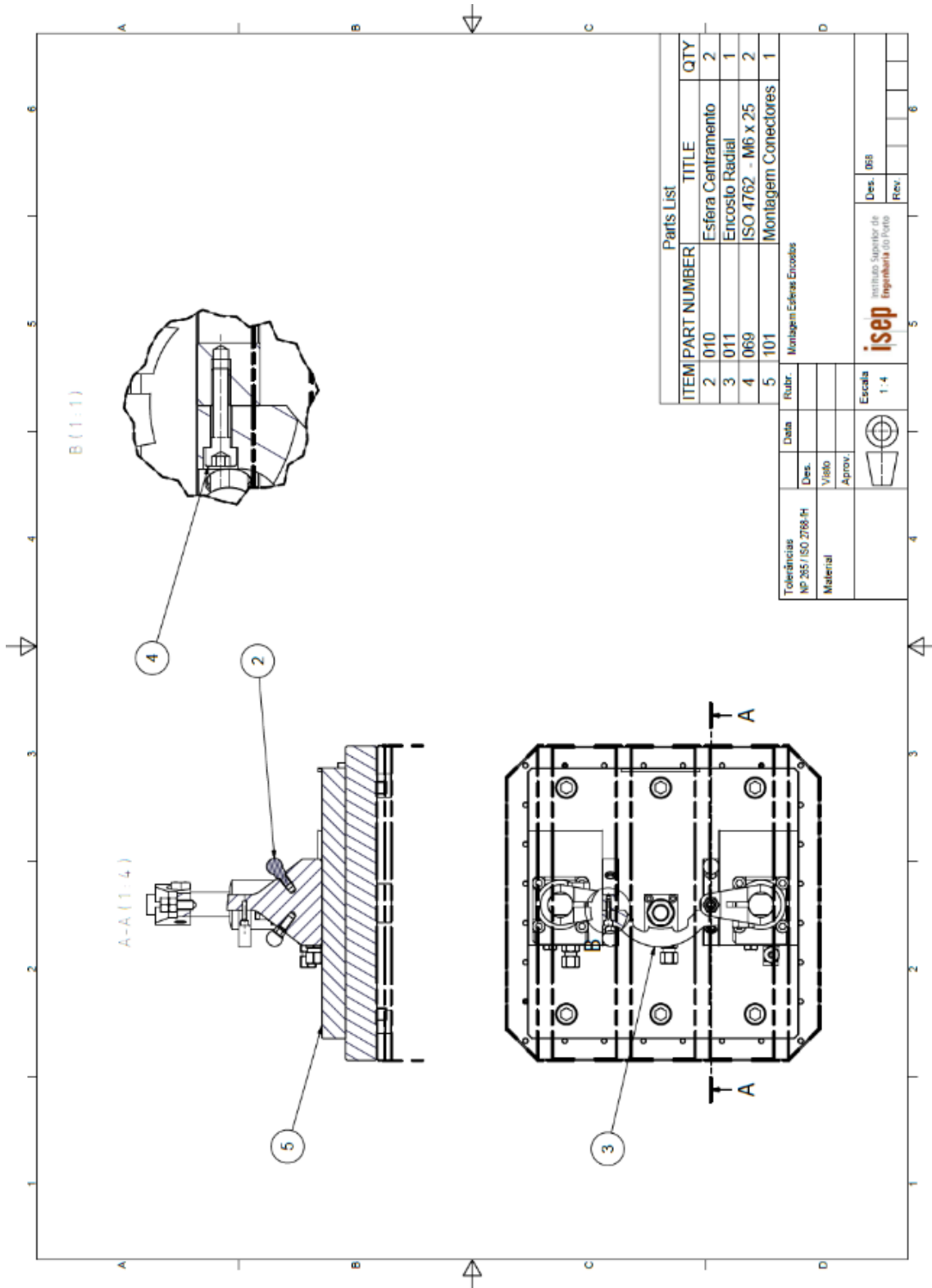
6.5 DESENHO 065\_MONTAGEM\_GRAMPOS



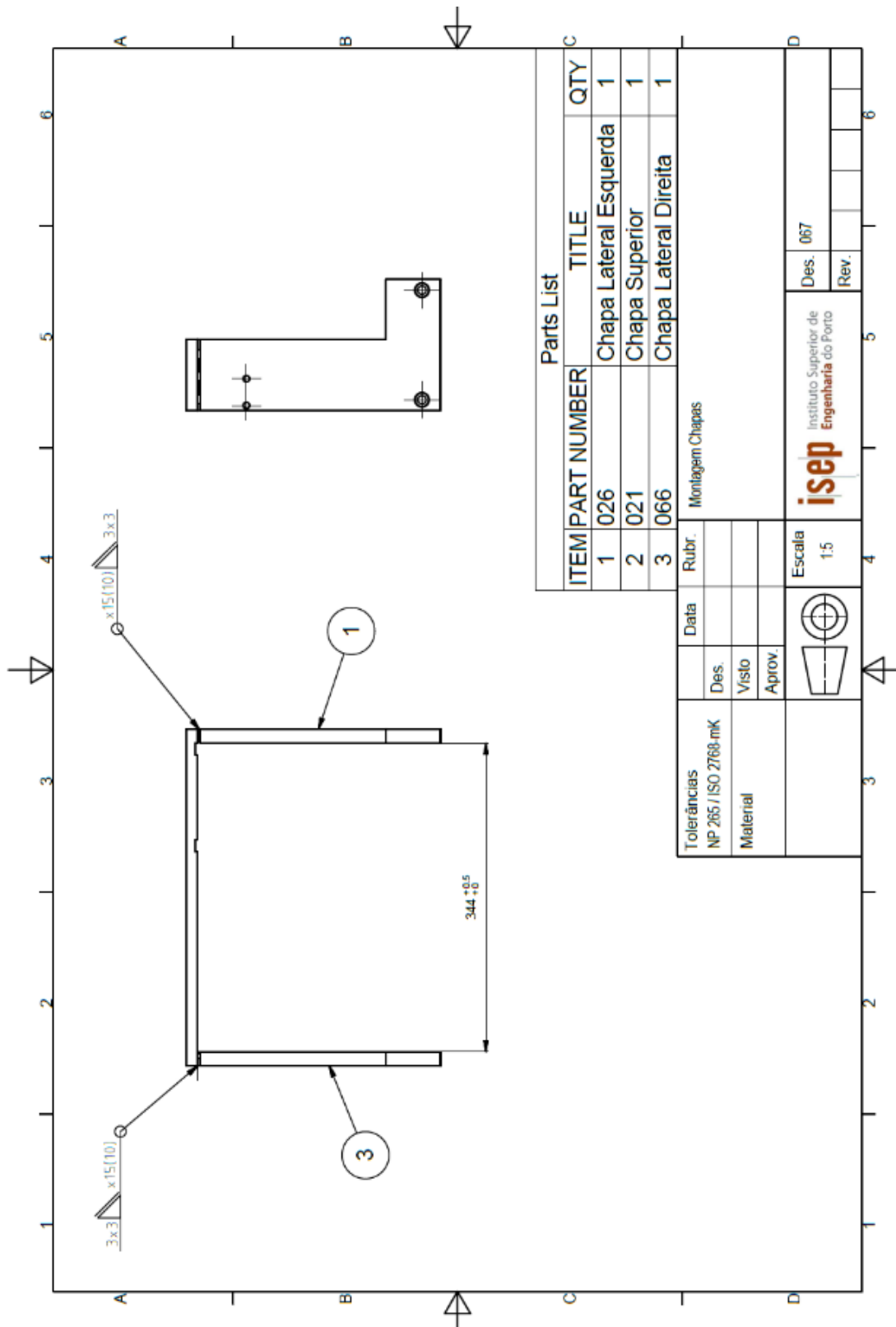
6.6 DESENHO 101\_MONTAGEM\_CONECTORES



6.7 DESENHO 068\_MONTAGEM\_ESFERAS\_ENCOSTOS

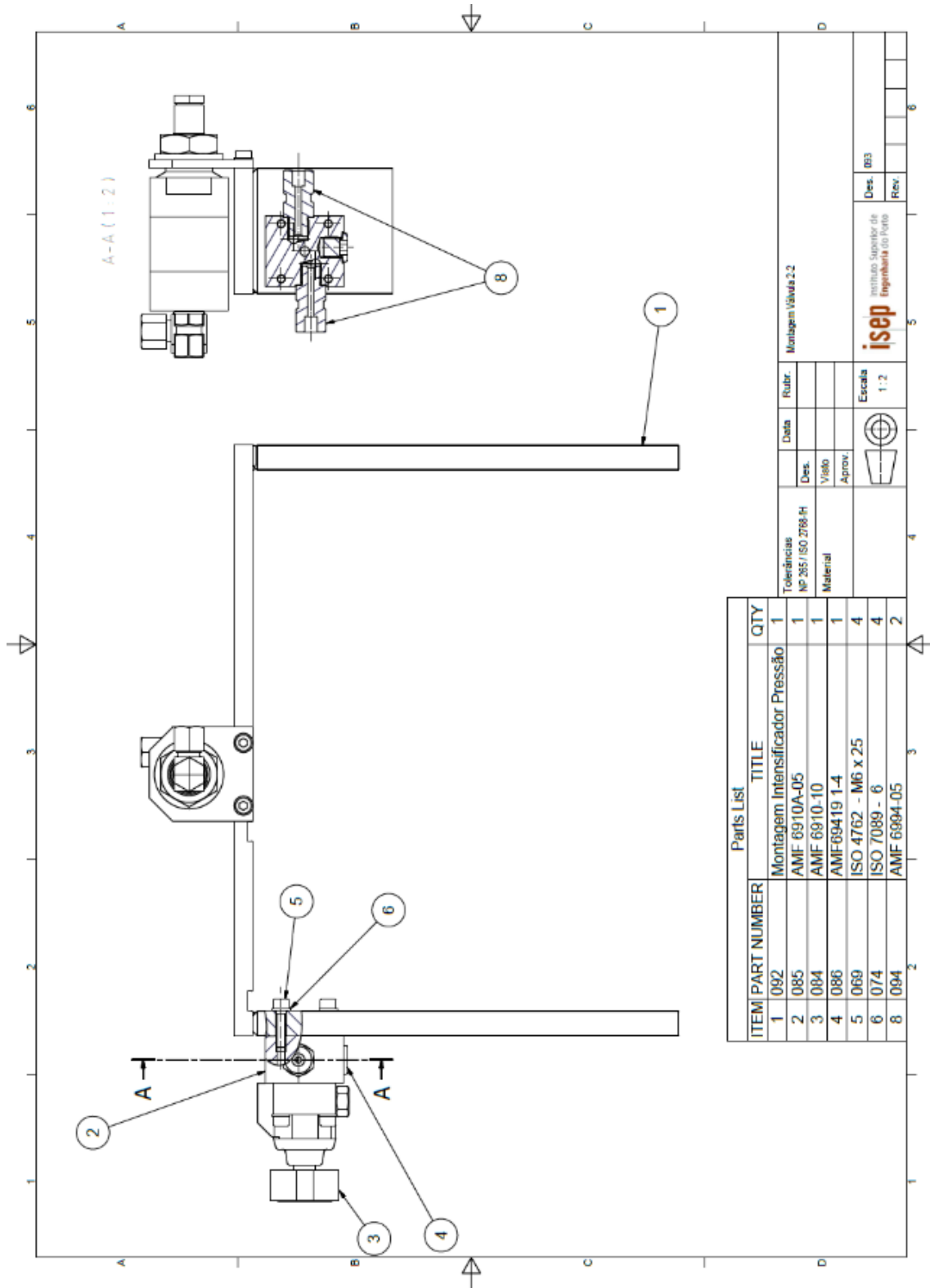


6.8 DESENHO 067\_MONTAGEM\_CHAPAS

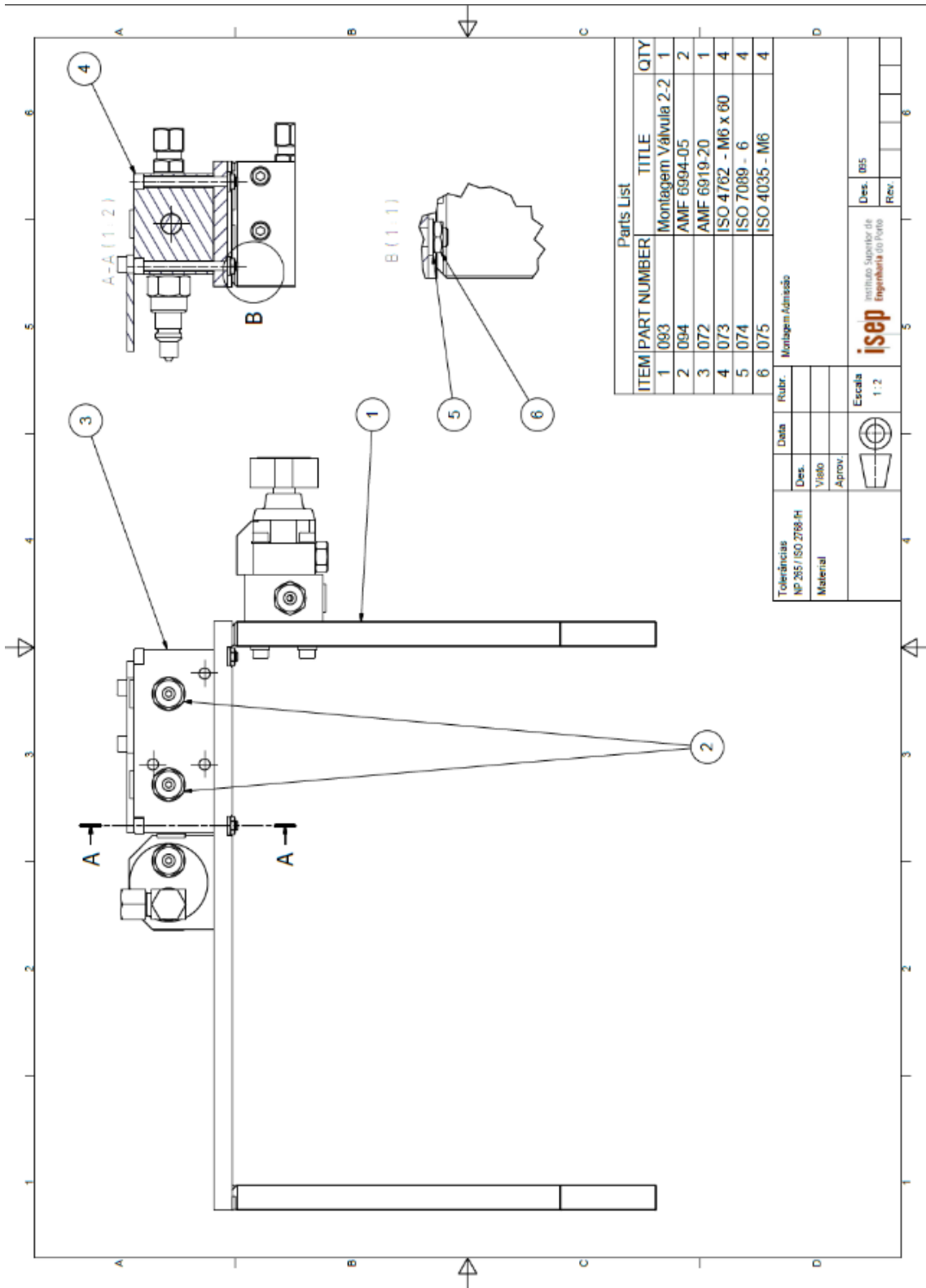




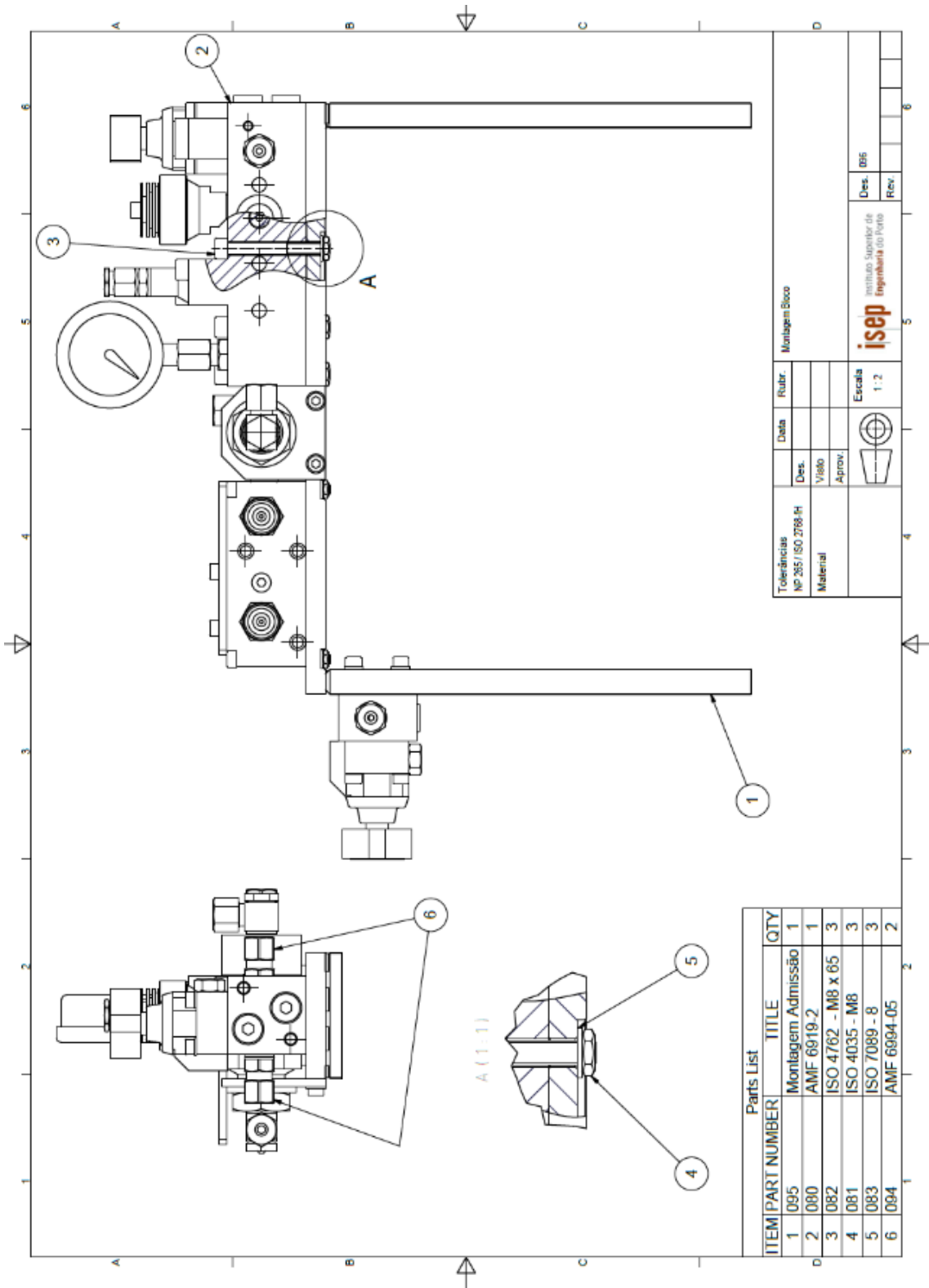
6.10 DESENHO 093\_MONTAGEM\_VÁLVULA\_2-2



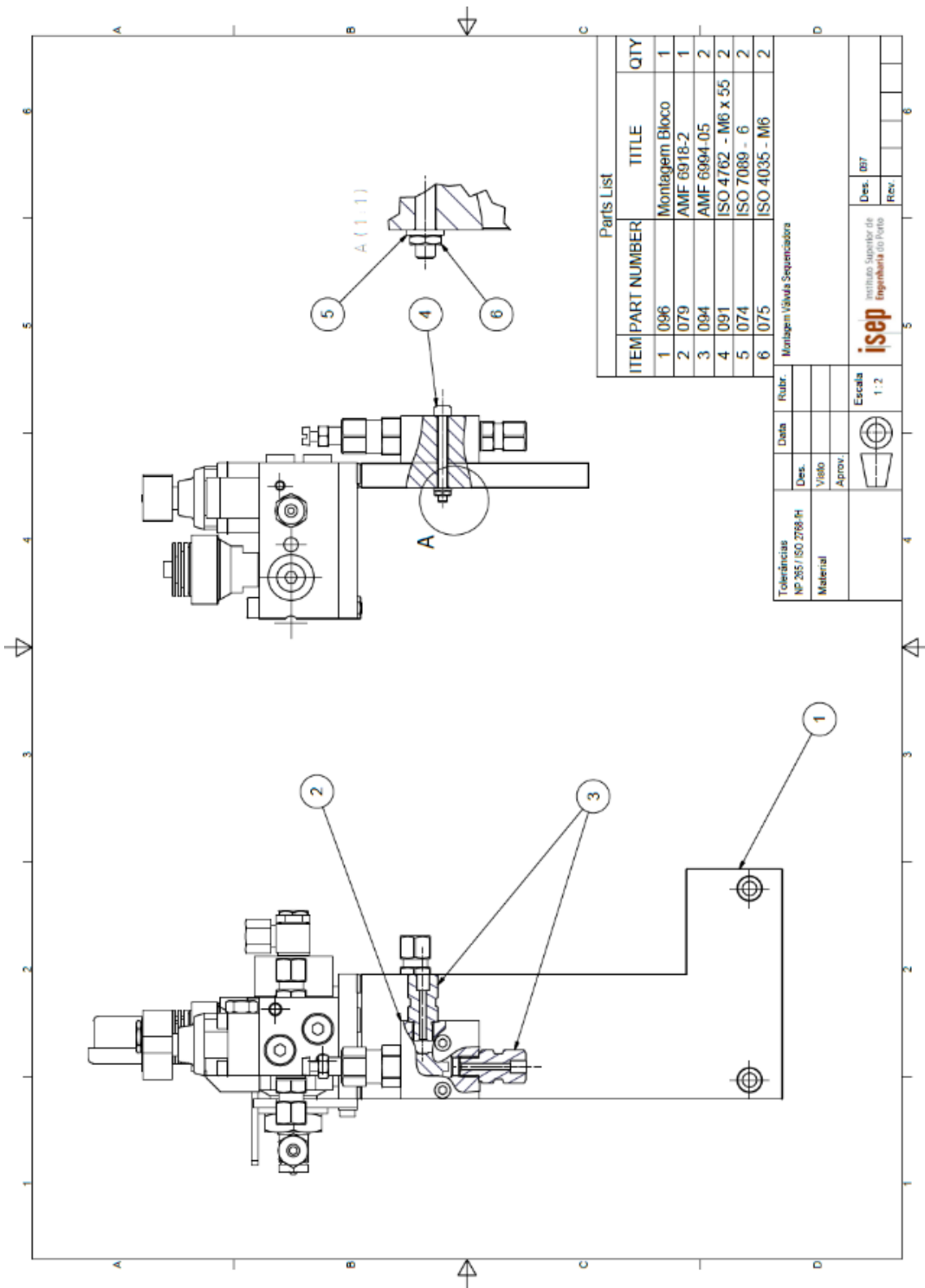
6.11 DESENHO 095\_MONTAGEM\_ADMISSÃO



6.12 DESENHO 096\_MONTAGEM\_BLOCO

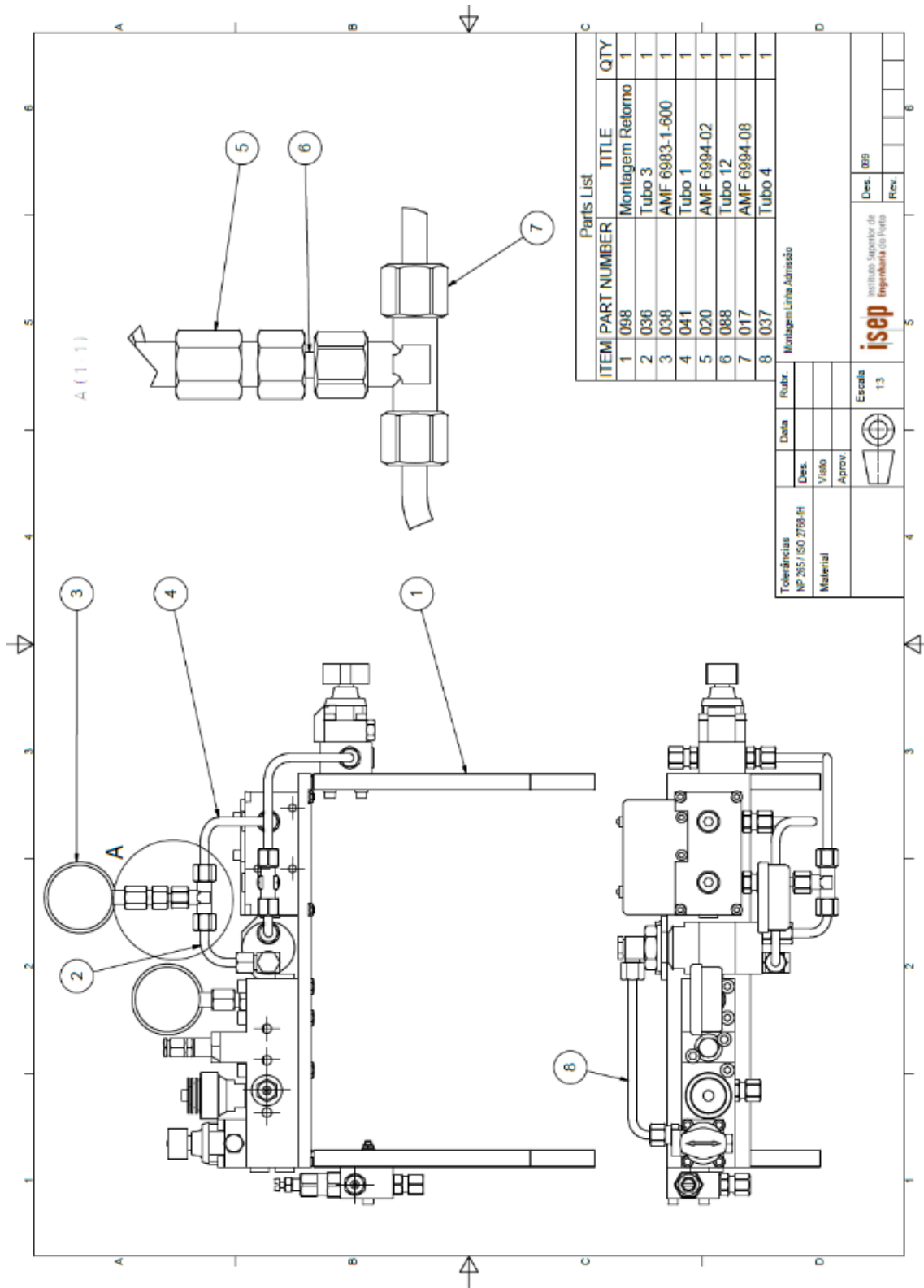


6.13 DESENHO 097\_MONTAGEM\_VÁLVULA\_SEQUENCIADORA

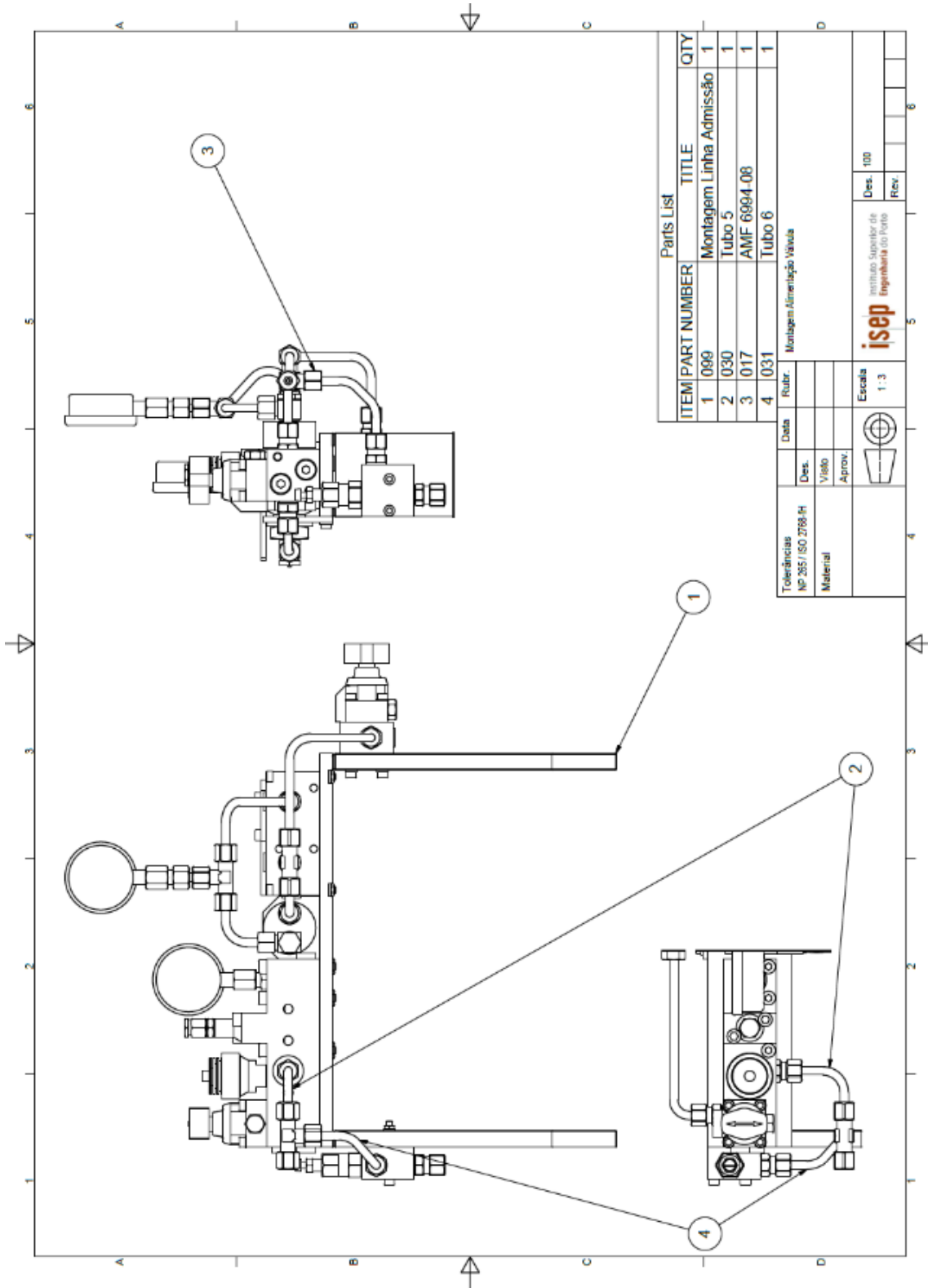




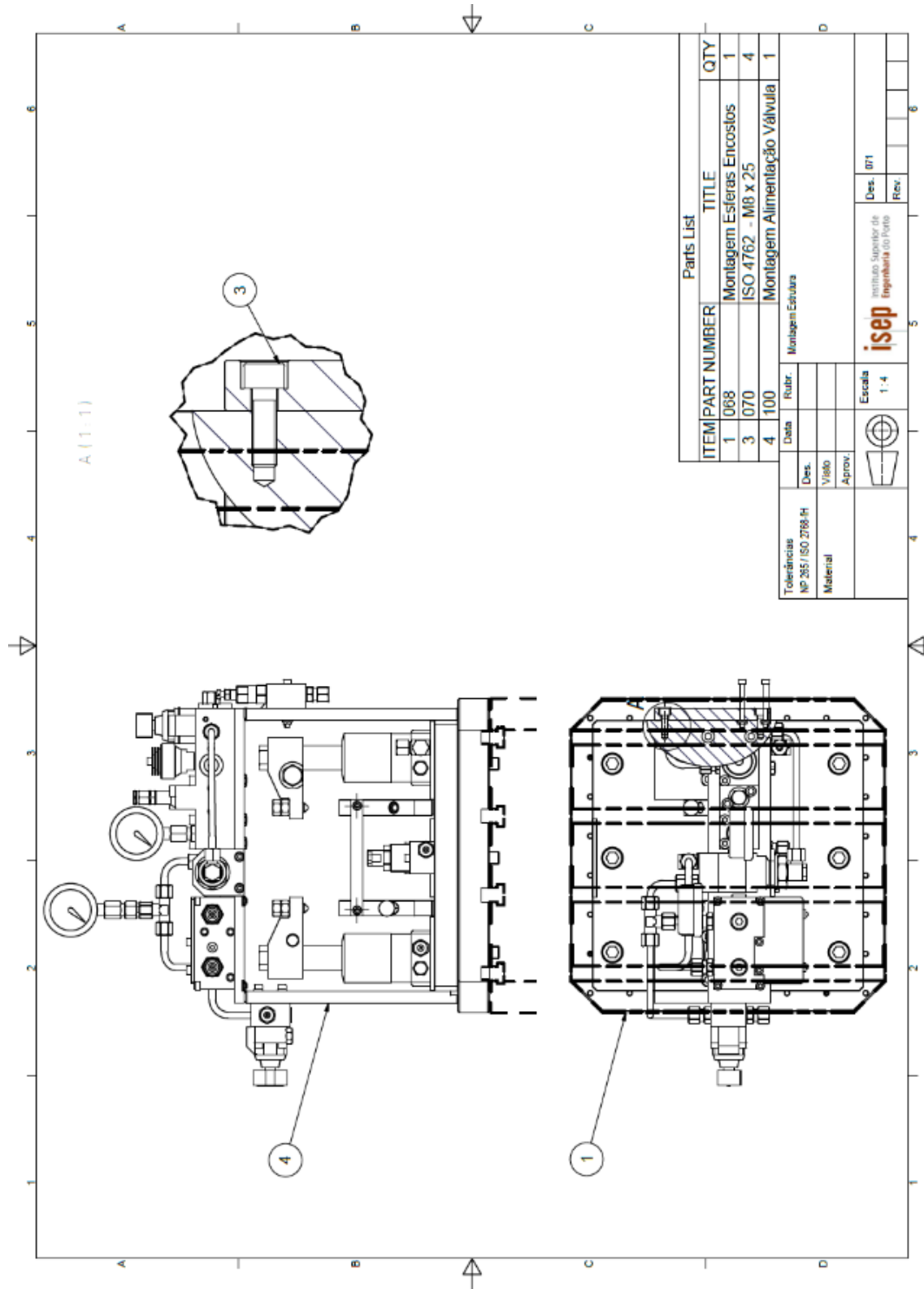
6.15 DESENHO 099\_MONTAGEM\_LINHA\_ADMISSÃO



6.16 DESENHO 100\_MONTAGEM\_ALIMENTAÇÃO\_VÁLVULA

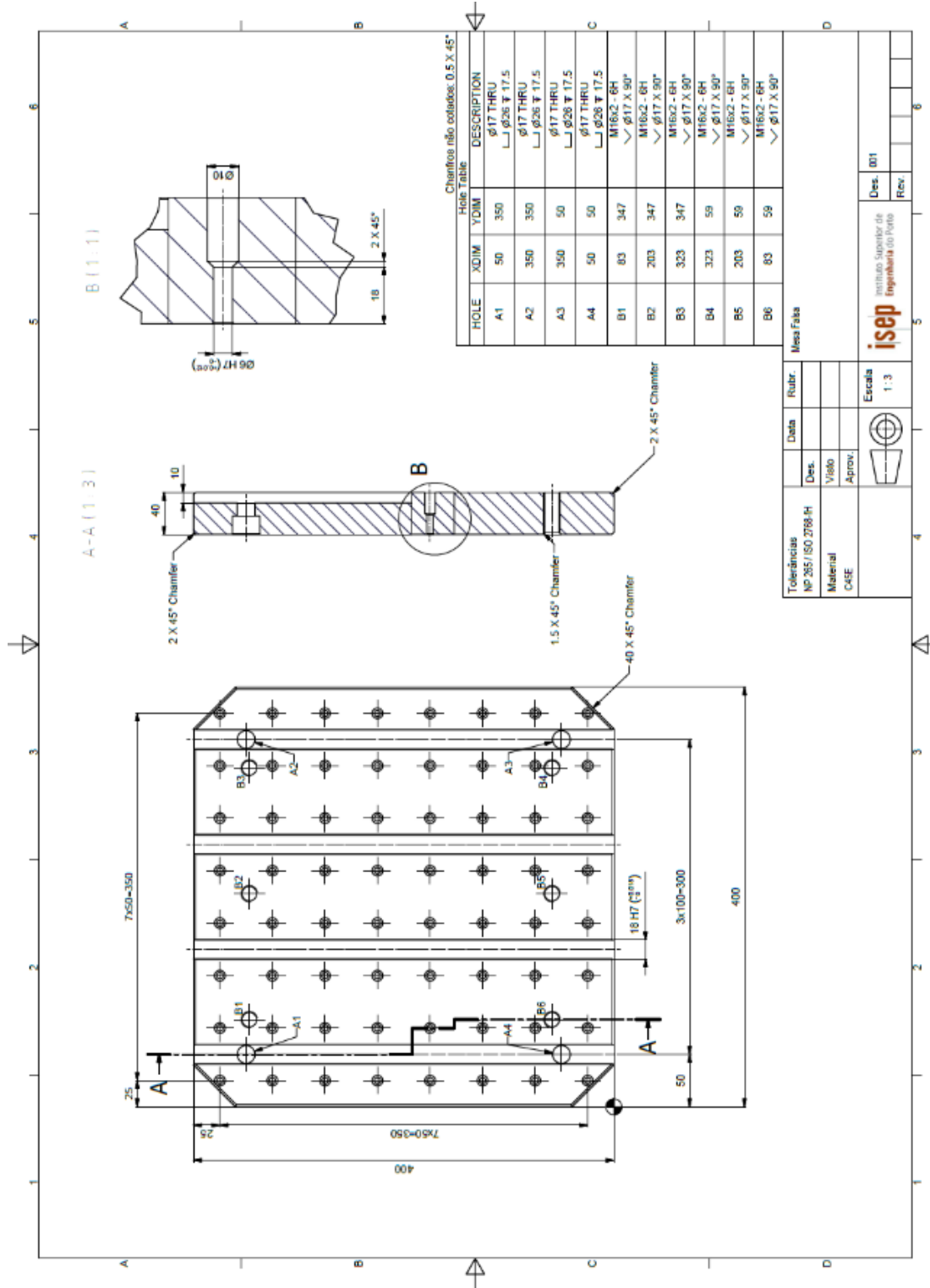


6.17 DESENHO 071\_MONTAGEM ESTRUTURA

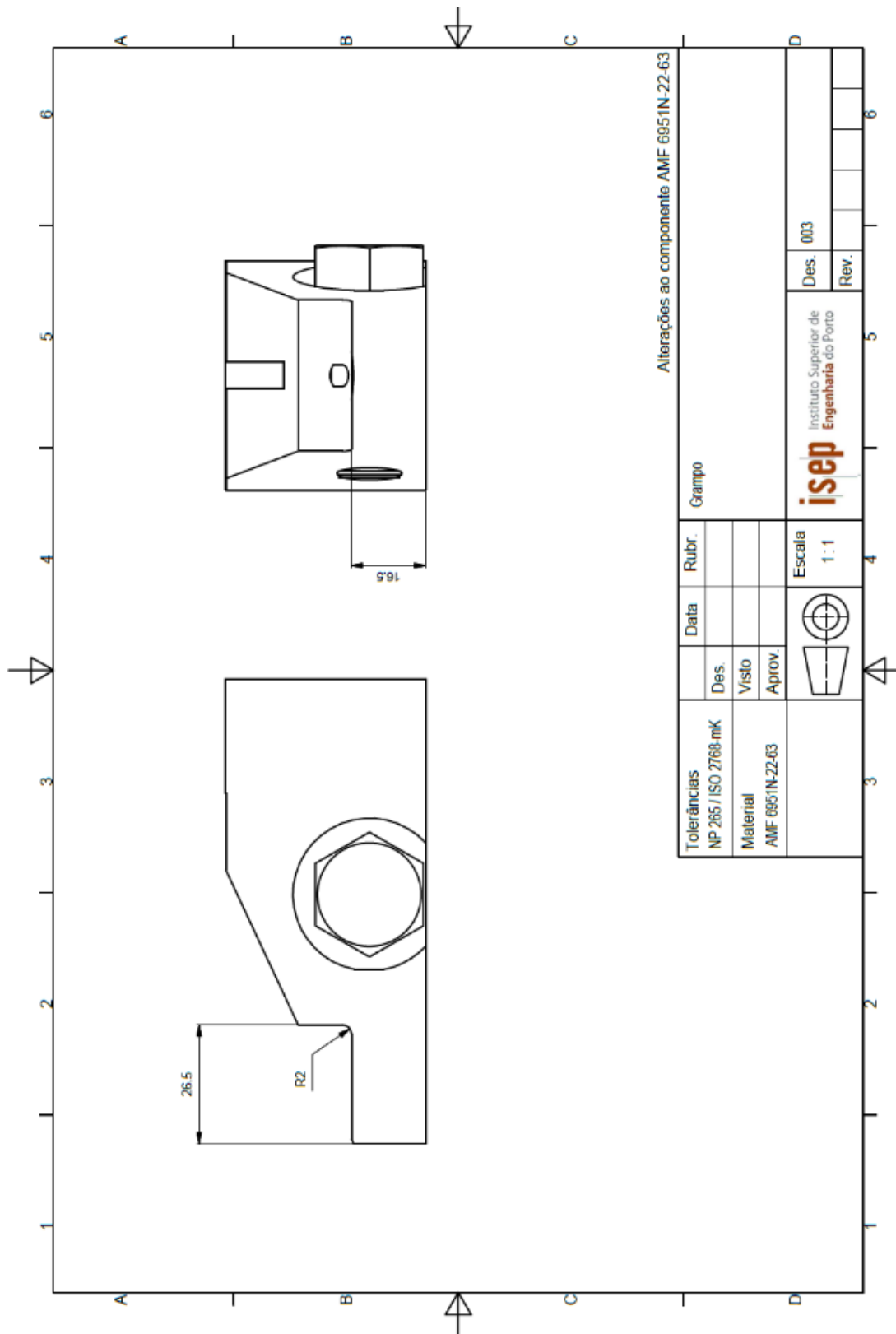




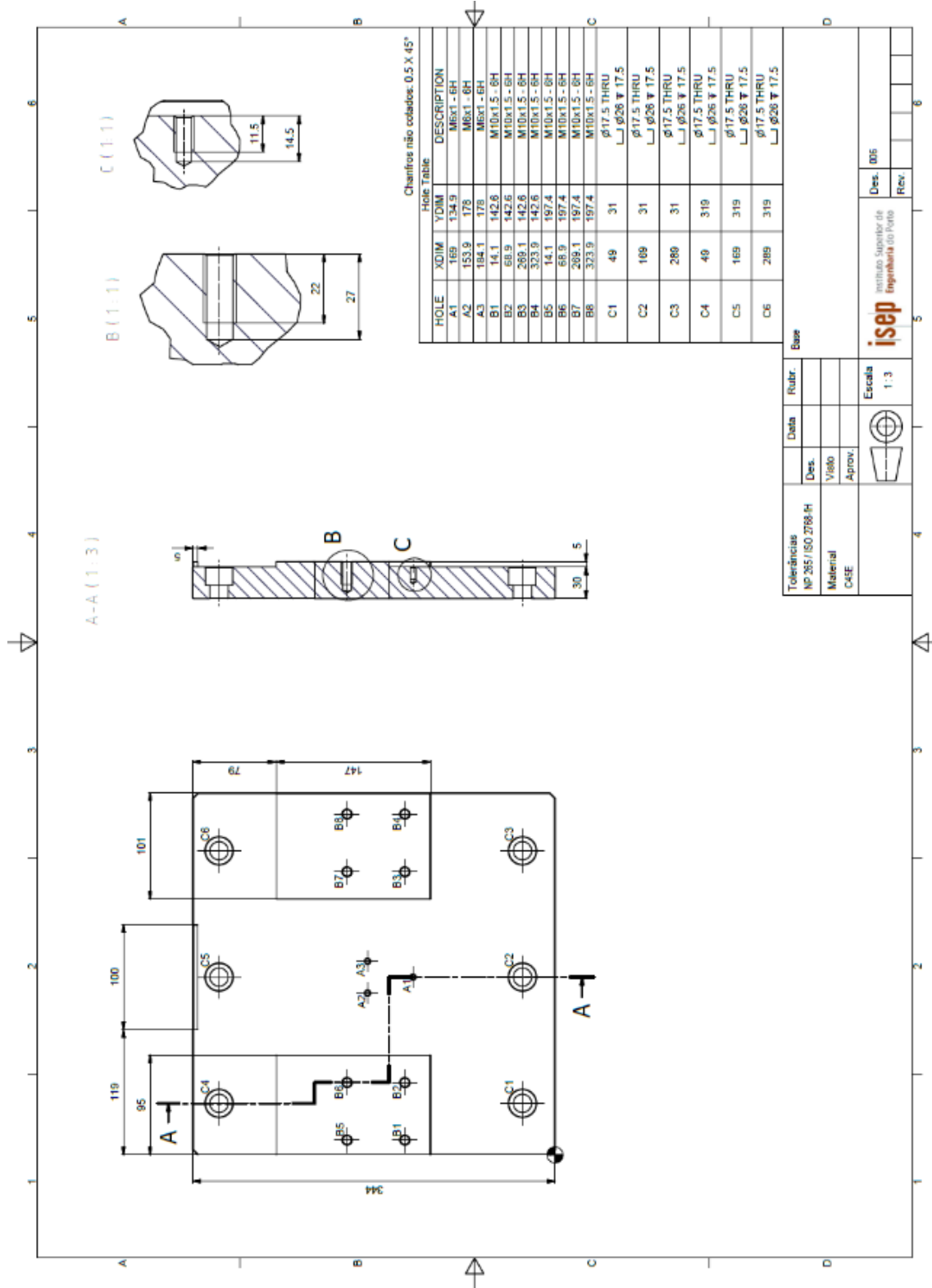
6.19 DESENHO 001\_MESA\_FALSA



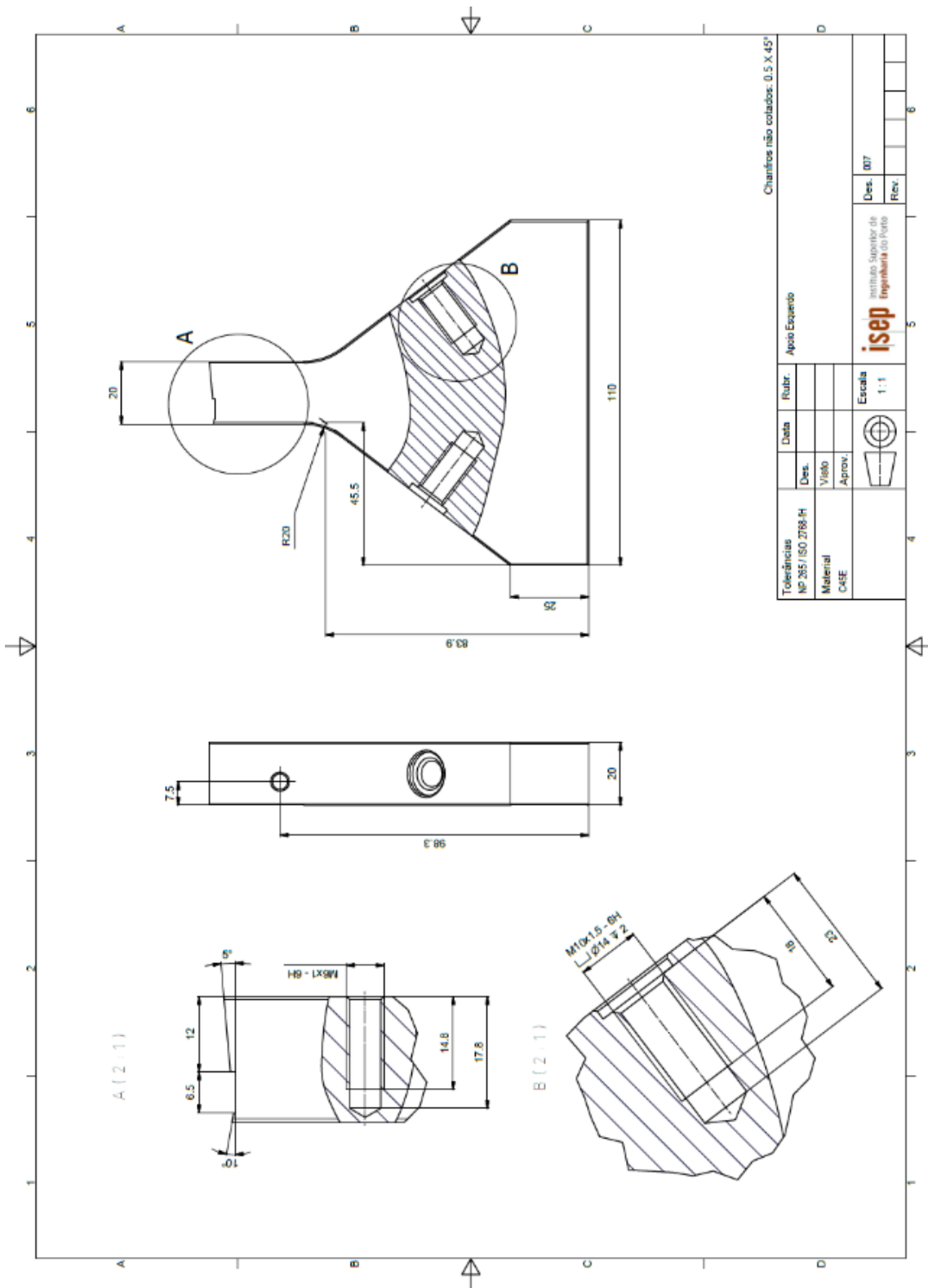
6.20 DESENHO 003\_GRAMPO



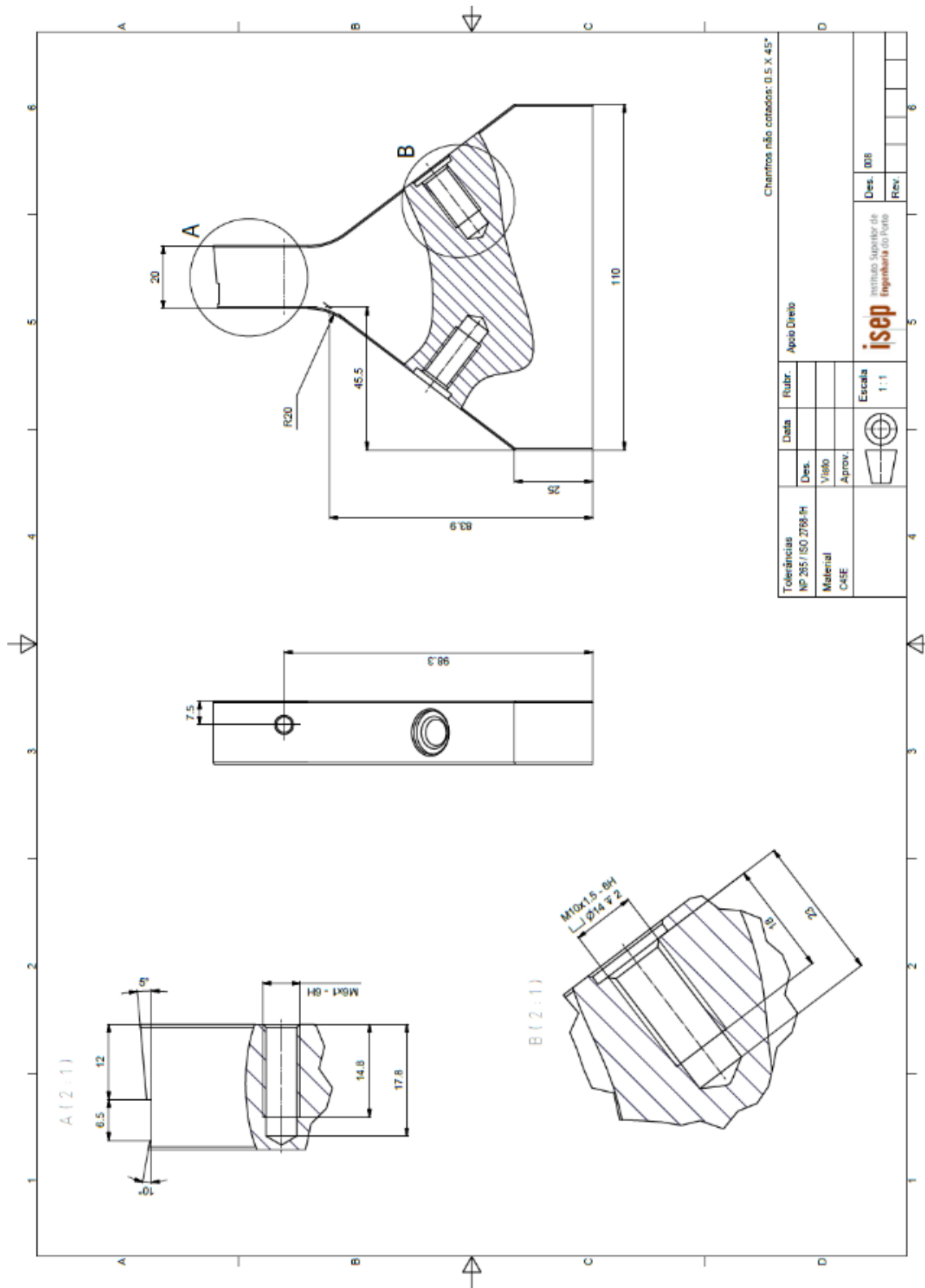
6.21 DESENHO 006\_BASE



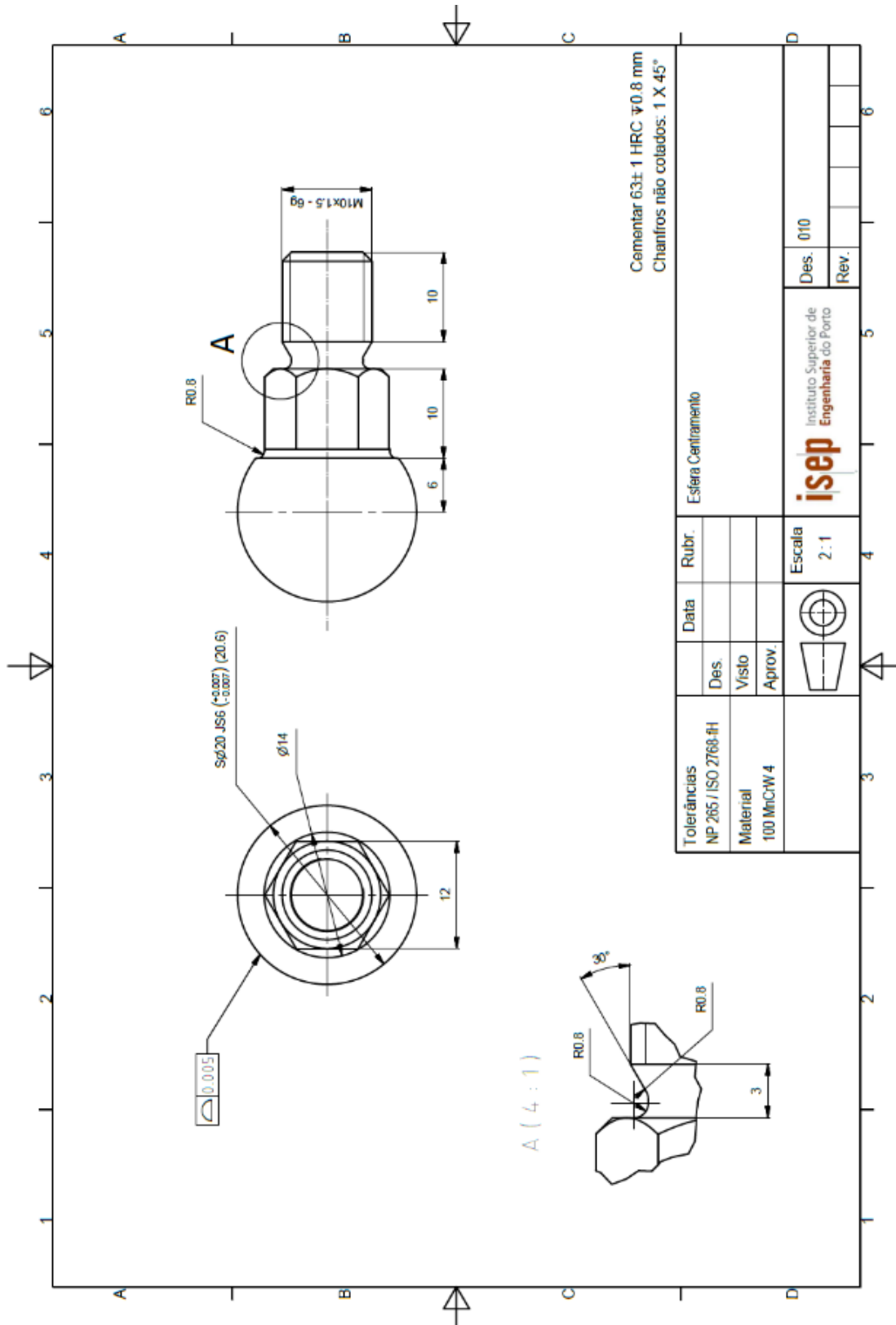
6.22 DESENHO 007\_APOIO\_ESQUERDO



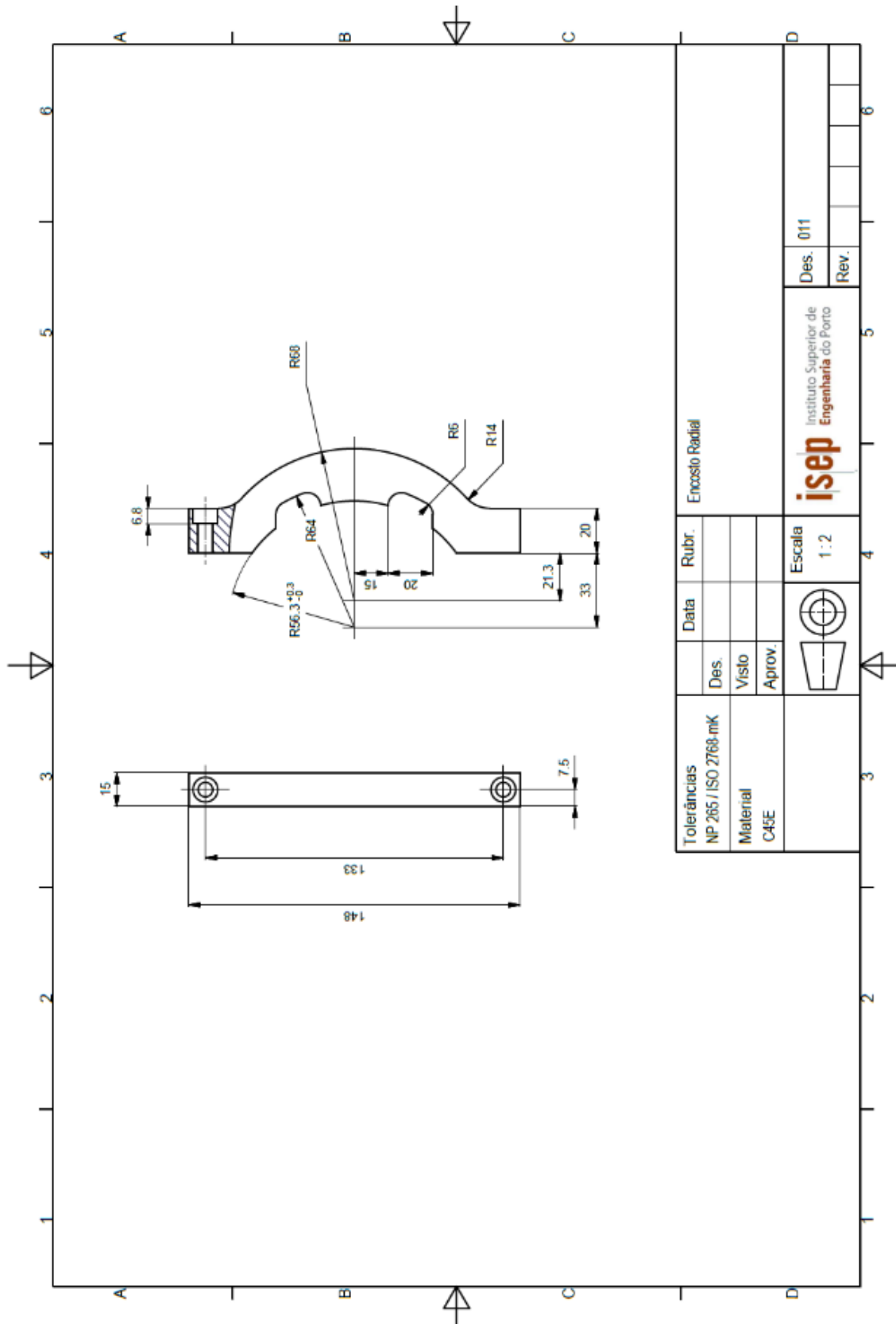
6.23 DESENHO 008\_APOIO\_DIREITO



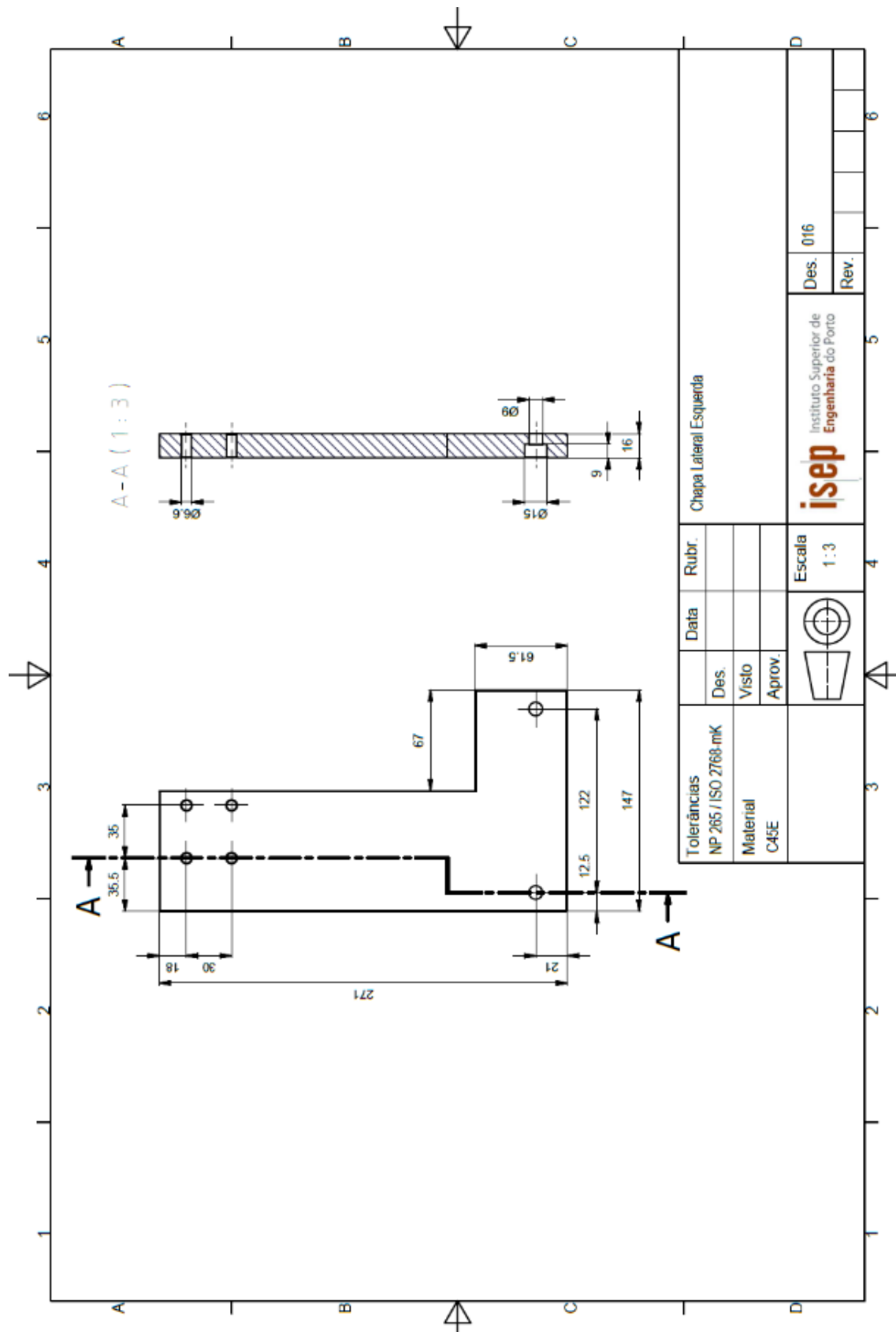
6.24 DESENHO 010\_ESFERA\_CENTRAMENTO



6.25 3DESENHO 011\_ENCOSTO\_RADIAL

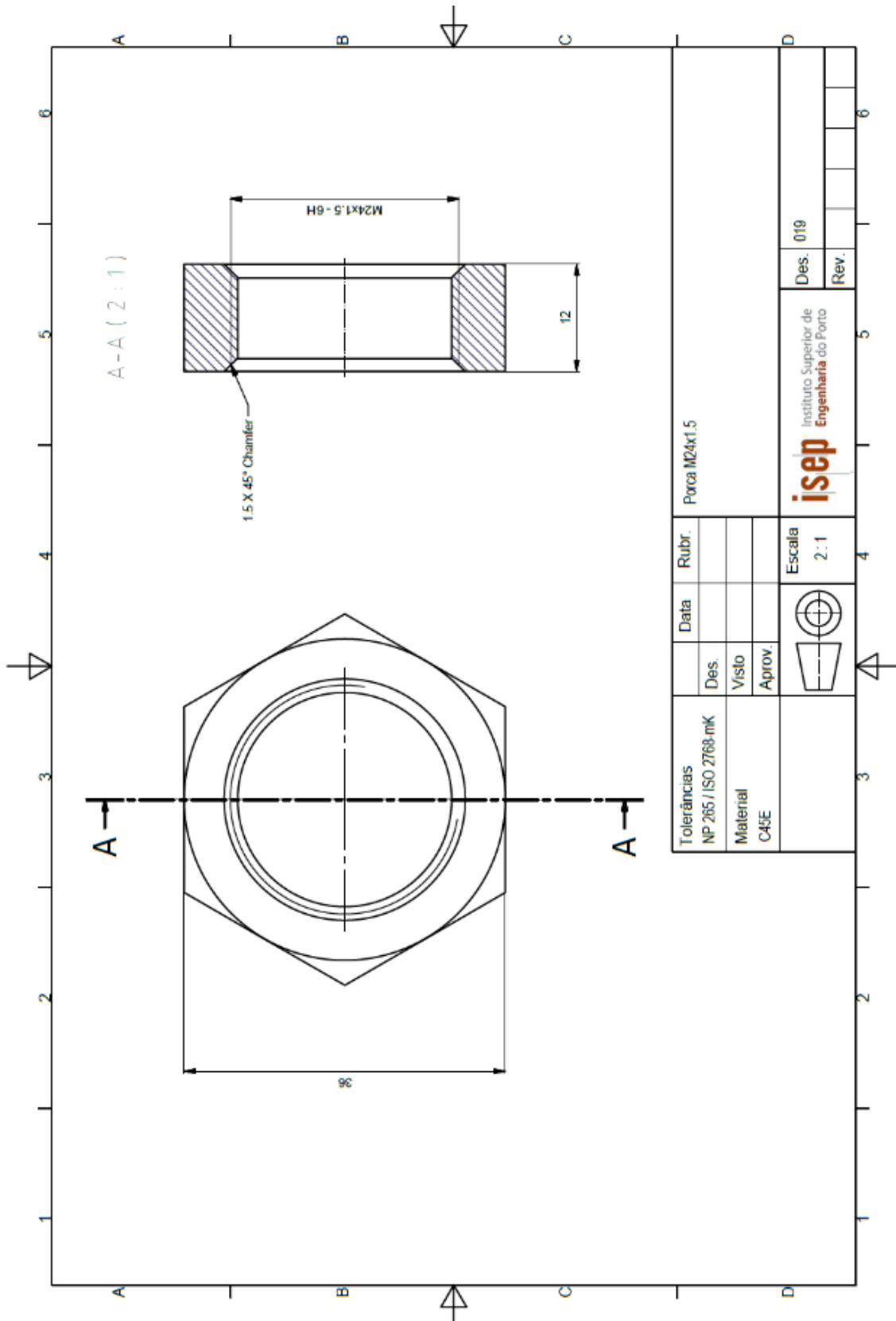


6.26 DESENHO 016\_CHAPA\_LATERAL\_ESQUERDA

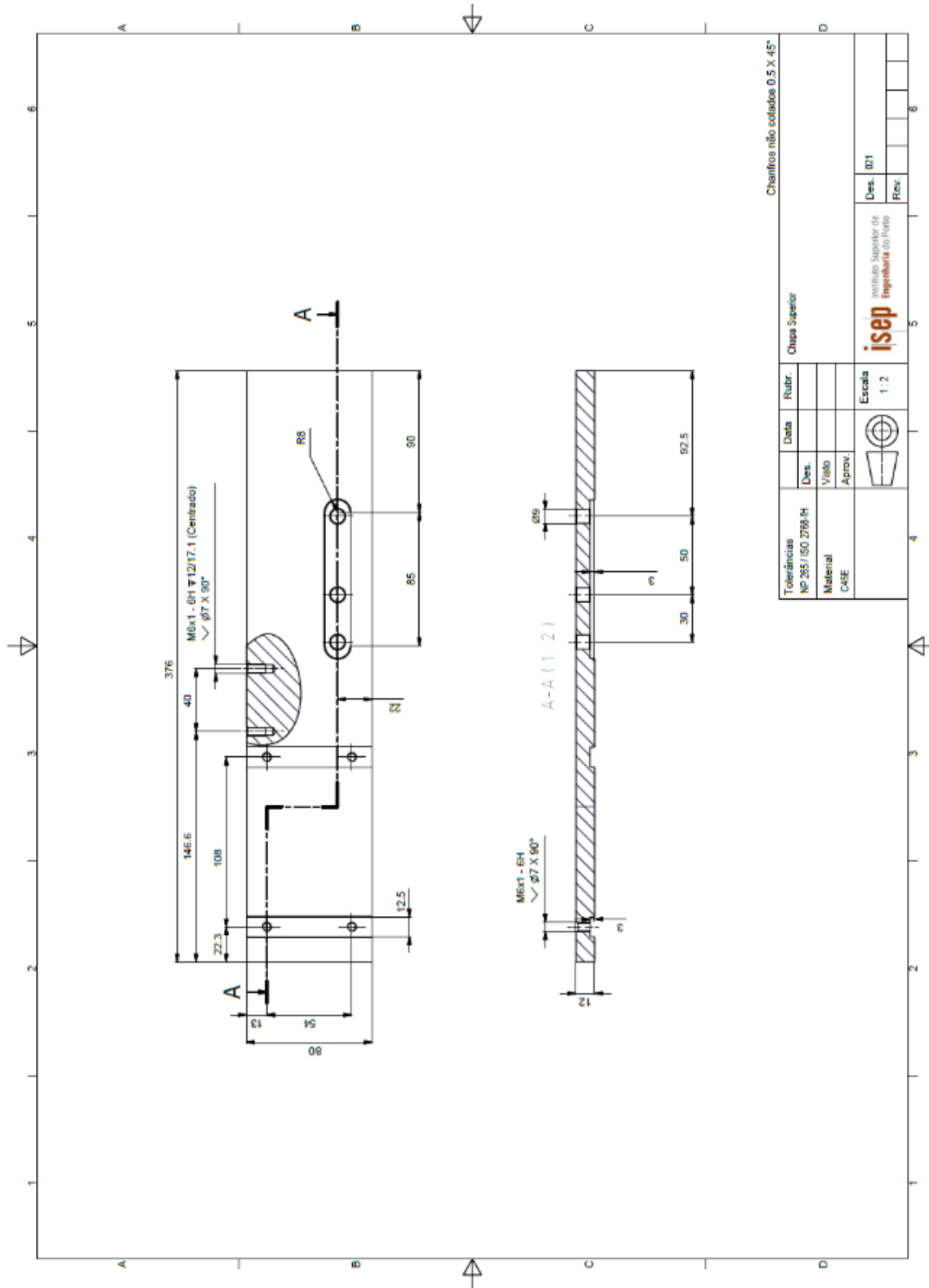


Tolerâncias NP 265 / ISO 2768-mK		Des.	Data	Rubr.	Chapa Lateral Esquerda	
Material C45E		Visto				
		Aprov.				
				Escala 1:3		Des. 016
						Rev.

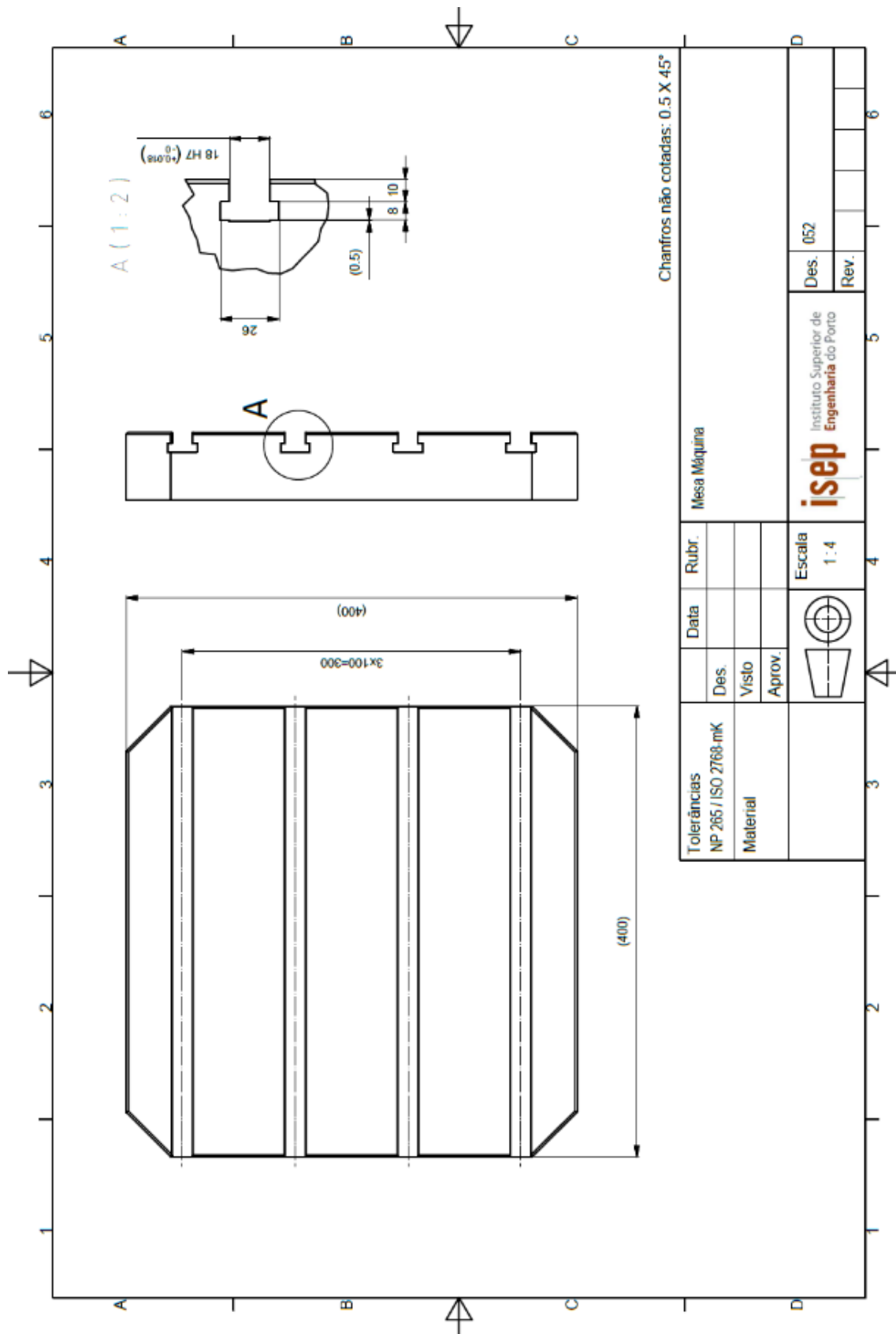
6.27 DESENHO 019\_PORCA\_M24X1.5



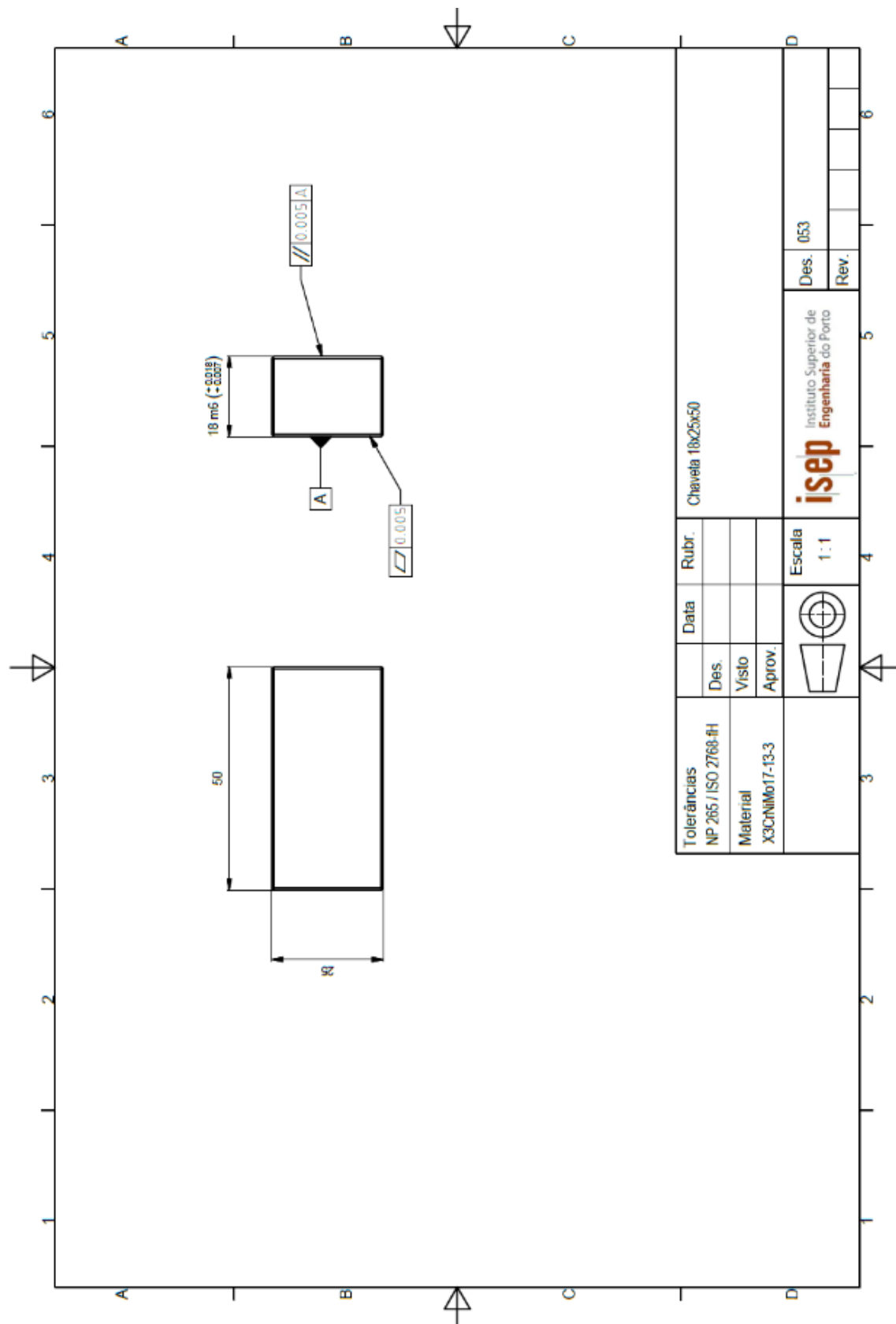
6.28 DESENHO 021\_CHAPA\_SUPERIOR



6.29 DESENHO 052\_MESA\_MÁQUINA

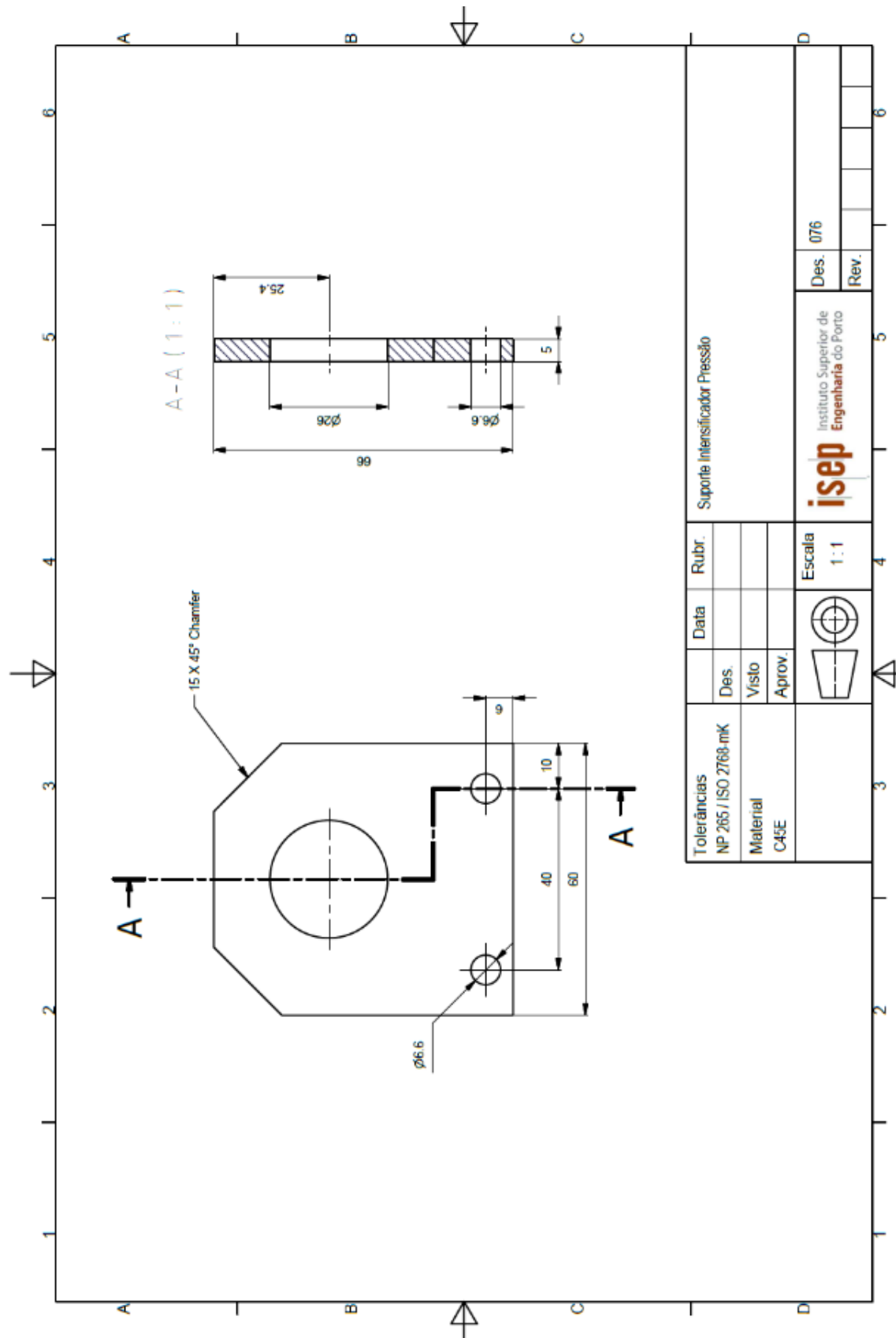


6.30 DESENHO 053\_CHAVETA\_18X25X50





6.32 DESENHO 076\_SUPORTE\_INTENSIFICADOR\_PRESSÃO



Tolerâncias NP 265 / ISO 2768-mK		Data		Rubr.		Suporte Intensificador Pressão	
Material C45E		Des.				Des. 076	
		Visto				Rev.	
		Aprov.		Escala 1:1		Des. 076	

## 6.33 DATASHEET SUPER PB (RAMADA AÇOS)

**SUPER PB****DESCRIÇÃO**

Aços de corte fácil, estirados a frio ou torneados, para fabrico de peças por extração de apara, Permitem bom acabamento e elevadas velocidades de corte. Soldam com limitações e não se destinam a tratamento térmico. Características mecânicas iguais às do Super C1. A adição de chumbo permite contudo um aumento da velocidade de corte e, portanto, as suas condições de maquinação o que se traduz em aumento de produtividade.

**APLICAÇÕES PRINCIPAIS**

Produção em série de peças transformadas por torneamento  
 Porcas  
 Parafusos  
 Elementos de junção e componentes para automóveis

**ESTADO DE FORNECIMENTO**

Calibrado

**DUREZA DE FORNECIMENTO**

MIN: -  
 MED: -  
 MAX: -

[COMPOSIÇÃO](#)
[SERVIÇOS](#)
[TRATAMENTOS TÉRMICOS](#)
[DOWNLOAD](#)
**NORMAS**

EN: 11 SMnPb 37 / 11 SMnPb 30

AISI: 12 L 14 / 12 L 13

DIN: 9 SMnPb 36 K / 9 SMnPb 28 K

**PERFIS DISPONÍVEIS**

	<b>Espessura</b>	<b>Tolerancia</b>
Redondo	3 a 80 mm	EN 10278
Quadrado	5 a 40 mm	EN 10278

## 6.34 DATASHEET G15 SPECIAL (RAMADA AÇOS)

# G15 SPECIAL



### DESCRIÇÃO

Aço para cementação com liga de cromo-níquel-molibdênio fornecido no estado recozido. Adequado a peças de maior dimensão, necessidades para maior profundidade de cementação e núcleo mais resistente.

### ESTADO DE FORNECIMENTO

Recozido

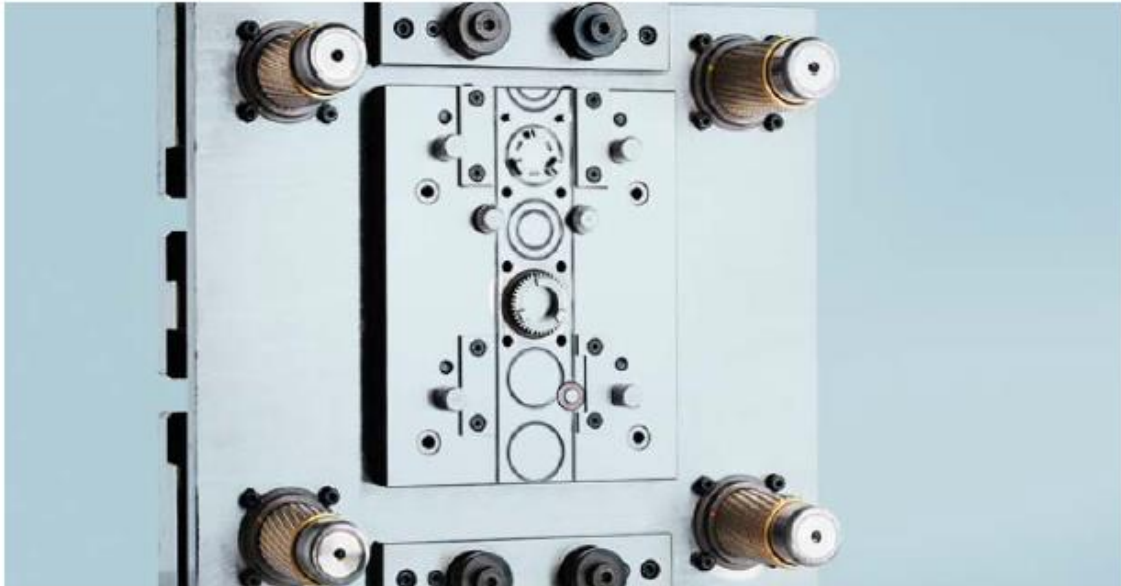
### APLICAÇÕES PRINCIPAIS

Órgãos de máquinas  
Engrenagens  
Casquilhos  
Rótulas de direção;  
excêntricos; árvores de torno;  
cambotas; cavilhas; parafusos

### DUREZA DE FORNECIMENTO

MIN: -

## 6.35 DATASHEET BCW (RAMADA AÇOS)

**BCW****DESCRIÇÃO**

Aço de uso generalista, de têmpera a óleo, adequado a uma grande variedade de aplicações no trabalho a frio. As suas principais características são a boa maquinabilidade, estabilidade dimensional em tratamento térmico e a combinação de elevada dureza superficial e tenacidade após tratamento térmico. Permite a execução de ferramentas com boa longevidade e comportamento.

**APLICAÇÕES PRINCIPAIS**

Matrizes e punções  
Calibres  
Mandris  
Machos e cassonetes  
Roletes de cravação

**ESTADO DE FORNECIMENTO**

Recozido

**DUREZA DE FORNECIMENTO**

MIN: -  
MED: -  
MAX: 229 HB

[COMPOSIÇÃO](#)
[SERVIÇOS](#)
[TRATAMENTOS TÉRMICOS](#)
[DOWNLOAD](#)
**NORMAS**

EN: 95 MnWCr 5

AISI: 01

DIN: 100 MnCrW 4

**PERFIS DISPONÍVEIS**

		<b>Espessura</b>	<b>Tolerância</b>
	Redondo	12	0
	Quadrado	25	0

## 6.36 DATASHEET F10 (RAMADA AÇOS)

**F 10****DESCRIÇÃO**

Aço de construção de médio carbono que pode ser usado no estado natural ou sujeito a tratamento térmico. Trata-se de um aço com um largo campo de aplicações, presente em praticamente todas as famílias do sector metalomecânico.

**NOTAS MARCA**

Nesta marca admite-se também o Wr.Nr.º 1.1730

**APLICAÇÕES PRINCIPAIS**

Órgãos de máquinas  
Veios e cavilhas  
Parafusos e porcas  
Peças para automóveis  
Navalhas  
Martelos  
Tesouras de poda

**ESTADO DE FORNECIMENTO**

Natural

**DUREZA DE FORNECIMENTO**

MIN: -  
MED: ≤ 207 HB  
MAX: -

<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>SERVIÇOS</b>	<b>TRATAMENTOS TÉRMICOS</b>	<b>DOWNLOAD</b>
-------------------	-----------------	-----------------------------	-----------------

**NORMAS**

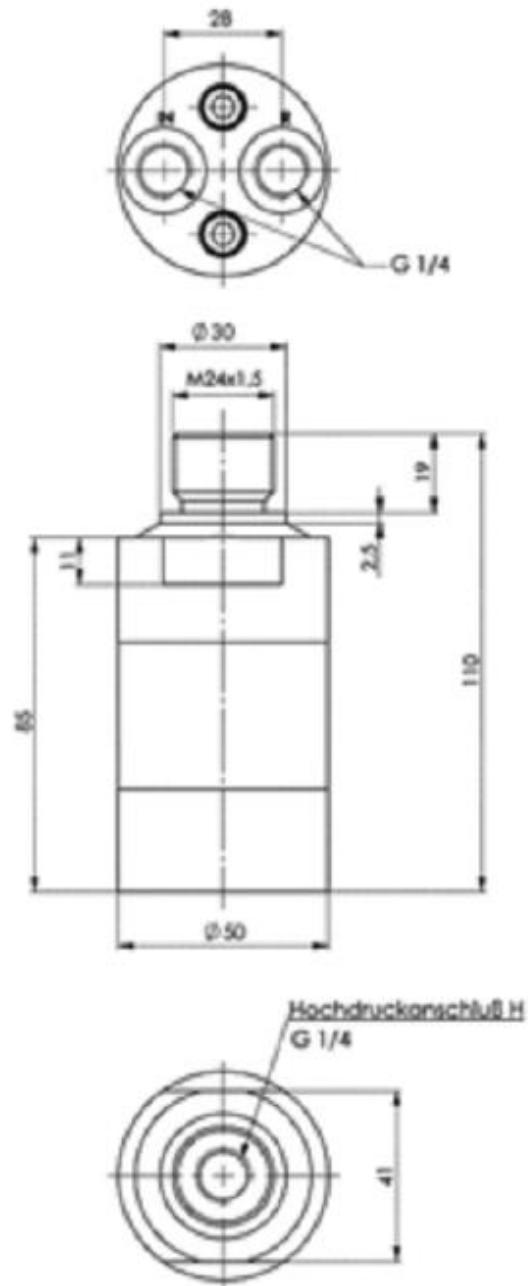
EN: C45E / C45U

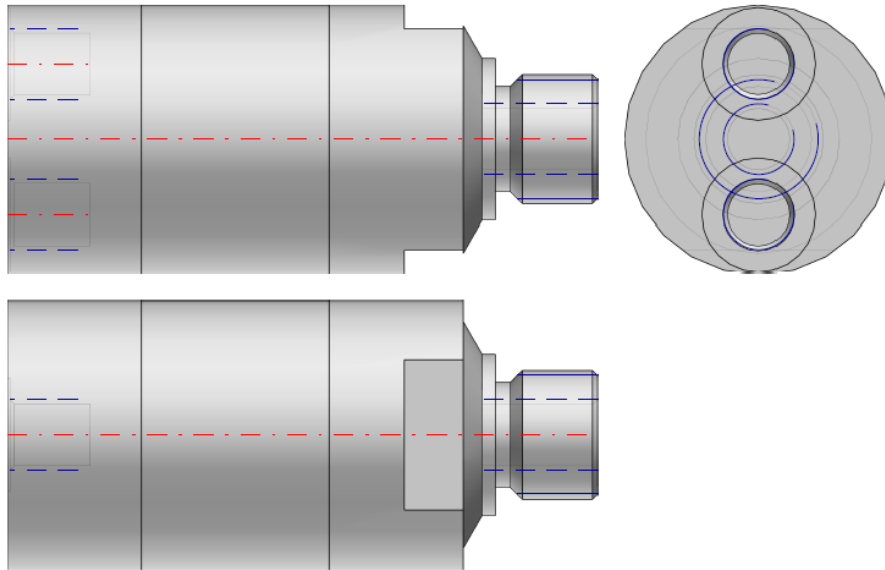
AISI: 1045

**PERFIS DISPONÍVEIS**

	<b>Espessura</b>	<b>Tolerancia</b>
Redondo	20 a 700 mm	EN 10060

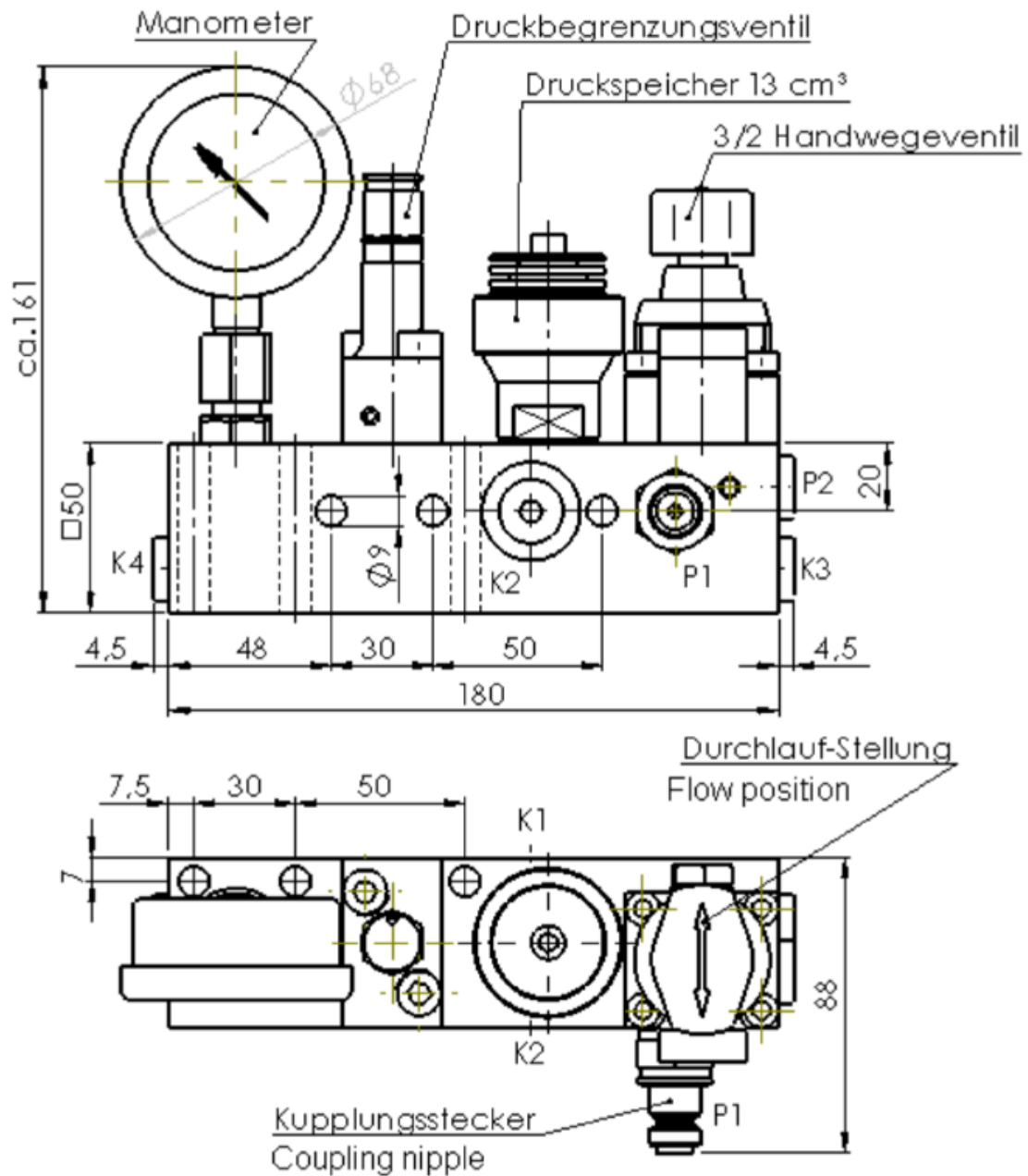
## 6.37 DATASHEET AMF 6964H-11-2

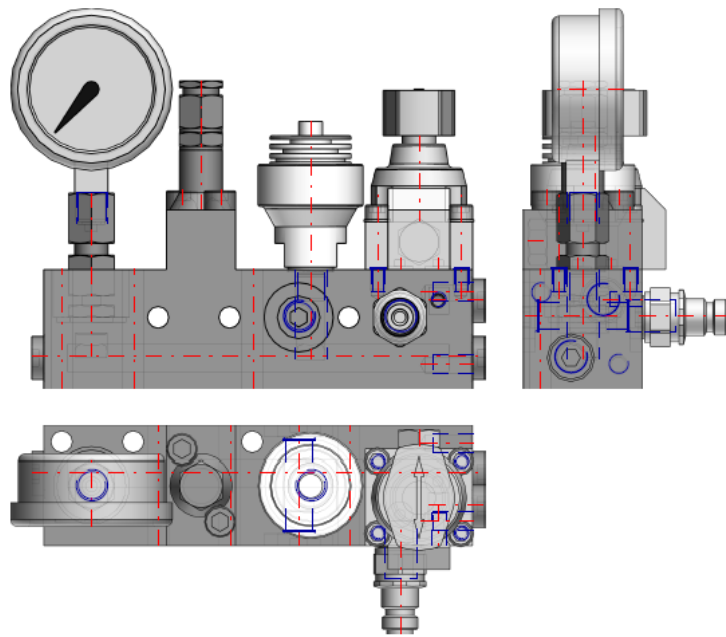




<b>BESTNR (N° enc.)</b>	275198
<b>ARTNR (N° Artigo)</b>	AMF 6903-20-32
<b>PDF (Katalogblatt)</b>	PDF
<b>I (Rato)</b>	3.2
<b>BND (max. operating pressure low pressure side / bar)</b>	200
<b>BHD (max. operating pressure high pressure side / bar)</b>	640
<b>VND (max. oil flow rate low pressure side / l/min.)</b>	15
<b>VHD (max. oil flow rate high pressure side / l/min.)</b>	2.5
<b>TEMP (Temperature / °C)</b>	-40 bis +120
<b>GEW (Peso / g)</b>	1000

## 6.38 DATASHEET AMF 6919-2

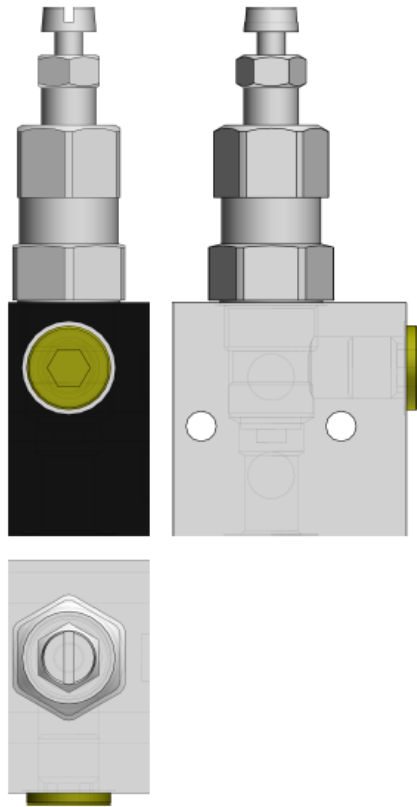




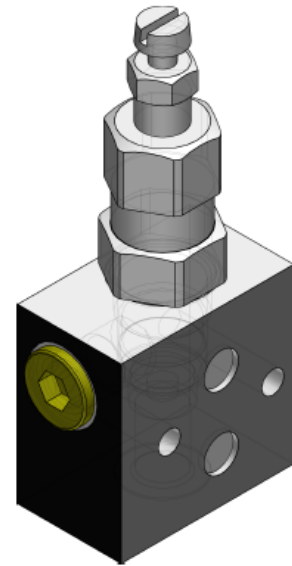
<b>BESTNR (Order No.)</b>	61168
<b>ARTNR (Article No.)</b>	AMF 6919-2
<b>PDF (Katalogblatt)</b>	PDF
<b>GD (Set gas preload p 0 / bar)</b>	80*
<b>SP (Reservoir volume / cm<sup>3</sup>)</b>	13
<b>NG ( )</b>	4
<b>DF (Flow / l/min)</b>	7.5
<b>AE (Connections inputs P1+P2)</b>	G1/4
<b>AS (Connections outputs K1 to K4)</b>	G1/4
<b>GEW (Weight / g)</b>	4400

## 6.39 DATASHEET AMF 6918-2

## 2D Derivation



## ISO View



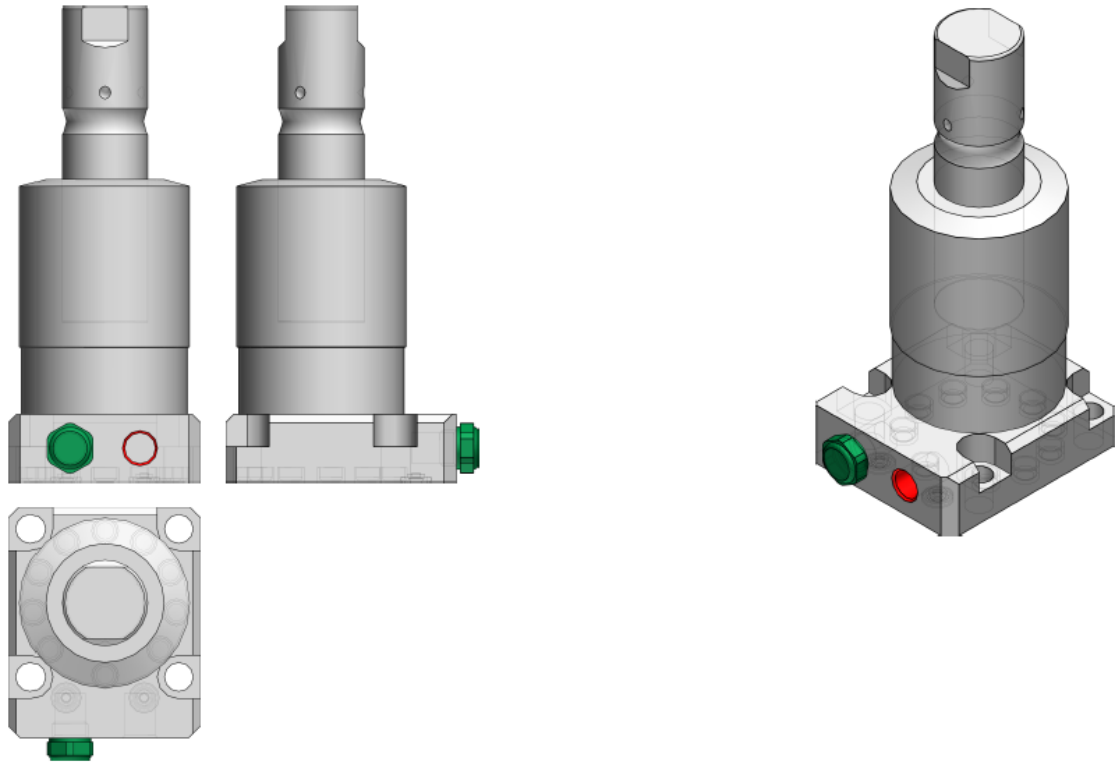
## Technical Data

<b>BESTNR (Order No.)</b>	60517
<b>ARTNR (Article No.)</b>	AMF 6918-2
<b>PDF (Katalogblatt)</b>	PDF
<b>AA (Type)</b>	for pipe fitting G1/4
<b>BDMIN (min. operating pressure / bar)</b>	30
<b>BDMAX (max. operating pressure / bar)</b>	500
<b>Q (Nominal flow / l/min)</b>	20
<b>VIS (Viscosity / c St)</b>	10-500
<b>UT (Ambient temperature / °C)</b>	-40 - +80
<b>DFR (Direction of flow)</b>	P-A
<b>OR1 (OR-1 - O-ring)</b>	0
<b>GEW (Weight / g)</b>	750

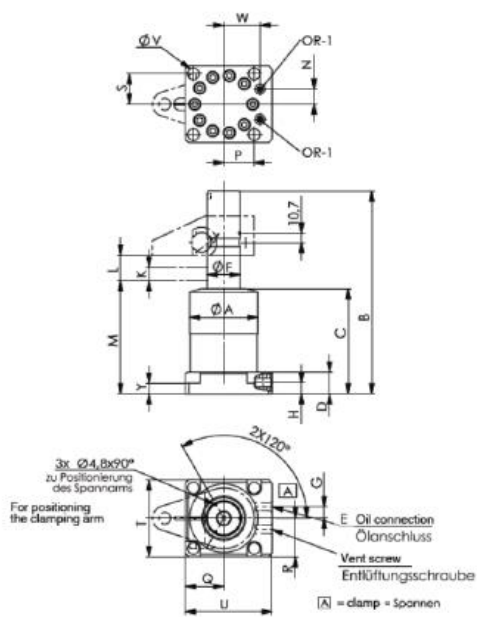
6.40 DATASHEET AMF 6951FP-22-11

2D Derivation

ISO View



Technical Drawings



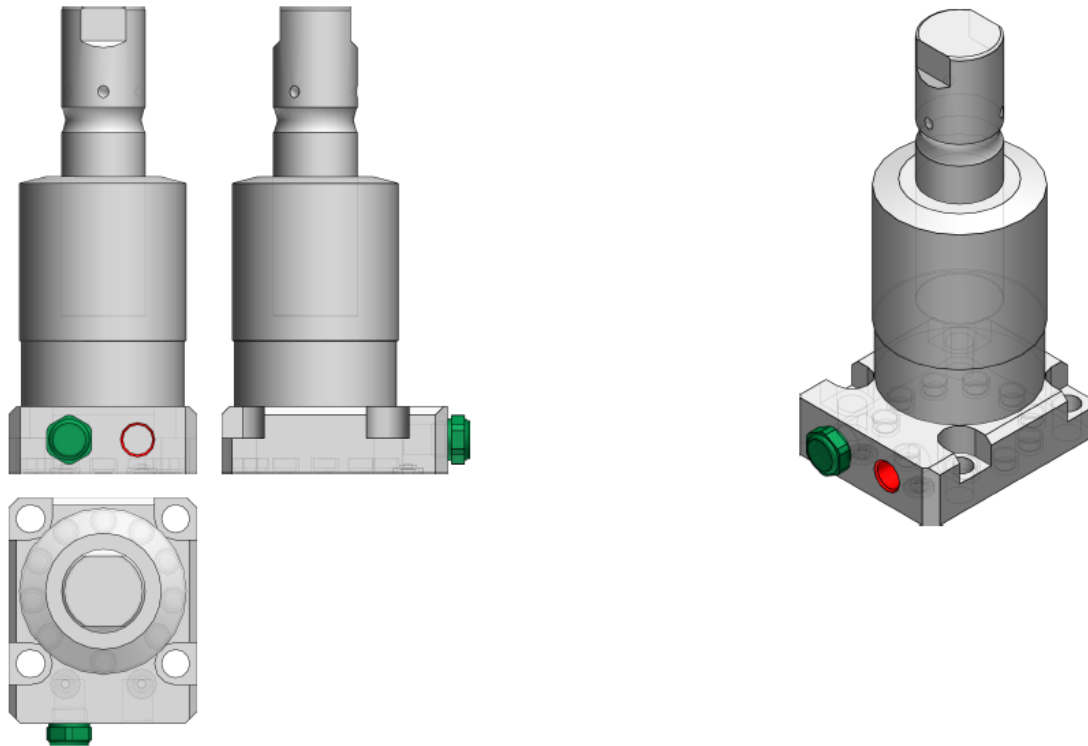
## Technical Data

BESTNR (Order No.)	327270
ARTNR (Article No.)	AMF 6951FP-22-11
PDF (Katalogblatt)	PDF
TYPBA (Betriebsart)	single acting
TYPVERS (Version)	right swinging
POS (Position)	clamped
SKS (Clamping force at 350 bar / kN)	22
OPT (Options)	without
K (Clamping stroke / mm)	14.5
L (Total stroke / mm)	28
OLS (Oil capacity / cm <sup>3</sup> )	21.2
WKS (effective piston area / cm <sup>2</sup> )	7.6
VQ (Max. oil flow rate Q / l/min.)	2.5
A (Diameter / mm)	62.8
B (/ mm)	204
C (/ mm)	112
D (/ mm)	25
E (Thread)	G1/4
F (Diameter / mm)	31.74
G (/ mm)	13
H (/ mm)	12.5
J (Thread)	G1/4
M (/ mm)	121
N (/ mm)	14.5
P (/ mm)	27.4
Q (/ mm)	35.5
R (/ mm)	35.5
S (/ mm)	27.4
T (/ mm)	71
U (/ mm)	85.5
V (Diameter / mm)	10.7
W (/ mm)	35.1
Y (/ mm)	13
OR1 (OR-1 - O-ring)	183608
GEW (Weight / g)	3030

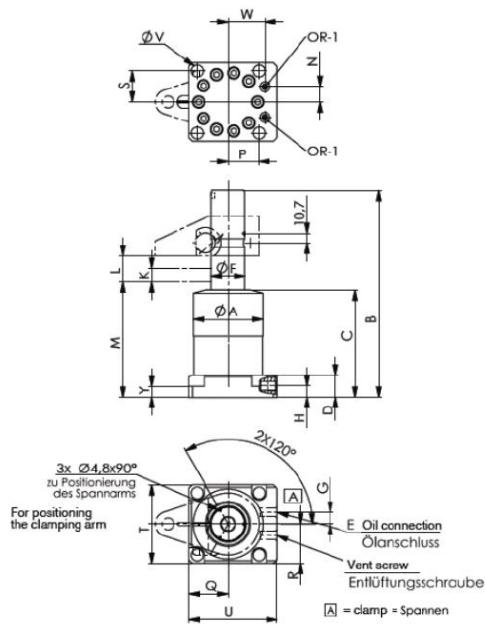
6.41 DATASHEET AMF 6951FP-22-12

2D Derivation

ISO View



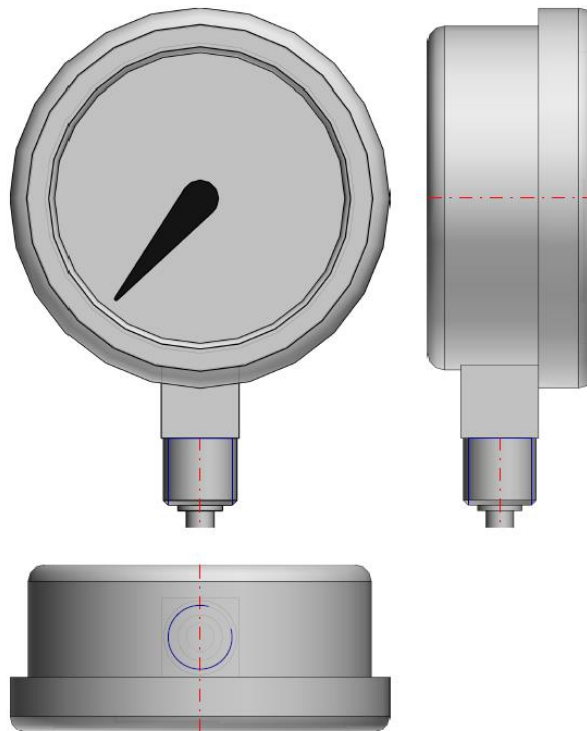
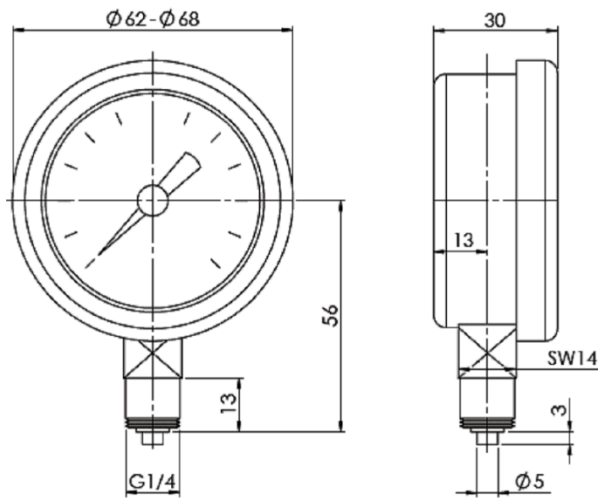
Technical Drawings



## Technical Data

<b>BESTNR (Order No.)</b>	327288
<b>ARTNR (Article No.)</b>	AMF 6951FP-22-12
<b>PDF (Katalogblatt)</b>	PDF
<b>TYPBA (Betriebsart)</b>	single acting
<b>TYPVERS (Version)</b>	left swinging
<b>POS (Position)</b>	clamped
<b>SKS (Clamping force at 350 bar / kN)</b>	22
<b>OPT (Options)</b>	without
<b>K (Clamping stroke / mm)</b>	14.5
<b>L (Total stroke / mm)</b>	28
<b>OLS (Oil capacity / cm<sup>3</sup>)</b>	21.2
<b>WKS (effective piston area / cm<sup>2</sup>)</b>	7.6
<b>VQ (Max. oil flow rate Q / l/min.)</b>	2.5
<b>A (Diameter / mm)</b>	62.8
<b>B (/ mm)</b>	204
<b>C (/ mm)</b>	112
<b>D (/ mm)</b>	25
<b>E (Thread)</b>	G1/4
<b>F (Diameter / mm)</b>	31.74
<b>G (/ mm)</b>	13
<b>H (/ mm)</b>	12.5
<b>J (Thread)</b>	G1/4
<b>M (/ mm)</b>	121
<b>N (/ mm)</b>	14.5
<b>P (/ mm)</b>	27.4
<b>Q (/ mm)</b>	35.5
<b>R (/ mm)</b>	35.5
<b>S (/ mm)</b>	27.4
<b>T (/ mm)</b>	71
<b>U (/ mm)</b>	85.5
<b>V (Diameter / mm)</b>	10.7
<b>W (/ mm)</b>	35.1
<b>Y (/ mm)</b>	13
<b>OR1 (OR-1 - O-ring)</b>	183608
<b>GEW (Weight / g)</b>	3030

## 6.42 DATASHEET AMF 6983-1-600



BESTNR (N° enc.)	161414
ARTNR (N° Artigo)	AMF 6983-1-600
PDF (Katalogblatt)	PDF
MAXDR (Druckbereich max. / bar)	600
ANSC (Version)	Bottom connection
GEW (Peso / g)	300
VERS ( )	3

## 6.43 CÁLCULO DO ESFORÇO DE CORTE NO ACABAMENTO

# Force, Torque, and Power

## For Face Milling Applications with High Shear Cutters

Unit:

---

### Conversion of Workpiece Material Rockwell (Optional)

*Skip this step if you already know the Brinell hardness number(HB)*

Hardness HRB OR HRC into

Brinell Hardness (HB)

---

### Characteristics of Workpiece Materials

Brinell Hardness:  HB

Ultimate strength:  N/mm<sup>2</sup>

---

### Face Mill Nomenclature

d1 Effective cutting diameter:  mm

z Number of inserts in the cutter:

---

### Machining Conditions

$V_c$ Cutting speed:	<input type="text" value="255"/>	m/min
$a_p$ Axial depth of cut:	<input type="text" value="2"/>	mm (DOC)
$a_e$ Radial width of cut:	<input type="text" value="27"/>	mm (WOC)
$f_z$ Required feed per tooth:	<input type="text" value="0.1"/>	mm
$f_z$ Radial engagement factor:	<input type="text" value="1"/>	?
E Machine efficiency factor:	<input type="text" value="0.9"/>	?

[Calculate](#)

### Calculated Machining Conditions

n Spindle speed: **1288.4** rpm

$V_f$  Feed rate: **644.2** mm/min (no productivity formula)

Reduced feed per tooth: **0.099** mm (no productivity formula)

$F_p$  Feed rate: **650.8758** mm/min (with productivity formula)

$Q_p$  Metal removal rate: **3.48** cm<sup>3</sup>/min (no productivity formula)

$Q$  Metal Removal Rate: **3.5** cm<sup>3</sup>/min (with productivity formula)

A Cross-sectional area of the chip: **0.02** mm<sup>2</sup>

$z_c$  Number of inserts in the cut: **1.1359**

$a_e/d_1$  Ratio of radial width of cut to cutting diameter: **0.429**

### Calculated Required Power

$F_t$  Tangential cutting force: **21.5** N

T Torque at the cutter: **0.68** Nm **677.25** Nmm

### Machining power

$P_s$  at the cutter: **0.1** KW

$P_m$  at the motor: **0.11** KW

## 6.44 CÁLCULO DO ESFORÇO DE CORTE NO DESBASTE

**Force, Torque, and Power****For Face Milling Applications with High Shear Cutters**

Unit:

**Conversion of Workpiece Material Rockwell (Optional)**

*Skip this step if you already know the Brinell hardness number(HB)*

Hardness HRB OR HRC into

Brinell Hardness (HB)

**Characteristics of Workpiece Materials**

Brinell Hardness:  HB

Ultimate strength:

**Face Mill Nomenclature**

d1 Effective cutting diameter:  mm

z Number of inserts in the cutter:

**Machining Conditions**

$V_c$  Cutting speed:  m/min

$a_p$  Axial depth of cut:  mm (DOC)

$a_e$  Radial width of cut:  mm (WOC)

$f_z$  Required feed per tooth:  mm

$f_z$  Radial engagement factor:

E Machine efficiency factor:  ?

Calculate

### Calculated Machining Conditions

n Spindle speed: **1162.1** rpm

$V_f$  Feed rate: **1162.1** mm/min (no productivity formula)

Reduced feed per tooth: **0.1979** mm (no productivity formula)

$F_p$  Feed rate: **1174.1428** mm/min (with productivity formula)

$Q_p$  Metal removal rate: **62.75** cm<sup>3</sup>/min (no productivity formula)

Q Metal Removal Rate: **63.4** cm<sup>3</sup>/min (with productivity formula)

A Cross-sectional area of the chip: **0.4** mm<sup>2</sup>

$z_c$  Number of inserts in the cut: **1.1359**

$a_e/d_1$  Ratio of radial width of cut to cutting diameter: **0.429**

### Calculated Required Power

$F_t$  Tangential cutting force: **430.2** N

T Torque at the cutter: **13.55** Nm **13551.3** Nmm

### Machining power

$P_s$  at the cutter: **1.6** KW

$P_m$  at the motor: **1.78** KW