



SISTEMA DE DESCARGA DE PEÇAS TÊXTEIS NA SAÍDA DE UMA ESTUFA DE TERMOFIXAÇÃO

TOMÁS FILIPE BENTO DA CUNHA

julho de 2023

SISTEMA DE DESCARGA DE PEÇAS TÊXTEIS NA SAÍDA DE UMA ESTUFA DE TERMOFIXAÇÃO

Tomás Filipe Bento da Cunha

2022/2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

SISTEMA DE DESCARGA DE PEÇAS TÊXTEIS NA SAÍDA DE UMA ESTUFA DE TERMOFIXAÇÃO

Tomás Filipe Bento da Cunha

1181038

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 Engenheiro Luís Manuel Martins Leite Magalhães e do Engenheiro Vítor Manuel de Sousa Rapoula.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto incluiu ajudas e apoios importantes, sem os quais não seria possível a concretização do mesmo.

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão e apreço a todos os que me ajudaram a terminar a minha tese. Ao longo deste processo, os seus conselhos, sugestões e encorajamento foram inestimáveis.

Em primeiro lugar e acima de tudo, estou grato ao meu orientador, Luís Manuel Martins Leite Magalhães, pelos seus conselhos consistentes, conhecimento profissional e inspiração. As suas sugestões informadas e críticas construtivas foram importantes para a construção da minha tese. Agradeço a sua paciência, esforço e fé nos meus talentos. Ao Eng.º Vítor Manuel de Sousa Rapoula, que me recebeu no seu departamento, forneceu as ferramentas necessárias para a execução do projeto e coordenou todo o meu trabalho realizado.

Agradeço aos professores e funcionários do Instituto Politécnico do Porto pela sua assistência e recursos que ajudaram o meu percurso de aprendizagem. Estou satisfeito com a informação e as competências que recebi ao longo do meu período aqui, devido ao ambiente académico dinâmico.

Gostaria de agradecer aos meus colegas e amigos pelo seu enorme apoio e esforço. O seu encorajamento e apoio revelaram-se cruciais para me incentivar e ultrapassar numerosos obstáculos. Agradeço a sua companhia e as conversas interessantes que tivemos, que certamente enriqueceram a minha experiência académica.

O meu agradecimento à minha família pelo seu amor, encorajamento e fé sem fim nas minhas capacidades. O seu encorajamento inabalável, a sua compreensão e os seus sacrifícios têm servido como uma fonte contínua de inspiração e motivação. Ficarei eternamente grato pela sua presença na minha vida.

Por último, gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão a todos os que gentilmente disponibilizaram o seu tempo e participaram nesta investigação. Os seus esforços foram fundamentais para reunir os dados necessários e aprofundar os nossos conhecimentos sobre este tema.

Embora seja difícil nomear cada um pessoalmente, saibam que os vossos contributos não foram ignorados e estou verdadeiramente grato a todos os que contribuíram, em grande ou pequena escala, para a realização desta dissertação.

Obrigado pelo vosso encorajamento, apoio e fé em mim. Sem vós, a presente dissertação não teria sido possível.

página propositadamente em branco

RESUMO

A indústria têxtil representa um sector dinâmico que desempenha um papel crucial no comércio mundial e no desenvolvimento económico. O sector estabeleceu-se como um interveniente importante no mercado mundial graças à sua vasta gama de produtos, que inclui tecidos, vestuário e acessórios. No entanto, este sector enfrenta uma rivalidade intensa e constante. Neste mercado altamente competitivo, fatores como a relação custo-eficácia, a qualidade, a inovação e a sustentabilidade são fatores cruciais para o sucesso. Para se manterem competitivas, as empresas têxteis necessitam de se adaptar constantemente à evolução das necessidades dos consumidores, aos avanços técnicos e à dinâmica da cadeia de abastecimento global. Para desenvolverem produtos de ponta, melhorarem as técnicas de produção e baixarem os preços, têm de investir em investigação e desenvolvimento.

O projeto de dissertação, segundo a Inovocorte [1], tem como finalidade a automatização de um posto de trabalho numa empresa especializada na produção de artigos têxteis. O principal objetivo do posto de trabalho consiste na recolha de peças de roupa provenientes de um sistema de termofixação. O desenvolvimento desta ferramenta resultou da intenção de reduzir os custos da linha de produção e, em certa medida, a intervenção da mão-de-obra. A necessidade de um transporte de roupa rápido, cuidadoso e sem danos foi outro fator no desenvolvimento deste conceito.

O sistema de descarga foi concebido automatizar o posto de trabalho referido. Assim, o mecanismo de descarga dividiu-se em dois conjuntos, de forma a resolver adequadamente o problema. O desenvolvimento mecânico do primeiro conjunto, que consistiu na construção de um transportador modular, foi o principal foco deste projeto. O desenvolvimento deste equipamento exigiu uma estratégia rigorosa que incluiu a especificação dos requisitos do projeto, a realização de uma análise de viabilidade exaustiva, a conceção do sistema e a garantia do cumprimento das regras de segurança.

A necessidade de compatibilização e integração harmoniosa do produto acabado com o restante conjunto do sistema de descarga constituiu um elemento de ponderação na tomada de diversas decisões durante o processo.

O dimensionamento do transportador modular foi submetido a uma avaliação rigorosa, incorporando o *feedback* e fazendo os ajustes necessários para atingir os objetivos do projeto. Os procedimentos de tomada de decisão foram descritos na dissertação, juntamente com as justificações para cada decisão e a importância da compatibilidade e integração com o segundo grupo de sistemas de descarga.

Em conclusão, o desenvolvimento mecânico do transportador modular foi concluído com sucesso, utilizando uma abordagem metódica e tendo em conta uma variedade de aspetos, incluindo os requisitos do projeto, a praticabilidade, as considerações de design, a segurança e a compatibilidade.

PALAVRAS-CHAVE

Automatização; Mecanismos; Sistema de transmissão; Sistema de acionamento.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

The textile industry is a dynamic sector that plays a crucial role in global trade and economic development. The business has established itself as a significant player in the worldwide market thanks to its wide range of goods, which includes fabrics, clothing, and accessories. However, the textile sector faces intense and ongoing rivalry. In this fiercely competitive market, factors including cost-effectiveness, quality, innovation, and sustainability are crucial success factors. Textile companies must consistently adapt to shifting consumer needs, technical breakthroughs, and the dynamics of the global supply chain in order to remain competitive. For the purpose of developing cutting-edge products, enhancing production techniques, and lowering prices, they must invest in research and development.

The goal of this dissertation, under the scope by Inovocorte, is to automate a workstation for a company that specializes in the production of textile goods. The thermofixation system's primary function at this workplace is to gather clothing. The development of this machinery was driven by the desire to lessen labor-intensive production line expenses and, to some extent, labor intervention. The requirement for rapid, careful, and damage-free clothing transportation was another factor in the development of this concept. This project was carried out by Inovocorte since it has a vested interest in the advancement of this machinery.

The unloading system was created to address the previously described issue and split into two sets in order to adequately handle the problem. This project's main emphasis was on the mechanical development of the first set, which entailed building a modular conveyor. This equipment's development required a rigorous strategy that included specifying the requirements of the project, carrying out a comprehensive feasibility analysis, designing the system, and making sure safety rules were followed.

The need for the final product to be compatible and smoothly integrated with the other set of the unloading system was carefully considered when making a number of decisions during the process. The modular conveyor's design underwent rigorous evaluation, incorporating feedback and making necessary adjustments to meet the project objectives. The decision-making procedures were described in the dissertation, along with the support evidence for each decision and the significance of compatibility and integration with the second group of unloading systems.

In conclusion, the mechanical development of the modular conveyor was successfully completed by using a methodical approach and taking into account a variety of aspects, including project requirements, practicality, design considerations, safety, and compatibility.

KEYWORDS

Automation; Mechanisms; Transmission system; Drive system.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS E GRÁFICOS	XI
ÍNDICE EQUAÇÕES.....	XIII
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XV
1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Contextualização	19
1.2. Objetivos	19
1.3. Metodologia	20
1.4. Estrutura da dissertação.....	20
1.5. Local/Empresa de acolhimento.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. Automatização Industrial	23
2.1.1. Definição de automatização	23
2.1.2. Motivos para automatizar.....	25
2.1.3. Sistemas de produção automatizada.....	26
2.2. Indústria Têxtil.....	30
2.2.1. Géneros de Estampagem	30
2.2.2. Processo de estampagem industrial	31
2.2.3. Sistemas de deteção	32
2.2.4. Sistemas de acionamento	35
2.2.5. Sistemas de transmissão	38
3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	41
3.1. Caracterização da empresa.....	41
3.2. Caracterização do processo	41
3.3. Desenvolvimento do projeto.....	42
3.4. Descrição da solução adotada	44
3.5. Projeto	44
3.5.1. Seleção da tela	48
3.5.2. Dimensionamento do sistema de acionamento	52
3.5.3. Cálculo da tensão instalada na tela.....	59
3.6. Seleção do sistema de acionamento (3001)	61
3.7. Dimensionamento dos componentes	64
3.7.1. Dimensionamento conjunto rolo mandado.....	64
3.7.2. Tubo intermédio (1201-04).....	74
3.7.3. Suporte do motorreductor (2501).....	75
3.7.4. Conjunto esticador de tela.....	76
3.7.5. Chapa de compressão (1701).....	81

3.7.6. Conjunto sensor	82
3.7.7. Conjunto reforço superior	86
3.7.8. Conjunto reforço inferior	87
3.7.9. Conjunto estrutura lateral	88
3.8. Dimensionamento de componentes normalizados	92
3.9. Montagem do tapete rolante.....	96
3.10. Desenhos técnicos dos componentes.....	101
4. CONCLUSÃO	149
4.1. Conclusões finais	149
4.2. Propostas de trabalhos futuros.....	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
APÊNDICE A – FORÇAS DE LIGAÇÕES APARAFUSADAS OBTIDAS ATRAVÉS DO <i>SOLIDWORKS</i>	155
APÊNDICE B – TABELAS COM COEFICIENTE DE ATRITO	160
ANEXO A – FICHAS TÉCNICAS.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Instalações da Inovocorte [1]	21
Figura 2 – Representação da evolução industrial.	23
Figura 3 – Representação da automatização resultante da terceira revolução industrial [7].....	24
Figura 4 – Exemplo de automatização fixa [11].	26
Figura 5 – Sistema Lógico utilizado na automatização programável [12].....	27
Figura 6 – Representação da automatização flexível [15].	28
Figura 7 – Representação da impressão em serigrafia [21].....	30
Figura 8 – Representação da impressão de tinta a jato ou impressão digital [22].....	31
Figura 9 – Exemplo de um sistema de estamperia oval [23].	31
Figura 10 – Exemplo de um modelo existente no mercado de uma máquina de termofixação [23].	32
Figura 11 – Representação de um sensor de proximidade indutivo [27].	33
Figura 12 – Representação de um sensor por barreira e o seu respetivo transmissor [27].....	34
Figura 13 – Representação de um sensor de pressão [27].	35
Figura 14 – Constituição de um atuador linear.....	36
Figura 15 – Representação de um cilindro simples à esquerda e de atuação dupla à direita [27].	36
Figura 16 – Representação de um exemplo de um atuador elétrico linear [27].	37
Figura 17 – Representação à esquerda de um servomotor e à direita de um motor passo a passo [27].....	37
Figura 18 – Representação de um motor elétrico assíncrono, adaptado de [34]	38
Figura 19 – Representação de tapete rolante (a) com chapa de fricção (b) com rolos livres, adaptado de [37]	39
Figura 20 – Esquema representativo do processo a substituir.....	42
Figura 21 – Representação da distância disponível da máquina de termofixação [23].	43
Figura 22 – Outra solução abordada para a estrutura do sistema de descarga, adaptado de [23]	44
Figura 23 – Conjunto do tapete rolante.....	45
Figura 24 – Representação da transmissão de velocidade presente no transportador modular. ..	47
Figura 25 – Representação do procedimento de remoção dos artigos do tapete rolante.....	48
Figura 26 – Telas fornecidas pelo representante: a) F-5EXCT; b) NHM-10EKBV; c) NAB-7EEDV.....	49
Figura 27 – Métodos de união da tela: a) flexproof; b) junção mecânica [40].	50
Figura 28 – Método de descentramento da tela através de polias cilíndrico-cônicas [41].	51
Figura 29 – Método de centramento da tela através de perfis de guiamento [41].	51
Figura 30 – Tela NHM-10EKBV com a demonstração da guia utilizada.	52
Figura 31 – Conjunto rolo mandado dividido por secções que originam momento polar de inércia.	55
Figura 32 – Representação das forças necessárias para calcular a força de arranque e em regime contínuo.	58
Figura 33 – Representação das forças presentes na tela.....	60
Figura 34 – Tabelas utilizadas para calcular o fator de serviço [34].	62
Figura 35 – Características do motorreductor selecionado, adaptado de [34].	63
Figura 36 – Motorreductor MR V32 UO3A – 11 X140 – 7 HB2 63C 2 220.380 – 50 TBO, adaptado de [34].	64

Figura 37 – Diferenças entre a peça veio motor e veio chumaceira.....	65
Figura 38 – Diferenças entre veio guia 1 e veio guia 2.....	66
Figura 39 – Representação da solda utilizada no estudo do rolo mandante.....	66
Figura 40 – Estrutura do veio de transmissão (2201).	67
Figura 41 – Representação do limitador de torque (2901), Roba Lastic Size 0, [48].	67
Figura 42 – Representação dos esforços presentes no conjunto rolo mandado.....	68
Figura 43 – Análise de tensões através do Solidworks.	69
Figura 44 – Diagrama de corpo livre do conjunto tolo mandante.....	70
Figura 45 – Representação da chumaceira F2BRD 30M-FM, adaptado de [49].....	73
Figura 46 – Estrutura do tubo intermédio (1201).	74
Figura 47 – Representação da distribuição das tensões no tubo intermédio (1201).	74
Figura 48 – Representação da distribuição das tensões no suporte motorreductor (2501).....	75
Figura 49 – Representação do tensionador da tela.	76
Figura 50 – Esforços e pontos fixos aplicados no estudo da chapa móvel (2001-02).....	78
Figura 51 – Distribuição das tensões na chapa móvel com espessura de a) 6 mm e b) 10 mm (2001-02).	78
Figura 52 – Esforços e pontos fixos aplicados no estudo do suporte esticador (1001).....	79
Figura 53 – Representação da distribuição das tensões no suporte esticador (1001).	79
Figura 54 – Esforços e pontos fixos aplicados no estudo do suporte deslizamento (0901).	80
Figura 55 – Representação da distribuição das tensões no suporte deslizamento (0901).	80
Figura 56 – Representação do método flowdrill. adaptado de [53].	81
Figura 57 – Representação da distribuição das tensões na chapa compressão (1701).....	82
Figura 58 – Representação do fenómeno de birrefringência com a tecnologia P-opaquinig e sem [54].	83
Figura 59 – Estrutura do sensor (E3FA-BP21) e da cablagem do sensor (XS2F-D422-D80-F) [54] ..	83
Figura 60 – Representação do conjunto sensor.....	84
Figura 61 – Representação da distribuição das tensões no suporte sensor (3301).	85
Figura 62 – Representação da distribuição das tensões no suporte refletor (3401).	85
Figura 63 – Esforços provenientes da ligação aparafusada entre o suporte refletor (3401) e o reforço superior 3 (1501).....	86
Figura 64 – Representação da distribuição das tensões no conjunto reforço superior.	87
Figura 65 – Representação da distribuição das tensões no conjunto reforço inferior.....	88
Figura 66 – Representação do conjunto estrutura lateral.	89
Figura 67 – Elucidação do posicionamento do tubo de esmagamento grande (2301).	89
Figura 68 – Pé nivelador 27795-4708X040 (3801) utilizado no sistema transportador [38].....	90
Figura 69 – Representação da localização das forças externas consideradas no estudo do conjunto estrutura lateral.	90
Figura 70 – Representação da localização das forças de ligação consideradas no estudo do conjunto estrutura lateral.	91
Figura 71 – Representação da distribuição das tensões no conjunto estrutura lateral.	92
Figura 72 – Instruções de montagem da 1ª etapa	97
Figura 73 – Instruções de montagem da 2ª etapa	98
Figura 74 – Instruções de montagem da 3ª etapa	99
Figura 75 – Instruções de montagem da 4ª etapa	99
Figura 76 – Instruções de montagem da 5ª etapa	100

Figura 77 – Instruções de montagem da 6ª etapa	101
Figura 78 – Exemplo com legenda do processo de identificação de soldas.	102
Figura 79 – Desenho técnico do tubo central (0101).....	103
Figura 80 – Desenho técnico do veio motor (0201).....	104
Figura 81 – Desenho técnico do veio guia (0301).....	105
Figura 82 – Desenho técnico do tubo vertical (0401).....	106
Figura 83 – Desenho técnico da tampa (0501).....	107
Figura 84 – Desenho técnico do tubo horizontal sem furos (0601).....	108
Figura 85 – Desenho técnico do tubo horizontal com furos (0701).....	109
Figura 86 – Desenho técnico do suporte lateral esquerdo (0801).....	110
Figura 87 – Desenho técnico do suporte deslizamento (0901).....	111
Figura 88 – Desenho técnico do suporte esticador (1001).....	112
Figura 89 – Desenho técnico do suporte lateral direito (1101).....	113
Figura 90 – Desenho técnico do tubo intermédio (1201).....	114
Figura 91 – Desenho técnico do reforço superior 1 (1301).....	115
Figura 92 – Desenho técnico do reforço superior 2 (1401).....	116
Figura 93 – Desenho técnico do reforço superior 3 (1501).....	117
Figura 94 – Desenho técnico do suporte reforço superior (1601).....	118
Figura 95 – Desenho técnico da chapa de compressão (1701).....	119
Figura 96 – Desenho técnico do veio chumaceira (1801).....	120
Figura 97 – Desenho técnico do veio guia 2 (1901).....	121
Figura 98 – Desenho técnico da chapa móvel (2001).....	122
Figura 99 – Desenho técnico do reforço inferior pequeno (2101).....	123
Figura 100 – Desenho técnico do veio transmissão (2201).....	124
Figura 101 – Desenho técnico do tubo esmagamento pequeno (2301).....	125
Figura 102 – Desenho técnico do tubo esmagamento grande (2401).....	126
Figura 103 – Desenho técnico do reforço inferior grande (2501).....	127
Figura 104 – Desenho técnico do suporte reforço inferior (2601).....	128
Figura 105 – Desenho técnico do suporte motorreductor (2701).....	129
Figura 106 – Desenho técnico do suporte sensor (3301).....	130
Figura 107 – Desenho técnico do suporte refletor (3401).....	131
Figura 108 – Desenho técnico do conjunto rolo mandante (5301).....	132
Figura 109 – Desenho técnico do rolo guia (5401).....	133
Figura 110 – Desenho técnico do conjunto rubo intermédio (5501).....	134
Figura 111 – Desenho técnico do conjunto reforço superior 1 (5601).....	135
Figura 112 – Desenho técnico do conjunto reforço superior 2 (5701).....	136
Figura 113 – Desenho técnico do conjunto reforço superior 3 (5801).....	137
Figura 114 – Desenho técnico do conjunto reforço inferior pequeno (5901).....	138
Figura 115 – Desenho técnico do conjunto reforço inferior grande (6001).....	139
Figura 116 – Desenho técnico do conjunto estrutura lateral esquerda (6101).....	140
Figura 117 – Desenho técnico do conjunto estrutura lateral direita (6201).....	141
Figura 118 – Desenho técnico do conjunto vertical (6301).....	142
Figura 119 – Desenho técnico do conjunto tubos estruturais (6401).....	143
Figura 120 – Desenho técnico do conjunto suporte lateral esquerdo e extras (6501).....	144
Figura 121 – Desenho técnico do conjunto suporte lateral direito e extras (6601).....	145

Figura 122 – Desenho técnico do transportador modular (6701).	147
---	-----

Índice ilustrações presentes nos apêndices

Ilustração 1 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do conjunto reforço superior... 155	155
Ilustração 2 – Forças de ligação soldada obtidas no estudo do suporte deslizante. 155	155
Ilustração 3 – Forças de ligação soldada obtidas no estudo do suporte esticador. 156	156
Ilustração 4 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do tubo intermédio. 156	156
Ilustração 5 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do suporte motorreductor..... 157	157
Ilustração 6 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do suporte sensor. 158	158
Ilustração 7 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo da chapa de compressão..... 158	158
Ilustração 8 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do conjunto reforço inferior. ... 159	159
Ilustração 9 – Coeficiente de atrito utilizado para calcular o aperto necessário para o parafuso afinador, [51]..... 160	160
Ilustração 10 – Coeficiente de atrito entre duas superfícies de aço, [55]. 160	160

ÍNDICE DE TABELAS E GRÁFICOS

Índice tabelas

Tabela 1 – Casos de estudo sobre automização de processos	28
Tabela 2 – Lista de peças do transportador modular.	46
Tabela 3 – Propriedades fundamentais da tela selecionada, NHM-10EKBV [39].	50
Tabela 4 – Valores obtidos para todas as variáveis calculadas.	59
Tabela 5 – Propriedades do motorreductor selecionado.	62
Tabela 6 – Propriedades do motor selecionado retiradas do catálogo TX series.	63
Tabela 7 – Principais propriedades do material CK45K e do material DD11.	65
Tabela 8 – Principais propriedades da solda NF EN 13479 usada em todas as soldaduras do tapete rolante.	65
Tabela 9 – Principais propriedades do material S335J0.	92
Tabela 10 – Forças nas ligações aparafusadas do tapete rolante.	93
Tabela 11 – Forças de aperto e diâmetro interno do parafuso para todas as ligações aparafusadas do tapete rolante	93
Tabela 12 – Lista com a norma e numeração dos parafusos utilizados.	94
Tabela 13 - Lista com a norma e numeração das porcas utilizadas.	95
Tabela 14 – Lista com a norma e numeração das anilhas utilizadas.	95
Tabela 15 – Análise aos objetivos propostos do projeto.	149

Índice gráficos

Gráfico 1 – Variação do momento fletor no eixo y em função da distância.	70
Gráfico 2 – Variação do momento fletor no eixo z em função da distância.	71

página propositadamente em branco

ÍNDICE EQUAÇÕES

Equação 1	47
Equação 2	52
Equação 3	53
Equação 4	53
Equação 5	53
Equação 6	54
Equação 7	54
Equação 8	54
Equação 9	55
Equação 10	55
Equação 11	55
Equação 12	55
Equação 13	56
Equação 14	56
Equação 15	56
Equação 16	56
Equação 17	56
Equação 18	57
Equação 19	57
Equação 20	57
Equação 21	57
Equação 22	57
Equação 23	57
Equação 24	58
Equação 25	58
Equação 26	58
Equação 27	58
Equação 28	59
Equação 29	60
Equação 30	60
Equação 31	60
Equação 32	60
Equação 33	60
Equação 34	61
Equação 35	62
Equação 36	62
Equação 37	62
Equação 38	63
Equação 39	64
Equação 40	67
Equação 41	68
Equação 42	69

Equação 43	70
Equação 44	71
Equação 45	71
Equação 46	71
Equação 47	71
Equação 48	71
Equação 49	72
Equação 50	72
Equação 51	72
Equação 52	72
Equação 53	72
Equação 54	72
Equação 55	72
Equação 56	72
Equação 57	73
Equação 58	77
Equação 59	77
Equação 60	93
Equação 61	93

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

BMS	Building Management System
CAD	Computer-Aided Design
CNC	Computerized Numerical Control
DCS	Distributed Control System
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
PCS	Process Control System
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas

Lista de Símbolos

$t_{peça\ a\ peça}$	tempo entre artigos	s
V_{tapete}	velocidade do tapete	m/s
$V_{termofixação}$	velocidade do sistema de termofixação	m/s
$C_{tapete\ rolante}$	Comprimento do tapete rolante	m
C_{artigo}	Comprimento dos artigos	m
$t_{aceleração}$	tempo de aceleração do tapete rolante	m
θ	inclinação do tapete	°
Q_c	capacidade da carga do tapete rolante	kg/m
P_{carga}	peso da carga transportada	N
P_{tela}	peso da tela	N
$F_{a_{tela_tubo}}$	força de atrito derivada do contacto da tela e dos tubos intermédios	N
$F_{inercia_carga}$	força de inércia relacionada com a aceleração do transporte da carga	N
g	aceleração gravítica	m/s ²
C_{total}	comprimento total da tela	m
Φ_{rolo}	diâmetro exterior do rolo	m
L_{tela}	largura da tela	m
ρ_{tela}	carga por metro quadrado da tela	kg/m ³
μ_{tela_tubo}	coeficiente de atrito entre a tela e os tubos intermédios	-
F_{normal}	força normal	N
$F_{rolamento_rolo}$	força proveniente do atrito existente nos rolamentos	N
F_{radial}	reação proveniente da força do contacto entre a polia e o interior dos rolamentos	N

$\mu_{rolamento}$	coeficiente de atrito dos rolamentos de esferas	-
$T_{rolamento_rolo}$	binário necessário para acelerar os rolamentos	Nm
a	aceleração média	m/s ²
$F_{inerxia_carga}$	inércia da aceleração da carga	N
$F_{inerxia_tela}$	inércia da aceleração da tela	N
J_1	momento polar de inércia na secção 1	kg · m ²
J_2	momento polar de inércia na secção 2	kg · m ²
J_3	momento polar de inércia na secção 3	kg · m ²
J_4	momento polar de inércia na secção 4	kg · m ²
J_5	momento polar de inércia na secção 5	kg · m ²
J_6	momento polar de inércia na secção 6	kg · m ²
$J_{limitador}$	momento polar de inércia gerada pelo limitador de torque	kg · m ²
$J_{veio\ transmiss\~ao}$	momento polar de inércia gerada pelo veio transmissão	kg · m ²
J_{total}	momento polar de inércia total	kg · m ²
α	aceleração angular	rad/s ²
$T_{inerxia_rolo}$	binário necessário para acelerar o rolo	Nm
$F_{inerxia_rolo}$	força da inércia da aceleração do rolo	N
$F_{arranque}$	força de arranque	N
$F_{cont\~{i}nuo}$	força em regime contínuo	N
$T_{arranque}$	torque de arranque do motor	Nm
$T_{cont\~{i}nuo}$	torque em regime contínuo	Nm
F_{limite}	força limite da tela	N
F_1	força no ramo tensionado	N
F_2	força no ramo amortecido	N
$F_{pr\acute{e}\ cargo}$	força de pré-carga é representada	N
B	momento entre a tela e rolo mandado	Nm
CS_{tela}	coeficiente de segurança tela	-
f_s	fator de serviço	-
T_{max}	o binário máximo	Nm
N_{tapete}	velocidade angular do transportador modular	rpm
$r_{exterior_rolo}$	raio exterior do rolo	m
P_{tapete}	potência do sistema	W
i	Razão de transmissão	-
N_{motor}	velocidade angular do motor	rpm
$CS_{motorreductor}$	coeficiente de segurança motorreductor	-
$\sigma_{ced\~{e}ncia}$	Tensão de cedência	MPa
σ_{rotura}	Tensão de rotura	MPa
ρ	Massa volúmica	MPa
E	Modulo de elasticidade	MPa

F_{max}	força proveniente do binário máximo	N
M_{torsor}	momento torsor	Nm
$M_{fletor y}$	momento fletor do eixo y	Nm
$M_{fletor z}$	momento fletor do eixo z	Nm
M_{fletor}	momento fletor combinado	Nm
σ_a^{VM}	amplitude da tensão	MPa
σ_m^{VM}	tensão media	MPa
σ_f	tensão de fadiga	MPa
σ_{f0}	tensão limite de fadiga	MPa
k_a	fator de correção devido ao acabamento superficial	-
k_b	fator de fiabilidade	-
k_c	fator de correção devido à temperatura	-
k_d	fator de correção devido	-
k_e	fator de correção devido a outros efeitos diversos	-
k_f	fator de correção devido	-
cs_{fadiga}	coeficiente de segurança à fadiga	-
F_{radial}	força radial presente na chumaceira	N
B_{aperto}	binário de aperto parafuso M12	Nm
Φ_m	diâmetro médio da rosca do parafuso M12	mm
p	passo do parafuso M12	mm
$\mu_{parafuso}$	coeficiente de atrito da rosca do parafuso M12	-
Φ_{minimo}	diâmetro mínimo da rosca do parafuso M12	mm
Φ_{maximo}	diâmetro máximo da rosca do parafuso M12	mm
$F_{parafuso}$	força realizada num parafuso	N
$\sigma_{parafuso}$	tensão máxima de um parafuso classe 8.8	MPa
$\Phi_{interno parafuso}$	diâmetro interno mínimo do parafuso	mm
$F_{corte 1}$	força de corte no eixo y	N
$F_{corte 2}$	força de corte no eixo z	N
F_{aperto}	força de aperto no eixo axial	N

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

O objetivo desta dissertação enquadra-se na conceção de um sistema de descarga específico para artigos têxteis. O sistema é constituído por dois conjuntos primários, nomeadamente o conjunto de tapete transportador e o conjunto de plataforma móvel. O conjunto do tapete transportador é constituído por um tapete transportador e respetiva estrutura de suporte, enquanto o conjunto da plataforma móvel consiste numa plataforma com capacidade de movimentação vertical e horizontal, auxiliada por duas guias lineares - uma vertical e outra horizontal.

Este projeto foi realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, ramo Gestão Industrial. Para melhor organizar e apresentar a introdução, esta foi dividida em quatro subcapítulos. Estes subcapítulos apresentam uma visão geral do problema de investigação, os objetivos e âmbito do estudo, a metodologia utilizada para atingir os objetivos e a estrutura da própria dissertação.

1.1. Contextualização

A indústria têxtil tem sofrido alterações significativas nas últimas décadas devido aos avanços tecnológicos e à automatização dos processos. A automatização teve um impacto significativo em muitos aspetos da indústria, incluindo a mão-de-obra, o controlo de materiais e a otimização de procedimentos. Ao automatizar as operações, as empresas têxteis podem melhorar a integração sistémica, o que aumenta a eficiência e a produtividade.

Além disso, a automação tem vindo a adquirir uma importância crescente para as pequenas e médias empresas têxteis que procuram obter uma vantagem competitiva através da mecanização. O investimento em inovação tem permitido a incorporação de várias abordagens técnicas na atividade de fabrico de têxteis, como a utilização de software para verificar a qualidade das amostras ou para executar a integração de dados de várias fontes.

Adicionalmente, a instalação de sistemas autónomos para o transporte, modelação, reparação e deteção de artigos tornou-se uma tendência proeminente na indústria têxtil. As vantagens da automatização de processos na indústria têxtil são numerosas, incluindo um melhor controlo de qualidade, custos de produção reduzidos, maior eficiência e maior segurança no local de trabalho. Como resultado, a automatização de processos tornou-se um aspeto crítico do fabrico de têxteis e espera-se que continue a transformar a indústria nos próximos anos [2].

1.2. Objetivos

A fim de manter a confiança do cliente, o equipamento concebido deve garantir algumas qualidades-chave, tais como eficiência, qualidade e inovação. Tendo em conta os aspetos mencionados, o principal objetivo desta dissertação centra-se na realização do conjunto do tapete rolante, o conjunto da plataforma móvel irá ser realizado por outros colegas pertencentes à empresa Inovocorte. Após o desenvolvimento do conjunto do tapete rolante e do conjunto da plataforma móvel juntar-se-ão os dois dando origem ao sistema de descarga dos produtos têxteis provenientes de uma estufa de termofixação.

Ao analisar ao pormenor o percurso da criação do conjunto do tapete rolante, extraíram-se três etapas, dando origem a mais objetivos. Deste modo, o primeiro objetivo baseia-se na procura de um sistema de deteção, o segundo objetivo envolve a seleção do mecanismo responsável pelo transporte dos artigos, tendo em conta os requisitos estabelecidos pelo cliente e necessidades provenientes do conjunto da plataforma móvel. O terceiro, e final objetivo consiste na correta avaliação do conjunto desenvolvido.

Além dos artigos mencionados anteriormente, também se teve em conta os seguintes requisitos demonstrados pela empresa e pelos clientes:

- Garantir que o sistema é funcional para todo o tipo de produtos têxteis que a empresa trabalha;
- Apresentar o menor custo de investimento viável, mantendo um equilíbrio adequado entre os custos de produção e os custos de construção;
- Evidenciar a fiabilidade necessária a este setor de atividade;
- Estudar e analisar diferentes soluções no mercado para o sistema em questão.

1.3. Metodologia

Para o desenvolvimento da presente dissertação adotou-se uma metodologia de acordo com o conhecimento adquirido no exercício de funções na empresa de acolhimento. Deste modo, a metodologia adotada passa pelos seguintes pontos:

- Estudo da arte referente à indústria têxtil e análise do processo de estampagem;
- Pesquisa referente aos possíveis fornecedores e componentes necessários para a construção do conjunto do tapete rolante;
- Seleção da solução mais apropriada, tendo em conta as dimensões permitidas e as condições a qual o sistema se encontraria;
- Determinação dos componentes mais adequados;
- Realização do mecanismo com o auxílio do software e dos cálculos devidos;
- Validação de todo o equipamento, considerando os requisitos implementados pela empresa de forma a garantir a segurança.

1.4. Estrutura da dissertação

Com o objetivo de descrever ao leitor a organização da dissertação, neste subcapítulo encontra-se a disposição de todos os capítulos. Deste modo o primeiro capítulo é dedicado à introdução que inclui a contextualização do projeto e a descrição do problema. Adicionalmente, são expostos os objetivos, a abordagem a seguir, a estrutura do documento, e, por último, o local que possibilitou a realização da dissertação.

O capítulo seguinte, revisão bibliográfica, consta a análise da indústria têxtil e de seguida aborda o tema da automatização da mesma área. Ainda neste capítulo, analisam-se as soluções presentes no mercado e os componentes necessários para realização do sistema.

No terceiro capítulo, intitulado "Resultados e Discussão", concentra-se na apresentação das conclusões ilustradas através de tabelas, gráficos e equações provenientes dos cálculos realizados. Também se aborda a interpretação dos resultados, tendo em conta as suas implicações para as questões ou hipóteses de caso de estudo.

Por fim, no último capítulo do relatório, a conclusão. Neste identificam-se os objetivos concretizados ao longo do projeto, bem como as limitações encontradas. Ainda neste capítulo, aborda-se o trabalho a realizar no futuro.

1.5. Local/Empresa de acolhimento

A Inovocorte é uma empresa da área da metalúrgica e metalomecânica. Integra cerca de 80 trabalhadores e tem 46 de anos de experiência no mercado. A Figura 1 mostra as instalações da Inovocorte, em Paços de Ferreira, Porto.



Figura 1 – Instalações da Inovocorte [1]

A presente tese foi desenvolvida sob a orientação do Engenheiro Vítor Rapoula, no departamento de engenharia da Inovocorte que disponibilizou os diversos recursos e elementos necessários para a elaboração da mesma.

2. TREVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo procura oferecer o raciocínio de todo o desenvolvimento realizado e esclarecer conceitos relevantes para a execução da dissertação.

Para tal, inicia-se a revisão bibliográfica com uma introdução ao processo de automatização, apresentando os prós e contras a respeito deste tema. De seguida enquadra-se a arte da indústria têxtil e clarifica-se o processo de estampagem. Ainda neste assunto abordam-se os equipamentos mais significativos para a dissertação. Por fim, identificam-se os componentes necessários para a execução do sistema de descarga e além disto também se efetua uma análise dos componentes existentes no mercado.

2.1. Automatização Industrial

Como resultado do rápido avanço da tecnologia, os atuais sistemas de processamento industrial, fábricas, maquinaria, e instalações de teste passaram da mecanização para a automação. Deste modo, devido às tecnologias de controlo extremamente eficientes desenvolvidas ao longo da revolução industrial, o controlo informatizado da automatização é impulsionado pela necessidade de precisão máxima, qualidade e desempenho das operações comerciais.

2.1.1. Definição de automatização

O termo "automatização" deriva da palavra grega "automatos", que significa "auto-acção". À medida que os computadores e os sistemas de controlo evoluíram, o significado de automatização foi-se alargando. Esta já existia numa escala modesta há muitos anos em meados do século XX, empregando dispositivos mecânicos para automatizar o fabrico de bens de forma simples. Apesar disso, a noção só foi verdadeiramente implementada com a introdução do computador, cuja versatilidade lhe permitia conduzir quase todas as atividades [2].

Com a introdução da automatização decorreram diversas mudanças, levando a revoluções industriais em diferentes épocas. Desta forma, em concordância com a Figura 2, sucederam-se quatro revoluções industriais, todas originadas pela evolução do conceito de automatização.



Figura 2 – Representação da evolução industrial.

Em meados do século XVIII e XIX ocorreu a primeira revolução industrial. Nesta descobriram-se novos métodos que permitiram a produção social, cultural e o crescimento económico mais realistas. A descoberta da máquina a vapor em 1712 foi um dos principais avanços técnicos. As pessoas testemunharam a vasta mineração de carvão com a utilização da máquina na altura, o que proporcionou um novo tipo de energia que subseqüentemente ajudou a acelerar a produção de caminhos-de-ferro, impulsionando assim a economia. A invenção da máquina a vapor também apresentou um impacto na indústria têxtil [2]–[5].

A Segunda Revolução Industrial começou no século XIX com a descoberta da produção de eletricidade e de linhas de montagem, em oposição à primeira revolução industrial, que se centrou no fabrico de têxteis e na invenção da máquina a vapor. Henry Ford (1863-1977) fez uma das contribuições mais significativas ao incorporar o conceito de fabrico em massa na produção de automóveis. Como resultado, os custos diminuíram enquanto a produção cresceu [2], [4]–[6].

A Terceira Revolução assistiu à chegada dos computadores, da Internet, e da automação do fabrico (PLCs) e das operações (máquina CNC). Deste modo, com o auxílio destas tecnologias, é possível automatizar um processo de fabrico completo sem a necessidade de intervenção humana. Os robôs que completam seqüências pré-programadas sem a mediação humana são exemplos bem conhecidos disso. Um exemplo do género de automatização originada pela terceira revolução industrial encontra-se na Figura 3.

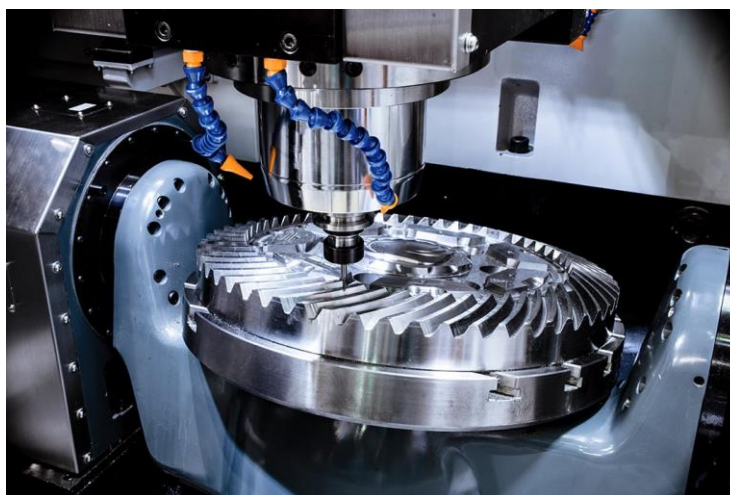


Figura 3 – Representação da automatização resultante da terceira revolução industrial [7].

Ao contrário das três revoluções industriais anteriores, a quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, é uma transformação tecnológica da sociedade que está a ter lugar no século XXI e é o resultado dos mecanismos estabelecidos durante a terceira revolução industrial. Os principais motores e causas das mudanças drásticas são a individualização da procura, a eficiência dos recursos, e ciclos curtos de desenvolvimento de produtos. Como resultado, surgiram enormes desenvolvimentos tecnológicos tais como Web 2.0, aplicações, telemóveis, computadores portáteis e impressoras 3D, abrindo uma infinidade de oportunidades para o crescimento económico. Por outro lado, a fim de aumentar a eficiência, as empresas modernas devem superar os desafios de fazer julgamentos rápidos. Consequentemente, para responder a estas exigências da sociedade, Klaus Schwab introduziu o conceito de Quarta Revolução Industrial [2], [4], [5], [8].

De acordo com Alp Ustundag e Emre Cevikcan [8], "Indústria 4.0" é concebida sobre oito avanços tecnológicos fundamentais: robótica adaptativa, análise de dados e inteligência artificial (grandes

análises de dados), simulação, sistemas incorporados, tecnologias de comunicação e redes, tais como internet industrial, sistemas de nuvem, fabricação aditiva e tecnologias de virtualização. Estas tecnologias devem ser apoiadas por tecnologias fundamentais como a *cyber* segurança, sensores e atuadores, e tecnologias móveis, bem como por sete princípios de conceção como a gestão de dados em tempo real, interoperabilidade, virtualização, descentralização, agilidade, orientação de serviço, e processos empresariais integrados [8]–[10].

As máquinas que podem prever falhas ou logística auto-organizada que se ajustam a mudanças inesperadas na produção são dois exemplos resultantes da quarta revolução industrial. Outro exemplo são as modificações feitas na forma como os indivíduos operam. Estes podem ser direcionados para redes mais inteligentes como resultado da Indústria 4.0, com potencial para um trabalho mais eficiente. Devido à digitalização do ambiente de produção, são possíveis meios mais flexíveis de fornecer a informação correta à pessoa certa no momento certo. Devido ao aumento da utilização de dispositivos digitais dentro das fábricas e no terreno, os operários de manutenção podem agora obter documentação do equipamento e históricos de serviço em tempo real e no ponto de utilização [8]–[10].

Em resumo, a indústria 4.0 demonstra ser um aspeto relevante em todos os contextos industriais. A digitalização do fabrico irá alterar a forma como as mercadorias são fabricadas e entregues, bem como a forma como os produtos são mantidos e melhorados. Com base nesta premissa, pode legitimamente afirmar-se ser o início da quarta revolução industrial [8]–[10].

2.1.2. Motivos para automatizar

Como evidenciado anteriormente, a necessidade de automação industrial tem crescido com o decorrer dos anos, uma vez que a exigência exigida pelas empresas e pelos clientes só aumenta. Assim, para as empresas demonstrarem competitividade é fundamental afiliar-se à automação industrial. De seguida, encontram-se algumas razões que encaminham as empresas a optar por automatizar os seus processos [4], [8]:

1. Aumentar a produtividade. Aumentar a taxa de produção e a produtividade dos trabalhadores através da automatização de uma atividade industrial resulta numa maior produção por hora de trabalho. A redução do *lead time* de produção é um exemplo. Através da utilização da automatização, é possível minimizar o tempo entre a encomenda do cliente e a entrega do produto, proporcionando ao fabricante uma vantagem competitiva para futuras encomendas.
2. Reduzir os custos e a escassez de mão de obra. Nos países industrializados do mundo, o aumento dos custos e a escassez da mão-de-obra tem sido e continua a ser uma tendência. Como resultado, o aumento do investimento na automatização para substituir as tarefas humanas tornou-se economicamente aceitável. As máquinas estão a ser cada vez mais utilizadas para substituir o trabalho humano, a fim de reduzir os custos unitários dos produtos.
3. Melhorar a qualidade do produto, o que leva a uma maior satisfação do cliente. Automação não só conduz a melhores taxas de produção do que a operação humana, mas também assegura uma maior uniformidade e conformidade com os critérios de qualidade durante o processo de fabrico.

4. Aumentar a segurança dos trabalhadores. O trabalho torna-se mais seguro através da automatização de uma determinada atividade e da deslocação do trabalhador de um envolvimento ativo no processo para uma posição de monitorização. A automatização, por outro lado, permite a conclusão de operações que são impossíveis de concluir manualmente. Estas operações necessitam de precisão, miniaturização, ou complexidade geométrica que não pode ser alcançada manualmente. Alguns métodos de fabricação de circuitos integrados, processos rápidos de prototipagem baseados em modelos de computação gráfica (CAD), e maquinaria de controlo numérico computadorizado de superfícies complexas, matematicamente especificadas, são exemplos. Apenas sistemas controlados por computador podem realizar estes procedimentos.

2.1.3. Sistemas de produção automatizada

Para implementar a automatização industrial são necessários sistemas de produção automatizada, que se encontram-se divididos em três categorias: fixa, programável e flexível.

Um sistema de automatização fixo é aquele em que a sequência de processos de processamento (ou montagem) é determinada pela configuração do equipamento. Esta técnica de automatização utiliza-se na produção de elevado volume, utilizando um dispositivo especializado que tem uma forte e rápida associação de funções. Cada ação na sequência é frequentemente simples, compreendendo ou um movimento linear básico ou rotacional ou uma simples mistura dos dois, tal como a alimentação de um fuso rotativo.

A automatização fixa, Figura 4, distingue-se por um investimento inicial significativo em equipamento personalizado, altas taxas de produção, e a inflexibilidade da tecnologia para lidar com a variação do produto. Os produtos fabricados em grandes quantidades a altas taxas de produção fornecem a razão económica para a automatização estacionária. Deste modo o elevado custo inicial do equipamento pode ser distribuído por um grande número de unidades, baixando o custo unitário em comparação com os métodos alternativos de fabrico. Linhas de transferência de máquinas e máquinas de montagem automatizada são exemplos de automatização fixa [4], [8].



Figura 4 – Exemplo de automatização fixa [11].

O equipamento de produção em automatização programável é desenvolvido com a capacidade de modificar a sequência de atividades para satisfazer a grande variedade de produtos, ou seja, consiste num programa controla a sequência de operações. Este programa é constituído por um

conjunto de instruções escritas para que o sistema possa lê-las e compreendê-las, contudo novos programas podem ser criados e carregados na maquinaria para criar saídas. Os sistemas automatizados programáveis são frequentemente empregues no fabrico de baixo e médio volume, o que implica que os bens são criados em lotes. Para gerar cada novo lote de um item diferente, o sistema deve ser reprogramado com o conjunto de instruções da máquina do novo item. A configuração física da máquina também deve ser alterada: as ferramentas devem ser carregadas, as fixações devem ser montadas na mesa da máquina, e quaisquer parâmetros de máquina necessários devem ser introduzidos. Esta transição leva tempo. Como resultado, o ciclo normal de um lote específico compreende um período de preparação e reprogramação, seguido de um período para a produção dos componentes [4], [8].

Entre as características da automação programável estão um grande investimento em equipamento de uso geral e taxas de produção mais baixas do que a automação fixa; flexibilidade para lidar com variações e alterações na configuração do produto; e alta adaptabilidade para a produção em lotes. Máquinas-ferramentas controladas numericamente, robots industriais e controladores lógicos programáveis são exemplos de automatização programável [4], [8].

Na Figura 5 encontra-se um sistema lógico para um exemplo de automatização programável.



Figura 5 – Sistema Lógico utilizado na automatização programável [12].

A automatização flexível é uma extensão da automatização programável, como mostra o exemplo na Figura 6. Um sistema com automatização flexível tem a capacidade de gerar uma vasta gama de componentes ou produtos com pouco ou nenhum tempo de paragem para alterações de conceção. Para o funcionamento deste sistema necessita-se de recomendações de alto nível incorporadas no computador sob a forma de códigos. O mesmo envia configurações ou comandos para cada dispositivo introdutório. Estas obrigações mecanizadas e tecnologias necessárias cumprem também as suas ordens de preparação. Após a preparação, a mercadoria é transportada de modo robótico para o sistema seguinte. De notar que não existem perdas de tempo durante a reprogramação do sistema ou a alteração da configuração física (ferramentas, acessórios, definições da máquina). Como resultado, em vez de requerer a produção em lote, o sistema pode gerar misturas e programações variadas de peças ou produtos. Como as alterações entre as peças tratadas pelo sistema são mínimas, a quantidade de mudança entre desenhos é insignificante. As características de automatização flexível incluem um investimento inicial elevado para um sistema

concebido à medida, produção contínua de várias combinações de componentes ou produtos, velocidades de produção médias, e a capacidade de lidar com as flutuações do design do produto. Os sistemas de fabrico flexíveis que realizam operações de maquinagem são exemplos de automatização flexível [4], [8], [13], [14].



Figura 6 – Representação da automatização flexível [15].

Na Tabela 1 encontram-se diversos artigos onde estes sistemas de produção automatizada foram implementados.

Tabela 1 – Casos de estudo sobre automação de processos

Autor	Descrição do caso de estudo
Zhi He, Li Ma, Yinchu Wang, Yongzhe Wei, Xinting Ding, Kai Li and Yongjie Cui [16]	Neste caso de estudo aborda-se a possibilidade de implementação de um robot de colheita com dois braços. Contudo, durante a apanha de fruta, o planeamento da área e a deteção de colisão entre braços mecânicos são desafios críticos para o robot de duplo braço, de modo que seja construído um caminho livre de colisões. Através de simulações e testes foi possível diminuir o tempo de percurso percorrido 46.9% e o percurso percorrido 32.3%. Também foi possível obter a taxa de sucesso de colheita do fruto, sendo de 86.87% e o tempo de deteção de colisão foi de $3,95 \pm 0,83$ segundos por fruta. Em conclusão, de acordo com o caso de estudo a implementação deste sistema aparenta ser deveras útil e efetivo para a colheita dos frutos.
Guido Urdaneta, Juan A. Colmenares, Néstor V. Queipo, Nelson Arapé, Carlos Arévalo, Mirché Ruz,	Este artigo descreve a utilização de um software arquitetura para o desenvolvimento de soluções de automação industrial empresarial para a indústria petrolífera. A sua conceção tem em mente fatores como a interoperabilidade, portabilidade,

<p>Héctor Corzo e Andreína Romero [17]</p>	<p>escalabilidade, disponibilidade, segurança, compatibilidade de sistemas legados, e capacidade de manutenção. Uma plataforma técnica composta por um servidor de aplicações J2EE, um sistema de gestão de <i>failover</i>, e, opcionalmente, uma exploração de servidores com um equilibrador de carga baseado no redireccionamento de IP está incluído no design.</p> <p>Em conclusão, através da implementação deste software foi possível ultrapassar a utilização de tecnologias específicas a uma plataforma de hardware/sistema operacional, restringindo a interoperabilidade e a portabilidade; a ausência de apoio à computação distribuída; e a incapacidade de resolver problemas de alta disponibilidade, escalabilidade e segurança.</p>
<p>F. J. G. Silva, G. Swertvaegher, R. D. S. G. Campilho, L. P. Ferreira e J. C. Sá [18]</p>	<p>Neste estudo de caso foi criada e testada uma estação de trabalho de preparação de fase móvel automatizada capaz de dispensar quantidades que vão desde 10 mL a 4,5 L de fase móvel. A estação de trabalho demonstrou excelente precisão na entrega de solvente, com uma percentagem de erro igual ou inferior a 0,35% para um volume de solução alvo de 10 mL, enquanto superou a preparação manual utilizando um cilindro graduado com uma tolerância de 0,1 mL e uma percentagem de erro igual ou inferior a 1,0%. Além disso, descobriu-se que a precisão e exatidão da dosagem do sistema não foram afetadas pelas variações de viscosidade e tensões superficiais dos solventes de HPLC utilizados rotineiramente.</p>

Após a realização da Tabela 1, compreende-se que a implementação da automação industrial oferece diversas vantagens para a indústrias, contudo a aplicação da automatização também apresenta vários desafios, tais como: [4], [8]

- Complexidade, uma vez que a incorporação de nova tecnologia num cenário atual requer um planeamento estratégico substancial, e dadas as atividades que os sectores fabris necessitam de realizar diariamente, a organização pode ser difícil. Muitos transportadores oferecem serviços associados para o ajudar a configurar o processo dentro da interface ou garantir que pode facilmente personalizar o dispositivo para satisfazer os seus requisitos comerciais. Como resultado, dominar todos os aspetos da automatização, tais como a forma de lidar com sensores e atuadores, é fundamental em qualquer organização.
- Segurança, visto que tantos dispositivos, sistemas e tecnologias estão interligados, existem mais pontos de entrada para estas violações de segurança, tornando as aplicações e serviços em larga escala que dependem da automatização cada vez mais vulneráveis à rutura por assalto ou roubo de informação. Dado que a indisponibilidade de serviços ou dados pode ter um impacto significativo nos clientes, é fundamental fornecer mecanismos de segurança para aumentar o nível de proteção de dados e segurança das mensagens comunicadas entre dispositivos, bem como de dispositivos (por exemplo, sensores e atuadores) à plataforma na nuvem para assegurar a continuidade do serviço e a segurança necessária.

2.2. Indústria Têxtil

O processo de fabrico têxtil encontra-se ligado à estrutura e aos requisitos básicos dos seres humanos, bem como à forma como as pessoas se expressam e às suas emoções individual e socialmente. Como resultado, espera-se que a automatização apresente um impacto na produção e nas práticas de consumo do vestuário. Consequentemente, a distribuição geográfica do sector têxtil alterou-se drasticamente durante os últimos 50 anos, resultando, na modificação das instalações de produção têxtil de manual para automatizada. De notar, que a indústria têxtil está a mudar o seu foco para a automatização, a fim de aumentar a produção, promover a eficiência, e adaptar-se às necessidades dos clientes.

2.2.1. Géneros de Estampagem

A indústria têxtil, como uma das mais antigas da história do crescimento industrial, possui várias vertentes. Entre elas destaca-se o negócio da estampagem têxtil. Apesar de ser um dos segmentos mais antigos da indústria, o sector têxtil, e consequentemente a estampagem têxtil, tem experimentado grandes iniciativas de reorganização e modernização nos últimos anos. [19], [20]

A estampagem têxtil é a técnica de decoração de têxteis, empregando procedimentos de estampagem especializados e maquinaria para aplicar pigmentos, corantes, ou outros materiais associados na forma de padrões. A impressão em bloco, serigrafia, impressão digital e *burnout* são os processos mais comuns de impressão direta [19], [20].

A impressão em bloco é um velho estilo de arte indiana que tem sido transmitido ao longo dos séculos. A impressão em *burnout*, tem como resultado desenhos distintos. Estes dois métodos são os menos comuns [19], [20].

A serigrafia tem permanecido tradicionalmente a tecnologia de impressão têxtil mais prevalente, com benefícios em termos de custos globais e produtividade, bem como simplicidade, versatilidade e rapidez em grandes quantidades de impressão. Além disso, as máquinas de serigrafia são frequentemente menos dispendiosas comparando com as máquinas de impressão de outros processos de estampagem [19], [20].

Na Figura 7 encontra-se a aplicação do processo de estampagem por serigrafia.

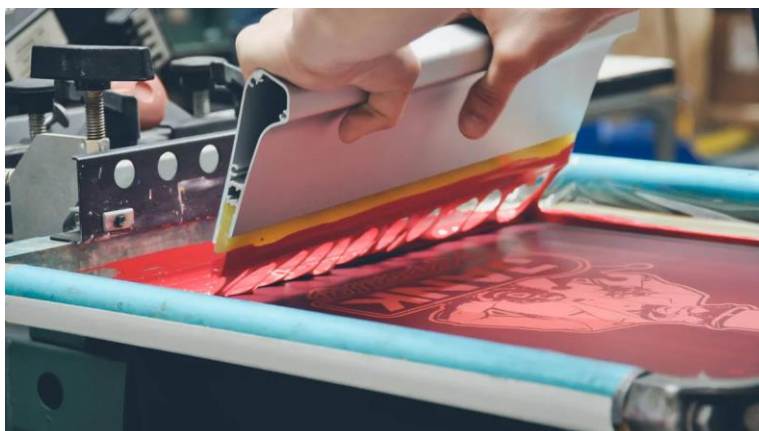


Figura 7 – Representação da impressão em serigrafia [21].

A impressão digital de têxteis a jato de tinta, pelo contrário, é uma das inovações mais interessantes nos sectores industrial e têxtil, proporcionando taxas de impressão mais rápidas para tiragens curtas, flexibilidade, criatividade, e vantagens ambientais. Além disso, a adoção de processos de impressão digital permite efeitos visuais melhorados, bem como uma maior versatilidade nos formatos de impressão, podendo ver-se na Figura 8 um exemplo de impressão digital. Ainda, permite um maior controlo da consistência da qualidade de impressão durante as tiragens de fabrico [19], [20].



Figura 8 – Representação da impressão de tinta a jato ou impressão digital [22].

2.2.2. Processo de estampagem industrial

Na presente dissertação o processo de estampagem industrial abordado é a impressão por serigrafia. Este método é vantajoso a nível industrial, uma vez que possibilita a produção em grande escala de diferentes designs. O processo de serigrafia ou impressão em tela requer a utilização de uma tela com o padrão desejado e um rolo para distribuir a pasta de impressão através do ecrã. O processo tem início com a colocação do tecido sobre uma mesa longa em cima da manta de impressão, as telas são baixadas, e a pasta é prensada sobre o tecido através das telas. Após a impressão, o material e a manta estampada são separados.

Atualmente com a implementação da automação no setor da indústria têxtil, este processo de impressão aborda as mesmas etapas, permitindo maior precisão e maior cadencia na produção. Na Figura 9 encontra-se um exemplo de um sistema de impressão em tela com seis locais para realizar a serigrafia.



Figura 9 – Exemplo de um sistema de estampa oval [23].

Com a utilização deste tipo de mecanismo, a aplicação da automatização noutros processo presente na indústria têxtil aparenta ser essencial; um exemplo é a utilização de uma máquina de termofixação, como a que mostra a Figura 10. Tendo em conta que após o processo de impressão em tela é necessário realizar uma secagem da roupa, de modo a garantir que o padrão impresso permaneça em boas condições e que todo o tipo de resíduos ou humidade seja eliminada, ou seja, aumentando a qualidade do material, implicando a satisfação do cliente.



Figura 10 – Exemplo de um modelo existente no mercado de uma máquina de termofixação [23].

Dando continuidade ao processo de estampagem industrial, após a secagem realizada pelo mecanismo na Figura 10, o produto têxtil é transportado por um trabalhador para um lote onde eventualmente irá ser encaminhado para o cliente. No entanto, de acordo com o que foi referido no capítulo anterior, automatizar este processo apresenta diversas vantagens para a eficiência global do processo de estampagem e para a empresa. Deste modo, o objetivo da presente dissertação consiste no desenvolvimento de um equipamento automatizado que realize a descarga dos produtos provenientes de uma máquina de termofixação.

Para a realização de tal, contudo, é essencial a implementação de diversos componentes e mecanismos que se empregam frequentemente na automatização de máquinas, tais como sistemas de deteção, sistemas de controlo e sistemas de acionamento e transporte.

2.2.3. Sistemas de deteção

Os sistemas de deteção são constituídos pelos diversos géneros de sensores e transdutores. Um transdutor descreve-se como um dispositivo que pode converter energia de uma forma para outra. Pode também estar presente tanto nas fases de entrada como de saída de um sistema de medição [4], [24]–[27].

Um sensor é um dispositivo que transforma um fenómeno físico num sinal elétrico a fim de detetar ou medir uma propriedade como localização, força, torque, pressão, temperatura, humidade, velocidade ou vibração. A tecnologia de sensores, que converte uma quantidade para outra, tornou-se uma componente significativa dos processos e sistemas de produção. Este equipamento também serve de ligação entre os dispositivos tecnológicos e o ambiente físico. O elemento ativo de um sensor é frequentemente referido como um transdutor [4], [24]–[27].

Um método utilizado para classificar os sensores é através do seu sinal emitido, dando origem aos sensores analógicos e sensores digitais. Os sensores analógicos detetam os parâmetros externos e emitem uma tensão analógica. Deste modo o sinal de saída originado é constantemente proporcional à quantidade que está a ser medida. Por outro lado, os sensores digitais são sensores eletrónicos que transformam e enviam dados digitalmente. Estes geram sinais “binários” com valores distintos (0s e 1s) [4], [24]–[27].

A necessidade destes componentes na automação industrial é essencial, deste modo existem inúmeras categorias de sensores, tais como, os sensores indutivos, sensores capacitivos, sensores de luz, sensores magnéticos, sensores de pressão, sensores de vácuo e sensores fotoelétricos [4], [24]–[27].

- **Sensores indutivos:**

Estes sensores utilizam-se em materiais metálicos e detetam flutuações na indutância geradas pelo movimento de um elemento concentrador de fluxo, podendo ver-se na Figura 11 um exemplo de um sensor indutivo. Estes são os sensores de posição mais adaptáveis, tendo uma grande variedade de propriedades operacionais. Os sensores indutivos são isentos de contacto, apresentam uma repetibilidade excelente e uma resolução ilimitada. São frequentemente utilizados em locais difíceis e perigosos, onde a fiabilidade a longo prazo é crítica [4], [24]–[27].



Figura 11 – Representação de um sensor de proximidade indutivo [27].

- **Sensores capacitivos:**

A uma distância de trabalho de até 10 mm, os sensores capacitivos detetam quase qualquer substância (papel, cartão, plástico, partículas metálicas, ou fluidas). Por outras palavras, este tipo de sensor deteta um amplo espectro de materiais a curta distância, especialmente materiais não metálicos. Proporcionam uma deteção de alta velocidade, sem contacto, e têm uma vida útil extraordinariamente longa. Os sensores de proximidade capacitivos funcionam criando um campo electrostático e detetando alterações nesse campo à medida que um alvo se aproxima da face de deteção [4], [24]–[27].

- **Sensores de luz:**

Um dispositivo que transforma a luz num sinal elétrico é conhecido como um sensor de luz. fotodíodos, fototransístores e fotocisões são todos exemplos de sensores de luz. Este tipo de sensor é útil para detetar a presença ou ausência de itens, medir a intensidade da luz, e detetar a presença de gases [4], [24]–[27].

Os fotodíodos são dispositivos semicondutores que produzem uma corrente elétrica quando expostos à luz. São frequentemente utilizados em dispositivos como câmaras e sensores como

detetores de luz. Os fototransistores são dispositivos de transistores sensíveis à luz. Quando expostos à luz, permitem que uma corrente flua através do transistor, que pode então ser medida e utilizada para avaliar a intensidade da luz. Os fotoresistores são resistências que alteram a resistência em reação à luz. São também conhecidas como resistências dependentes da luz (LDR). São frequentemente utilizadas para detetar a presença ou ausência de luz em circuitos sensíveis à luz [4], [24]–[27].

- **Sensores fotoelétricos:**

Ao contrário dos sensores de luz, os sensores fotoelétricos detetam a presença ou ausência de um item, utilizando um componente sensível à luz. Funcionam gerando um feixe laser que é refletido do que se encontra a ser detetado. Um recetor deteta então a luz e transforma-a num sinal elétrico. Nos processos de automatização e produção, os sensores fotoelétricos são frequentemente utilizados para identificar a presença ou ausência de itens, para medir a distância e localização, e para desencadear eventos ou equipamento de controlo. Os sensores de feixe passante, retrorrefletores e difusores são os tipos de sensores mais prevaletentes. [4], [24]–[28]

Os sensores por barreira de luz empregam um transmissor para entregar um feixe de luz a um recetor, que deteta a presença de um item quando o feixe é interrompido. Na Figura 12 encontra-se um exemplo de um sensor fotoelétrico [4], [24]–[28].



Figura 12 – Representação de um sensor por barreira e o seu respetivo transmissor [27].

Um transmissor envia um feixe de luz para um refletor, que depois reflete o feixe de volta para o recetor em sensores retrorrefletores. Quando o feixe é interrompido ou refletido de volta ao recetor de uma forma diferente, a presença de um objeto é reconhecida [4], [24]–[28].

Os sensores retrorrefletores empregam um transmissor e um recetor situados no mesmo lado do item detetado. Quando a luz é refletida de uma forma diferente para o recetor, a presença de um objeto é reconhecida [4], [24]–[28].

- **Sensores de pressão e vácuo:**

Os sensores de vácuo e os sensores de pressão são ambos tipos de sensores utilizados para detetar a pressão, embora funcionem de forma diferente e monitorizem tipos de pressão distintos.

Os sensores de vácuo são utilizados para detetar a pressão num espaço com uma pressão inferior à da atmosfera. Os sensores de vácuo detetam alterações de pressão dentro de um sistema selado e transformam-nas em sinais elétricos [4], [24], [25], [28], [29].

Em contraste, os sensores de pressão são utilizados para monitorizar a pressão de um gás ou líquido dentro de um sistema. Funcionam através da deteção e tradução da força produzida por um gás ou líquido sobre um diafragma ou outra forma de elemento flexível num sinal elétrico. Na Figura 13 encontra-se um exemplo deste género de sensores [4], [24], [25], [28], [29].

A gama de pressão que os sensores de vácuo e os sensores de pressão podem monitorizar é uma distinção crucial. Os sensores de vácuo destinam-se a monitorizar pressões extremamente baixas. Os sensores de pressão, por outro lado, podem ser construídos para monitorizar pressões que vão de extremamente baixas a extremamente altas [4], [24], [25], [28], [29].



Figura 13 – Representação de um sensor de pressão [27].

2.2.4. Sistemas de acionamento

Um sistema de acionamento refere-se ao mecanismo que fornece energia e controla o movimento de uma máquina ou dispositivo. Este é normalmente constituído por uma fonte de energia, um sistema de transmissão e vários componentes que convertem e regulam a energia para obter o movimento desejado. A fonte de energia pode ser um motor elétrico, um motor de combustão interna, um sistema hidráulico ou pneumático, ou qualquer outra fonte de energia que possa fornecer a potência necessária para acionar o sistema [4], [30].

O sistema de transmissão é responsável por transferir a potência da fonte para a máquina ou dispositivo. Isto pode ser conseguido através de meios mecânicos, como engrenagens, correias ou correntes, ou através de energia fluida, como os atuadores hidráulicos ou pneumáticos [4], [30].

Para além da fonte de energia e do sistema de transmissão, um sistema de condução pode também incluir componentes que regulam ou controlam o movimento da máquina ou dispositivo. Isto pode incluir sensores, controladores e mecanismos de feedback que ajustam a velocidade, o binário ou a direção do movimento para alcançar o resultado desejado [4], [30].

O objetivo de um atuador é transformar a potência do fluido em potência mecânica, deste modo este controla a saída do sistema de potência do fluido. A saída pode ser um movimento linear ou rotacional. Os cilindros são atuadores de saída linear que podem ser classificados como hidráulicos ou pneumáticos com base no fluido de trabalho. Estes classificam-se em cilindros de simples ou duplo efeito, dependendo da sua estrutura. A melhor forma de identificar estes equipamentos é por furo e curso, e podem também incluir opções tais como almofadas. Para evitar a colisão, as almofadas abrandam o cilindro para a conclusão do curso [4], [27], [30].

Um cilindro é um dos componentes mais básicos do sistema hidráulico. Os cilindros, um dos mais fundamentais componentes de potência fluida, evoluíram para uma variedade quase infinita de formas, tamanhos, e desenhos únicos. Esta adaptabilidade não só permite projetos mais imaginativos, como também permite numerosas aplicações que não seriam viáveis sem os cilindros. Como ilustrado na Figura 14, um cilindro é constituído por um corpo de cilindro e um conjunto de haste e pistão que se movem no seu interior [4], [27], [30].

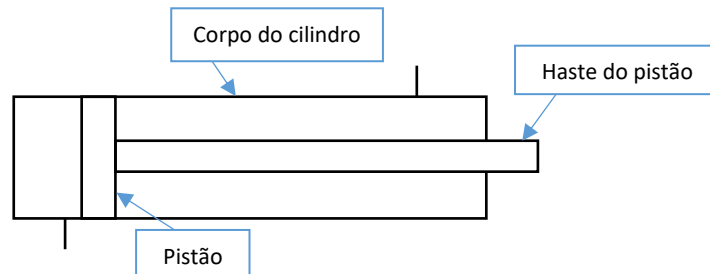


Figura 14 – Constituição de um atuador linear

Este género de equipamentos é responsável pela geração de movimento. O seu funcionamento tem por base a aplicação de uma pressão a uma porta, fazendo com que o fluido preencha esse lado do cilindro. De seguida, se a pressão do fluido e a área do cilindro forem maiores do que a carga associada, a carga irá deslocar-se. Se a pressão se mantiver constante, um cilindro de maior diâmetro irá fornecer mais força porque a pressão irá incidir sobre uma maior área de superfície [4], [27], [30].

Os cilindros são classificados como cilindros de simples ou duplo efeito (Figura 15), com base na sua estrutura. A principal distinção entre os dois cilindros é que os cilindros de simples efeito só podem ser pressurizados a partir de uma extremidade, enquanto os cilindros de duplo efeito podem ser pressurizados a partir de ambas as extremidades. [4], [27], [30]



Figura 15 – Representação de um cilindro simples à esquerda e de atuação dupla à direita [27].

Um motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica, muitas vezes através de um motor e algum tipo de ligação mecânica, como engrenagens ou um parafuso. Estes são frequentemente utilizados em sistemas de automação que exigem um controlo e colocação precisos. Podem ser concebidos para realizar uma vasta gama de atividades e podem ser controlados utilizando uma série de formas, tais como modulação de largura de pulso, sinais analógicos, ou sinais digitais. Os motores elétricos utilizam-se numa variedade de sectores, incluindo industrial, automóvel, aeroespacial e robótica. [4], [27], [31]–[33].

Os atuadores rotativos fornecem movimento rotativo e são frequentemente utilizados para girar itens em torno de um eixo. Os atuadores lineares, por outro lado, fornecem movimento linear e

são frequentemente utilizados para mover itens ao longo de um caminho linear, podendo ver-se na Figura 16 a sua estrutura. Devido à sua simplicidade, o atuador linear está cada vez mais difundido no negócio da automatização [4], [27], [31]–[33].



Figura 16 – Representação de um exemplo de um atuador elétrico linear [27].

Os servomotores e motores passo a passo funcionam segundo os mesmos princípios. Estes motores são compostos por um rotor e um estator, com o estator segurando um conjunto de eletroímãs em forma de círculo. O rotor é um ímã permanente que atrai magneticamente o estator. Quando é dada uma corrente elétrica ao estator, é criado um campo magnético que atrai o rotor e faz com que este gire. O rotor pode ser feito girar em incrementos ou passos exatos, regulando cuidadosamente a corrente para o estator. Contudo, existem distinções significativas, tais como velocidade, onde os servomotores são frequentemente mais rápidos do que os motores a passo-passo devido às suas maiores velocidades e relação torque-inércia. Outra distinção é a precisão de cada atuador, sendo o servomotor mais exato, resultando em equipamento mais caro do que o atuador do motor passo-a-passo. Ambos são frequentemente utilizados numa vasta gama de aplicações, incluindo impressoras 3D e robôs [4], [27], [31]–[33].

Na Figura 17 encontra-se um exemplo de um modelo de um servo motor e um motor passo a passo, através desta figura é possível ver as semelhanças entres os dois elementos.

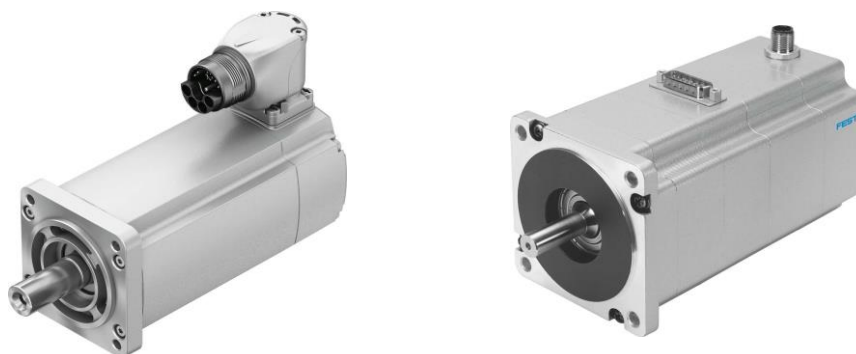


Figura 17 – Representação à esquerda de um servomotor e à direita de um motor passo a passo [27].

Para finalizar os diferentes tipo de motor elétrico achou-se relevante referir os motores síncronos e assíncronos, sendo que estes são os dois exemplos bastante comuns de motores elétricos utilizados em várias aplicações industriais e comerciais [4], [27], [31]–[33].

Os motores síncronos possuem um campo magnético que roda à mesma velocidade que o rotor do motor. Esta sincronização mantém-se através de uma fonte de alimentação de corrente contínua

ou de um circuito eletrônico denominado excitador. Os motores síncronos são altamente eficientes e são normalmente utilizados em aplicações onde é necessária uma velocidade constante, como em compressores de ar, bombas e geradores. Também são utilizados em relógios elétricos, uma vez que a velocidade constante garante uma cronometragem precisa [4], [27], [31]–[33].

Os motores assíncronos, também conhecidos como motores de indução, funcionam segundo o princípio da indução eletromagnética. Não apresentam um ímã permanente ou um enrolamento de campo no rotor, mas sim uma série de barras condutoras ou enrolamentos do rotor que criam um campo magnético rotativo quando a eletricidade é fornecida ao estator. O rotor segue então este campo magnético rotativo, mas a uma velocidade ligeiramente mais lenta, resultando na rotação do motor. Os motores assíncronos são amplamente utilizados em várias aplicações, incluindo ventiladores, sopradores, sistemas de transporte e compressores [4], [27], [31]–[33].

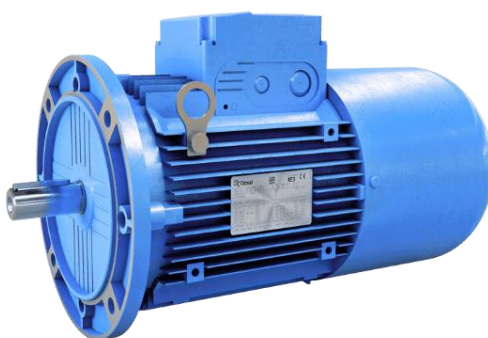


Figura 18 – Representação de um motor elétrico assíncrono, adaptado de [34]

Uma das principais vantagens dos motores assíncronos é a sua simplicidade, uma vez que não necessitam de uma fonte de alimentação CC ou de circuitos eletrônicos para manter a sincronização. Também são mais econômicos do que os motores síncronos e são mais fáceis de manter. No entanto, os motores assíncronos são menos eficientes do que os motores síncronos e podem sofrer um fenômeno chamado "deslizamento", em que a velocidade do rotor fica atrás do campo magnético rotativo do estator. Este deslizamento pode resultar numa redução da potência e da eficiência [4], [27], [31]–[33].

2.2.5. Sistemas de transmissão

Os sistemas de transmissão encontram-se divididos em diversas categorias, contudo a presente dissertação, debruçar-se-á apenas sobre os sistemas de transportadores modulares. Os tapetes rolantes são dispositivos mecânicos utilizados para transportar materiais de um local para outro dentro de uma instalação ou entre instalações diferentes. São utilizadas numa vasta gama de indústrias, incluindo a indústria transformadora, a indústria mineira, a agricultura e os transportes.

As correias transportadoras são concebidas para mover materiais ao longo de um percurso contínuo, utilizando uma correia ou tela feita de material flexível, normalmente de borracha, PVC ou nylon. A tela é enrolada em torno de uma série de polias, que são acionadas por um motor para mover a correia e a sua carga [35]–[37].

O primeiro design a ser abordado será o mais comum, os transportadores de tela plana. Estes equipamentos apresentam uma correia que se desloca sobre polias, que são acionadas por um motor para mover a correia e os materiais transportados ao longo do seu comprimento [35]–[37].

Os transportadores de correia plana existem numa variedade de tamanhos e configurações para se adequarem a diferentes aplicações. Podem ser concebidos para transportar mercadorias horizontalmente ou numa inclinação, e podem mesmo ser utilizados numa configuração vertical para elevar materiais entre diferentes níveis. Alguns transportadores de correia plana possuem paredes laterais para evitar que os produtos caiam dos lados da correia durante o transporte [35]–[37].

Contudo, de modo a garantir que o a tela se mantém sempre esticada diminuindo as forças nas polias, costumam-se utilizar dois métodos, dando origem ao tapete transportador de placa de fricção e ao tapete transportador com rolos livres. A superfície em contacto com a correia é a principal diferença entre estes transportadores. No caso de um transportador de correia deslizante é necessária uma chapa de superfície nivelada e lisa para suportar a correia transportadora. Esta chapa deslizante é normalmente composta por aço ou outro material duro e oferece uma superfície plana sobre a qual a tela desliza. Esta conceção diminui o atrito e permite que a correia se desloque mais facilmente pelo transportador. Os transportadores de rolos, por outro lado, utilizam rolos como superfície de apoio do material transportado. Na Figura 19 encontram os géneros de transportadores modulares [35]–[37].



Figura 19 – Representação de tapete rolante (a) com chapa de fricção (b) com rolos livres, adaptado de [37]

Por fim ainda existem os transportadores de correia modular, que constituem um género de sistema de transporte que utiliza correias modulares de plástico em vez das tradicionais telas planas. Estas correias são feitas de módulos individuais interligados que podem ser facilmente substituídos em caso de danos, o que as torna mais duradouras e eficientes. O design dos transportadores de correia modulares permite a personalização para se adequar a uma vasta gama de aplicações, e podem lidar com uma variedade de tamanhos e formas de produtos. São normalmente utilizados em indústrias como a transformação de alimentos, embalagem e fabrico automóvel, entre outras. Uma das vantagens dos transportadores de correia modulares é o facto de poderem ser facilmente integrados com outros sistemas automatizados, como robôs ou sensores, para aumentar ainda mais a sua eficiência e flexibilidade [35]–[37].

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se uma visão geral de todo o trabalho de desenvolvimento desta dissertação, começando pela caracterização do problema, que inclui uma análise do problema em questão, progredindo pela análise das possíveis soluções e o raciocínio realizado, finalmente, pelo desenvolvimento do projeto em estudo, bem como de todas as especificações necessárias e estudadas para a realização do projeto.

3.1. Caracterização da empresa

A Inovocorte remonta a abril de 2010, data em que foi fundada, como projeto de vida, nasce do labor e visão do seu sócio, por absorção do forte conhecimento do negócio, dos processos industriais e da quota de mercado, por influência de Salvador Abreu Machado, que sempre se dedicou ao ramo da Metalomecânica.

Em janeiro de 2017, como estratégia de mercado, a Inovocorte comprou a fusão com a Salvador Abreu Machado, empresa da família Machado, e que conta com mais de 46 anos de história na metalomecânica, em particular o mobiliário metálico. Esta fusão possibilitou alargar e diversificar a oferta de produtos/ prestação de serviços, desde: mobiliário, design, arquitetura, engenharia, subcontrato, construção civil, ficando a laborar em duas unidades separadas.

Neste contexto as instalações começam a ser limitadas e desadequadas à realidade, em 2018 dá-se início à construção da nova unidade industrial e a 3 de junho de 2019, são inauguradas as atuais instalações em Lordelo, Paredes.

Instalações dotadas de excelentes condições, com novos equipamentos, tecnologia de ponta, permitiram à Inovocorte trabalhar em dois vetores: produto próprio e subcontrato. Especificamente no subcontrato, nas áreas de: Corte laser chapa, corte laser tubo, corte e quinagem, estampagem, construções soldadas e tratamento de superfícies. Atualmente a Inovocorte trabalha para as mais distintas indústrias:

- Mobiliário;
- Alfaias agrícolas;
- Automação Industrial;
- Construção Civil;
- Máquinas industriais.

O projeto da presente dissertação enquadra-se no setor de máquinas industriais.

3.2. Caracterização do processo

A proposta apresentada pela Inovocorte corresponde a uma máquina que realize a descarga de peças de roupa que podem variar entre 50 mm e 700 mm de largura e 50 mm a 800 mm de comprimento. Estes artigos provêm de uma máquina de termofixação que os movimenta a uma velocidade de 20 m/min, numa cadência de 800 peças por hora. De notar que a cadência é resultante de um funcionário que coloca os artigos ou de um braço robótico.

Este procedimento foi implementado com vista a melhorar a indústria têxtil, que ainda requer uma grande quantidade de mão-de-obra, embora a transição para um sistema mais automatizado permita uma redução de custos e um aumento da produtividade. Deste modo, o descarregamento das peças de roupa consiste num processo monótono e repetitivo, podendo ver-se as etapas necessárias na Figura 20.

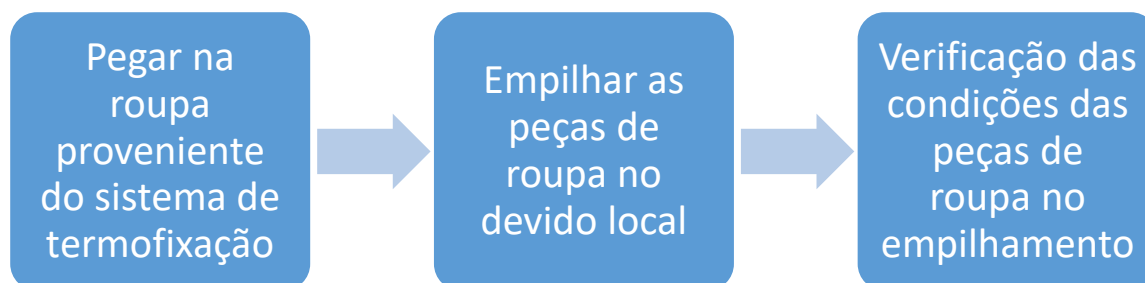


Figura 20 – Esquema representativo do processo a substituir.

A resolução deste problema teve em conta os pressupostos definidos pelo cliente, onde os requisitos acordados são:

- As dimensões da máquina só podem atingir no máximo 2000 mm e 3000 mm de largura e comprimento respetivamente;
- O sistema de descarga deve apresentar a máxima capacidade de roupa;
- A máquina deve apresentar a capacidade de poder empilhar no mínimo dois artigos simultaneamente.

3.3. Desenvolvimento do projeto

Tendo em conta a importância de traçar uma linha de ação clara para o desenvolvimento bem-sucedido do projeto, convocamos uma sessão de brainstorming para deliberar e definir estratégias para os passos futuros. Os presentes nesta sessão foram três engenheiros pertencentes ao departamento de projeto mecânico e um engenheiro de automação. Posteriormente toda a informação obtida foi transmitida ao meu orientador que também sugeriu diversos aspetos relevantes para o projeto final do sistema.

Com os objetivos do projeto em vista, propôs-se inicialmente uma solução simples com a implementação de um sistema único capaz de recolher e empilhar peças até atingir a capacidade total, ou seja, utilizar uma plataforma móvel que se deslocava na vertical e horizontal.

Contudo, após uma análise mais minuciosa das especificações e das condições apresentadas pelo sistema de termofixação, representado na Figura 21, apercebeu-se que esta abordagem não era viável. A plataforma móvel, que constituía o núcleo deste sistema proposto, apenas transportava peças com um comprimento máximo de 500 mm, ficando aquém da exigência de transitar artigos com um comprimento máximo de 700 mm.



Figura 21 – Representação da distância disponível da máquina de termofixação [23].

Após a análise do método anterior, tornou-se evidente a necessidade de expandir o trajeto percorrido pelas roupas. Assim, o plano de desenvolvimento do sistema proposto visa adotar a mesma abordagem que o método da plataforma móvel anterior, mas com uma ligeira modificação. Em vez de se recolher diretamente a roupa do sistema de termofixação, foi integrada no processo uma correia transportadora.

Como consequência, o sistema de descarga da máquina de termofixação consiste agora em dois componentes primários: a montagem da correia transportadora e a montagem da plataforma. O primeiro é utilizado para aumentar a distância que as peças de vestuário percorrem, enquanto o segundo utiliza-se para recolher e empilhar a roupa.

Foram propostas várias soluções adicionais, para além das anteriormente delineadas. Entre estas, a solução mais eficaz e relevante seria desenvolver um braço robótico com uma pinça na extremidade para agarrar e empilhar itens numa plataforma. No entanto, o desenvolvimento da pinça é crítico, uma vez que o movimento das peças poderia afetar o seu empilhamento, devido a considerações aerodinâmicas. Apesar deste desafio, esta solução oferece uma vantagem significativa, uma vez que permite que verificações de controlo de qualidade sejam implementadas a meio do processo. É de notar que esta opção é também consideravelmente mais cara.

Outra possibilidade sugerida foi a de substituir a configuração da plataforma móvel por um sistema semelhante ao descrito na Figura 22. Este consiste também numa plataforma móvel, mas o empilhamento decorreria num local diferente. A principal diferença entre este mecanismo e o anterior é que a roupa seria transportada por gravidade, o que poderia levar a complicações no empilhamento devido ao seu baixo peso. Na Figura 22, visto que a roupa se encontra dobrada facilita o seu transporte possibilitando este género de mecanismo.



Figura 22 – Outra solução abordada para a estrutura do sistema de descarga, adaptado de [23]

3.4. Descrição da solução adotada

Atendendo à intensa rivalidade no sector têxtil e ao predomínio da mão-de-obra, a adoção destas tecnologias emergentes pode culminar na prosperidade de diversas empresas. Neste caso específico, todo o trabalho físico é direcionado para retirar o vestuário dos sistemas. Deste modo, este projeto tem como objetivo automatização deste procedimento.

De modo a obter a automatização do processo, decidiu-se primeiramente enumerar a sequencia logica que o sistema necessita de exercer, com o objetivo de auxiliar o sistema de descarga:

1. Primeiramente é necessário retirar a roupa proveniente do tapete rolante, tendo em conta que a peça é composta por um pano bastante delicado e deforma-se facilmente, desta forma os transportes dos artigos devem ser realizados com extremo cuidado;
2. Após a roupa ser transportada para o sistema de descarga, este precisa de executar um movimento na horizontal e na vertical possibilitando o empilhamento das peças de roupa;
3. De seguida, com o intuito de garantir que a quantidade de roupa empilhada corresponde à capacidade máxima do sistema, introduziu-se uma etapa onde se realiza a compressão da roupa a uma chapa. A etapa de compressão realiza-se após uma peça de roupa ser recolhida;
4. No final, quando o sistema atingir a capacidade máxima de roupa, este termina um ciclo e suspende o seu movimento, permitindo a remoção do empilhamento da roupa. Depois da roupa ser retirada o sistema volta à sua posição de origem.

3.5. Projeto

De acordo com os requisitos numerados anteriormente, o projeto do sistema de descarga encontra-se dividido em dois conjuntos, nomeadamente, o conjunto responsável pela extensão do trajeto do vestuário e o conjunto responsável pela recolha dos artigos. No entanto, esta dissertação centrar-se-á no desenvolvimento mecânico do primeiro conjunto, que se destina a prolongar o percurso do vestuário, podendo ver-se na Figura 23 o resultado obtido.

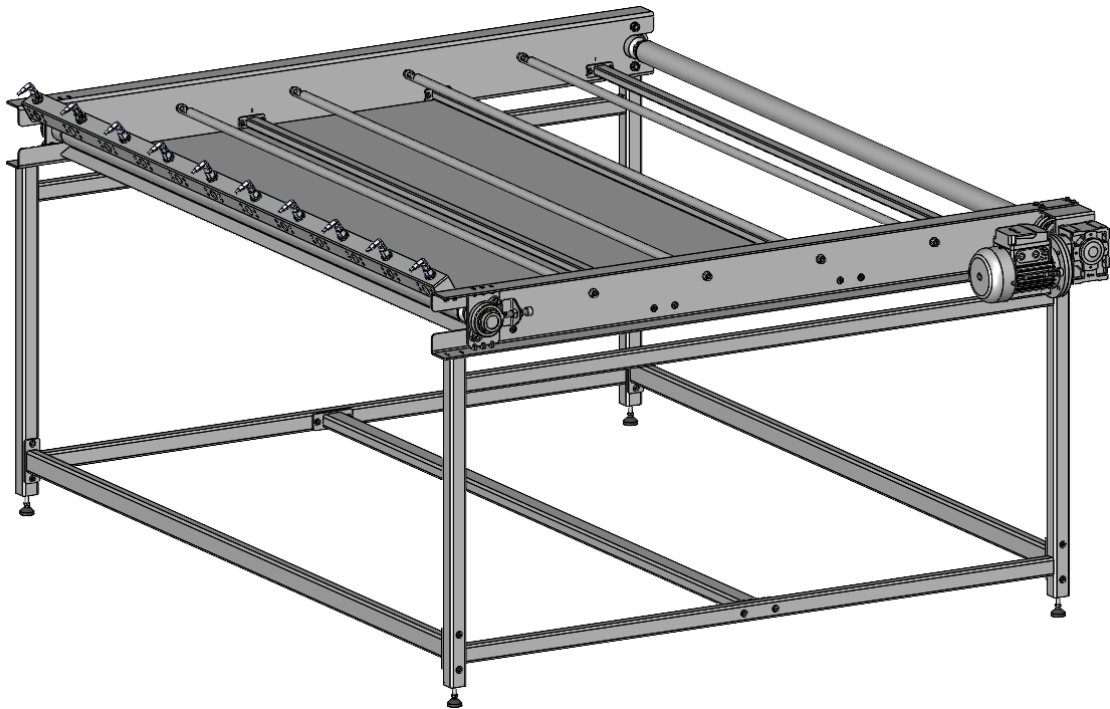


Figura 23 – Conjunto do tapete rolante.

O desenvolvimento da configuração do conjunto do tapete rolante foi o primeiro passo no processo. Para o conseguir, foi necessário definir o modelo a utilizar. Após uma análise dos diferentes géneros de um tapete transportador modular, decidiu-se desenvolver um tapete com transmissão por tela, uma vez que os artigos transportados possuem baixa massa, tornando-o o modelo mais acessível e mais barato.

De seguida, para assegurar que o sistema pode transportar dois artigos simultaneamente, a largura da tela (L_{tela}) corresponde a 1800 mm de largura. Isto deve-se ao facto de a largura máxima do sistema de termofixação ser de 1800 mm, com a exigência de largura máxima a ser de 2000 mm. Deste modo é possível transportar dois itens em simultâneo no tapete rolante, uma vez que a largura máxima de duas peças nunca ultrapassa a largura estabelecida para a tela.

Na etapa seguinte garantiu-se que o sistema pudesse transportar o número máximo de artigos. Dois tópicos foram abordados para o conseguir. Em primeiro lugar, tendo em conta que a base inferior do sistema de termofixação se situa a 900 mm do solo, introduziram-se suportes laterais de modo a conferir uma altura de entrada do tapete rolante equivalente a 900 mm, contudo esta pode ser ajustável, com o objetivo de evitar desnivelamentos entre o sistema de termofixação e o sistema transportador. Desta forma assegura-se uma passagem de roupa suave e evitam-se problemas como artigos ficarem presos no tapete do sistema de termofixação, o que prejudicaria a capacidade máxima.

Após troca de ideias com colegas, implementou-se outro método para garantir que a capacidade máxima dos artigos seja respeitada. Especificamente, durante o ciclo de recolha de roupa, foi introduzido uma etapa em que a plataforma executa uma compressão antes de recolher os artigos. Deste modo, assegura-se que o número máximo de artigos pode ser transportado.

Globalmente, é crucial assegurar que a conceção do sistema de descarga seja fiável e eficiente, considerando todos os requisitos e constrangimentos envolvidos. Ao abordar estas questões, o sistema de descarga será capaz de transportar o vestuário de forma eficiente e eficaz.

Tabela 2 – Lista de peças do transportador modular.

ITEM NO.	DESCRIÇÃO	PÁG.	ITEM NO.	DESCRIÇÃO	PÁG.
0101-02	TUBO CENTRAL	64-66	2001-02	CHAPA MÓVEL	77-78
0201	VEIO MOTOR	64-66	2101-02	REFORÇO INFERIOR PEQ	87-88
0301	VEIO GUIA 1	64-66	2201	VEIO TRANSMISSAO	67
0401-04	TUBO VERTICAL	88-92	2301-08	TUBO ESMAGAMENTO GRA	88-92
0501-04	TAMPA	88-92	2401-04	TUBO ESMAGAMENTO PEQ	88-92
0601-02	TUBO HORIZONTAL S/ FUROS	88-92	2501	REFORÇO INFERIOR GRA	87-88
0701-02	TUBO HORIZONTAL C/ FUROS	88-92	2601-06	SUPORTE REFORÇO INFERIOR	87-88
0801	SUPORTE LATERAL ESQ	88-92	2701	SUPORTE MOTORREDUTOR	75
0901-12	SUPORTE DESLIZAMENTO	80	2801-04	CHUMACEIRA	73
1001-02	SUPORTE ESTICADOR	79	2901	LIMITADOR DE TORQUE	67
1101	SUPORTE LATERAL DIR	88-92	3001	MOTORREDUTOR	61-64
1201-04	TUBO INTERMEDIO	74	3101-10	SENSOR	83-84
1301	REFORÇO SUPERIOR 1	86-87	3201-10	CABO DO SENSOR	83-84
1401-02	REFORÇO SUPERIOR 2	86-87	3301	SUPORTE SENSOR	84-85
1501	REFORÇO SUPERIOR 3	86-87	3401	SUPORTE REFLETOR	85
1601-08	SUPORTE REFORÇO SUPERIOR	86-87	3501-02	CHAVETA PARALELA PEQ	46-47
1701	CHAPA COMPRESSÃO	81-82	3601	CHAVETA PARALELA GRA	46-47
1801	VEIO CHUMACEIRA	64-66	3701-02	ANEL ELASTICO	46-47
1901	VEIO GUIA 2	64-66	3801-04	PÉS NIVELADORES	90

Na Tabela 2 encontra-se a lista de peças do conjunto (não se colocaram os elementos de fixação (parafusos, porcas, anilhas), contudo estes serão abordados, dimensionados e numerados na página 92).

De acordo com a Figura 23 verifica-se o sistema transportador apresenta dois rolos principais, sendo um mandante e o outro de guiamento da tela, ambos os rolos nas suas extremidades apresentam duas chumaceiras com rolamento de esferas permitindo a sua rotação. O rolo mandante encontra-se conectado ao motor. A conexão entre o motor e o rolo mandante não se realiza diretamente, uma vez que o motor apresenta um binário muito elevado e, por segurança, introduziu-se um limitador de torque. Deste modo para conectar o limitador de torque ao motor foi necessário inserir um veio, cujo objetivo é transmitir a rotação produzida pelo motor para o conjunto. A transmissão de rotação é realizada através de três chavetas, duas chavetas paralelas A ISO/R 773 6X6X20-St (3501-02), uma para a ligação do rolo mandado e do limitador de torque e outra para a ligação limitador de torque e o veio. Na última conexão, ou seja, a ligação do veio e do motor utilizou-se a chaveta paralela A ISO/R 773 6X6X36-St (3601). Na Figura 24 veem-se estas três

ligações tal como o impedimento do movimento lateral do limitador de torque, que é realizado através de dois anéis elásticos DIN 471-19-1,2-St (3701-02). As chavetas e os anéis elásticos são ambos fornecidos pela Norelem [38].

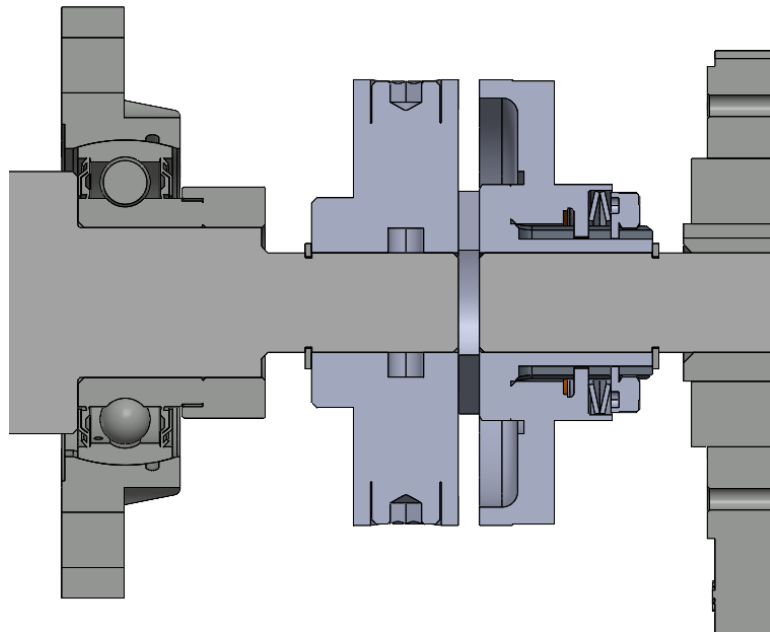


Figura 24 – Representação da transmissão de velocidade presente no transportador modular.

Um conjunto com elevada importância para este sistema é o tensor da tela, que usa um fuso roscado para empurrar o rolo de guiamento, conferindo uma pré-tensão à tela. Deste modo a tela encontra-se na dimensão pretendida e assim é possível evitar o patinar da mesma.

Também é possível ver na Figura 23 que o tapete rolante apresenta uma chapa quinada para proteger o tapete e evitar o deslocamento horizontal dos rolos. Esta chapa encontra-se soldada aos tubos verticais, dando origem à estrutura lateral do sistema. A estrutura lateral existe do lado esquerdo e direito dos rolos para conferir estabilidade e altura ao sistema. Horizontalmente também existem tubos que servem para aumentar a resistência do sistema transportador e para suportar a plataforma móvel que eventualmente será inserida no topo destes.

Outro aspeto bastante importante na conceção do tapete rolante foi a introdução da chapa de compressão. Esta chapa encontra-se posicionada junto do rolo guia, ou seja, o mais próximo da extremidade de saída dos artigos. A razão por esta se encontrar nesta posição provém do facto de ser essencial a plataforma móvel recolher as peças de roupa, executando o menor trajeto possível. Através da cadência do sistema de termofixação, que corresponde a 800 peças de roupa por hora, obteve-se a Equação 1 onde se calcula o tempo entre artigos ($t_{peça a peça}$). Assim, conclui-se que o tempo disponível para a plataforma móvel realizar o seu trajeto é reduzido e encontra-se dividido por quatro etapas: a etapa de recolha da roupa, a etapa de movimento para o local de compressão, de seguida a etapa onde os artigos são comprimidos e a última etapa corresponde ao movimento para o local final.

Sabendo que a cadência = 800 artigos/hora, deste modo:

$$t_{peça a peça} = \frac{60 \times 60}{800} = 4,5 \text{ s}$$

Equação 1

Para finalizar a descrição do sistema de transporte modular, ainda é necessário abordar o método adotado para a comunicação entre o tapete rolante e a plataforma móvel, ou seja, como é transmitida informação para dar início ao movimento de recolha de artigos realizado pela plataforma móvel.

No momento em que as peças de roupa terminam o trajeto do tapete rolante a plataforma móvel necessita de ser informada para começar o seu ciclo. Deste modo, inseriram-se diversos sensores (Figura 23) de modo que quando a roupa está a deslizar do tapete o feixe de luz transmitido pelo sensor é interrompido e envia um sinal para a plataforma iniciar o seu movimento. Assim inseriu-se o conjunto sensor no sistema transportador e na Figura 25 encontra-se uma representação mais detalhada do processo descrito. De notar, que na presente dissertação apenas se desenvolveu o projeto mecânico, em que se selecionaram os componentes mais aconselhados para o caso em estudo, desta forma a programação do conjunto sensor ficou a cargo de outro colega da empresa, cuja, especialidade é engenharia eletrotécnica.

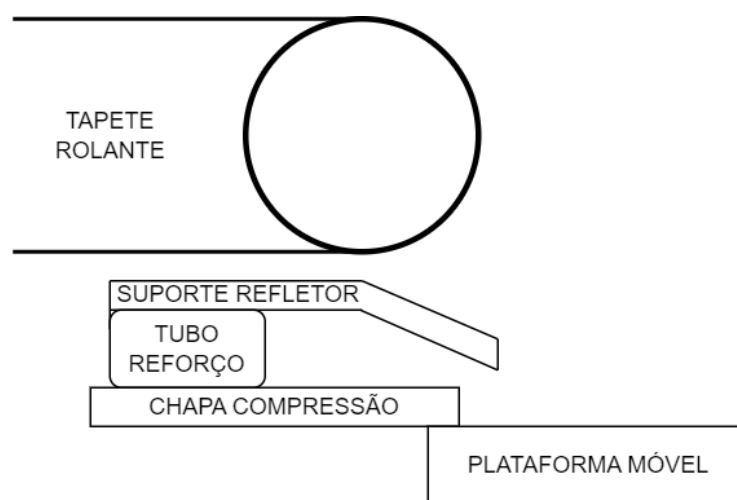


Figura 25 – Representação do procedimento de remoção dos artigos do tapete rolante.

No lado do sistema de acionamento, inseriu-se uma caixa de controlo para dar início ao sistema transportador, contudo o posicionamento desta ainda não é definitivo pois com a introdução do conjunto da plataforma móvel pode existir necessidade de a reposicionar. No topo da caixa de controlo situa-se um botão de emergência. Contudo como estes componentes ainda não se encontram definidos, não foram inseridos no conjunto.

3.5.1. Seleção da tela

Para garantir que o equipamento industrial possa resistir às condições de trabalho mais extremas, deve ser concebido para funcionar nas circunstâncias com maior exigência na sua aplicação, mesmo que essas circunstâncias sejam raras ao longo da vida útil do equipamento. Esta abordagem garante que o equipamento pode suportar qualquer cenário possível e funcionar de forma fiável ao longo do tempo.

O dimensionamento de diversos componentes pertencentes ao tapete rolante necessita de características provenientes da tela, deste modo a primeira etapa foi determinar qual seria a tela mais adequada para o caso de estudo. Após analisar os fornecedores mais familiares à empresa Inovocorte, decidiu-se que a tela será fornecida pela empresa Habasit.

Consequentemente, efetuou-se uma reunião com os representantes da Habasit. Nesta reunião foi explicado o contexto em que seria aplicada a tela e foram indicadas 3 telas, podendo ver-se amostras das telas fornecidas na Figura 26. De notar que também foi fornecido o preço para cada tela, e esta informação foi deveras importante para a seleção da tela.

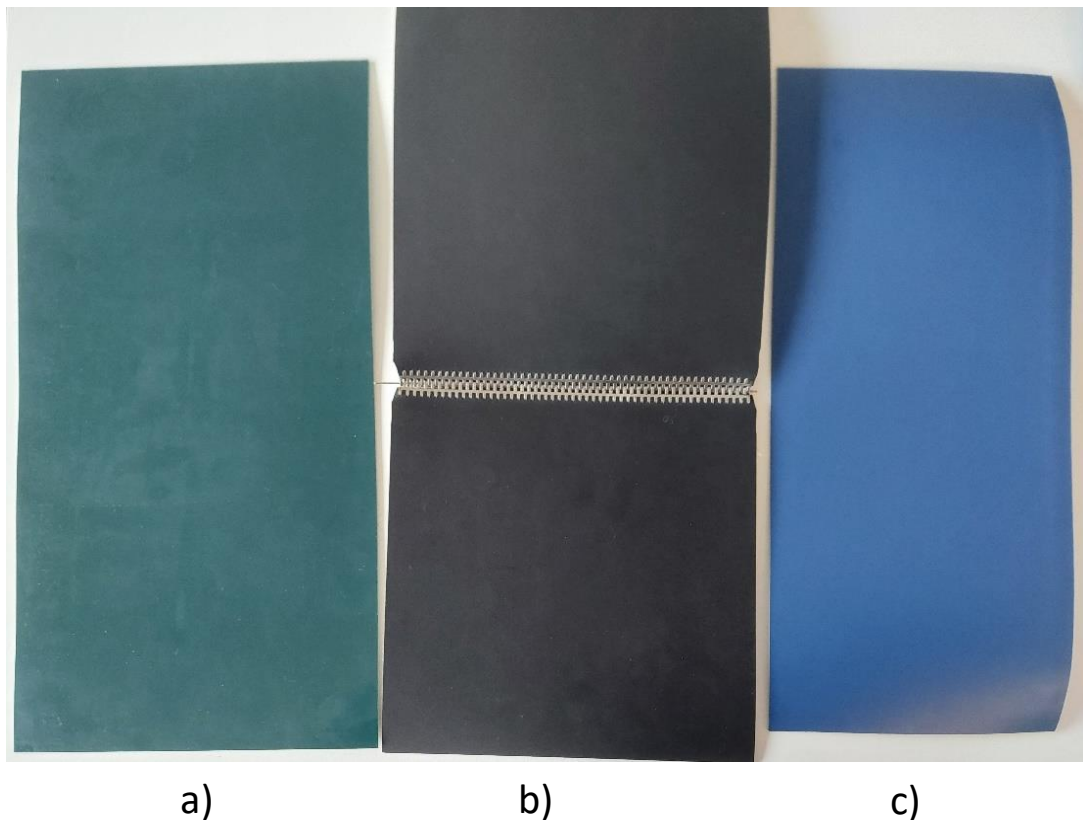


Figura 26 – Telas fornecidas pelo representante: a) F-5EXCT; b) NHM-10EKBV; c) NAB-7EEDV.

Tendo em conta as telas propostas pelos representantes da Habasit algumas propriedades são essenciais para o devido funcionamento do transportador modular, sendo estas:

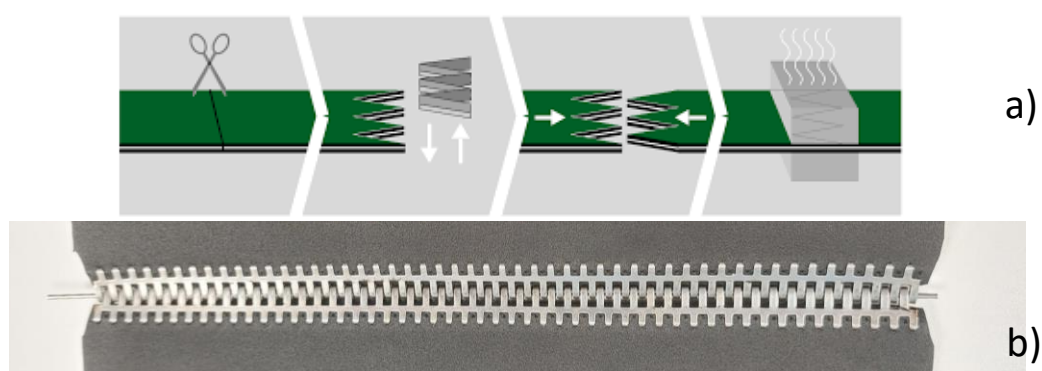
- A largura pretendida da tela, uma vez que 1800 mm é uma dimensão elevada e muitos fornecedores não apresentam telas com essa dimensão;
- Ser anti estática, visto que o material transportado é tecido e o acumular de eletricidade estática pode colocar em risco a segurança do sistema de descarga como a dos trabalhadores que movem o lote de artigos;
- A superfície onde se movimentam as peças de roupa não ser adesiva, pois pode impedir o seu transporte;
- O preço ser baixo, devido à competitividade do mercado têxtil.

Considerando estas propriedades, a tela escolhida foi a NHM-10EKBV 11. A tela F-5EXCT apesar de apresentar boa durabilidade e boas propriedades apresenta um preço exorbitante e a sua área de aplicação destina-se ao setor alimentar, e a tela NAB-7EEDV independentemente de ser a tela com o preço mais reduzido ao material a ser transportado. Na Tabela 3 encontram-se os atributos mais significativos da tela selecionada. O catálogo da tela está no ANEXO A.

Tabela 3 – Propriedades fundamentais da tela selecionada, NHM-10EKBV [39].

Material do lado de transporte	Policloreto de vinilo (PVC)
Propriedade do lado de transporte	Não adesivo
2 camadas	Ambas Poliéster (PET)
Espessura da tela	2,1 mm
Massa por metro quadrado da tela	2,4 Kg/m ²
Força de tracção para 1% de alongamento (k1% estático) por unidade de largura	11 N/mm
Força de tracção para 1% de alongamento após relaxamento (k1% relaxado)	7,0 N/mm
Largura produzida sem fabrico	3000 mm
Diâmetro da polia mínimo	40 mm

Outro tópico abordado na reunião foi a união da tela do tapete rolante. Tendo sido sugerido uma junção mecânica ou uma junção através de uma prensa quente, mais em específico o método *flexproof*, podendo ver-se as diferenças entre os métodos na Figura 27. A junção *flexproof* é a mais simples, no entanto o facto de esta ter de ser aplicada antes da tela ser colocada no transportador modular levaria a diversos problemas, pois o seu transporte e montagem tornar-se-iam mais complexos. Ao contrário do método anterior, a junção mecânica, uma vez que se baseia em colocar um pino entre os dentes presentes nas extremidades do tapete, possibilita a montagem da tela após a estrutura do tapete rolante se encontrar finalizada. Deste modo, a junção mecânica foi o método escolhido.

Figura 27 – Métodos de união da tela: a) *flexproof*; b) junção mecânica [40].

Antes da reunião ser dada como terminada, ainda foi discutida a necessidade da utilização de um componente que impedisse o descentramento da tela. As soluções propostas foram a utilização de polias cilíndrico-cónicas (com coroa trapezoidal) ou perfis de guiamento.

De acordo com a informação fornecida pelo representante, as polias cilíndrico-cónicas são úteis para manter as correias transportadoras no caminho correto. Devido à forma da polia, a tela desloca-se naturalmente para o centro. Se a tela se desviar para uma das extremidades da polia, as forças aumentam nesse lado e diminuem no outro, levando ao guiamento da tela de volta para o

centro. Estas polias proporcionam um efeito automático de autodeslocamento da tela e não necessitam que o eixo seja ajustado, mesmo que haja alterações na direção de funcionamento. Na Figura 28 pode-se ver a representação deste método.

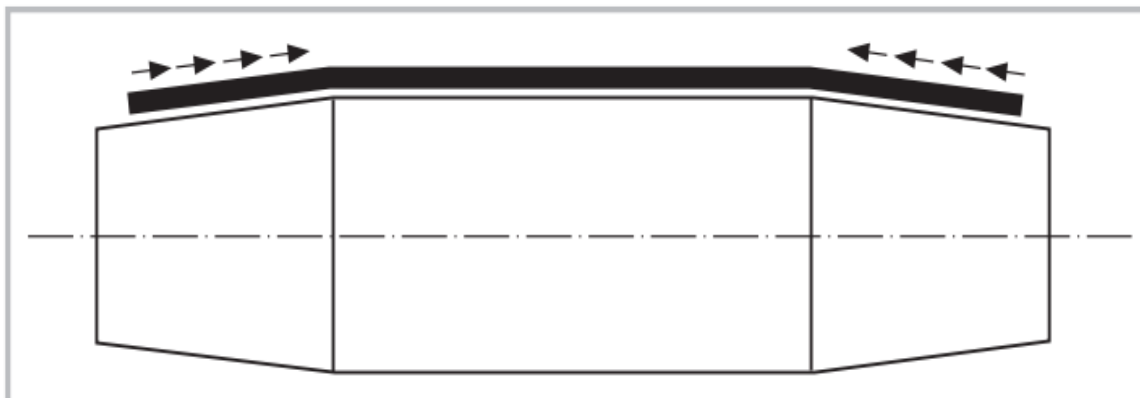


Figura 28 – Método de descentramento da tela através de polias cilíndrico-cônicas [41].

A informação partilhada relativamente à utilização de perfis de guiamento salientou que os perfis de guia são em forma de V e podem ser soldados ou fixados ao lado de rolamento de uma tela transportadora, embora por vezes sejam utilizados perfis retangulares ou semicirculares. Por outro lado, devido aos seus elevados custos de produção e eficácia limitada, os perfis de orientação não são geralmente recomendados para fins de seguimento da tela, particularmente em aplicações de alta velocidade, onde podem ser forçados a sair da ranhura e permitir que a correia se desloque. Em vez disso, os perfis de orientação são eficazes na compensação de forças transversais localizadas que afetam o lado da correia transportadora durante um breve período, como durante o carregamento ou desvio lateral. Na Figura 29 encontra-se uma representação deste método de centramento da tela.

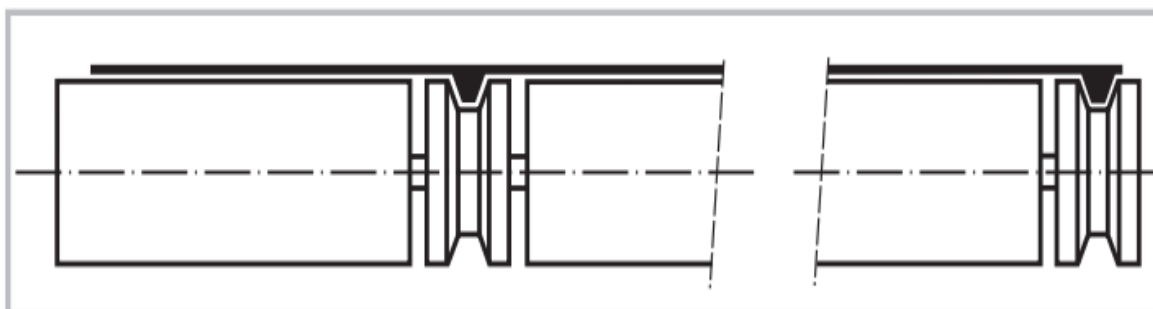


Figura 29 – Método de centramento da tela através de perfis de guiamento [41].

Em suma, o método de centramento da tela escolhido foi os perfis de guiamento, uma vez que se enquadram mais no género de tapete rolante a ser desenvolvido. Consequentemente, a tela selecionada foi a NHM-10EKBV 11, esta apresenta o método de junção mecânica e um perfil de guiamento, podendo ver-se a mesma na Figura 30.



Figura 30 – Tela NHM-10EKBV com a demonstração da guia utilizada.

3.5.2. Dimensionamento do sistema de acionamento

Após a seleção da tela, iniciou-se outra etapa no desenvolvimento do transportador modular, o dimensionamento do sistema de acionamento, sendo necessário abordar diversas especificações definidas nas fases preliminares do projeto.

A primeira especificação abordada foi a velocidade necessária para o tapete rolante. A velocidade do tapete (V_{tapete}), determinou-se através da velocidade proveniente do sistema de termofixação precedente ($V_{termofixação}$), como representado na Equação 2. Deste modo, V_{tapete} corresponde a um valor ligeiramente superior à $V_{termofixação}$, uma vez que se $V_{tapete} < V_{termofixação}$ causaria problemas no transporte das peças de roupa para o tapete rolante, ou seja, as peças de roupa ficariam encorilhadas em cima da tela do tapete.

$$V_{termofixação} = 20,0 \text{ m/s} = 0,333 \text{ m/s}; \text{ deste modo, } V_{tapete} = 0,40 \text{ m/s}$$

Equação 2

A carga suportada pelo transportador modular também se apresenta como uma especificação relevante para o projeto, contudo dado que os artigos transportados têm massa reduzida (massa máxima igual a 1,5 kg), conclui-se que a capacidade de carga do tapete rolante (Q_c) é de 4 kg/m.

Relativamente às dimensões do tapete rolante, também se constatou essencial a atribuição de valores para a altura de entrada e o comprimento do tapete rolante antes do dimensionamento do sistema de acionamento. Desta forma, a altura de entrada não pode ser muito distante da altura do sistema de termofixação, pois o transporte dos artigos necessita de ser realizado com a existência de uma pequena queda. Logo, tendo em conta que os artigos provêm de uma altura de 945 mm a altura do sistema foi definida em 900 mm.

O comprimento do tapete rolante ($c_{tapete\ rolante}$) encontra-se relacionado com o comprimento dos artigos (c_{artigo}), e após analisar as dimensões possíveis para os artigos assumiu-se que em média $c_{artigo} = 1000$ mm, logo $c_{tapete\ rolante}$ necessita de ser superior ao c_{artigo} . Outro aspeto que se teve em conta foi a interação do conjunto da plataforma móvel com o conjunto do tapete rolante, dado que a plataforma móvel realiza a etapa de compressão por baixo do tapete rolante. Em conclusão, decidiu-se que $c_{tapete\ rolante} = 1450$ mm

A última especificação analisada foi o tempo de aceleração do tapete rolante ($t_{aceleração}$), e a inclinação do tapete (α). Através do auxílio do engenheiro de automação da Invocorte, decidiu-se que $t_{aceleração} = 5$ s e tendo em conta que o transporte dos artigos decorre na horizontal $\theta = 0^\circ$.

Posteriormente à estipulação dos requisitos para o tapete transportador, começou-se por estudar todos os fatores que impedem a mobilidade da tela. Em conjunto com a velocidade do transportador, isto ajuda a determinar os requisitos de potência do sistema, permitindo selecionar o sistema de acionamento adequado para a aplicação [35], [36], [42], [43].

Ao analisar o sistema em causa concluiu-se que as forças mais relevantes seriam provenientes do atrito e de inércia, no entanto os esforços mais evidentes correspondem ao peso da carga transportada (P_{carga}), e ao peso da tela (P_{tela}). Depois identificou-se a força de atrito devida ao contacto da tela e dos tubos intermédios ($F_{a_tela_tubo}$) e a força de inércia relacionada com a aceleração do transporte da carga ($F_{Inercia_carga}$).

Determinação das forças

De acordo com a segunda lei de Newton, que especifica a relação entre força, massa e aceleração, esta pode ser utilizada para determinar o movimento de um objeto quando as forças que atuam sobre ele são conhecidas. De acordo com esta regra, a força aplicada a um objeto é precisamente proporcional à sua massa e aceleração. A lei encontra-se expressa na Equação 3.

$$Força = massa \times aceleração$$

Equação 3

Para calcular o P_{carga} multiplicou-se a capacidade da carga do tapete rolante (Q_c) pelo comprimento do tapete rolante ($c_{tapete\ rolante}$), e a aceleração gravítica (g), como se encontra na Equação 4. Tendo em conta que o transportador não apresenta inclinação ($\theta = 0^\circ$), o valor obtido através da Equação 4 não necessita de ser dividido na componente vertical nem horizontal.

$$P_{carga} = Q_c \times c_{tapete\ rolante} \times g$$

Equação 4

De seguida para obter o peso da tela (P_{tela}), foi necessário calcular o comprimento total da tela (C_{total}), tendo em conta que o diâmetro mínimo do rolo permitido pela tela é 40 mm,. Consequentemente, o comprimento total da tela (C_{total}), resulta da aplicação da Equação 5, que apresenta o comprimento do tapete rolante, ($c_{tapete\ rolante}$) e o diâmetro exterior do rolo escolhido (ϕ_{rolo}), que é de 50 mm.

$$C_{total} = 2 \times c_{tapete\ rolante} + \pi \times \phi_{rolo} = 2 \times 1450 + \pi \times 50 = 3057 \text{ mm}$$

Equação 5

Deste modo, em concordância com a Equação 6, determinou-se o P_{tela} através do produto do comprimento total da tela (C_{total}), com a largura da tela ($L_{tela} = 1800$ mm), com a carga por metro quadrado ($\rho_{tela} = 2,4$ kg/m²) e com a aceleração gravítica.

$$P_{tela} = L_{tela} \times C_{total} \times \rho_{tela} \times g$$

Equação 6

Os valores obtidos para P_{tela} e P_{carga} , possibilitaram o cálculo da força de atrito entre a tela transportadora e os rolos intermédios ($F_{a_tela_tubo}$). Com o intuito de determinar esta força recorreu-se à lei de atrito de Coulomb representada na Equação 7. Esta equação explicita que a força de atrito entre duas superfícies corresponde à multiplicação da força normal presente entre as duas superfícies e do coeficiente de atrito. O valor do coeficiente de atrito pode variar entre atrito estático ou cinético, contudo de acordo com as características da tela selecionada, não é realizado esta distinção. O valor de μ_{tela_tubo} retirou-se do catálogo da tela e corresponde a 0,5, [39].

$$Força\ de\ atrito = Força\ normal \times coeficiente\ de\ atrito$$

Equação 7

Aplicando o mesmo raciocínio para se obter a força de atrito existente entre a tela transportadora e os tubos intermédios ($F_{a_tela_tubo}$) e inserir o coeficiente de atrito entre a tela e os tubos intermédios (μ_{tela_tubo}), chegou-se à Equação 8. De notar que a força normal (F_{normal}) presente no caso de estudo corresponde à soma do peso da carga (P_{carga}) com a metade do peso da tela (P_{tela}), uma vez que apenas metade da tela se encontra suportada pelos tubos intermédios.

$$\begin{aligned} F_{a_tela_tubo} &= F_{normal} \times \mu_{tela_tubo} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow F_{a_tela_tubo} &= \left(\frac{P_{tela}}{2} + P_{carga} \right) \times \mu_{tela_tubo} \end{aligned}$$

Equação 8

As forças de atrito nos rolamentos ($F_{rolamento_rolo}$) dependem da força do contacto entre a polia e o interior dos rolamentos (F_{radial}), resultando na presença de um coeficiente de atrito ($\mu_{rolamento} = 0,0015$), sendo este muito reduzido.

O objetivo dos rolamentos em qualquer sistema mecânico é de extrema importância, uma vez que são responsáveis por assegurar o bom funcionamento, reduzindo o atrito e suportando as cargas.

Deste modo, neste caso particular, estes rolamentos são responsáveis por suportar a metade superior da tela, o peso dos rolos e a tensão de esticar a tela que é distribuída uniformemente pelos rolos existentes. Esta distribuição do peso resulta numa redução da tensão radial sofrida pelos rolamentos, minimizando qualquer potencial fricção que possa ocorrer.

O binário necessário para acelerar os rolamentos ($T_{rolamento_rolo}$) foi considerado insignificante para o dimensionamento do sistema de acionamento.

Determinação das forças provenientes da inércia

Para calcular as forças de inércia no tapete rolante, é necessário determinar primeiro a aceleração média (a). Isto pode ser alcançado dividindo a velocidade da tela, partindo do repouso (V_{tapete}) pelo tempo de aceleração ($t_{aceleração}$), como mostra a Equação 9.

$$a = \frac{V_{tapete}}{t_{aceleração}} = \frac{0,4}{5} = 0,08 \text{ m/s}^2$$

Equação 9

Depois de analisar o sistema, descobriu-se que as forças de inércia são compostas por três componentes distintas: a inércia da aceleração do rolo ($F_{inercia_rolo}$), a inércia da aceleração da tela ($F_{inercia_tela}$) e a inércia da aceleração da carga ($F_{inercia_carga}$). Por conseguinte, as forças de inércia totais que atuam no sistema podem ser determinadas através da soma das contribuições individuais de cada um destes componentes.

As forças de inércia correspondentes à aceleração da tela e à aceleração da carga, são as mais simples de calcular, tendo em conta o sistema em estudo. Deste modo, basta seguir o mesmo raciocínio utilizado no cálculo do P_{carga} e do P_{tela} , substituindo a aceleração gravítica pela aceleração média (a) na Equação 10 e na Equação 11.

$$F_{inercia_carga} = Q_c \times c_{tapete\ rotante} \times a$$

Equação 10

$$F_{inercia_tela} = L_{tela} \times C_{total} \times \rho_{tela} \times a$$

Equação 11

Para calcular a força da inércia da aceleração do rolo ($F_{inercia_rolo}$) seguiu-se um critério diferente. Primeiro foi necessário determinar o momento polar de inércia no rolo conectado ao motor. Na Figura 31 encontra-se a polia presente no tapete transportador; este componente é constituído por um tubo redondo central e por dois varões, sendo cada um soldado a cada extremidade. Tendo em conta a estrutura deste elemento, para calcular o momento polar de inércia dividiu-se este em seis secções responsáveis pelo momento polar de inércia, podendo verificar na Figura 31 a numeração de cada secção.

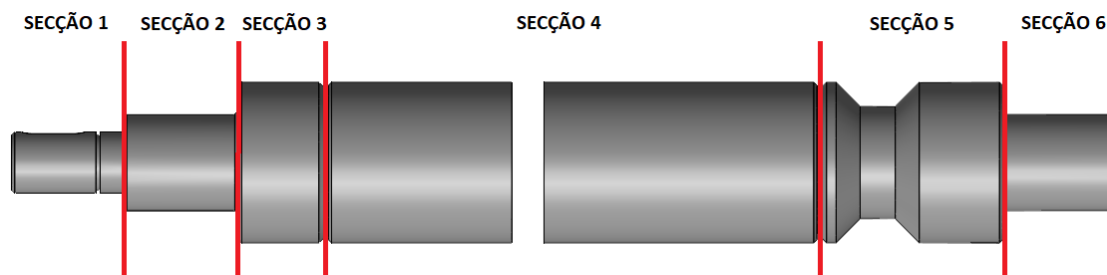


Figura 31 – Conjunto rolo mandado dividido por secções que originam momento polar de inércia.

De seguida calcularam-se os momentos de inércia por cada secção

1. SECÇÃO:

Nesta secção existe um veio com diâmetro de 19 mm e um raio de 9,5 mm. A massa desta parcela foi obtida através do *Solidworks* e corresponde a 0,2 kg. Na Equação 12 encontra-se o cálculo do momento polar de inércia na secção 1 (J_1).

$$J_1 = \frac{1}{2} \times massa_{secção\ 1} \times raio_{secção\ 1}^2 = 9 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 12

2. SECÇÃO:

Nesta secção existe um veio com diâmetro de 30 mm e um raio de 15 mm. A massa desta parcela foi obtida através do *Solidworks* e corresponde a 0,1 kg. Na Equação 13 encontra-se o cálculo do momento polar de inércia na secção 2 (J_2).

$$J_2 = \frac{1}{2} \times massa_{secção\ 2} \times raio_{secção\ 2}^2 = 5 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 13

3. SECÇÃO:

Nesta secção existe um veio com diâmetro de 50 mm e um raio de 25 mm. A massa desta parcela foi obtida através do *Solidworks* e corresponde a 0,4 kg. Na Equação 14 encontra-se o cálculo do momento polar de inércia na secção 3 (J_3).

$$J_3 = \frac{1}{2} \times massa_{secção\ 3} \times raio_{secção\ 3}^2 = 0,0001 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 14

4. SECÇÃO:

Nesta secção existe um tubo com diâmetro exterior de 50 mm e diâmetro interior de 24 mm. A massa desta parcela foi obtida através do *Solidworks* e corresponde a 6,0 kg. Na Equação 15 encontra-se o cálculo do momento polar de inércia na secção 4 (J_4).

$$J_4 = \frac{1}{2} \times massa_{secção\ 4} \times \left[\left(raio_{exterior_{secção\ 4}} \right)^2 + \left(raio_{interior_{secção\ 4}} \right)^2 \right] = 0,0033 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 15

5. SECÇÃO:

Esta secção provou ser a mais complexa de todas selecionadas. Inicialmente dividiu-se esta secção em três outras, contudo com o objetivo de conferir um maior coeficiente de segurança decidiu-se assumir que esta é composta por um veio com diâmetro equivalente a 50 mm e um raio de 25 mm. Deste modo a massa presente é de 1,2 kg e a Equação 16 foi utilizada para calcular o momento polar de inércia para a secção 5 (J_5).

$$J_5 = \frac{1}{2} \times massa_{secção\ 5} \times raio_{secção\ 5}^2 = 0,0004 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 16

6. SECÇÃO:

Esta secção apresenta as mesmas dimensões que a seção 2, deste modo obteve-se a seguinte Equação 17 para determinar o momento polar de inércia resultante da secção 6 (J_6).

$$J_6 = J_2 = 5 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 17

Após determinar a inércia total do rolo mandante também se teve em consideração o momento polar de inércia gerado pelo limitador de torque ($J_{limitador}$) e pelo veio de transmissão ($J_{veio\ transmissão}$). O momento de inércia gerado pelo veio transmissor determinou-se através do

mesmo método, uma vez que a sua estrutura é um veio com 19 mm de diâmetro e a massa equivale a 0,2 kg, podendo ver-se o valor obtido na Equação 18.

$$J_{\text{veio transmissão}} = \frac{1}{2} \times m_{\text{veio transmissão}} \times r_{\text{veio transmissão}}^2 = 9 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 18

O momento polar de inércia do limitador de torque ($J_{\text{limitador}}$) vem nas especificações do equipamento [44](Equação 19):

$$J_{\text{limitador}} = 0,0012 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Equação 19

Depois de calcular todos os momentos de inércia realizou-se o somatório destas variáveis dando origem ao momento polar de inércia total (J_{total}), como se vê na Equação 20.

$$J_{\text{total}} = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5 + J_6 + J_{\text{limitador}} + J_{\text{veio transmissão}}$$

Equação 20

Após a obtenção do momento polar de inércia do rolo, ainda falta determinar uma variável para ser possível calcular a força da inércia da aceleração do rolo ($F_{\text{inercia_rolo}}$). Esta variável corresponde à aceleração angular (α) e para obtê-la recorreu-se à Equação 21. Esta equação utiliza a aceleração média para acelerar o rolo (a) e o diâmetro em contacto com a carga a ser transportada.

$$a = \alpha \times r_{\text{exterior_rolo}} \Leftrightarrow \alpha = a \times \frac{1}{(\phi_{\text{rolo}}/2)} = 0,08 \times \frac{1}{0,025} = 3,56 \text{ rad/s}^2$$

Equação 21

Depois através do produto da aceleração angular com o momento polar de inércia do rolo obteve-se o binário necessário para acelerar o rolo ($T_{\text{inercia_rolo}}$), como se vê na Equação 22.

$$T_{\text{inercia_rolo}} = \alpha \times J_{\text{total}}$$

Equação 22

Contudo, para concluir a determinação de todas as forças presentes no rolo mandado, foi preciso considerar a força da inércia da aceleração do rolo ($F_{\text{inercia_rolo}}$). De acordo com a terceira regra do movimento de Newton, cada ação tem uma reação correspondente e oposta. Neste caso, como é necessário aplicar uma força de pré tensão na tela de modo a mantê-la esticada, e esta força é aplicada pelo rolo, existe uma força com exatamente o mesmo valor a ser aplicada no rolo mandante. Esta força resulta da multiplicação do torque que acelera o rolo mandante ($T_{\text{inercia_rolo}}$) pelo inverso do raio em contacto com a tela ($r_{\text{exterior_rolo}}$), como indicado na Equação 23.

$$F_{\text{inercia_rolo}} = \frac{1}{r_{\text{exterior_rolo}}} \times T_{\text{inercia_rolo}}$$

Equação 23

Após estarem determinadas as forças, é possível dimensionar o sistema de acionamento (Figura 32). Deste modo realizou-se a distinção entre a fase de arranque do motor e a fase em regime contínuo do mesmo. A diferença entre estas duas fases reside no facto de o motor estar em processo de arranque ou já se encontrar a funcionar a um ritmo constante. A fase de arranque é

crucial para o motor, exigindo mais energia e recursos. Quando o motor funciona a um ritmo constante, pode trabalhar de forma mais eficaz e com menos pressão sobre os componentes do motor.

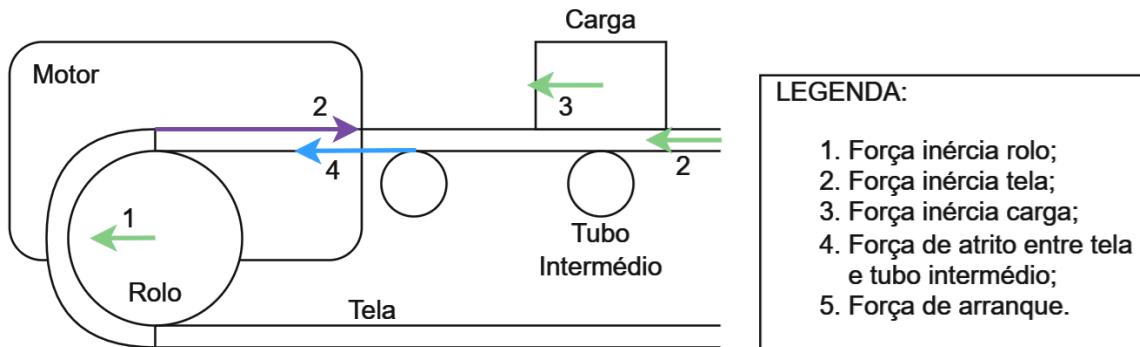


Figura 32 – Representação das forças necessárias para calcular a força de arranque e em regime contínuo.

Deste modo na Equação 24 pode-se ver o cálculo da força de arranque ($F_{arranque}$) que resulta do somatório de todas as forças determinadas anteriormente. Na Equação 25 encontra-se a força em regime contínuo ($F_{contínuo}$) que provêm do somatório das forças no sistema.

$$F_{arranque} = F_{a_tela_tubo} + 2 \times F_{rolamento} + F_{inerxia_carga} + F_{inerxia_tela} + F_{inerxia_rolo}$$

Equação 24

$$F_{contínuo} = F_{a_tela_tubo} + 2 \times F_{rolamento}$$

Equação 25

De seguida, através da força de arranque ($F_{arranque}$) e da força em regime contínuo ($F_{contínuo}$), determinou-se o torque produzido por ambas. O cálculo de cada binário segue o mesmo raciocínio, deste modo para obter o torque de arranque do motor ($T_{arranque}$) multiplicou-se o raio que conecta o motor ao rolo (r_{motor}) pela força de arranque do motor ($F_{arranque}$) e somou-se o binário necessário para acelerar o rolo ($T_{inerxia_rolo}$) e o binário necessário para acelerar os rolamentos ($T_{rolamento}$). Dando origem à Equação 26.

$$T_{arranque} = r_{motor} \times F_{arranque} + T_{inerxia_rolo} + 2 \times T_{rolamento}$$

Equação 26

Ao contrário do torque de arranque do motor ($T_{arranque}$), o torque em regime contínuo ($T_{contínuo}$) não representa forças de inércia logo o cálculo é semelhante à Equação 27, no entanto substitui-se $F_{arranque}$ pela força do motor em regime contínuo ($F_{contínuo}$) e retira-se o binário necessário para acelerar o rolo ($T_{inerxia_rolo}$), dando origem à Equação 27.

$$T_{contínuo} = r_{motor} \times F_{contínuo} + 2 \times T_{rolamento}$$

Equação 27

De notar que tanto a força radial presente nos rolamentos como o binário necessário para acelerar os rolamentos ($T_{rolamento}$) também são introduzidos em ambos os cálculos da força de arranque ($F_{arranque}$) e da força em regime contínuo ($F_{contínuo}$), contudo como explicado anteriormente o valor da força proveniente do atrito existente nos rolamentos é considerado nulo.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados obtidos para todas as forças utilizadas anteriormente. Ao visualizar os valores obtidos para cada variável definida, conclui-se que as forças de inércia não são significantes para o sistema, uma vez que apresentam valores reduzidos.

Tabela 4 – Valores obtidos para todas as variáveis calculadas.

Variável	Unidade	Valor
P_{tela}	N	130
P_{carga}	N	56,8
$F_{a_tela_tubo}$	N	18,2
$F_{inercia_carga}$	N	0,400
$F_{inercia_tela}$	N	0,501
J_{total}	kg · m ²	0,00430
$T_{inercia_rolo}$	Nm	0,0137
$F_{inercia_rolo}$	N	0,610
$F_{contínuo}$	N	19,7
$F_{arranque}$	N	18,2
$T_{arranque}$	Nm	1,19
$T_{contínuo}$	Nm	0,410

3.5.3. Cálculo da tensão instalada na tela

Posteriormente à determinação dos esforços para o sistema de acionamento, verificou-se se as forças presentes na tela ultrapassam o limite permitido. De acordo com as propriedades fornecidas pela Habasit [39] a tensão máxima a que a tela pode ser sujeita corresponde a 11 N por cada milímetro de largura da tela. Tendo em conta que a largura da tela equivale a 1800 mm, na Equação 28 encontra-se a força limite da tela (F_{limite}).

$$F_{limite} = 11 \times 1800 = 19,8 \text{ kN}$$

Equação 28

O atrito existente entre as superfícies da tela e do rolo do mandado proporciona o movimento adequado da tela no caso em estudo. Deste modo, é necessária uma força de pré-tensão (F_0) para assegurar o funcionamento da tela, que fornece a fricção necessária no início do processo.

Para fornecer energia ao rolo, a força no ramo tensionado (F_1) deve exceder a força no ramo amortecido (F_2). A força de pré-tensão é representada por $F_{pré\ carga}$, e verificou-se que durante a transmissão do movimento, $F_1 > F_{pré\ carga} > F_2$. Na Figura 33 encontra-se a representação dos esforços da tela presente no caso em estudo.

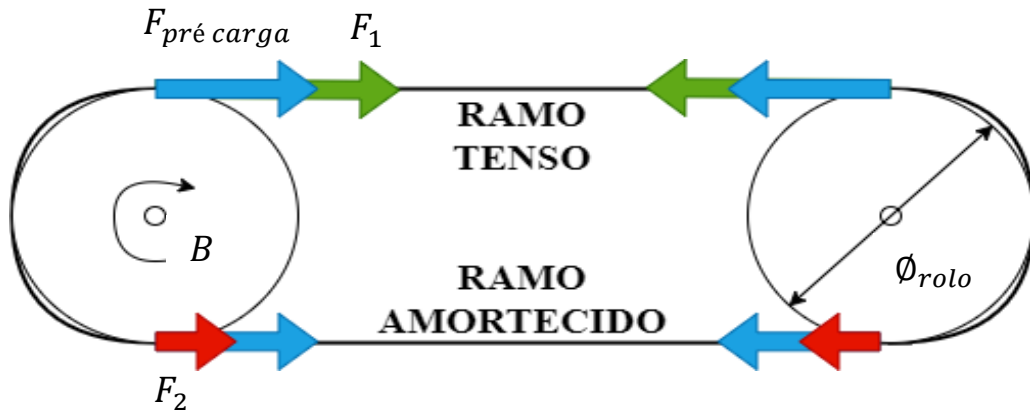


Figura 33 – Representação das forças presentes na tela.

De acordo com a equação de Eytelwein [43], [45] (Equação 29) e ao analisar a Figura 33 é possível deduzir a Equação 30, onde se relaciona o momento entre a tela e rolo mandante (B), com a força no ramo tensionado (F_1), a força no ramo amortecido (F_2) e diâmetro do rolo mandante (Φ_{rolo}).

$$F_1 = F_2 \times e^{\mu_{tela,rolo} \times \theta}$$

Equação 29

$$B = \frac{\Phi_{rolo}}{2} \times (F_1 - F_2)$$

Equação 30

Consequentemente ao substituir a Equação 29 na Equação 30 obtém-se a Equação 31.

$$B = \frac{\Phi_{rolo}}{2} \times F_1 \times \frac{e^{\mu_{tela,rolo} \times \theta} - 1}{e^{\mu_{tela,rolo} \times \theta}}$$

Equação 31

De acordo com os valores da Tabela 4, durante o arranque do motor é quando a força presente no sistema se encontra no seu máximo, deste modo, pode-se considerar que nesta situação a força no ramo tensionado (F_1) corresponde ao seu valor máximo. Desta forma, é possível obter a Equação 32, onde se relaciona a força de pré-carga ($F_{pré-carga}$) que deve ser imposta na tela com a força motora que se pretende transmitir ($F_{arranque}$).

$$F_1 = F_{arranque} + F_{pré\ carga}$$

Equação 32

Assim ao substituir a Equação 32 na Equação 31 e supondo o pressuposto de que quando a condição de fronteira é imposta, o binário gerado pela força motriz na fase inicial corresponde ao binário permitido na transmissão do rolo do mandado para a tela, origina-se a Equação 33.

$$\begin{aligned} \frac{\Phi_{rolo}}{2} \times F_{arranque} &= \frac{\Phi_{rolo}}{2} \times (F_{arranque} + F_{pré\ carga}) \times \frac{e^{\mu_{tela,rolo} \times \theta} - 1}{e^{\mu_{tela,rolo} \times \theta}} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow F_{pré\ carga} &= F_{arranque} \times \frac{e^{\mu_{tela,rolo} \times \theta} - 1}{e^{\mu_{tela,rolo} \times \theta}} = 22,6\ N \end{aligned}$$

Equação 33

Ao aplicar a Equação 33 conclui-se que $F_1 = 42,3 N$ e como $F_{limite} > F_1$ significa que a tela selecionada é apropriada para o caso em estudo e apresenta um coeficiente de segurança bastante elevado como mostra a Equação 34.

$$cS_{tela} = \frac{F_{limite}}{F_1} = \frac{198000}{42,3} = 468$$

Equação 34

3.6. Seleção do sistema de acionamento (3001)

Para selecionar o sistema de acionamento adequado, primeiramente é necessário selecionar um fornecedor. Deste modo, após analisar os fornecedores com que a Inovocorte apresenta maior familiaridade, decidiu-se que o fornecedor do sistema de acionamento corresponde ao Grupo Rossi [34].

Depois de averiguar os produtos disponíveis pelo fornecedor escolhido decidiu-se que o sistema de acionamento seria composto por um motor assíncrono trifásico, e tendo em conta que as rotações mínimas deste género de motor eléctrico são elevadas também é necessário recorrer a um redutor. Deste modo irá ser utilizado um motorreductor no sistema transportador.

Este género de motor foi selecionado, uma vez que o tapete só apresenta variação de velocidade quando arranca e depois a velocidade é sempre constante. Outro motivo para a seleção deste tipo de motor eléctrico foi ter preços mais acessíveis. São motores altamente fiáveis e podem funcionar durante longos períodos sem manutenção ou reparação, reduzindo o tempo de inatividade e os custos.

O processo de seleção de um sistema de acionamento neste caso iniciou-se pela triagem de um motorreductor da serie A, tendo em conta os seguintes fatores:

- Potência do redutor e do motor;
- Velocidade angular do motorreductor;
- Torque do redutor e do motor;
- Fator de serviço (f_s);
- O rendimento do motorreductor.

Primeiro determinou-se o fator de serviço (f_s) do redutor. Para determinar esta variável procedeu-se como indicado no catálogo referente aos motorredutores da serie A (Anexo A), [46], como se vê na Figura 34. Para se obter o primeiro valor definiu-se que o tempo de funcionamento do sistema, em horas por dia, corresponde à duração de dois turnos, ou seja, 16 horas. O segundo valor corresponde à frequência de partida, em arranques por hora (foi assumido o valor de quatro arranques por hora, sendo este o valor mínimo na tabela). A carga considerou-se uniforme. Na Figura 34 encontram-se rodeados os valores retirados do catálogo.

Nature of load of the driven machine		Running time [h]					Load ref.	Frequency of starting z [starts/h]							
Ref.	Description	3 150 ≤ 2 h/d	6 300 2 + 4 h/d	12 500 4 + 8 h/d	25 000 8 + 16 h/d	50 000 16 + 24 h/d		4	8	16	32	63	125	250	500
a	Uniform	0,67	0,85	1	1,25	1,6	a	1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,4	1,5
b	Moderate overloads (1,6 × normal)	0,85	1,06	1,25	1,05	1,25	b	1	1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,4
c	Heavy overloads (2,5 × normal)	1	1,25	1,5	1,9	2,36	c	1	1	1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32

Figura 34 – Tabelas utilizadas para calcular o fator de serviço [34].

Deste modo, tendo em conta os valores presentes na Figura 34, obteve-se a Equação 35.

$$f_s = 1,25 \times 1 = 1,25$$

Equação 35

Para se obter a potência que o motorreductor necessita de satisfazer determinou-se a velocidade angular e o binário máximo no sistema transportador. Deste modo, o binário máximo (T_{max}) corresponde ao torque presente no momento de arranque do motor como se verificou anteriormente. Relativamente às rotações por minuto recorreu-se à Equação 36, que calcula a velocidade angular do transportador modular (N_{tapete}) através da divisão da velocidade do tapete rolante (V_{tapete}) pelo raio exterior do rolo ($r_{exterior_rolo}$), uma vez que a velocidade assumida corresponde à velocidade tangencial do rolo e da tela. De seguida, uma vez que o valor obtido se encontra em rad/s foi necessário realizar a conversão para rpm.

$$N_{tapete} = \frac{V_{tapete}}{r_{exterior_rolo}} = 16 \text{ rad/s} \Leftrightarrow N_1 = 16 \times \frac{60}{2\pi} = 152,8 \text{ rpm}$$

Equação 36

Assim tendo em conta o valor obtido na Equação 36, todos os parâmetros para a determinação da potência do sistema (P_{tapete}) foram definidos, sendo esta variável obtida através da Equação 37, onde a potência do sistema (P_{tapete}) equivale à multiplicação do binário máximo (T_{max}) pelas rotações por minuto (N_{tapete}).

$$P_{tapete} = T_{max} \times N_{tapete} = 19,0 \text{ W}$$

Equação 37

De acordo com os valores obtidos para a potência real necessária (P_{tapete}), a velocidade angular do tapete rolante (N_{tapete}), o fator de serviço (f_s) do motorreductor e o binário máximo (T_{max}) o reductor selecionado apresenta a designação de MR V32 UO3A – 11 X140 – 16, podendo verificar as principais características deste na Tabela 5 e as suas especificações no ANEXO A [46].

Tabela 5 – Propriedades do motorreductor selecionado.

GRANDEZA	UNIDADE	VALOR
Potência saída	kW	0,32
Potência de entrada	kW	0,37
Velocidade angular saída	rpm	175

Binário saída	Nm	17,2
Razão de transmissão (<i>i</i>)	-	16
Rendimento estático	%	60
Fator de serviço (<i>f_s</i>)	-	2,8

Após a seleção do motorreductor foi escolhido o motor. Neste caso o procedimento é diferente, uma vez que os dados referentes ao motorreductor já incluem o motor. Assim, a triagem do motor realizou-se de modo que certas características do motorreductor se encontrem em concordância com as propriedades do motor elétrico trifásico.

Os atributos que necessitam de estar de acordo são a velocidade angular de saída, potência de entrada, o tamanho e o número de polos do motor. Estes dois últimos dados estão no catálogo e na Figura 35. Deste modo o tamanho do motor corresponde a 63C e este deve apresentar dois polos. Na Figura 35 encontram-se as propriedades mencionadas anteriormente.

P_1 kW 1)	n_2 min ⁻¹	P_2 kW	M_2 daN m	f_s	Riduttore - Motore Gear reducer - Motor 2)				<i>i</i>	
0,37	22,1	0,26	11,4	0,8	MR	IV	40 - 14 × 160	71 B	4	63,4
	22,5	0,25	10,6	0,67	MR	V	40 - 14 × 160	71 C	6	40
	175	0,32	1,72	1,7	MR	V	32 - 11 × 140	63 C	2	16
	175	0,32	1,72	1,7	MR	V	32 - 11 × 140	71 A	2	16

Figura 35 – Características do motorreductor selecionado, adaptado de [34].

No caso da velocidade angular de saída foi necessário calcular a velocidade angular do motor (N_{motor}) como se encontra representado na Equação 38. Por outro lado, a potência do motor necessita de corresponder à potência de entrada.

$$N_{motor} = \text{velocidade angular de saída} \times i = 2800 \text{ rpm}$$

Equação 38

De acordo com os atributos mencionados anteriormente o motor selecionado pertence à serie Tx e apresenta a designação de HB2 63C 2 220.380 – 50 TB0, podendo ver-se as suas principais características na Tabela 6 e as suas especificações no ANEXO B.

Tabela 6 – Propriedades do motor selecionado retiradas do catálogo TX series.

GRANDEZA	UNIDADE	VALOR
Potência nominal	kW	0,37
Velocidade angular nominal	rpm	2800
Binário nominal	Nm	12,6
Rendimento motor	%	73,3

Em conclusão o motorreductor selecionado apresenta a seguinte designação, MR V32 UO3A – 11 X140 – 7 HB2 63C 2 220.380 – 50 TB0 podendo ver-se a sua estrutura na Figura 36.

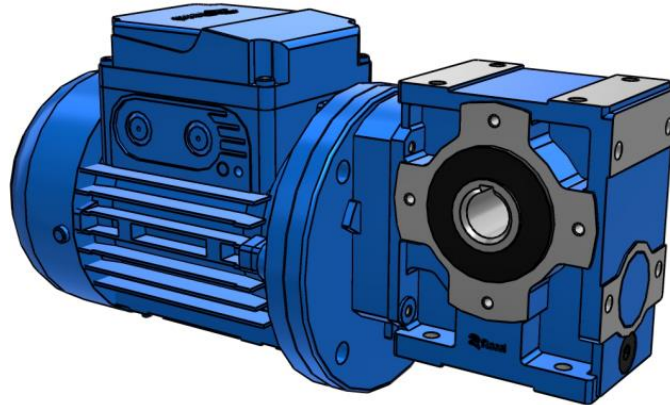


Figura 36 – Motorreductor MR V32 UO3A – 11 X140 – 7 HB2 63C 2 220.380 – 50 TB0, adaptado de [34].

Para completar o dimensionamento do motor determinou-se o coeficiente de segurança pela Equação 39.

$$Potência\ saída = P_{tapete} \times c_{S\text{motorreductor}} \Leftrightarrow c_{S\text{motorreductor}} = \frac{370}{19} = 19,47$$

Equação 39

3.7. Dimensionamento dos componentes

O dimensionamento de vários componentes será efetuado neste capítulo. O dimensionamento dos componentes constitui uma fase importante do processo de concepção e desenvolvimento, uma vez que afeta diretamente o desempenho, a segurança e a durabilidade do produto final. Os engenheiros podem identificar as dimensões e especificações adequadas dos componentes estudando cuidadosamente os requisitos, restrições e circunstâncias de funcionamento, assegurando que podem suportar as cargas, tensões e influências ambientais projetadas. O processo de dimensionamento dos componentes começa com uma compreensão detalhada das necessidades funcionais e dos objetivos de desempenho do sistema. O principal estudo realizado foi a análise estática de cada componente usando o método de elementos finitos do *SolidWorks* em cenários correspondentes a uma condição crítica de forma a garantir que a máquina suporta os esforços mínimos a que se encontra sujeita; no entanto tiveram-se sempre em conta esforços adicionais que podem ocorrer no dia a dia. De notar que também foi essencial a seleção da *mesh* a utilizar nos estudos realizados, neste caso recorreu-se sempre à *blended curvature-based mesh*.

3.7.1. Dimensionamento conjunto rolo mandado

De modo a validar as dimensões assumidas para o cálculo dos esforços presentes no sistema, foi essencial realizar o dimensionamento do rolo mandante. Relativamente ao conjunto rolo guia, não foi realizado um dimensionamento por ser semelhante ao conjunto do rolo mandado e suportar menores esforços.

O conjunto rolo mandante é constituído por três componentes distintos, o tubo central (0101), o veio motor (0201) e o veio guia 1 (0301). Ambos os veios são fabricados em aço Ck45k (designação Ramada aços F10N), enquanto o componente 1 é de aço DD11 (designação Ramada aços F10). Estes

materiais foram selecionados por serem comuns e com maior uso dentro da empresa e pelas suas boas propriedades, podendo ver-se algumas na Tabela 7. O fornecedor destes aços é a empresa Ramada Aços [47].

Tabela 7 – Principais propriedades do material Ck45k e do material DD11.

Propriedades	Unidade	Ck45k	DD11
Tensão de cedência ($\sigma_{cedência}$)	MPa	375	175
Tensão de rotura (σ_{rotura})	MPa	700	420
Massa volúmica (ρ)	kg/m ³	7800	7800
Modulo de elasticidade (E)	MPa	2,1 X 10 ⁵	2,1 X 10 ⁵

O tubo central (0101-02) obtém-se através de uma máquina corte laser existente na empresa Inovocorte que tem capacidade de cortar tubos com comprimento máximo de três metros e diâmetros de 6500 mm. Por outro lado, os dois veios são obtidos através de um veio com diâmetro inicial de cinquenta milímetros são depois torneados. Para se obter o conjunto do rolo mandante ainda se realizou a soldadura MIG/MAG em Y dos três componentes com rebarbagem da solda para não danificar a tela, podendo ver-se as propriedades mais relevantes da solda utilizada (NF EN 13479) na Tabela 8. Os desenhos técnicos de cada componente e conjunto estão no capítulo 3.10, na página 101.

Tabela 8 – Principais propriedades da solda NF EN 13479 usada em todas as soldaduras do tapete rolante.

Propriedades	Unidade	Solda NF EN 13479
Tensão de cedência ($\sigma_{cedência}$)	MPa	457-510
Tensão de rotura (σ_{rotura})	MPa	585-630

De notar que o conjunto rolo mandante e o conjunto rolo guia apresentam estruturas muito semelhantes apresentando em comum o componente tubo central (0101-02), contudo o veio motor (0201) não existe neste conjunto, apenas existe o veio chumaceira (1801), podendo ver-se as diferenças na Figura 37.

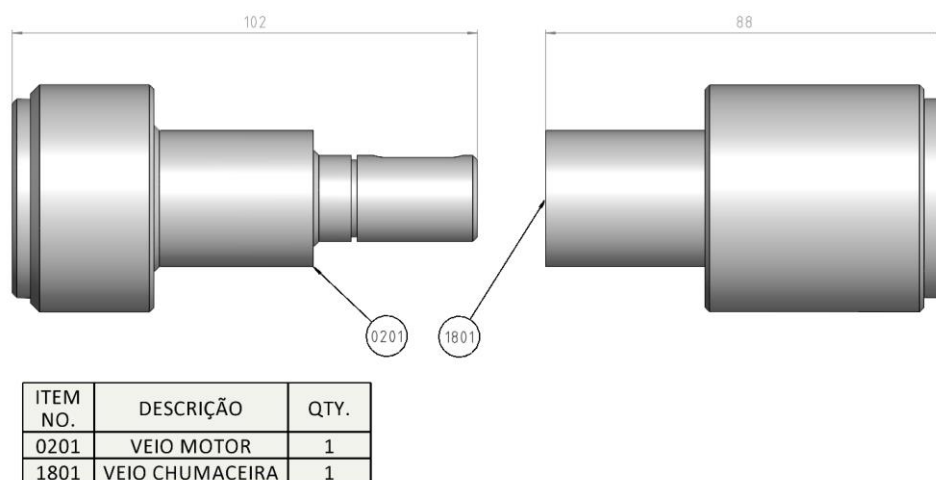


Figura 37 – Diferenças entre a peça veio motor e veio chumaceira.

Outro aspeto relevante de ambos os conjuntos é o alojamento para o guiamento do tapete. Para o design do veio guia 1 (0301) e do veio guia 2 (1901) na Figura 38, usaram-se dimensões da amostra fornecida na reunião com os representantes da Habasit [41] e informação presente no catálogo correspondente.

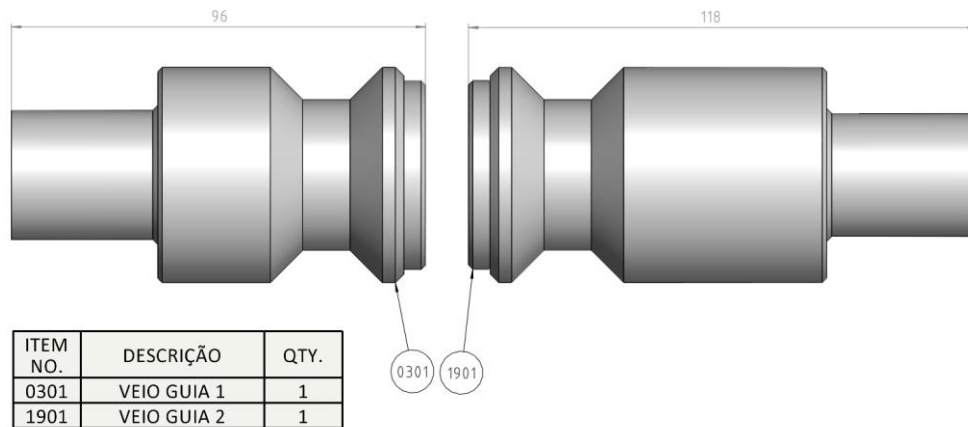


Figura 38 – Diferenças entre veio guia 1 e veio guia 2.

➤ Dimensionamento estático

Após a definição do conjunto do rolo mandante, realizou-se o dimensionamento estático do conjunto recorrendo ao *Solidworks*. Ao utilizar este software é possível obter a tensão de von Mises e o coeficiente de segurança aplicando os esforços e definidas as zonas em que o conjunto se encontra imóvel.

A feature responsável pela obtenção dos valores para a tensão de von Mises, corresponde à simulação. Deste modo para ser possível desfrutar desta por completo em primeiro lugar foi necessário introduzir outro componente no conjunto do rolo mandado, sendo este a solda utilizada para fixar os três componentes. As duas soldas utilizadas são exatamente iguais e localizam-se na extremidade do veio guia 1 (0301) e do veio motor (0201) que se encontram em contacto com o tubo central (0101). Os veios e o tubo são chanfrados para facilitar o processo de soldadura, aumentar a sua resistência e tornar mais suave a superfície em contacto com a tela. Na Figura 39 vê-se a solda entre o veio guia 1 (0301) e o tubo central (0101) utilizada no estudo do rolo mandante.

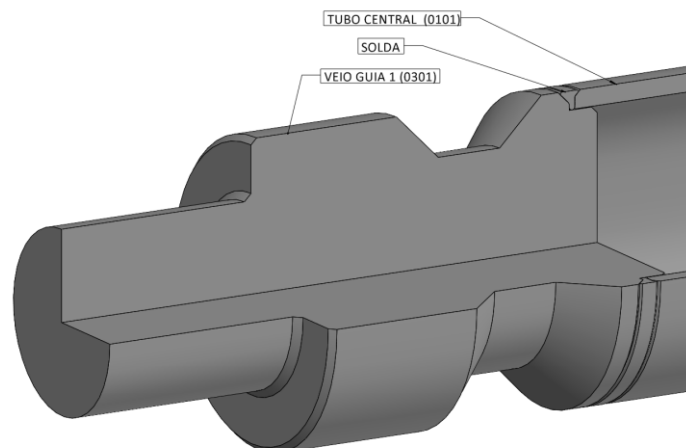


Figura 39 – Representação da solda utilizada no estudo do rolo mandante.

Criou-se o estudo do conjunto rolo mandado. Neste estudo foi essencial definir as forças obtidas nos cálculos efetuados anteriormente e definir as zonas fixas do conjunto. As forças aplicadas correspondem a um caso crítico em que o conjunto se pode encontrar. Esta situação corresponde ao bloqueio da chumaceira do lado oposto ao motor, fazendo o motorreductor transmitir o seu binário máximo para o rolo mandante. Para se obter a força proveniente do binário máximo (F_{max}) transmitido pelo motorreductor recorreu-se à Equação 40, onde se utiliza o raio médio no local do rasgo da chaveta e o binário fornecido pelo motorreductor.

$$F_{max} = \frac{\text{binário de saída}}{\text{raio}_{médio}} = \frac{17,2}{0,0075} = 2150 \text{ N, onde } r_{médio} = \left(\frac{19 - 3,5}{2} \right) \text{ mm}$$

Equação 40

O resultado obtido através da Equação 40 mostra que o conjunto em estudo não suporta valores tão elevados para F_{max} . Desta forma, introduziu-se um limitador de torque (2901) na extremidade do veio motor (0201). Para conectar o conjunto rolo mandante ao motorreductor inseriu-se o veio transmissão (2201). Este componente é um veio com diâmetro de 19 mm em aço Ck45k, que apresenta dois alojamentos para as chavetas e um rasgo para o anel elástico. Na Figura 40 encontra-se este componente e no capítulo 3.10, na página 101, encontra-se o desenho técnico.

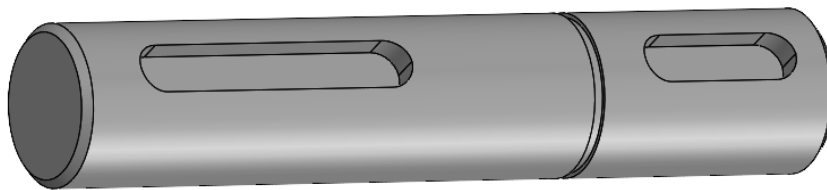


Figura 40 – Estrutura do veio de transmissão (2201).

A embraiagem limitadora de binário é utilizada para proteger máquinas e equipamentos de situações de sobrecarga ou de binário excessivo. De modo a funcionar como um mecanismo de segurança, a embraiagem desliza ou desengata-se quando o binário aplicado ultrapassa um limite definido. Deste modo, a máquina funciona de forma suave e segura, evitando danos nos componentes. Ao analisar fabricantes destes equipamentos, optou-se pela empresa Mayr [48] e pelo limitador de torque (2901) com um torque máximo de 3 Nm, representado na Figura 41, com a designação de Roba Lastic Size 0 [48].

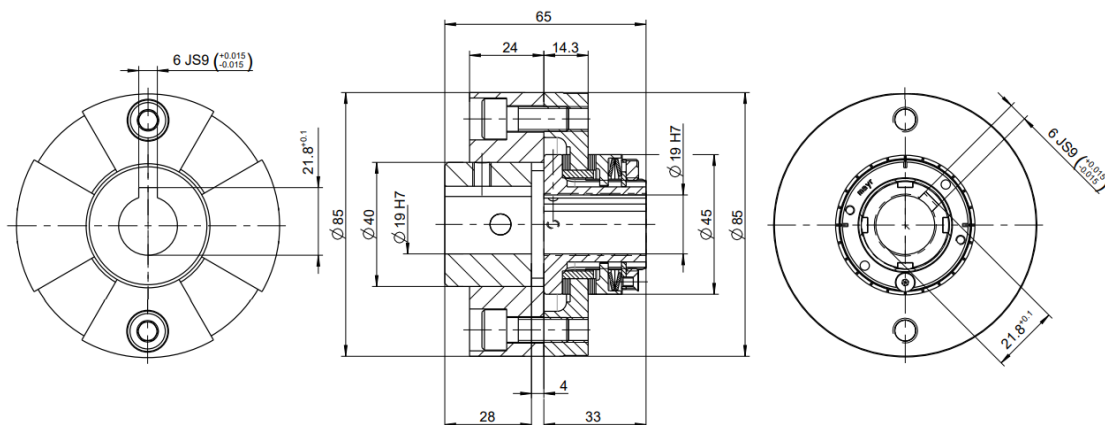


Figura 41 – Representação do limitador de torque (2901), Roba Lastic Size 0, [48].

O elemento de acionamento e o elemento acionado constituem as duas partes principais da embraiagem limitadora de binário. O elemento acionado encontra-se normalmente acoplado à carga ou à máquina acionada, como uma correia transportadora ou um eixo rotativo, enquanto o elemento acionador apresenta-se normalmente conectado à fonte de energia, como um motor elétrico.

Quando o binário é aceitável, o mecanismo de embraiagem do limitador de binário permite que o binário seja transferido do elemento de acionamento para o elemento acionado. No entanto, a embraiagem desengata ou desliza, impedindo a transferência de binário, quando o binário atinge o limiar pré-determinado.

Assim, tendo em conta que o binário máximo transmitido para o rolo mandante (M_{max}) é 3 Nm, obteve-se um novo valor para força proveniente do binário máximo (F_{max}) através da Equação 41.

$$F_{max} = \frac{M_{max}}{r_{medio}} = \frac{3}{0,0075} = 400 \text{ N}$$

Equação 41

Todas as forças atuantes no conjunto do rolo mandante foram usadas na simulação no *Solidworks* para obter a tensão no conjunto. Além da força proveniente do binário máximo (F_{max}), também se inseriu a força de esticamento da tela e o peso da carga, da tela e de outro tipo de equipamento. Estas duas últimas forças aplicaram-se na zona em contacto com a tela, enquanto a força proveniente do binário máximo (F_{max}) foi aplicada no alojamento da chaveta, onde o limitador de torque transmite rotação para o rolo mandante.

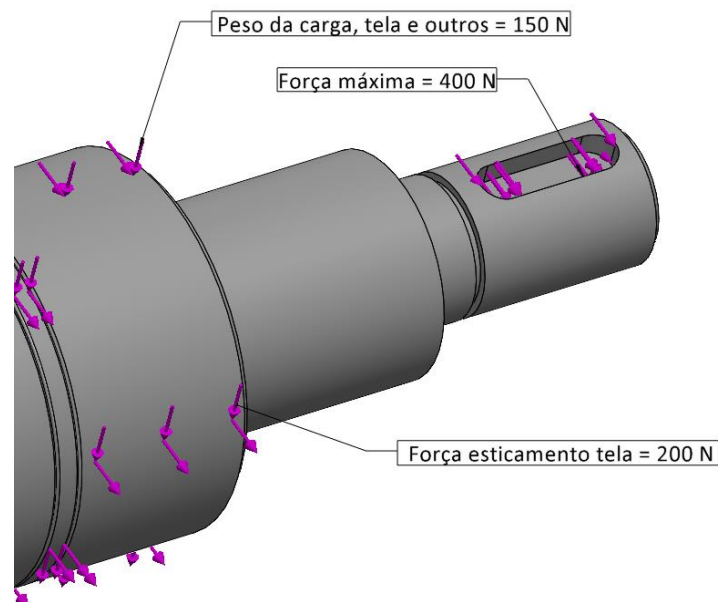


Figura 42 – Representação dos esforços presentes no conjunto rolo mandado.

De acordo com a situação crítica descrita anteriormente apenas se fixou o topo da face da secção em contacto com a chumaceira.

Obtiveram-se os resultados que mostra a Figura 43. Nesta vê-se que a soldadura mais distante do motor é o ponto mais crítico deste conjunto, com uma tensão de von Mises de 498 MPa. Também é visível que a zona em contacto com a chumaceira bloqueada apresenta tensões elevadas, contudo

nunca acima do valor de tensão de cedência do aço. Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados que contactam com este componente.

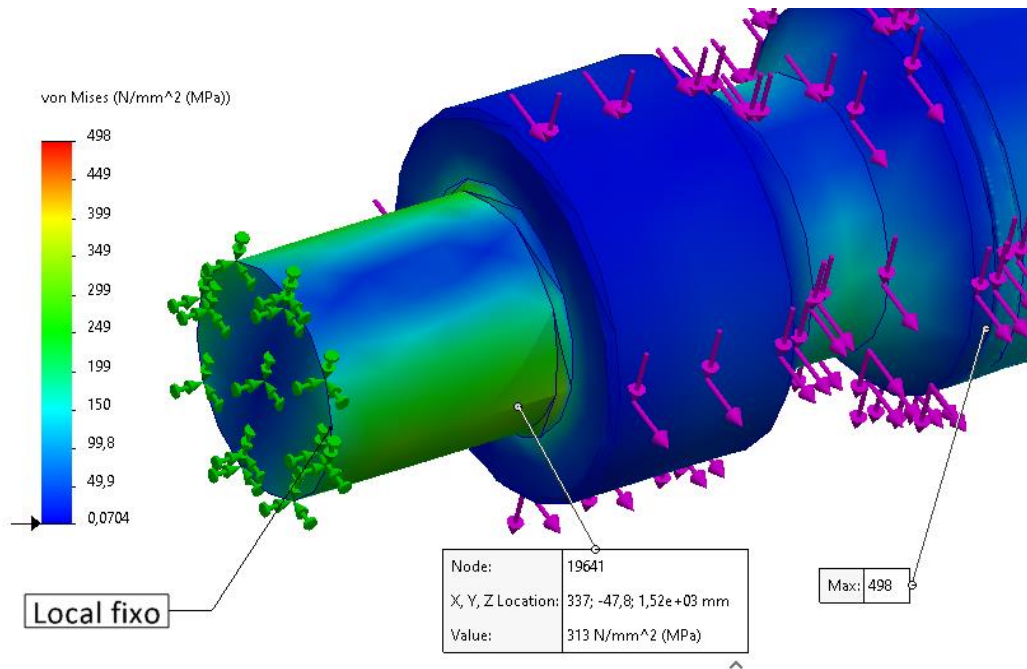


Figura 43 – Análise de tensões através do Solidworks.

➤ Dimensionamento à fadiga

Depois de realizar a análise da concentração de tensão resultante das variações geométricas, decidiu-se realizar um teste à fadiga ao conjunto do rolo mandante. Os ensaios de fadiga são executados para avaliar a capacidade de um material ou componente para suportar cargas ou tensões cíclicas. As ruturas por fadiga podem ocorrer mesmo que o nível de tensão esteja muito abaixo do limite de elasticidade, e podem ter consequências catastróficas se não forem devidamente resolvidas. Por conseguinte, é importante realizar ensaios de fadiga para avaliar a durabilidade e a fiabilidade de um material ou componente sob ciclos repetidos de carga e descarga. Os resultados de um ensaio de fadiga podem fornecer informações sobre a vida à fadiga do material ou componente, o limite de fadiga e outros parâmetros importantes que são úteis para fins de conceção e engenharia.

Deste modo, para realizar o ensaio à fadiga foi necessário determinar o momento torsor e o momento fletor presente no conjunto; no entanto de modo a simplificar os cálculos, considerou-se o conjunto rolo mandante um veio sólido. A partir dos cálculos realizados é possível verificar que o momento torsor (M_{torsor}) mais elevado corresponde ao torque produzido no momento de arranque do motor, logo obteve-se a Equação 42. De notar que o momento torsor é constante.

$$M_{torsor} = T_{arranque}$$

Equação 42

Relativamente ao esforço axial (N) no conjunto em estudo ele corresponde a zero.

Para determinar o momento fletor foi preciso realizar dois diagramas, um no eixo y e outro no eixo z.

Relativamente ao eixo y existe a força da carga (P_{carga}), da tela (P_{tela}) e a força proveniente da reação da força radial dos rolamentos ($F_{rolamento_rolo}$), contudo esta não irá ser considerada pois apresenta um valor pouco significativo. No eixo z apenas existe a força da pré-carga ($F_{pre-carga}$) que também já foi determinada, podendo ver-se a representação destas forças na Figura 44. As forças foram consideradas no centro da zona em contacto com a tela e o valor da força da carga e da tela foram consideradas apenas no rolo mandante para representar um caso mais crítico.

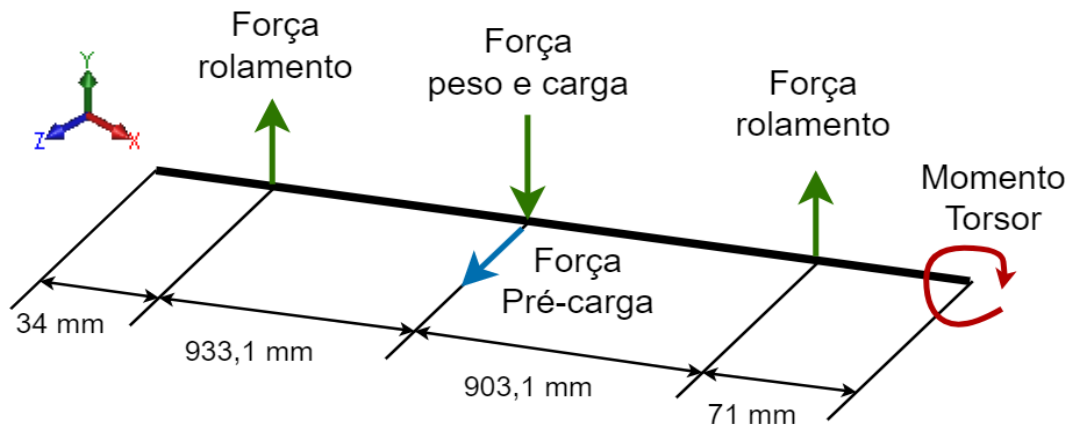


Figura 44 – Diagrama de corpo livre do conjunto tolo mandante.

Deste modo obteve-se o diagrama de momento fletor do eixo y ($M_{fletor\ y}$), representado na Figura 44. Para obter este diagrama usou-se a Equação 43.

$$M_{fletor\ y} = (P_{carga} + P_{tela}) \times (34 + 933,1) \times 10^{-3} = 117,6\text{ Nm}$$

Equação 43

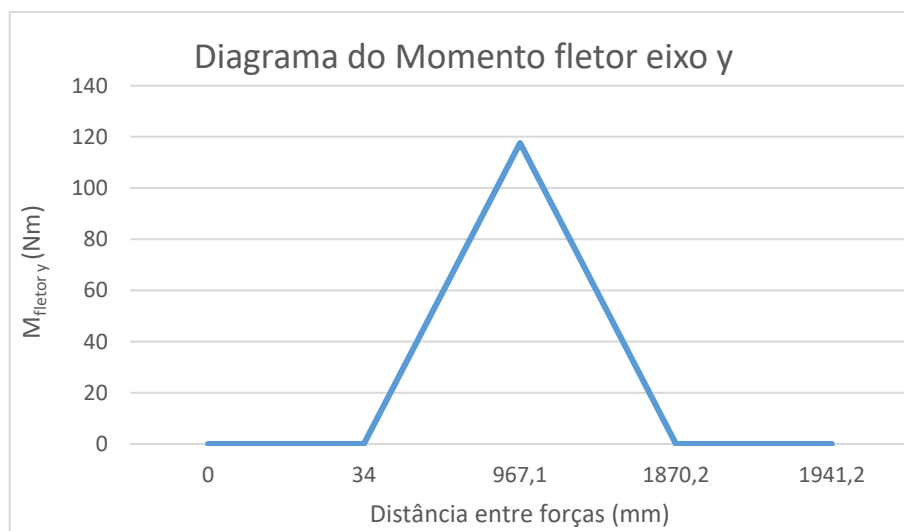


Gráfico 1 – Variação do momento fletor no eixo y em função da distância.

O diagrama do momento fletor z obteve-se seguindo o mesmo procedimento usado para a obtenção do diagrama do momento fletor do eixo z ($M_{fletor\ z}$), onde se utilizou a Equação 44.

$$M_{fletor\ z} = F_{pre-carga} \times (34 + 933,1) \times 10^{-3} = 21,85\text{ Nm}$$

Equação 44

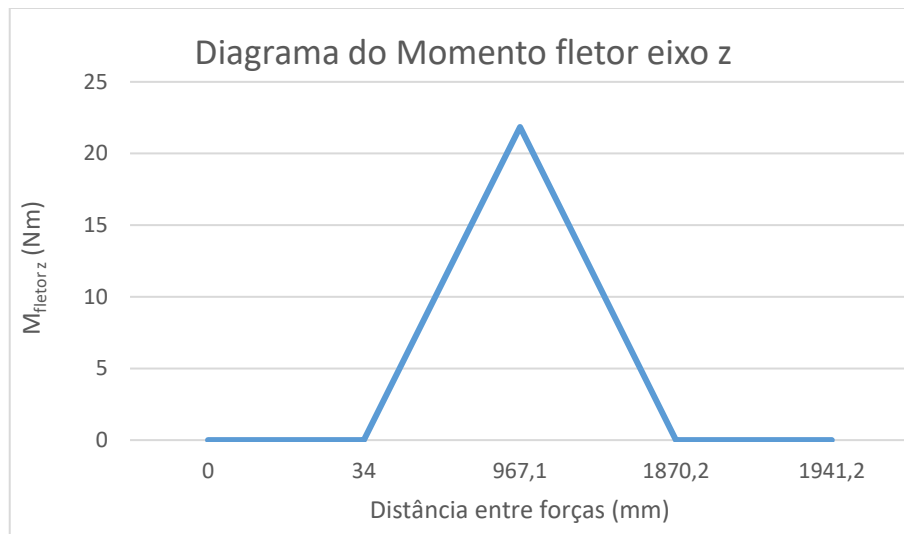


Gráfico 2 – Variação do momento fletor no eixo z em função da distância.

Após determinar a variação do momento fletor para o eixo y e para o eixo z é possível calcular o momento fletor combinado (M_{fletor}) presente no sistema. Na Equação 45 encontra-se o momento fletor combinado e este equivale à raiz quadrada da soma dos quadrados dos momentos nas mesmas localizações.

$$M_{fletor} = \sqrt{(M_{fletor\ z})^2 + (M_{fletor\ y})^2} = 119,6\text{ Nm}$$

Equação 45

Uma vez que o local com maior momento fletor corresponde quando $x = 1015,6\text{ mm}$, conclui-se que esta posição representa o local crítico do conjunto do rolo mandante.

Assim é possível determinar a amplitude da tensão (σ_a^{VM}) como mostra a Equação 47 e a tensão média (σ_m^{VM}) na Equação 46.

$$\sigma_m^{VM} = \sqrt{\left(\frac{4 \times N}{\pi \times \phi_{rolo}^2}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{16 \times M_{torsor}}{\pi \times \phi_{rolo}^3}\right)^2} = 0,03\text{ MPa}$$

Equação 46

$$\sigma_a^{VM} = \frac{32 \times M_{fletor}}{\pi \times \phi_{rolo}^3} = 9,75\text{ MPa}$$

Equação 47

Antes de verificar o coeficiente de segurança obtido é necessário determinar a tensão de fadiga (σ_f). Para obter esta variável efetuaram-se diversas etapas para obter todos os valores presentes na Equação 48.

$$\sigma_f = k_a \times k_b \times k_c \times k_e \times k_d \times k_f \times \sigma_{f0}$$

Equação 48

- Tendo em conta que o valor de σ_{f0} é desconhecido, este obteve-se através da Equação 49, uma vez que o veio é composto por aço e $\sigma_{rotura} \leq 1400$ MPa, neste caso considerou-se o coeficiente de rotura do material mais frágil, ou seja, do aço DD11.

$$\sigma_{f0} = 0,5 \times \sigma_{rotura} = 187,5 \text{ MPa}$$

Equação 49

- Acabamento superficial, tendo em conta que a superfície do veio é retificada, Equação 50:

$$k_a = 0,89$$

Equação 50

- Efeito tamanho, considerando que o veio se encontra sujeito a flexão e a torção, Equação 51:

$$k_b = 1,189 \times \phi_{rolo}^{-0,097} = 0,8135$$

Equação 51

- Fiabilidade, tendo em conta que $R = 99,9\%$ e $s = 8\%$, Equação 52:

$$k_c = 1 - s \times z = 1 - 3,090 \times 0,537 = 0,753$$

Equação 52

- Temperatura, onde $T \leq 350^\circ \text{C}$, Equação 53:

$$k_d = 1$$

Equação 53

- Concentração de tensões à concentração de tensões, Equação 54:

$$k_e = 1$$

Equação 54

- Efeitos diversos, Equação 55:

$$k_f = 1$$

Equação 55

Assim o coeficiente de segurança obtido corresponde ao valor da Equação 56:

$$\sigma_a^{VM} + \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_r}\right) \times \sigma_m^{VM} = \frac{\sigma_f}{CS_{fadiga}} \Leftrightarrow CS_{fadiga} = 14$$

Equação 56

- **Seleção das chumaceiras (2801-04)**

Para finalizar a análise do conjunto do rolo mandante, é essencial abordar o método utilizado que evita este conjunto de se movimentar lateralmente e que permite a sua rotação sem fricção com componentes imóveis, garantindo um funcionamento suave. Deste modo, decidiu-se utilizar duas chumaceiras (2801-02) localizadas nas extremidades do conjunto rolo mandante sendo estas aparafusadas ao suporte lateral esquerdo (0801) e direito (1101). Contudo, uma vez que o conjunto rolo guia também apresenta rotação, também se colocaram duas chumaceiras (2703-04) nas

extremidades deste conjunto, sendo as chumaceiras aparafusadas à chapa móvel. Tendo em conta que as chumaceiras não apresentam orifício roscado, recorreu-se a porcas e anilhas para fixar os parafusos; para mais informação sobre estes elementos de fixação ver capítulo 3.8 na página 92.

As chumaceiras utilizadas para este conjunto são da empresa SKF, [49], e foram seleccionadas para a força radial no rolamento, o limite de velocidade e o diâmetro interior. Estes fatores são fundamentais para garantir que os rolamentos suportam as forças e cargas durante o funcionamento.

O cálculo da força radial no rolamento constitui um aspeto importante no processo de análise. A Equação 57 relaciona as forças na tela com o ângulo de contacto com o rolo mandante (180°). Esta equação é útil para determinar a força radial (F_{radial}) que se exerce sobre os rolamentos durante o funcionamento, permitindo seleccionar chumaceiras com rolamentos que apresentem capacidade de suportar esta força.

$$F_{radial} = \frac{F_1 + F_2}{2} = \frac{F_1}{2} \times \frac{e^{\mu_{tela_{rolo}} \times \theta} + 1}{e^{\mu_{tela_{rolo}} \times \theta}} = 32,5 \text{ N}$$

Equação 57

Uma vez determinada a força radial, foi considerada também a velocidade angular no sistema. Embora esta variável não tenha um valor elevado, continua a ser essencial para garantir que os rolamentos escolhidos possam suportar as cargas estabelecidas durante a avaliação. Ao examinar o diâmetro interno do rolamento, restringiram-se as opções disponíveis e seleccionou-se uma chumaceira com um diâmetro superior a 30 mm.

Por fim, através desta análise seleccionou-se a chumaceira F2BRD 30M-FM para o sistema. Esta é capaz de suportar as forças e cargas exercidas durante o funcionamento e assegurará um desempenho suave e fiável. As características da chumaceira seleccionada podem ser consultadas no Anexo A e ela pode ser vista na Figura 45.



Figura 45 – Representação da chumaceira F2BRD 30M-FM, adaptado de [49]

3.7.2. Tubo intermédio (1201-04)

O tubo intermédio é de aço DD11 [47]. No capítulo 3.10, na página 101, é possível ver o desenho técnico deste componente. Este componente é fixo ao suporte lateral esquerdo (0801) e ao suporte lateral direito (1101) através de duas anilhas planas e dois parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal que são roscados em duas porcas sextavadas de soldadura que se encontram nas extremidades do tubo. Estas porcas são um tipo de fixador concebido para ser permanentemente soldado a uma peça de trabalho, criando uma ligação roscada. Utilizaram-se estes componentes para fornecer um orifício roscado num componente metálico que não pode ser facilmente roscado. O fornecedor deste componente é uma empresa denominada de JMM Gonçalves Ida [50]. Estes elementos de fixação são abordados no capítulo 3.8 na página 92.

O tubo intermédio (1201-04) é obtido pela mesma máquina corte laser tubo utilizada para cortar o tubo central do conjunto do rolo mandante, contudo, como se vê na Figura 46, este tubo necessitou de um rasgo para permitir a passagem da guia presente na tela.

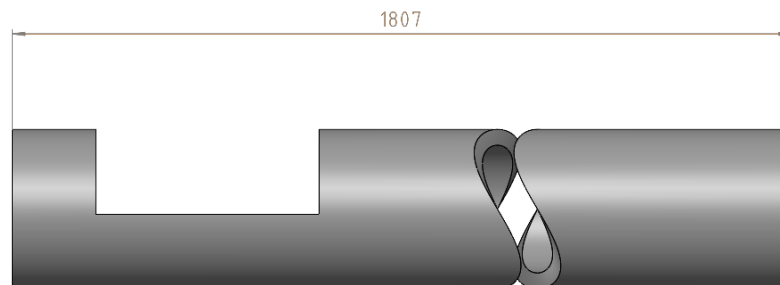


Figura 46 – Estrutura do tubo intermédio (1201).

Na análise estática deste constituinte teve-se em conta a força vertical realizada pela tela e pela carga transportada, contudo aumentou-se o valor desta força com o intuito de garantir que o elemento em estudo resiste a cargas extras colocadas no seu topo. Outra força aplicada foi a força de deslizamento da tela sendo esta aplicada na horizontal. Os pontos fixos na análise correspondem às faces do tubo em contacto com a porca de soldadura. Na Figura 47 encontram-se todas as forças e pontos fixos referidos anteriormente. A simulação no *Solidworks* mostra que o ponto de mais crítico do tubo corresponde ao local do rasgo, como era de esperar, e a tensão nesta zona corresponde a 155 MPa, como se pode ver na Figura 47.

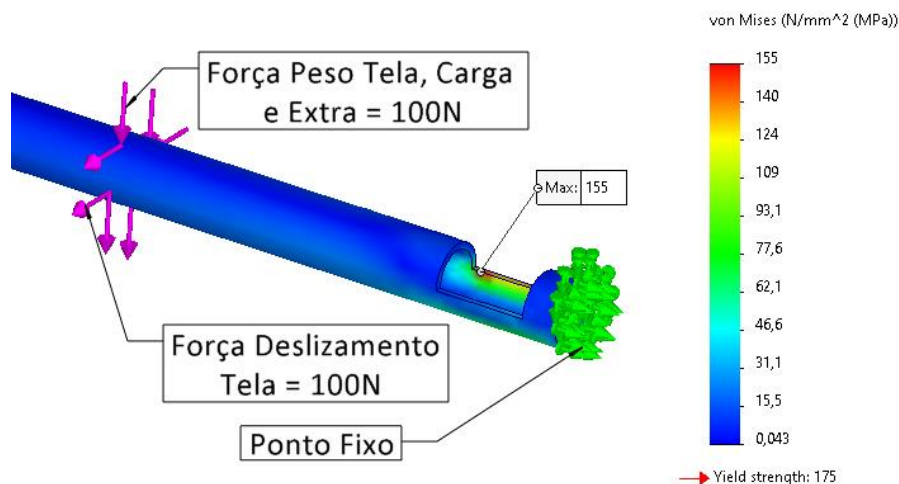


Figura 47 – Representação da distribuição das tensões no tubo intermédio (1201).

Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com este componente.

3.7.3. Suporte do motorreductor (2501)

Este elemento foi projetado com a intenção de fixar o motorreductor, pelo que necessita de boas propriedades mecânicas pois o motorreductor é um componente que tem elevada massa e causa vibrações no sistema. A solução mais simples para o design deste componente equivale a uma chapa de 3mm de espessura dobrada em U em aço DD11, [47]. No capítulo 3.10, na página 101, encontra-se o desenho técnico do suporte motorreductor.

O suporte do motorreductor (2501) encontra-se fixo ao motorreductor por quatro parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal e também se encontra aparafusado ao suporte lateral esquerdo (0801) por oito parafusos. Como a chapa lateral não é roscada para o parafuso também se utilizaram porcas hexagonais e anilhas planas A para não danificar as superfícies e permitir uma maior área de contacto entre os componentes. Os elementos de fixação são abordados com maior detalhe no capítulo 3.8 na página 92.

No estudo realizado para o suporte do motorreductor aplicou-se um esforço vertical na face em contacto com o sistema de acionamento que apresenta um valor superior ao peso do motor. Também se teve em conta a possibilidade de forças provenientes do encosto de pessoas tal como a colocação de peso extra no topo do suporte. As zonas fixas correspondem aos locais em contacto com a cabeça dos parafusos sextavados. Pode-se ver o que foi referido sobre os esforços e zonas fixas na Figura 48. Nesta também é possível ver maior tensão neste componente, que é de 69,9 MPa.

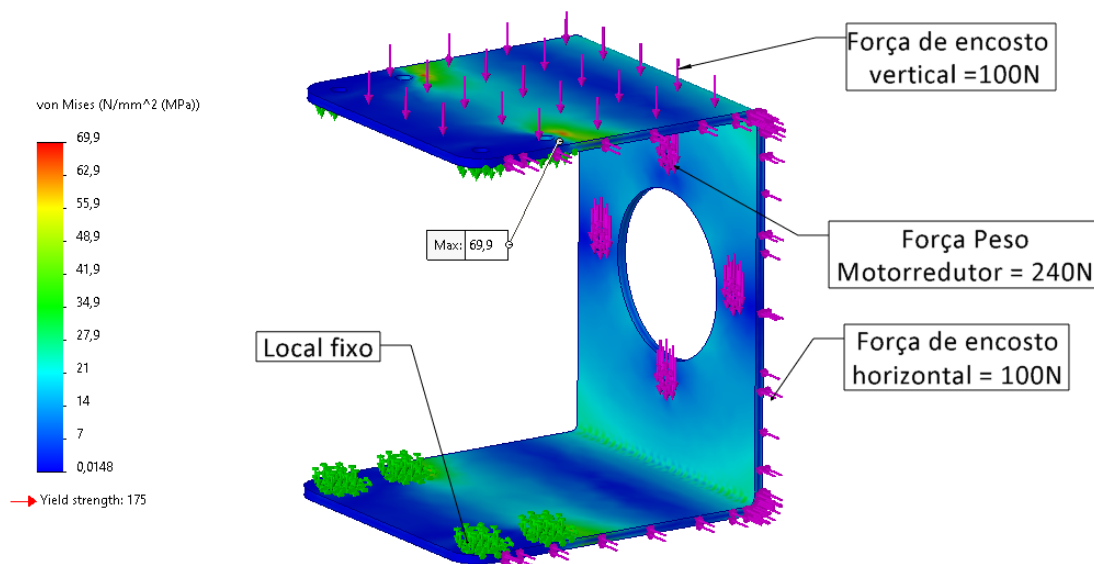


Figura 48 – Representação da distribuição das tensões no suporte motorreductor (2501).

Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente.

3.7.4. Conjunto esticador de tela

Para manter a tela tensionada, foi introduziram dois esticadores, um em cada extremidade do rolo guia. Os tensores são componentes críticos para o funcionamento eficiente dos sistemas de transporte. Estes são essenciais para manter a tensão correta da tela transportadora, assegurando o transporte eficaz do material ao longo da linha de produção.

A principal função de um tensor de tapete rolante consiste em manter a tela esticada e evitar folgas. Isto é importante visto que uma tela com tensão incorreta pode causar deslizamento, desvios e até danos na própria correia. Estes componentes compõem-se normalmente de um mecanismo de tensão manual ou automático.

No caso em estudo o esticador será manual e a sua composição pode-se ver na Figura 49, usam-se dois destes mecanismos para que a tensão de esticamento seja igual em ambos os lados do sistema transportador. Este conjunto é composto pelo suporte esticador (1001-02) que se encontra soldado ao suporte lateral esquerdo (0801) ou ao suporte lateral direito (1101) através de quatro soldas de ângulo. Também tem uma porca hexagonal soldada ao suporte esticador (1001-02) para conseguir um orifício roscado. O conjunto do esticador é constituído pelo suporte de deslizamento (0901-12) fixo à chapa lateral por meio de duas soldas de ângulo, pelo parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal M12, pela fêmea acoplada ao parafuso M12 e pela chapa móvel (2001-02) onde a chumaceira está aparafusada com parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal roscados a duas porcas hexagonais com anilhas planas A. Na página 92 é possível ver todos os elementos de fixação com maior detalhe. De notar que as soldas utilizadas são produzidas por soldadura MIG/MAG.

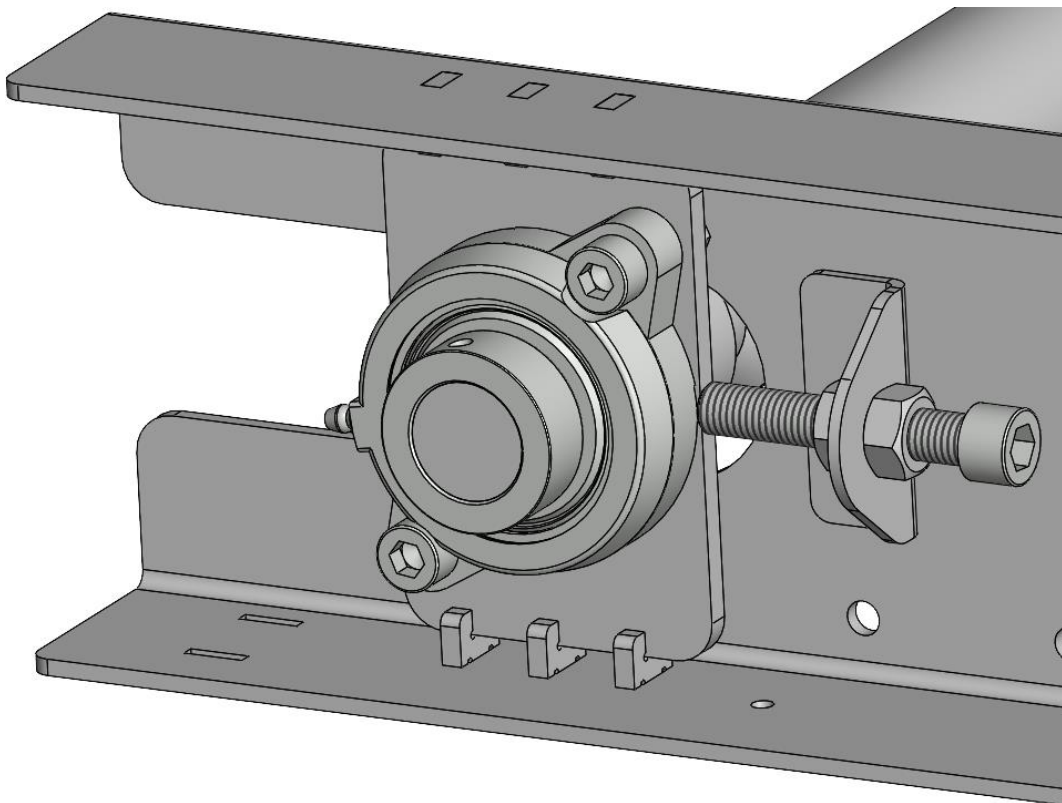


Figura 49 – Representação do tensionador da tela.

À medida que o parafuso M12 se desloca na horizontal a chapa móvel (2001-02) vai deslizando pelos suportes de deslizamento (0901-12). A porca acoplada ao parafuso M12 tem a função de regular o movimento deste parafuso. Tendo em conta que o rolo mandante está acoplado ao motorreductor o conjunto reductor situa-se no rolo guia, ou seja, no final do percurso realizado pelos artigos a ser transportados.

Como foi verificado anteriormente, para esticar a tela é necessário aplicar uma força de pré-carga ($F_{pré\ carga} = 22,6\text{ N}$). O momento de aperto necessário para tensionar a tela para atingir a pré-carga estimada de acordo com [43] foi calculado pela Equação 58. Esta inclui o binário de aperto (B_{aperto}), a força de pré-carga da tela ($F_{pré\ carga}$), o diâmetro médio da rosca do parafuso M12 (Φ_m), o passo do parafuso (p) e o coeficiente de atrito da rosca do parafuso M12 ($\mu_{parafuso} = 0,08$). O valor desta última variável foi consultado numa tabela fornecido pela Bossard [51] e foi assumido o valor mais crítico (ver esta tabela no APÊNDICE B).

$$B_{aperto} = \frac{F_{pré\ carga} \times \Phi_m}{2} \times \left(\frac{\pi \times \mu_{parafuso} \times \Phi_m - p}{\pi \times \Phi_m - \mu_{parafuso} \times p} \right) = 0,0319\text{ Nm}$$

Equação 58

Para se obter o diâmetro médio da rosca do parafuso M12 (Φ_m) recorreu-se ao livro de Simões Morais e retiraram-se os valores do diâmetro mínimo da rosca ($\Phi_{mínimo}$) e o diâmetro máximo ($\Phi_{máximo}$) da rosca e de seguida aplicou-se a Equação 59.

$$\Phi_m = \frac{\Phi_{mínimo} + \Phi_{máximo}}{2}$$

Equação 59

Após determinado o binário necessário para o esticamento da tela realizaram-se estudos de simulação através do *Solidworks* no suporte esticador e no suporte deslizamento, pois estes dois componentes encontram-se fixos e podem não aguentar os esforços a que estão sujeitos.

- **Chapa móvel (1001-02)**

O componente chapa móvel (2001-02) corresponde a uma chapa com espessura de 10 mm em aço DD11, [47]. O estudo realizado para este componente é bastante simples, ou seja, apresenta poucos esforços aplicados, um esforço considerado corresponde à possibilidade de a chumaceira aparafusada ser puxada para baixo (força vertical) a outra força considerada equivale à tensão de pré-carga a que as chumaceiras se encontram sujeitas (força horizontal). Os locais fixos correspondem às duas zonas em contacto com os suportes de deslizamento (0901-12), contudo apenas se impediu o movimento em dois eixos, o eixo axial da chumaceira e o eixo vertical. Para o estudo se encontrar bem definido a peça em estudo necessita de estar imóvel nos três eixos, deste modo para fixou-se o eixo horizontal na zona de contacto com o parafuso afinador. Na Figura 50 é possível ver os esforços aplicados e os locais fixos.

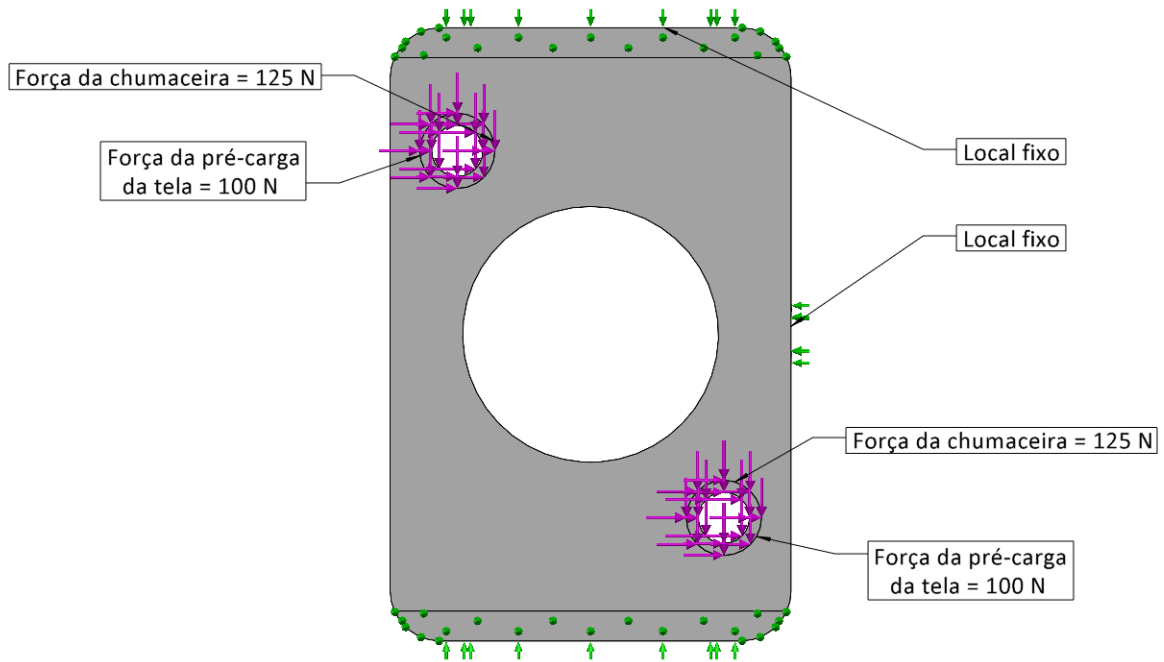


Figura 50 – Esforços e pontos fixos aplicados no estudo da chapa móvel (2001-02).

Após a realização da análise do componente verificou-se que a chapa móvel se encontrava sobredimensionada, pois as tensões obtidas são muito reduzidas. Deste modo alterou-se o valor da espessura da chapa móvel para 6 mm. De acordo com a Figura 51 é possível ver ambos os estudos realizados e conclui-se que o elemento em estudo continua sobredimensionado, contudo reduz-se a quantidade de aço utilizado. De notar que a tensão máxima varia consoante a espessura. No capítulo 3.10, localizado na página 101, encontra-se o desenho técnico da chapa móvel.

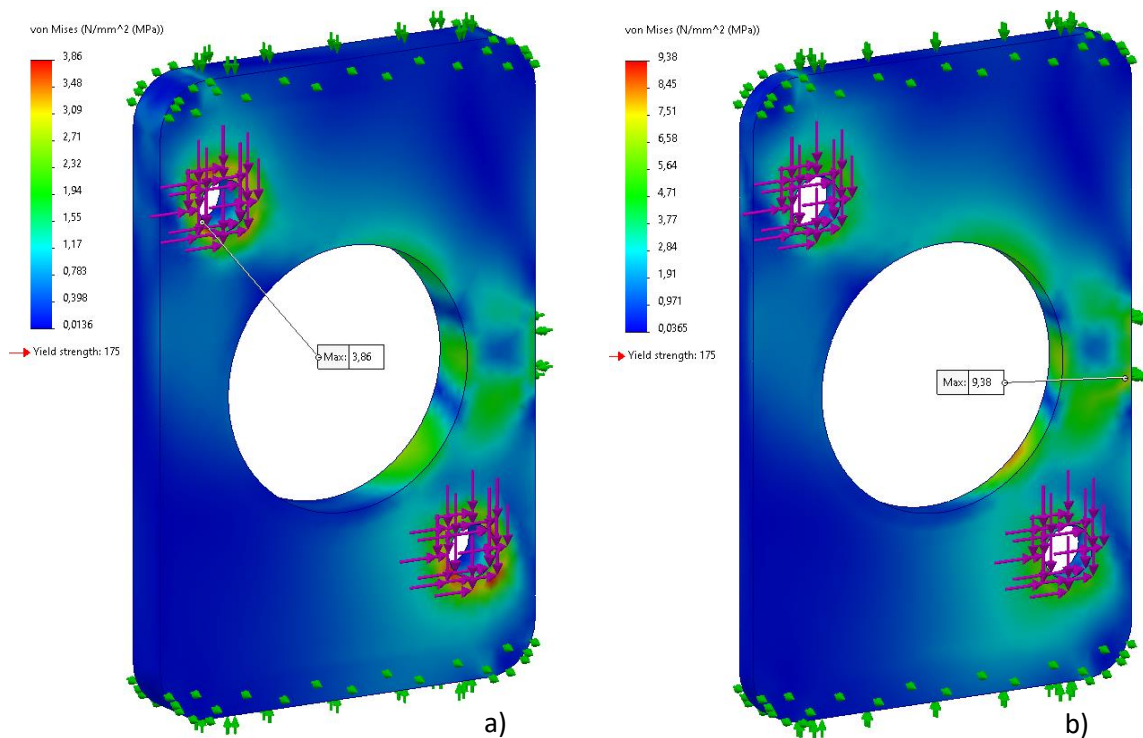


Figura 51 – Distribuição das tensões na chapa móvel com espessura de a) 6 mm e b) 10 mm (2001-02).

- **Suporte esticador (1001-02)**

O suporte do esticador (1001-02) é uma chapa quinada com espessura de 3 mm, obtida através de uma máquina de corte por laser e tendo em conta que existem dois suportes esticadores (1001-02), um está soldado ao suporte chapa lateral esquerdo (0801) e o outro ao suporte lateral direito (1101), cujo material é aço DD11, [47]. No estudo do suporte de esticador analisou-se o conjunto composto pelo suporte do esticador e pela chapa lateral e considerou-se a força de pré-carga ($F_{pré\ carga}$), contudo esta apresenta um valor superior ao seu valor original, simulando a situação em que alguém realiza o esticamento da tela e ultrapassa o valor necessário do binário de aperto (B_{aperto}). Também se considerou a possibilidade de o parafuso M12 se puxado para fora e para baixo dando origem a mais duas forças. Na Figura 52 é possível ver todas as forças mencionadas e os locais de aplicação. No capítulo 3.10, na página 101, encontra-se o desenho técnico do suporte esticador.

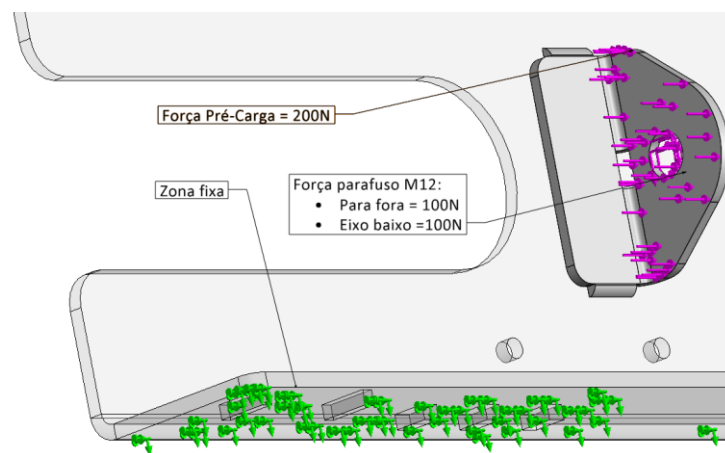


Figura 52 – Esforços e pontos fixos aplicados no estudo do suporte esticador (1001).

Neste caso a zona fixa corresponde à chapa lateral, permitindo ver as tensões nas soldas.: Deste modo ao simular o estudo obteve-se que a tensão máxima de 68 MPa está presente na solda traseira como representado na Figura 53. Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente.

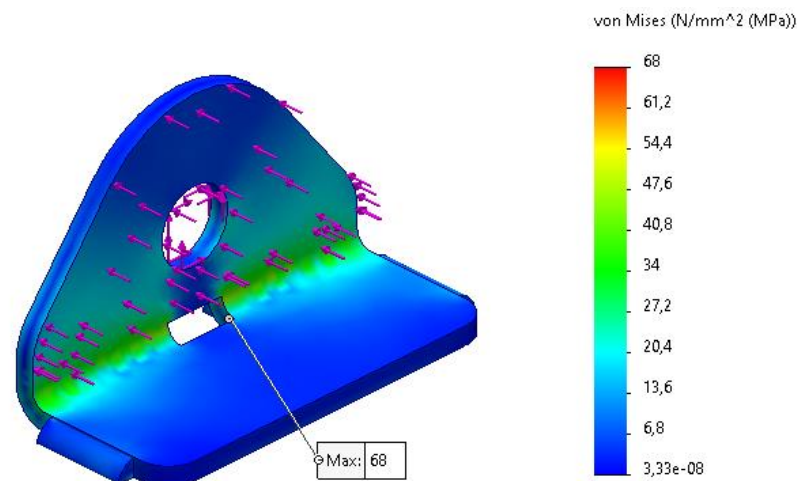


Figura 53 – Representação da distribuição das tensões no suporte esticador (1001).

- **Suporte de deslizamento (0901-12)**

O suporte de deslizamento (0901-12) é uma chapa em aço DD1 [47] com espessura de 6 mm dobrada em U, cortada por laser na Inovocorte. Nas faces interiores desse formato em U desliza a chapa móvel com a chumaceira do rolo guia aparafusada. Cada conjunto do esticador apresenta seis suportes de deslizamento, sendo cada um soldado à chapa lateral, como representado na Figura 54. Para facilitar e garantir o correto posicionamento destes elementos a chapa lateral apresenta seis rasgos com 0,1 mm. No capítulo 3.10, na página 101, encontra-se o desenho técnico do suporte deslizamento.

Os esforços exercidos correspondem ao peso da chapa móvel, a qualquer outro peso que possa ser exercido e a uma força proveniente do possível movimento axial do rolo guia. Apenas se avaliou uma das seis chapas, pois se uma aguentar os esforços aplicados então as outras também iriam suportar.

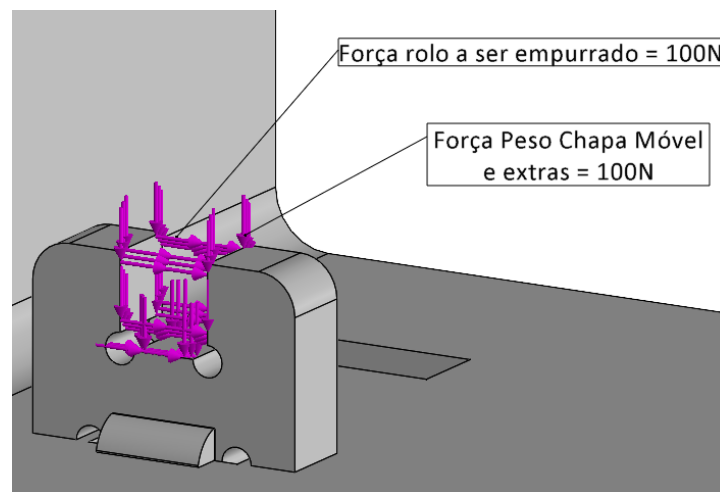


Figura 54 – Esforços e pontos fixos aplicados no estudo do suporte deslizamento (0901).

Do mesmo modo que no suporte do esticador a zona fixa corresponde à chapa lateral, assim obteve-se uma tensão máxima de 84,1 MPa na solda, como mostra a Figura 55. Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente.

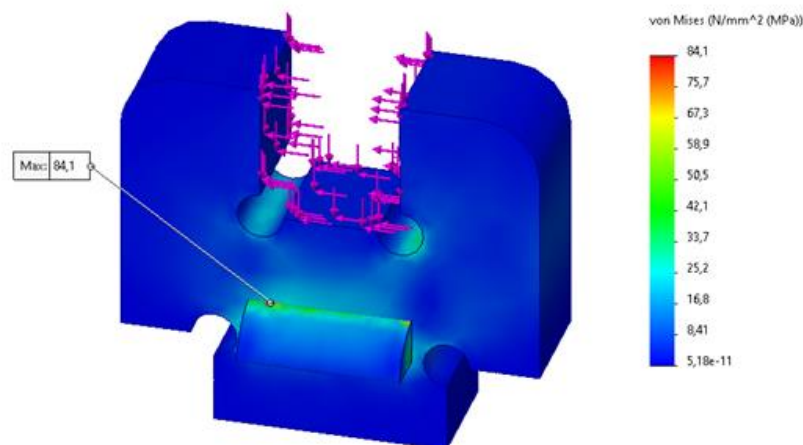


Figura 55 – Representação da distribuição das tensões no suporte deslizamento (0901).

3.7.5. Chapa de compressão (1701)

Como foi referido anteriormente, a chapa de compressão foi incluída no projeto de modo a garantir a que a capacidade máxima de artigos seja transportada pela plataforma móvel. Este componente é constituído por aço DD11, [47], e consiste numa chapa com espessura de 2 mm. As dimensões desta chapa são bastante grandes de modo a garantir que a etapa de compressão seja realizada para o comprimento máximo dos artigos transportados. No capítulo 3.10, na página 101, encontra-se o desenho técnico da chapa de compressão.

Tendo em conta que este elemento sofre um esforço vertical proveniente do impacto com os artigos no topo da plataforma móvel é essencial a sua devida fixação. Para garantir a capacidade máxima do sistema e para a queda dos artigos para a plataforma móvel ser reduzida é preciso que a localização desta chapa seja o mais alta possível. Deste modo, para cumprir estas duas especificações, a chapa de compressão encontra-se aparafusada a três tubos que servem de reforço. A ligação aparafusada utiliza seis parafusos de cabeça cilíndrica de oco hexagonal. Para ser possível criar estas roscas recorreu-se ao processo de *flowdrill* [52], [53]. Os elementos de fixação são abordados com maior detalhe no capítulo 3.8 na página 92.

O *flowdrilling* consiste num processo metalúrgico especializado para criar furos numa variedade de materiais sem a utilização de instrumentos de perfuração tradicionais. Esta técnica revela-se especialmente vantajosa para construções finas que requerem um furo roscado.

A perfuração de fluxo utiliza uma mistura de calor, pressão e força de rotação. Uma broca de fluxo é uma ferramenta especificamente construída que é utilizada para transmitir calor e pressão a uma região específica do material. À medida que a ferramenta gira e fornece força, ocorre um acúmulo de calor localizado, amolecendo o material.

A broca *flowdrill* empurra o material à medida que este amolece, criando um orifício com um anel de extrusão elevado à volta do seu contorno. Após a realização deste furo recorre-se a uma broca macho conferindo rosca ao furo. Na Figura 56 encontra-se uma representação deste processo.

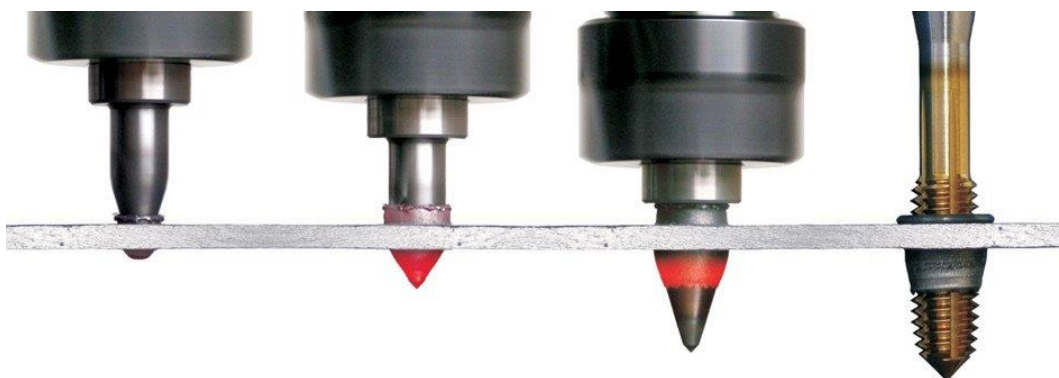


Figura 56 – Representação do método *flowdrill*. adaptado de [53].

Para analisar a chapa de compressão aplicou-se o esforço resultante do encosto dos artigos no topo da plataforma móvel e também se aplicou outra força proveniente do encosto de algum objeto ou indivíduo ao sistema de transporte. Neste caso como a chapa apenas se encontra fixa através de parafusos os locais fixos correspondem a todas as zonas de contacto com a cabeça dos parafusos utilizados, podendo ver-se este estudo na Figura 57. Deste modo a tensão máxima obtida corresponde a 53,7 MPa podendo-se ver a localização desta na Figura 57.

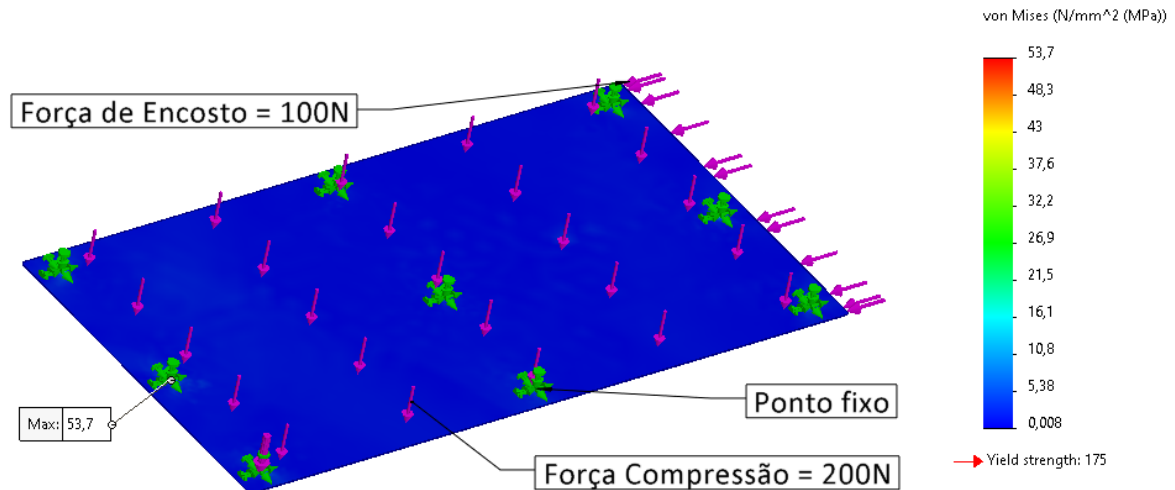


Figura 57 – Representação da distribuição das tensões na chapa compressão (1701).

Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente.

3.7.6. Conjunto sensor

O conjunto sensor apresenta a função de detetar o fim do trajeto dos artigos que se deslocam no topo da tela. Primeiramente foi essencial definir o método de deteção e que sensor utilizar.

Tendo em conta a diversidade de sensores disponíveis no mercado, existem diversas aplicações para detetar as peças de roupa; os sensores selecionados são fornecidos pela empresa Omron [54] e o método de deteção corresponde à retro reflexão. Esta técnica de deteção baseia-se no princípio do retro reflexão, que envolve a reflexão da luz de volta à sua fonte, independentemente do ângulo de incidência. É particularmente útil em cenários em que é necessária uma deteção fiável de objetos com características de superfície variáveis, como as peças de roupa.

O sistema de sensores retro reflexivos consiste normalmente em três componentes principais: uma fonte de luz, um alvo retro reflexivo e um sensor. A fonte de luz emite um feixe de luz em direção ao alvo, que é projetado para refletir a luz de volta para o sensor. O próprio alvo é composto por materiais especiais com propriedades retrorrefletoras, neste caso o refletor corresponde a um adesivo que se coloca na superfície do suporte refletor.

Quando um objeto entra na área de deteção, interrompe o feixe de luz entre a fonte e o alvo, fazendo com que uma parte da luz se disperse ou seja absorvida pelo mesmo. Como resultado, menos luz é refletida de volta para o sensor. O sensor capta esta diminuição da intensidade da luz refletida e interpreta-a como a presença de uma entidade. No caso em estudo, como as peças de roupa apresentam baixa opacidade, para garantir que a luz refletida é sempre menor que a luz emitida pelo sensor recorreu-se à tecnologia de deteção de objetos transparentes que exibem birrefringência P-opaquing (*Polarization-opaquing*) desenvolvida pela Omron.

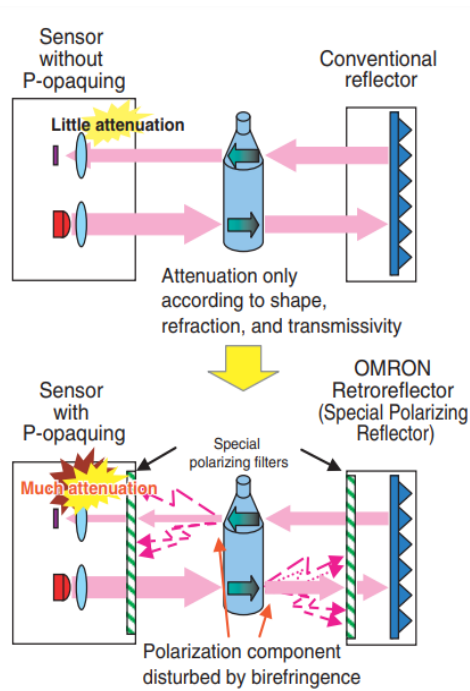


Figura 58 – Representação do fenómeno de birrefringência com a tecnologia P-opaquiung e sem [54].

A birrefringência é um fenómeno que ocorre em determinados materiais transparentes, fazendo com que estes tenham dois índices de refração diferentes para a luz polarizada em direções diferentes. Quando a luz passa através de um material birrefringente, divide-se em duas polarizações ortogonais, resultando em dois caminhos distintos com velocidades e direções diferentes. Deste modo o refletor e o sensor selecionados apresentam esta tecnologia e na Figura 58 é possível ver como funciona e como melhora o método de deteção.

Este conjunto é composto pelos sensores (3101-10), pelo cabo de alimentação do sensor (3201-10), pelo suporte sensor (3301) e pelo suporte refletor (3401). O sensor selecionado designa-se por E3FA-BP21 (Figura 59) e o refletor é designado por E39-R5P1. O sensor é cilíndrico e apresenta o corpo roscado, deste modo este componente fixa-se através de duas porcas; para realizar a conexão à caixa de controlo selecionou-se um cabo de conexão também da Omron, XS2F-D422-D80-F (Figura 59). As propriedades destes componentes encontram-se no Anexo A.



Figura 59 – Estrutura do sensor (E3FA-BP21) e da cablagem do sensor (XS2F-D422-D80-F) [54]

Ambos os suportes são chapas quinadas com espessura de 2 mm em aço DD11, [47]. O suporte sensor encontra-se aparafusado através de quatro parafusos sextavados à chapa lateral esquerda (0801) e à chapa lateral direita (1101), dois em cada ligação. Consequentemente recorreu-se à utilização de quatro porcas sextavadas e oito anilhas. O sensor tem rosca exterior logo para fixá-lo realizaram-se furos no suporte do sensor. O suporte do refletor é aparafusado ao tubo de reforço superior 3 (1501) através de quatro parafusos cónicos com sextavado interior e neste encontra-se

colado o refletor, que consiste num adesivo. Na Figura 60 é possível ver este conjunto e a distância entre o sensor e o refletor, que é uma variável essencial para o funcionamento do conjunto sensor. Os elementos de fixação são abordados com maior detalhe no capítulo 3.8 na página 92.

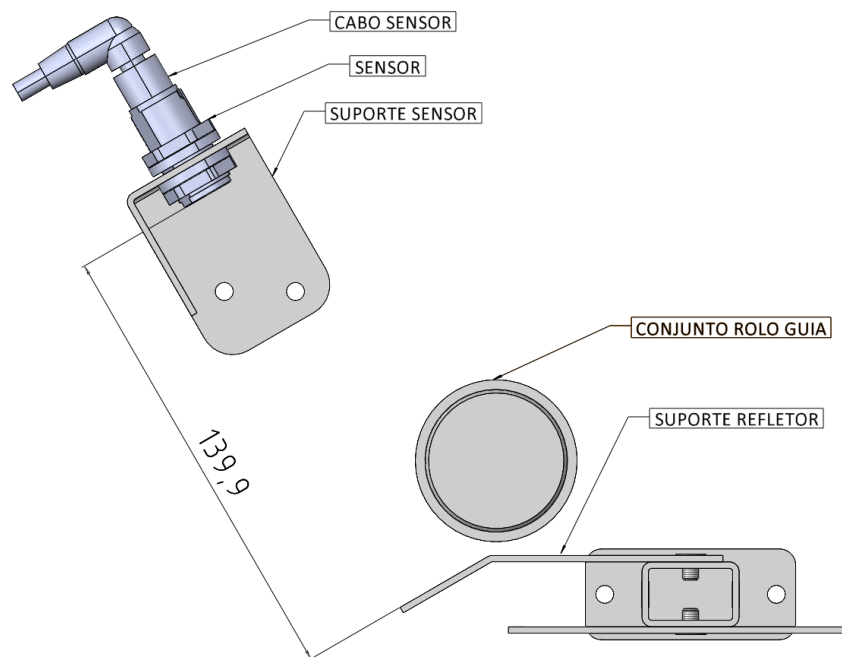


Figura 60 – Representação do conjunto sensor.

- **Suporte do sensor (3301)**

O componente suporte do sensor, como indica o nome apresenta como objetivo fixar o sensor na sua posição e salvaguardar este elemento de perturbações que possam afetar a direção do seu feixe luz. No capítulo 3.10, na página 101, encontra-se o desenho técnico do suporte sensor.

Este elemento apresenta capacidade para dez sensores, separados por uma distância de 190 mm. Esta distância foi escolhida tendo em mente a largura mínima de peça transportada pelo tapete rolante, contudo ao analisar a estrutura do suporte é possível aumentar a precisão de deteção até uma distância mínima entre sensores de 100 mm.

Um aspeto relevante na estrutura deste componente é o facto de permitir a passagem dos cabos de ligação do sensor, pelos furos realizado na aba. Estes furos seguem um padrão de dois furos de diâmetro de 10 mm seguidos por um furo de diâmetro de 26 mm e depois outra vez os dois furos de 10 mm. Desta forma, a passagem dos cabos realiza-se de forma suave e não interfere com o feixe de luz do sensor, uma vez que o diâmetro do cabo de ligação corresponde a 6 mm e estes elementos vêm incorporados com um conector de angulo reto.

No estudo deste componente considerou-se a força proveniente do peso dos sensores e da cablagem destes e uma força de encosto perpendicular à aba de passagem dos cabos do sensor, contudo estes valores não são muito elevados. Os sensores, são equipamentos muito frágeis e dispendiosos, e tendo em conta a sua posição não devem ser expostos a qualquer tipo de perigo. Os pontos fixos correspondem às zonas de contacto com os parafusos. Na Figura 61 encontram-se os esforços e os pontos fixos aplicados. Deste modo a tensão máxima obtida corresponde a 120 MPa podendo-se ver a localização desta na Figura 61.

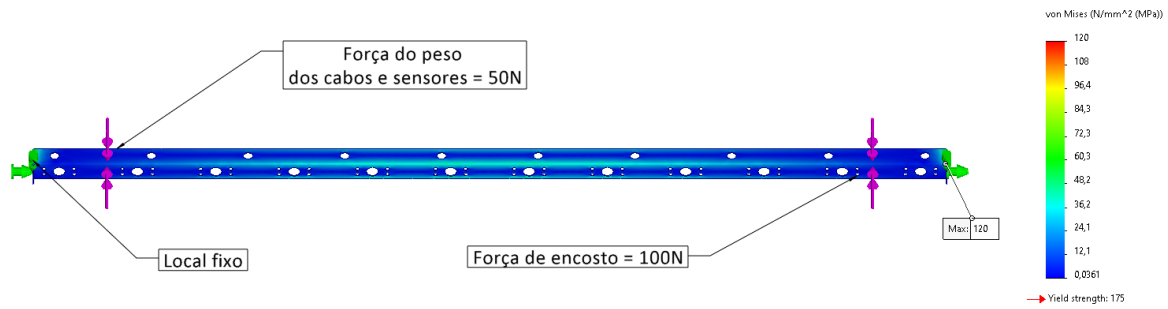


Figura 61 – Representação da distribuição das tensões no suporte sensor (3301).

Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente

- **Suporte do refletor (3401)**

O suporte do refletor apresenta a mesma função do suporte do refletor, contudo neste caso aplica-se ao adesivo refletor em vez do sensor. A estrutura deste componente é obtida através de quinagem e as dimensões foram definidas com o intuito de fornecer uma rampa às peças de roupa ao serem transportadas da tela para a plataforma móvel. No capítulo 3.10, na página 101, encontra-se o desenho técnico do suporte refletor.

No estudo realizado aplicou-se uma força de encosto aplicada horizontalmente ao componente e uma força de queda de roupa, contudo este último esforço apresenta um valor elevado pois a queda de roupa é constante e apesar dos artigos apresentarem baixa massa com o passar do tempo o desgaste do suporte refletor vai aumentando. Deste modo evita-se este acontecimento. Os locais fixos correspondem às zonas dos parafusos.

Desta forma a tensão máxima obtida corresponde a 170 MPa e localiza-se ao redor dos parafusos centrais, podendo-se ver as forças na Figura 62, os pontos fixos e a distribuição da tensão neste componente.

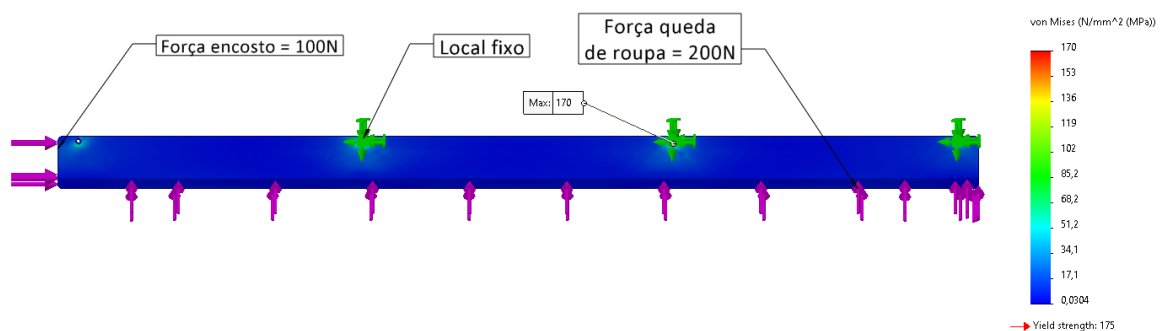


Figura 62 – Representação da distribuição das tensões no suporte refletor (3401).

Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente.

3.7.7. Conjunto reforço superior

De modo a fornecer alguma estabilidade ao sistema de transporte modular e permitir a fixação da chapa de compressão (1701) introduziram-se quatro tubos obtidos pela máquina corte laser em aço DD11, [47]. Estes quatro tubos apresentam pequenas diferenças entre si, o tubo mais próximo do sistema de acionamento, apenas serve para conferir estabilidade ao sistema transportador e designa-se por reforço superior 1 (1301). Por outro lado, os dois tubos centrais, denominados por reforço superior 2 (1401-02) apresentam seis furos roscados, três em cada tubo através do procedimento de flowdrill, sendo estes utilizados para aparafusar a chapa de compressão. O último tubo com a designação de reforço superior 3 (1501) apresenta sete furos roscados, três na face em contacto com a chapa de compressão e quatro na face em contacto com o suporte do refletor (3401). Estes furos obtiveram-se através do método flowdrill. No capítulo 3.10, na página 101, encontram-se os desenhos técnicos destes componentes.

Com o objetivo de facilitar a montagem do sistema de transporte decidiu-se não soldar estes tubos à chapa lateral, assim nas extremidades de cada tubo soldou-se o componente suporte do reforço superior (1601-08) através de uma solda de ângulo com cordão contínuo. Consequentemente, para fixar este conjunto à chapa lateral utilizaram-se dois parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal por cada chapa de fixação com duas anilhas planas para evitar o contacto do parafuso com a chapa. Devido à falta de orifício roscado na parte da chapa lateral utilizaram-se porcas hexagonais e anilhas plana para roscar os parafusos. Os elementos de fixação são abordados com maior detalhe no capítulo 3.8 na página 92.

O estudo realizado envolve o componente reforço superior 3 (1501) e o suporte reforço superior (1601-02), uma vez que se encontra sujeito a maiores esforços comparando com os outros tubos. Neste considerou-se o esforço de encosto devido à possibilidade de contacto horizontal com o conjunto. Também se aplicaram o esforço dos parafusos resultante do aparafusamento da chapa de compressão e do suporte do refletor. Com o auxílio do *Solidworks* e uma vez que as zonas fixas correspondem ao local de contacto da cabeça do parafuso é possível veros esforços nestes locais. Primeiro é essencial realizar o estudo para as peças que transmitem forças e depois através da função List Result Force os esforços transmitidos são exibidos, podendo-se ver na Figura 63 força no parafuso do suporte do refletor.

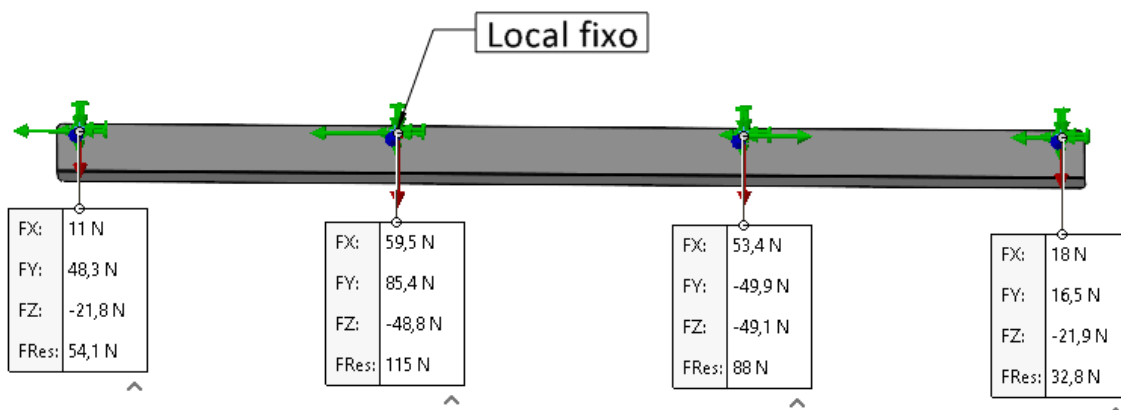


Figura 63 – Esforços provenientes da ligação aparafusada entre o suporte refletor (3401) e o reforço superior 3 (1501).

Após a determinação destas forças aplicam-se nos mesmo locais no conjunto em análise. Os pontos fixos foram aplicados nas zonas de contacto dos parafusos aparafusados à chapa lateral. Na Figura 64 encontram-se as forças e os locais fixos descritos anteriormente.

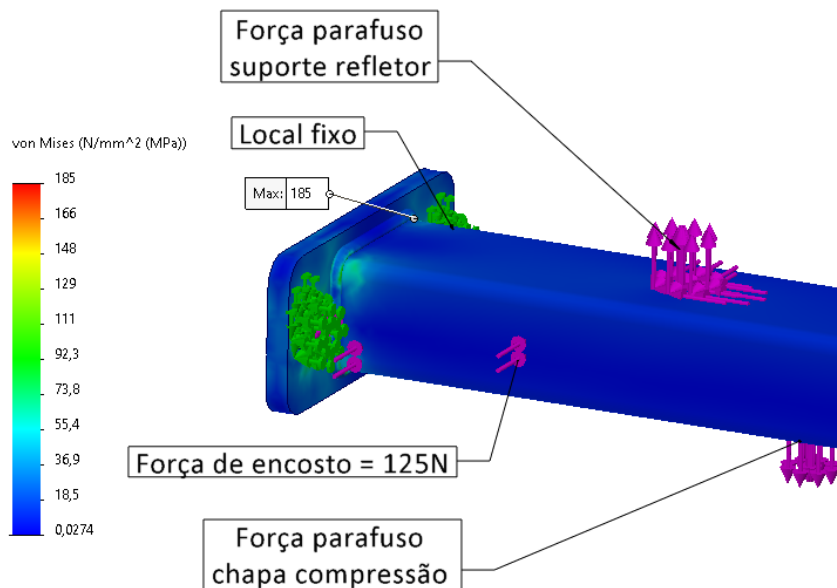


Figura 64 – Representação da distribuição das tensões no conjunto reforço superior.

Após analisar os resultados obtidos pelo estudo realizado a tensão máxima localiza-se nas soldas para fixar a chapa de fixação e o tubo reforço superior e o valor atingido foi de 185 MPa.

Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente.

3.7.8. Conjunto reforço inferior

O conjunto reforço inferior é bastante semelhante ao conjunto superior. Ambos são constituídos por tubos soldados a chapas de fixação em aço DD11, [47], contudo neste caso apenas existem três tubos no reforço inferior, onde dois tubos denominados por reforço inferior pequeno (2102-02) são exatamente iguais e o outro tubo, designado por reforço inferior grande (2501) apresenta mais 10 mm de comprimento. Outra semelhança é o facto de ambos os tubos terem o componente suporte reforço inferior (2601-06) soldado nas extremidades, através de um cordão de soldadura contínuo de ângulo. Este conjunto aparafusa-se ao conjunto estrutura lateral através de quatro parafusos sextavados. Os elementos de fixação são abordados com maior detalhe no capítulo 3.8 na página 92.

O estudo realizado envolve o componente reforço inferior grande (2501) e o suporte reforço inferior (2601-02). Neste aplicaram-se apenas esforços de encosto de qualquer tipo de instrumento ou indivíduo ao conjunto, desta forma a força aplicada apresenta uma componente vertical e outra horizontal, sendo que cada componente é aplicada em faces diferentes. De notar que os esforços são superiores ao conjunto analisado anteriormente. As zonas fixas aplicaram-se nas zonas de contacto dos parafusos aparafusados ao conjunto estrutura lateral. Na Figura 65 encontram-se as forças e os locais fixos descritos anteriormente.

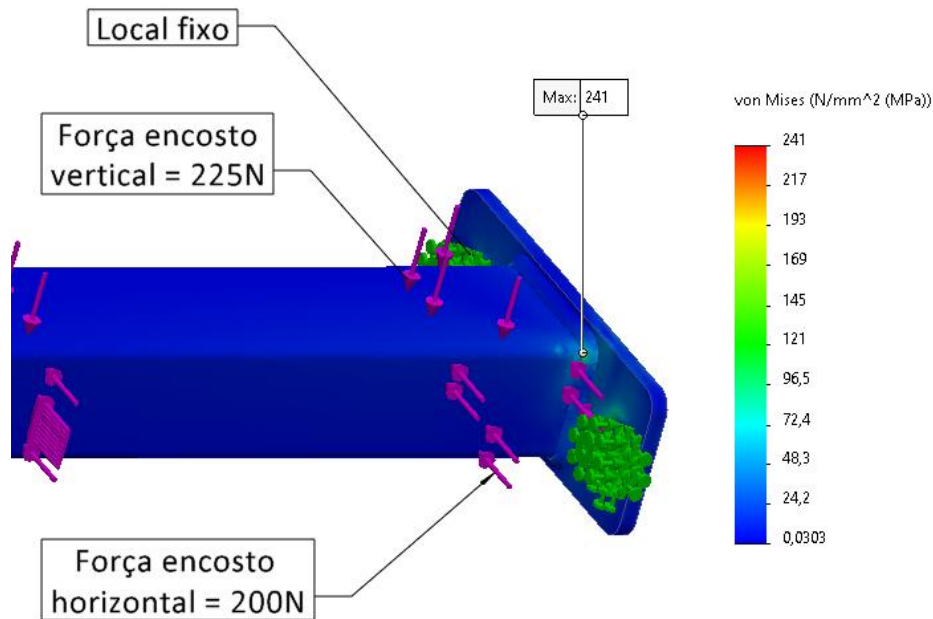


Figura 65 – Representação da distribuição das tensões no conjunto reforço inferior.

Ao analisar os resultados atingidos conclui-se que o local da tensão máxima se encontra nas soldas e apresenta o valor de 241 MPa, como demonstrado na Figura 65. Como a tensão de cedência é muito maior do que a tensão de von Mises máxima na peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos componentes normalizados que contactam com o componente.

No capítulo 3.10, na página 101, encontram-se os desenhos técnicos dos componentes mencionados anteriormente (reforço inferior pequeno (2102-02), reforço inferior grande (2501) e suporte reforço inferior (2601-06)).

3.7.9. Conjunto estrutura lateral

O conjunto estrutura lateral consiste no suporte lateral, em quatro tubos de suporte, dos quais dois se encontram na vertical (0401-02), dois na horizontal onde um apresenta furos (0701) e outro não (0601), duas tampas (0501-02) para resguardar a base dos tubos verticais e pelos tubos de esmagamento. De notar que os tubos de esmagamento apresentam dimensões diferentes, pois os tubos verticais e horizontais não apresentam as mesmas medidas de perfil, assim existem os dois tubos esmagamento pequeno (2401-02) e os quatro tubos esmagamento grande (2301-04).

O topo dos tubos suporte verticais encontram-se soldados à chapa lateral e a face lateral aos tubos horizontais através de soldadura MIG/MAG com um cordão de ângulo contínuo. Por outro lado, a base do tubo vertical solda-se às tampas com um cordão em meio V, sendo este posteriormente rebarbado. Na Figura 66 encontra-se a estrutura descrita. Para facilitar o processo de soldadura e garantir que todos os componentes se encontram nos locais devidos inseriram-se entalhes em todas as ligações soldadas. No tapete rolante desenvolvido existe um conjunto estrutura lateral esquerdo e direito, idênticos com a única diferença no elemento suporte lateral esquerdo (0801) e direito (1101).

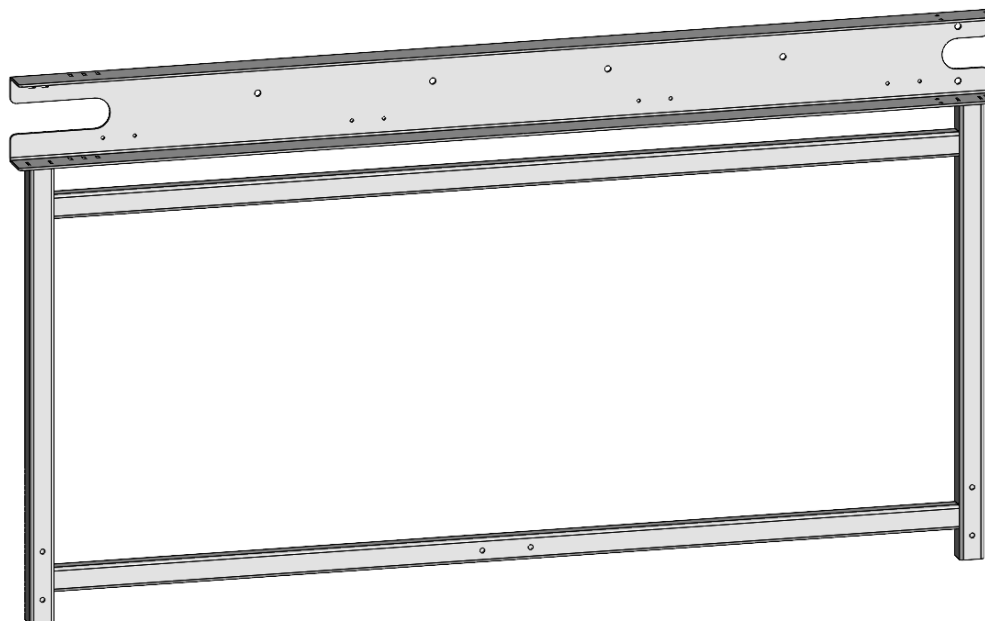


Figura 66 – Representação do conjunto estrutura lateral.

O conjunto estrutura lateral corresponde ao alicerce do sistema transportador, deste modo este conjunto suporta o maior número de esforços pois todos os outros componentes estão conectados a este. O desenho técnico de cada componente mencionado anteriormente encontra-se no capítulo 3.10, na página 101,

A chapa lateral é constituída por uma chapa dobrada em U com espessura de 4 mm. Este elemento tem dois rasgos em cada extremidade. Estes rasgos foram implementados para ser possível a montagem do rolo mandante e do rolo guia e têm um diâmetro de 52 mm, dando origem a uma folga evitando o contacto entre os dois rolos e a chapa.

Os tubos de suporte têm furos perto da sua base para possibilitar a inclusão de tubos de esmagamento. Estes componentes ajudam os tubos a resistir às forças de aperto dos parafusos, protegendo os tubos suporte. Os tubos de esmagamento entram pelo furo do tubo suporte e encostam-se à chapa de fixação, depois com a força de aperto fixam-se na sua posição (ver Figura 67).

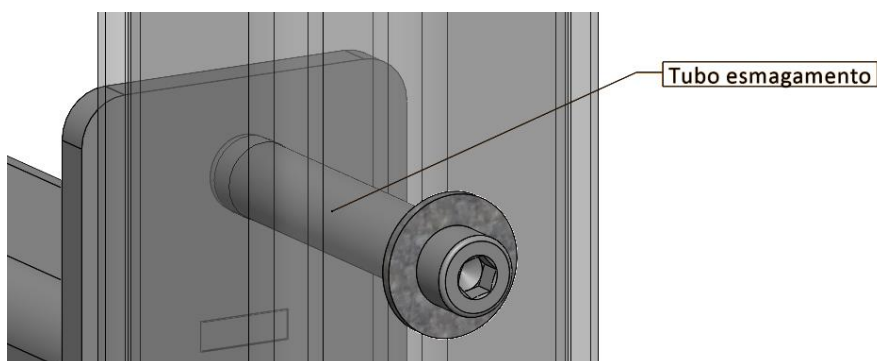


Figura 67 – Elucidação do posicionamento do tubo de esmagamento grande (2301).

De seguida analisam-se as tampas, que têm um furo roscado, uma vez que se decidiu utilizar pés niveladores. Estes dispositivos desempenham um papel importante na estabilidade, equilíbrio e desempenho de uma vasta gama de objetos, desde maquinaria pesada a mobiliário.

Os pés de nivelamento destinam-se a compensar terrenos irregulares, assegurando que o objeto suportado se mantém estável e seguro. Estes pés proporcionam estabilidade e evitam oscilações, vibrações ou potenciais danos causados por uma carga desequilibrada, permitindo ajustes exatos. Os pés niveladores utilizados são fornecidos pela Norelem e designam-se por Pé Nivelador 27795-4708X040 (3801-04), podendo-se ver na Figura 68.



Figura 68 – Pé nivelador 27795-4708X040 (3801) utilizado no sistema transportador [38].

De acordo com o catálogo fornecido pela Norelem estes componentes aguentam no máximo uma força de 4 kN , e tendo em conta que o peso total do tapete rolante corresponde a $(166 \times 9,81)\text{ N}$, verifica-se que estes componentes são suficientemente resistentes para o caso em estudo.

O estudo realizado para este conjunto demonstrou ser o mais complexo pois apresenta forças de ligações e apresenta diversas peças para analisar num só estudo. Os pontos fixos correspondem a base dos tubos verticais. Os esforços considerados dividiram-se em duas categorias: as forças externas e as forças de ligação. As forças externas são originárias do encosto de indivíduos ou de instrumentos apresentando valores elevados e cada esforço é aplicado a apenas uma direção, como se pode ver na Figura 69.

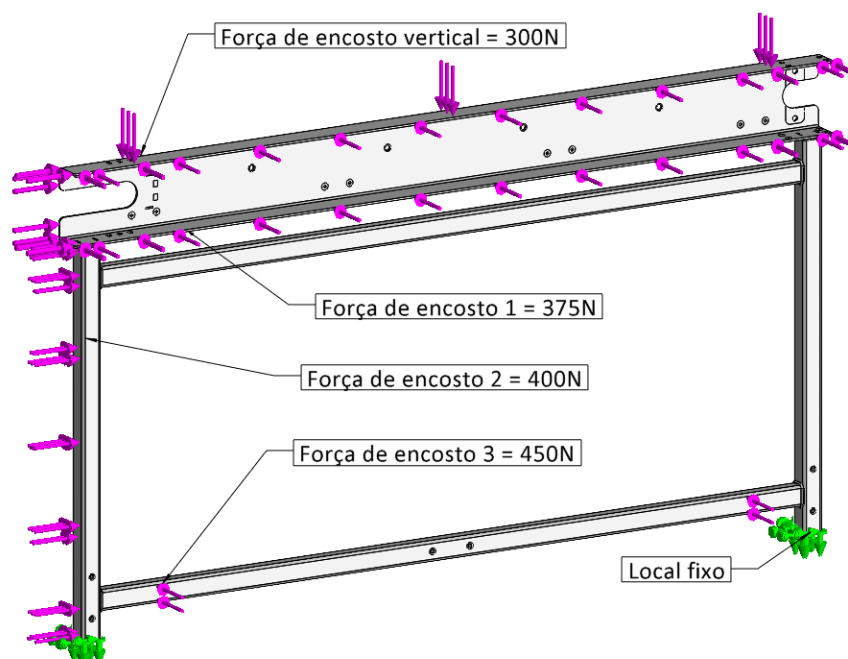


Figura 69 – Representação da localização das forças externas consideradas no estudo do conjunto estrutura lateral.

Por outro lado, as forças nas ligações são determinadas aplicando o mesmo raciocínio que se utilizou no estudo do conjunto reforço superior. Estas são menores comparando com os valores das forças externas, contudo como se mencionou anteriormente, grande parte dos componentes

apresenta forças de ligação com este último conjunto, resultando em muitas forças a serem aplicadas. Na Figura 70 identificam-se todas as forças de ligação presentes no conjunto estrutura lateral. Podem-se ver os valores destas forças APÊNDICE A.

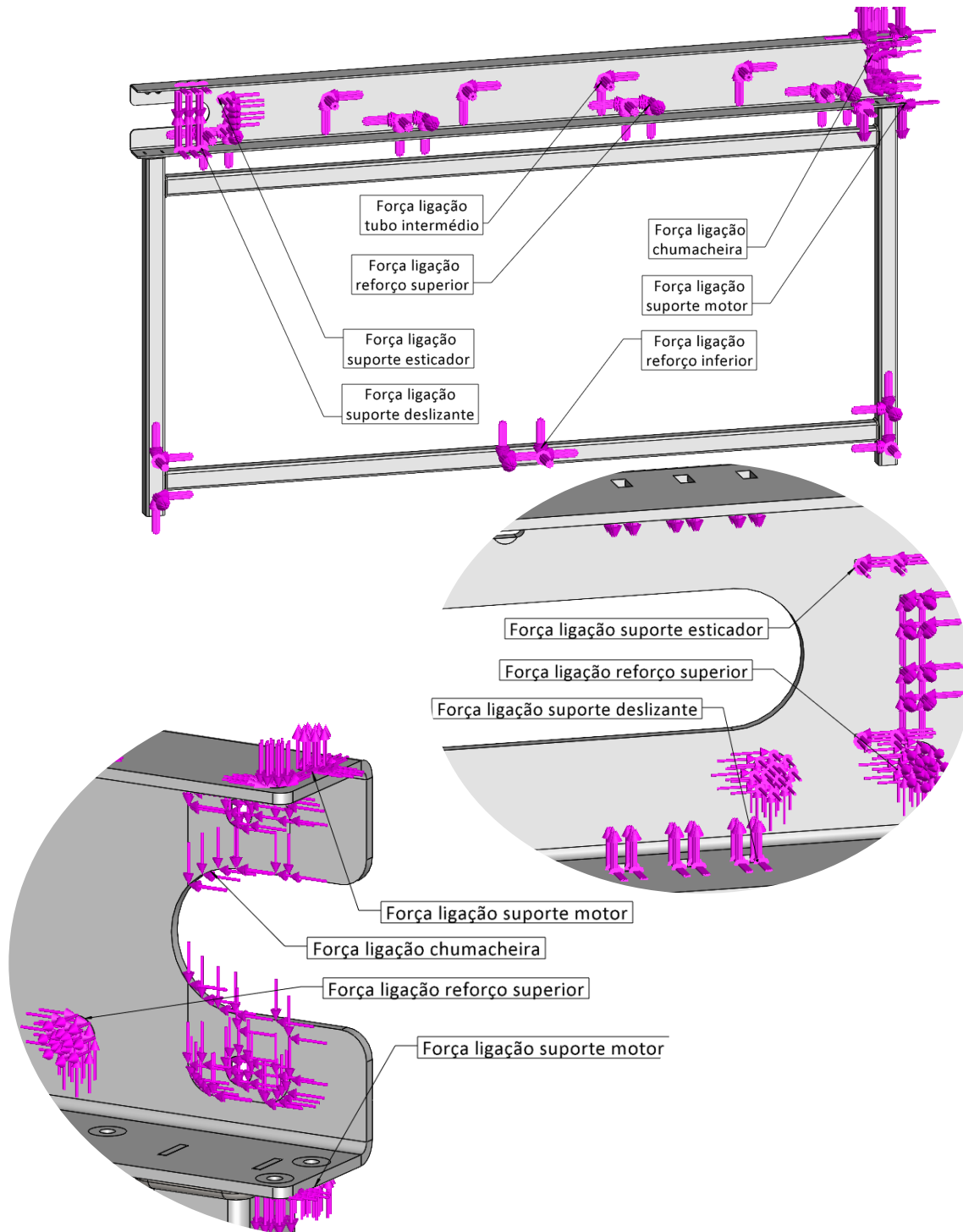


Figura 70 – Representação da localização das forças de ligação consideradas no estudo do conjunto estrutura lateral.

Ao realizar a simulação deste estudo conclui-se que a tensão máxima corresponde a 309 MPa e localiza-se no tubo de esmagamento grande (2301), como representado na Figura 71.

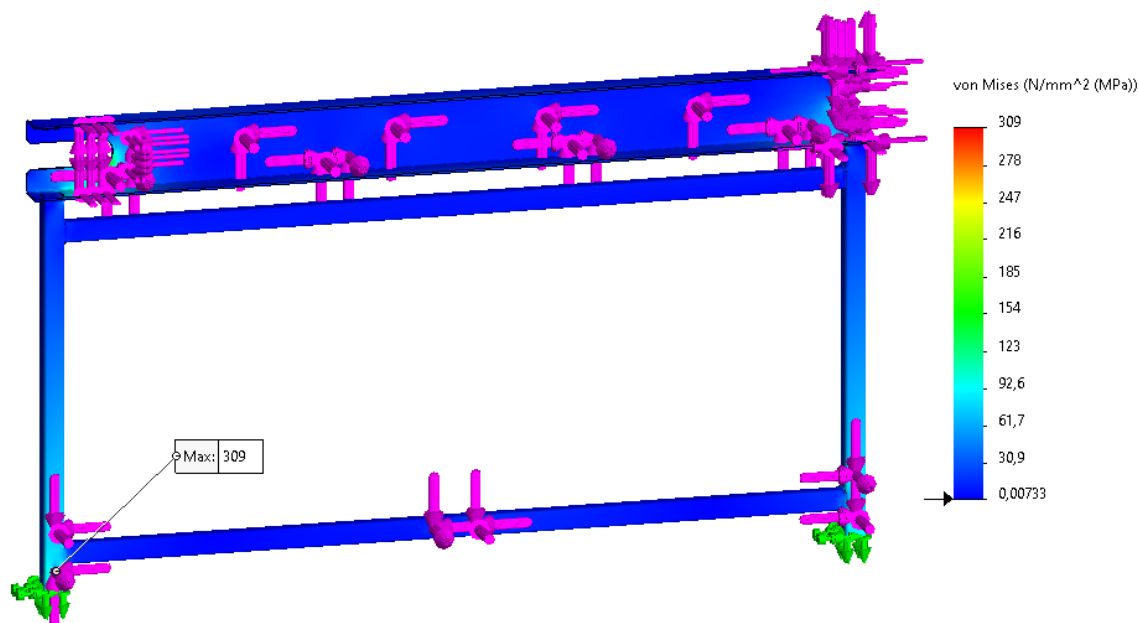


Figura 71 – Representação da distribuição das tensões no conjunto estrutura lateral.

Antes de finalizar este capítulo do dimensionamento dos componentes ainda é essencial definir os materiais utilizados para o conjunto estrutura lateral. Neste conjunto o procedimento foi realizado de forma diferente relativamente aos outros conjuntos/componentes. Deste modo, não se definiram inicialmente os materiais para garantir que o sistema resiste aos esforços aplicados e calculados ao longo da dissertação, ou seja, consoante os materiais disponibilizados pela Inovocorte escolheu-se o aço DD11 para todos os componentes exceto para os tubos de esmagamento, que são em aço S355J0 (designação Ramada aços ST52). As principais propriedades deste material estão na Tabela 9 [47].

Tabela 9 – Principais propriedades do material S335J0.

Propriedades	Unidade	J335JR
Tensão de cedência ($\sigma_{cedência}$)	MPa	355
Tensão de rotura (σ_{rotura})	MPa	520
Massa volúmica (ρ)	kg/m ³	7800
Modulo de elasticidade (E)	MPa	2,1 X 10 ⁵

3.8. Dimensionamento de componentes normalizados

Após a determinação da tensão máxima presente em todas as peças do tapete rolante, com o auxílio do *Solidworks* é possível ver as forças de corte e esmagamento presentes nos pontos fixos, seguindo o mesmo raciocínio utilizado para determinar as forças transmitidas nas ligações aparafusadas. Na Tabela 10 encontram-se todas as forças de corte e de aperto das ligações aparafusadas presentes no conjunto.

Tabela 10 – Forças nas ligações aparafusadas do tapete rolante.

Componente	$F_{corte\ 1}$ (N)	$F_{corte\ 2}$ (N)	F_{aperto} (N)
Tubo Intermédio	40	40	237
Suporte do Motorreductor	60	70	110
Chapa de Compressão	50	0	20
Suporte do Sensor	38	10	14
Suporte do Refletor	50	50	53
Reforço Superior	29	76	462
Reforço Inferior	44	50	409

Considerando os valores da Tabela 10 determina-se a força presente no parafuso para cada ligação ($F_{parafuso}$). Na Equação 60 encontra-se o procedimento efetuado para obter este valor. De notar que o valor do coeficiente de atrito ($\mu_{juntas\ aparafusadas} = 0,5$) foi retirado de uma tabela presente no APÊNDICE B [55].

$$F_{parafuso} = \frac{\sqrt{(F_{corte\ 1})^2 + (F_{corte\ 2})^2}}{\mu_{juntas\ aparafusadas}} + F_{aperto}$$

Equação 60

Com o valor obtido para a força do parafuso ($F_{parafuso}$), foi essencial verificar o diâmetro mínimo que aceita esta força usando a Equação 61, que calcula o diâmetro interno mínimo do parafuso ($\phi_{interno\ parafuso}$), através da força do parafuso ($F_{parafuso}$) e tensão do parafuso ($\sigma_{parafuso}$). De notar que os todos os parafusos selecionados pertencem à classe 8,8.

$$\sigma_{parafuso} = \frac{F_{parafuso}}{\pi \times \frac{(\phi_{interno\ parafuso})^2}{4}}$$

Equação 61

$$De\ notar\ que,\ \phi_{parafuso} = 800 \times 0,8 = 640\ MPa$$

Recorrendo à Equação 60 e à Equação 61 obteve-se a Tabela 11 onde se representam os valores obtidos para cada ligação aparafusada, tal como o diâmetro interno do parafuso obtido para cada ligação.

Tabela 11 – Forças de aperto e diâmetro interno do parafuso para todas as ligações aparafusadas do tapete rolante

Componente	$F_{parafuso}$ (N)	$\phi_{interno\ parafuso}$ (mm)
Tubo Intermédio	351	0,8
Suporte Motorreductor	295	0,8
Chapa Compressão	98	0,4
Suporte Sensor	93	0,4

Suporte Refletor	195	0,6
Reforço Superior	225	0,7
Reforço Inferior	543	1,0

Consoante o valor obtido para o diâmetro interno mínimo do parafuso ($\varnothing_{\text{interno parafuso}}$), verifica-se que os parafusos selecionados na Tabela 12 aguentam as forças a que se encontram sujeitos.

Tabela 12 – Lista com a norma e numeração dos parafusos utilizados.

Componente	Designação/norma
Tubo Intermédio (3901-08)	parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M10X16-8.8 ZN
Chumaceira (4001-08)	parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M10X25-8.8
Esticador (4101-02)	parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M12X70-8.8
Suporte do Sensor (4201-04)	parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M5X12-8.8 ZN
Motorreductor (4205-08)	parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M5X12-8.8 ZN
Suporte do Motorreductor (4209-16)	parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M5X12-8.8 ZN
Reforços Superiores (4301-016)	parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M5X16-8.8 ZN
Reforço Inferior grande (4405-04)	parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M5X45-8.8 ZN
Reforço Inferior pequeno (4501-08)	parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762-M5X50-8.8 ZN
Chapa de Compressão (4601-09)	parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal ISO 10642-M5X10-8.8 ZN
Suporte do Refletor (4610-13)	parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal ISO 10642-M5X8-8.8 ZN

Ao analisar a Figura 12, nota-se que se poderiam selecionar parafusos de menor diâmetro, contudo iria ser necessário diminuir o diâmetro do utilizado nas simulações, assim, com um diâmetro menor e as mesmas forças a tensão iria aumentar. Tendo em conta o estudo realizado para o conjunto estrutura lateral, um aumento da tensão equivale à ultrapassagem da tensão limite de cedência, levando a um incorreto dimensionamento.

De notar que os parafusos da ligação aparafusada da chumaceira e do motorreductor não foram dimensionados, pois os parafusos utilizados, correspondem às dimensões aconselhadas pela informação proveniente dos catálogos de cada componente.

Considerando que em grande parte das ligações aparafusadas se utilizam porcas e anilhas, na Tabela 13 é possível ver a designação e norma de ambos, tal como as quantidades. Na Tabela 14 veem-se as mesmas propriedades para as anilhas.

Tabela 13 - Lista com a norma e numeração das porcas utilizadas.

Componente	Designação/norma
Tubo intermédio (4701-08)	porca sextavada de soldadura DIN 929-M10 ZN
Reforços superiores (4801-16)	porca hexagonal ISO 4032-M5-8 ZN
Suporte do Sensor (4817-20)	porca hexagonal ISO 4032-M5-8 ZN
Reforço inferior grande (4821-24)	porca hexagonal ISO 4032-M5-8 ZN
Reforço inferior grande (4825-32)	porca hexagonal ISO 4032-M5-8ZN
Suporte do motorreductor (4833-40)	porca hexagonal ISO 4032-M5-8 ZN
Chumaceira (4901-08)	porca hexagonal ISO 4032-M10-8 ZN
Esticador (5001-04)	porca hexagonal ISO 4032-M12-8.8 ZN
Chapa de compressão	-
Suporte do Refletor	-
Motorreductor	-

Tabela 14 – Lista com a norma e numeração das anilhas utilizadas.

Componente	Designação/norma
Tubo intermédio (5101-08)	anilha plana A ISO 7089-M10 ZN
Chumaceira (5109-16)	anilha plana A ISO 7089-M10 ZN
Reforços superiores (5201-32)	anilha plana A ISO 7089-M5 ZN
Suporte do Sensor (5233-40)	anilha plana A ISO 7089-M5 ZN
Reforço inferior grande (5241-48)	anilha plana A ISO 7089-M5 ZN
Reforço inferior pequeno (5249-64)	anilha plana A ISO 7089-M5 ZN
Motorreductor (5265-68)	anilha plana A ISO 7089-M5 ZN
Suporte do motorreductor (5269-84)	anilhas plana A ISO 7089-M5 ZN
Chapa de compressão	-
Suporte do Refletor	-
Esticador	-

Todos os elementos de fixação (parafusos, anilhas e fêmeas) são fornecidos pela empresa Norelem [38], exceto as porcas de sextavadas de soldadura M10 (4701-08) que são fornecidas pela empresa JMM Gonçalves Ida [50].

3.9. Montagem do tapete rolante

No sector da tecnologia e da engenharia, os sistemas complexos desempenham um papel fundamental para permitir a funcionalidade de várias aplicações, desde a robótica avançada a projetos de infraestruturas de grande escala. A integração bem-sucedida destes sistemas depende em grande medida de um processo de montagem meticuloso e bem executado. Nesta secção da dissertação, abordam-se as etapas necessárias para realizar a montagem do sistema transportador.

Após a explicação individual de cada componente do sistema em estudo, verifica-se que este não apresenta um elevado nível de exigência para ser montado. Ao longo da dissertação foram enumerados diversos conjuntos. Estes agrupamentos foram inseridos com o intuito de facilitar o seu embalamento, transporte e montagem, e também porque alguns componentes são soldados pela Inovocorte. Deste modo dividiu-se o tapete rolante nos seguintes conjuntos:

- Conjunto rolo mandante (5301), constituído por um tubo central (0101), o veio motor (0201) e o veio guia 1 (0301);
- Conjunto rolo guia (5401), constituído por um tubo central (0101), o veio chumaceira (1801) e o veio guia 2 (1901);
- Conjunto tubo intermédio (5501-04), constituído por um tubo intermédio (1201) e duas porcas de soldar (4701-02);
- Conjunto reforço superior 1 (5601), constituído pelo reforço superior 1 (1301) e por dois suportes reforço superior (1601-02);
- Conjunto reforço superior 2 (5701-02), constituído pelo reforço superior 2 (1401) e por dois suportes reforço superior (1601-02);
- Conjunto reforço superior 3 (5801), constituído pelo reforço superior 3 (1501) e por dois suportes reforço superior (1601-02);
- Conjunto reforço inferior pequeno (5901-02), constituído pelo reforço inferior pequeno (2101) e por dois suportes reforço inferior (2601-02);
- Conjunto reforço inferior grande (6001), constituído por um reforço superior grande (2501) e por dois suportes reforço inferior (2601-02);
- Conjunto estrutura lateral esquerdo (6101), constituído por um suporte esticador (1001), por doze suporte deslizamento (0901) e uma porca hexagonal ISO 4032-M12-8.8 ZN (5001), pelo suporte lateral esquerdo (0801), por dois tubos verticais (0401-02), pelo tubo horizontal sem furos (0601), pelo tubo horizontal com furos (0701) e por duas tampas (0501-02);
- Conjunto estrutura lateral direito (6201), constituído por um suporte esticador (1001), por doze suporte deslizamento (0901) e uma porca hexagonal ISO 4032-M12-8.8 ZN (5002), pelo suporte lateral direito (1101), por dois tubos verticais (0401-02), pelo tubo horizontal sem furos (0601), pelo tubo horizontal com furos (0701) e por duas tampas (0501-02);

Todos os conjuntos mencionados anteriormente têm o respetivo desenho técnico no capítulo 3.10, na página 101.

O embalagem consiste em agrupar delicadamente todos os conjuntos de maior dimensão (conjunto rolo mandante (5301), conjunto rolo guia (5401), conjunto tubo intermédio (5501-04), conjunto reforço superior 1 (5601), conjunto reforço superior 2 (5701-02), conjunto reforço superior 3 (5801), conjunto reforço inferior pequeno (5901-02), conjunto reforço inferior grande (6001), conjunto estrutura lateral esquerda (6101), conjunto estrutura lateral direito (6201)) e outras peças (chapa compressão (1701); suporte sensor (3401); suporte refletor (3501)). De seguida envolvem-se estes componentes com filmes aderentes transparentes. Os componentes normalizados e elementos delicados (motorreductor (3101); sensores (3201-10); limitador de torque (3001); cablagem sensores (3301-10)) colocam-se separadamente em caixas com as devidas designações.

Para montar o sistema de tapete rolante aconselha-se o acompanhamento das seguintes etapas:

- 1ª Etapa:

Colocar os quatro pés niveladores nos locais devidos, rosca dois pés niveladores na base do conjunto estrutura lateral esquerdo e os outros dois no conjunto estrutura lateral direito. Este corresponde ao primeiro passo, pois depois a estrutura iria apresentar elevada massa e ia ser complicado colocar os pés niveladores. Para entender melhor esta etapa ver a Figura 72.

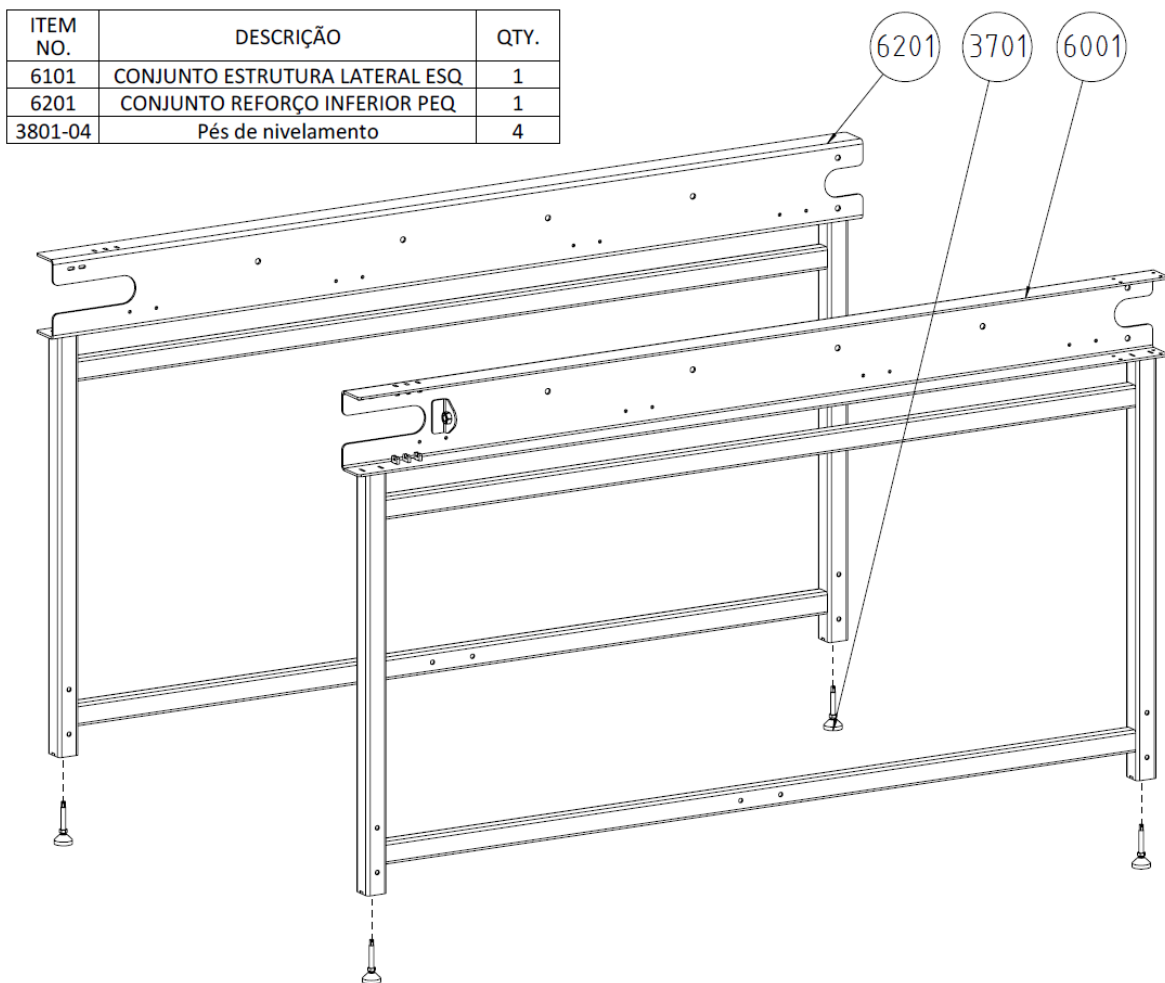


Figura 72 – Instruções de montagem da 1ª etapa

- 2ª Etapa:

Aparafusar os quatro conjuntos reforço superior à estrutura lateral esquerda e posteriormente à estrutura lateral direita, contudo pode ser necessário uma pessoa extra a ajudar ou algum tipo de apoio, pois estes tubos são relativamente pesados. Uma vez que os conjuntos apresentam poucas diferenças entre si, no conjunto chapa lateral encontra-se uma numeração que corresponde ao número da designação do tubo reforço superior, como mostra a Figura 73 com a representação da etapa 2.

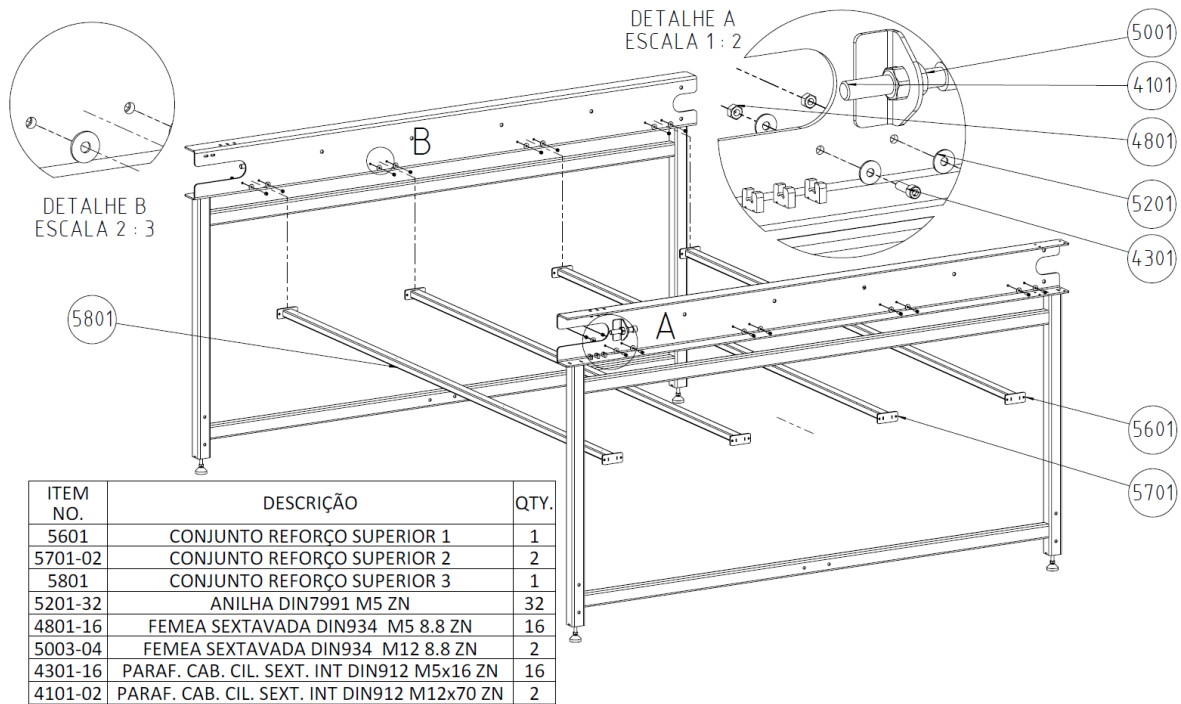


Figura 73 – Instruções de montagem da 2ª etapa

De notar que para cada ligação aparafusada que envolva parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal é necessário utilizar duas anilhas planas do tipo A e uma porca hexagonal.

- 3ª Etapa:

Depois de realizar a segunda etapa, aconselha-se o posicionamento da chapa de compressão, ou seja, aparafusar esta ao inferior dos reforços superiores. Para aparafusar estes componentes usam-se parafusos cónicos de cabeça cónica com sextavado interior. De seguida deve-se aparafusar também o conjunto sensor; assim, deve-se primeiro fixar o suporte refletor e colocar o adesivo refletor. De seguida acoplar os sensores ao componente suporte do sensor e depois aparafusar este ao conjunto lateral esquerdo e direito. Para entender melhor esta etapa ver a Figura 74.

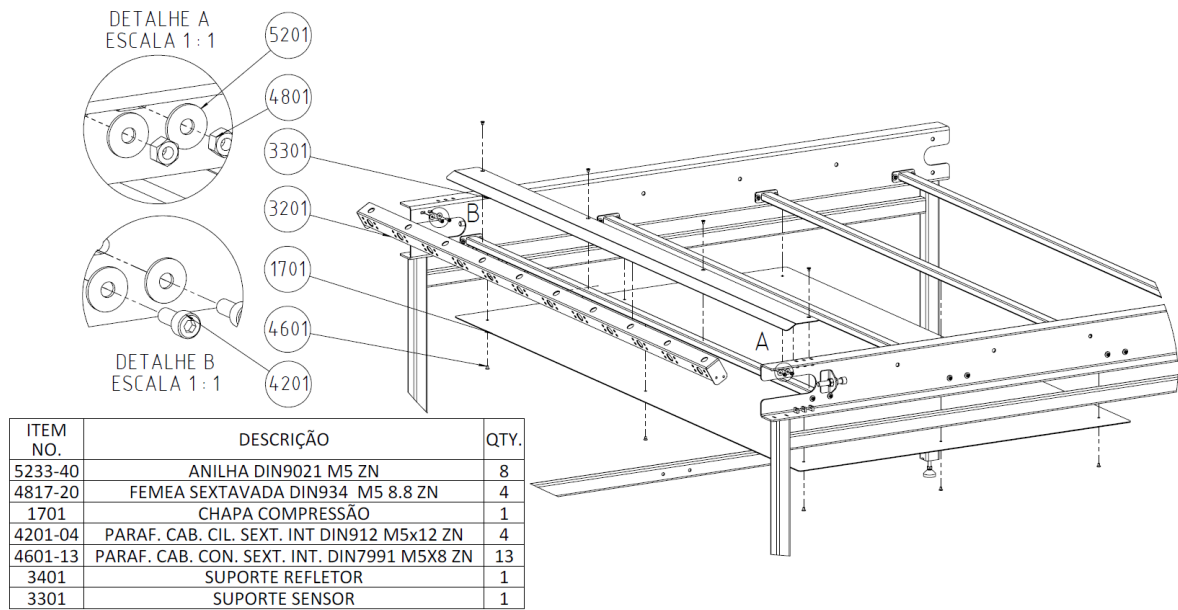


Figura 74 – Instruções de montagem da 3ª etapa

• 4ª Etapa:

Nesta etapa aparafusam-se os conjuntos dos reforços inferiores através dos parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior representados na Figura 75, contudo é essencial a utilização dos tubos de esmagamento. Ver o detalhe A na Figura 75 para melhor esclarecimento.

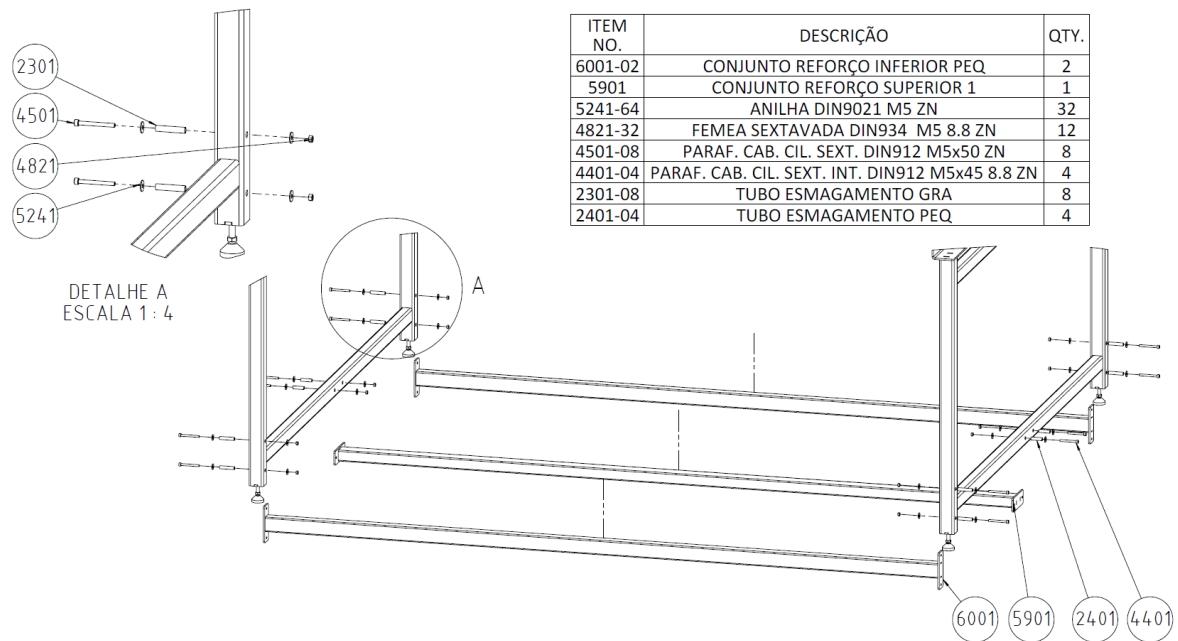


Figura 75 – Instruções de montagem da 4ª etapa

• 5ª Etapa:

Na etapa 5 fixa-se o conjunto rolo mandante, o conjunto rolo guia, o conjunto tubo intermedio, as chumaceiras e chapa móvel.

Deve-se acoplar a chumaceira ao conjunto rolo mandante e depois aparafusar tudo ao conjunto estrutura lateral esquerdo e direito. Por outro lado, para fixar o conjunto rolo guia primeiramente

deve-se aparafusar a chumaceira à chapa móvel, não esquecer de utilizar porcas e anéis elásticos, visto que a chumaceira não apresenta orifício roscado. De seguida recomenda-se a colocação da chapa móvel e da chumaceira, já aparafusadas, nas extremidades do conjunto rolo guia e inserir estes de modo que a chapa lateral deslize pelo interior do suporte deslizamento. De notar que o posicionamento da chumaceira deve estar exatamente igual ao detalhe 3 na Figura 76, pois pode existir interferência com outros componentes se não se respeitar este posicionamento.

O conjunto tubo intermédio deve-se aparafusar ao conjunto estrutura lateral esquerdo e direito, ter atenção de modo que o rasgo do tubo intermédio se encontre alinhado com o rasgo do conjunto rolo mandante e rolo guia, como se encontra demonstrado mostra na Figura 76.

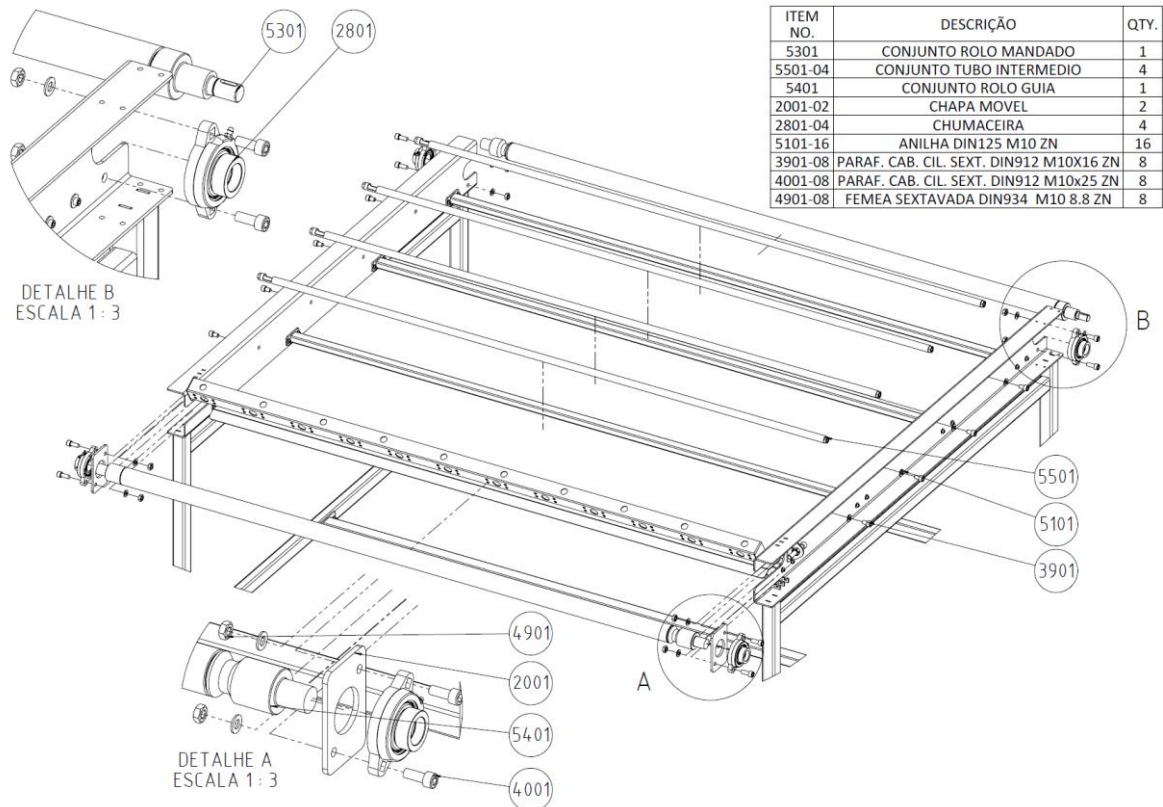


Figura 76 – Instruções de montagem da 5ª etapa

- 6ª Etapa:

Antes de colocar o suporte do motor, é necessário acoplar o limitador de torque e posteriormente o veio de transmissão. Primeiro colocar a chaveta paralela no conjunto rolo mandante, depois acoplar o limitador de torque. De seguida colocar outra chaveta paralela no veio transmissão e inserir este no interior do limitador de torque. Para impedir o movimento lateral do limitador de torque colocar dois anéis elásticos, um no conjunto rolo mandante e outro no veio transmissão.

Após o posicionamento do limitador de torque deve-se aparafusar o suporte motor ao conjunto lateral esquerdo através de parafusos de cabeça cilíndrica com oco hexagonal interior, fêmeas hexagonais e anilhas. Para finalizar esta etapa aparafusar o motor ao suporte motor e inserir o veio de transmissão no seu interior, não esquecer de colocar uma chaveta no rasgo disponível no veio de transmissão. Após o motor se encontrar fixado, colocar a tampa na extremidade do motor para impedir o movimento lateral do veio de transmissão (ver Figura 77).

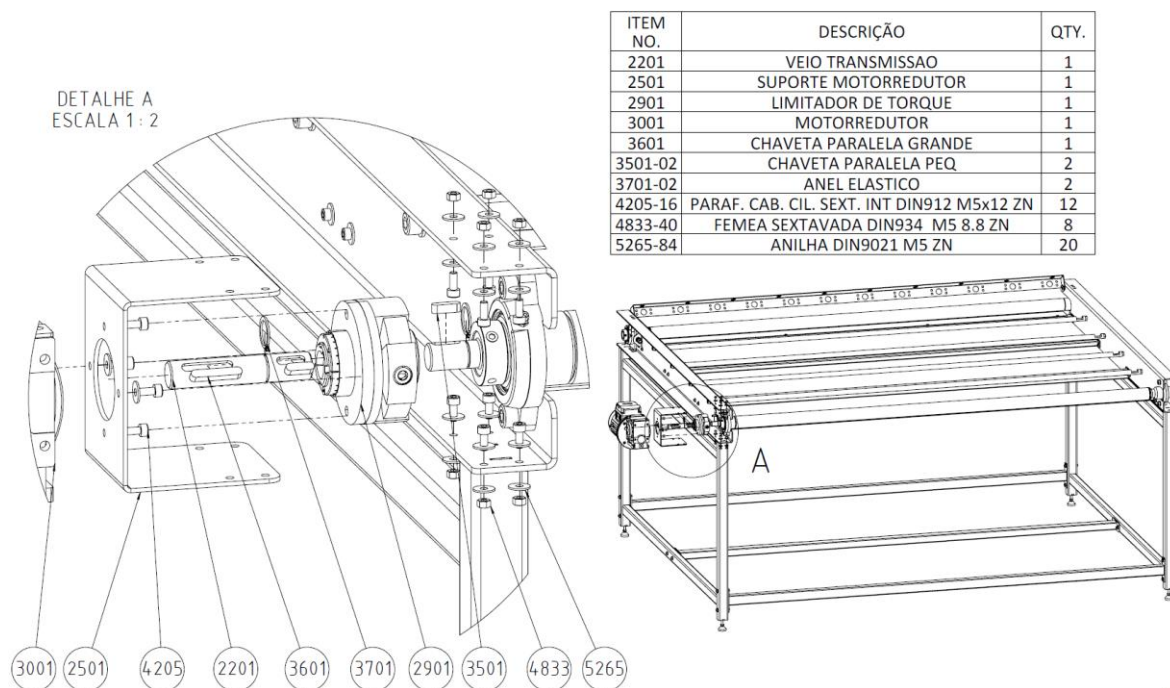


Figura 77 – Instruções de montagem da 6ª etapa

- **7ª Etapa:**

A última etapa corresponde à colocação da tela, deste modo desloca-se o conjunto rolo guia para trás e coloca-se a tela com a guia no local correto. De seguida aperta-se a junção mecânica e através do esticador confere-se a tensão necessária à tela. Este processo de esticar a tela recomenda-se que seja realizado de ambos os lados do tapete rolante, pois caso contrário a tela irá ficar descentrada, levando ao incorreto funcionamento do sistema transportador.

Após estes procedimentos, colocar os cabos de ligação dos sensores e conectá-los à caixa controlo, utilizando os rasgos presentes no suporte do sensor para guiar a cablagem.

3.10. Desenhos técnicos dos componentes

Nesta secção da dissertação encontram-se os desenhos técnicos. Com o objetivo de simplificar o processo de soldadura foi necessário inserir mais quatro conjuntos:

- Conjunto vertical (6301-04), constituído por um tubo vertical (0401) e uma tampa (0501);
- Conjunto tubos estruturais (6401-02), constituído por dois conjuntos vertical (6301-02), pelo tubo horizontal sem furos (0601) e pelo tubo horizontal com furos (0701);
- Conjunto lateral esquerdo mais extra (6501), constituído por um suporte esticador (1001), por doze suportes de deslizamento (0901) e uma porca hexagonal ISO 4032-M12-8.8 ZN (5001), e pelo suporte lateral esquerdo (0801);
- Conjunto lateral direito mais extra (6602), constituído por um suporte esticador (1001), por doze suportes de deslizamento (0901) e uma porca hexagonal ISO 4032-M12-8.8 ZN (5002), e pelo suporte lateral direito (1101);
- Conjunto transportador modular (6701), constituído por todos os elementos referidos anteriormente, ou seja, o conjunto final.

Nas próximas páginas estão todos os desenhos técnicos de cada componente e conjunto abordados ao longo da dissertação. A sequência adotada consiste em seguir a numeração por ordem crescente.

Nos desenhos de componentes individuais cotaram-se todas as dimensões necessárias para o fabrico, tendo sempre em conta as tolerâncias.

Nos desenhos técnicos de conjunto apenas se usam cotas exteriores, uma vez que maior parte das peças apresentam entalhes. Outro aspeto importante presente nestes desenhos é a definição da solda utilizada de acordo com as simulações realizadas anteriormente. Para identificar as soldas recorreu-se ao livro de Simões Morais, podendo-se ver um exemplo na Figura 78.

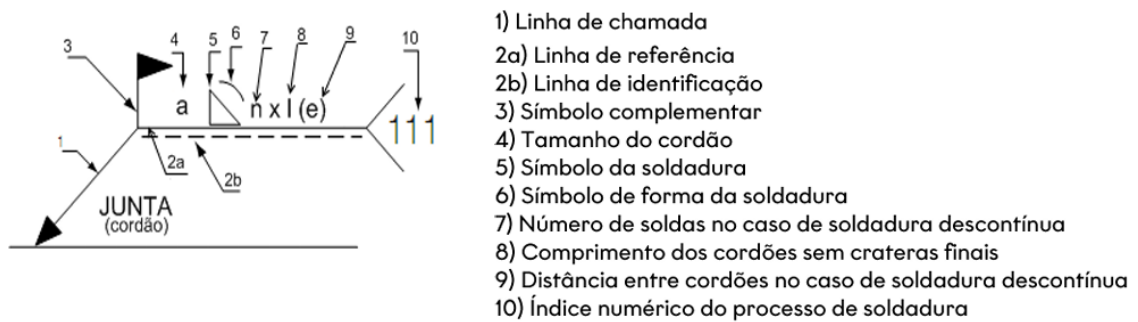


Figura 78 – Exemplo com legenda do processo de identificação de soldas.

De notar que o ponto 10 da Figura 78 apenas se colocou o índice numérico corresponde à soldadura MIG/MAG, contudo uma vez que na empresa apenas se trabalha com soldadura MAG foi este o processo selecionado (135). A principal distinção entre a soldadura MIG e a MAG reside no tipo de gás de proteção utilizado. A soldadura MIG utiliza gás inerte e adequa-se a metais não ferrosos, enquanto a soldadura MAG utiliza gás ativo e destina-se normalmente a aços ao carbono e a aços de baixa liga.

⇒ Tubo central (0101)

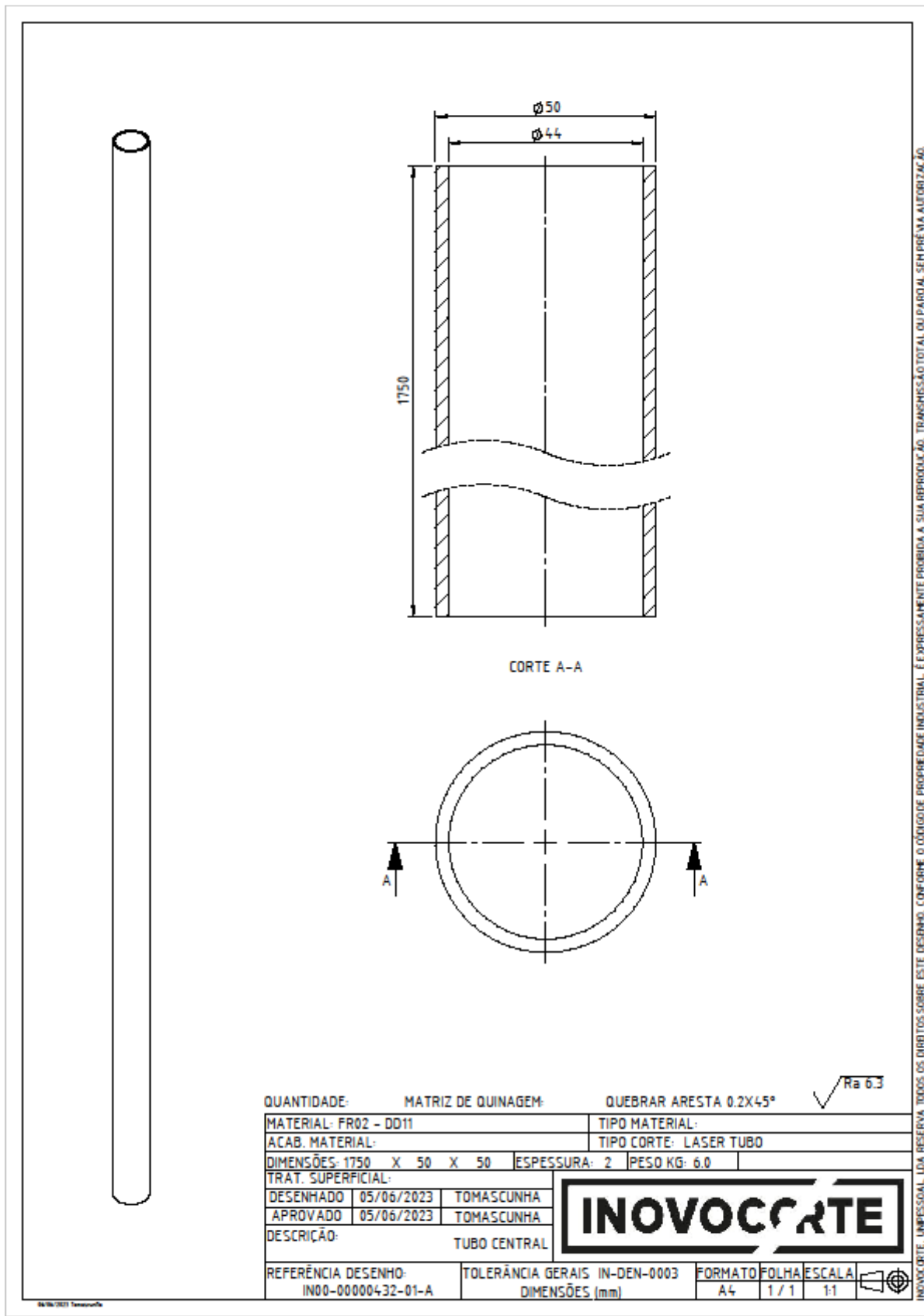


Figura 79 – Desenho técnico do tubo central (0101).

⇒ Veio guia 1 (0301)

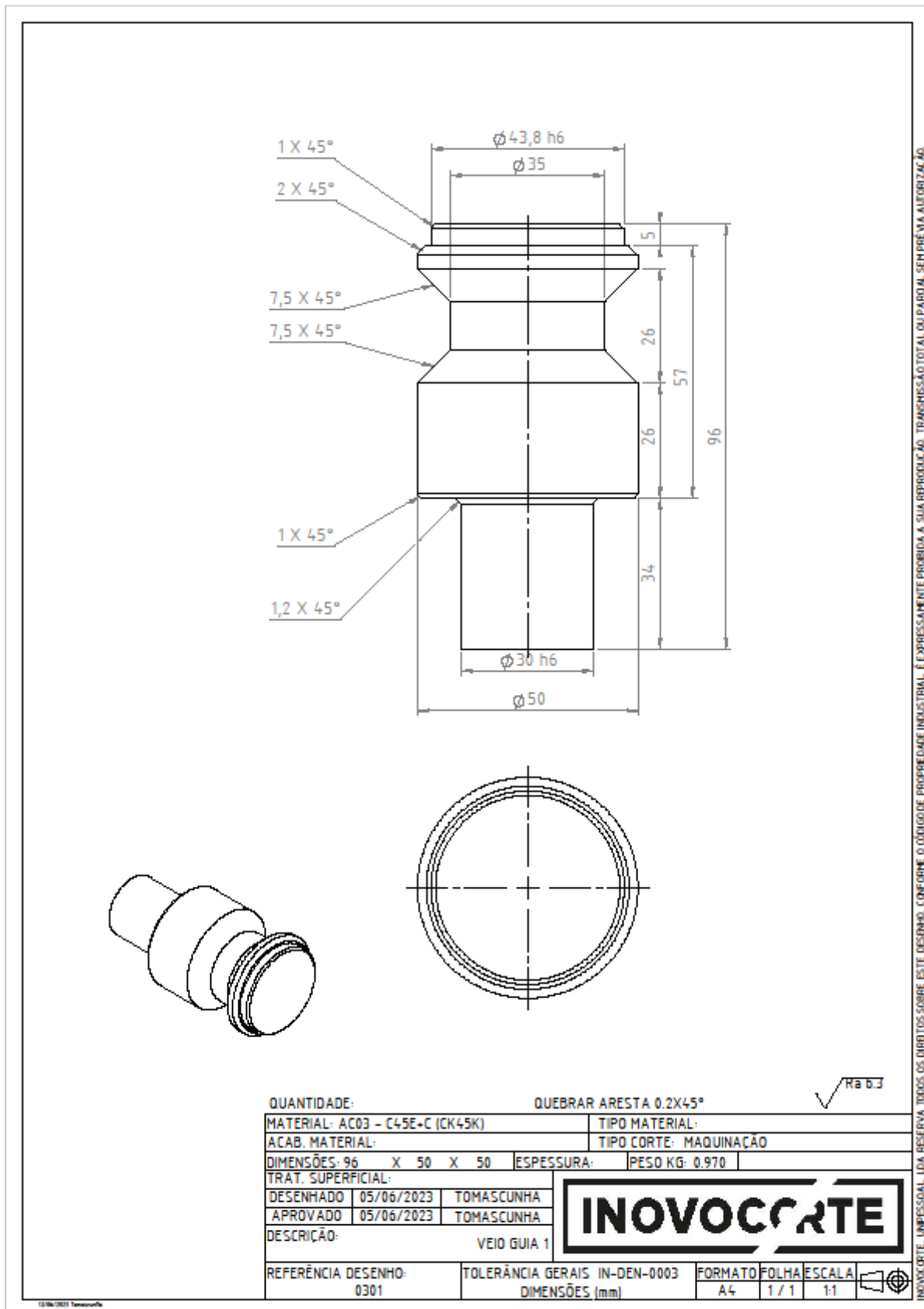


Figura 81 – Desenho técnico do veio guia (0301).

⇒ Tubo vertical (0401)

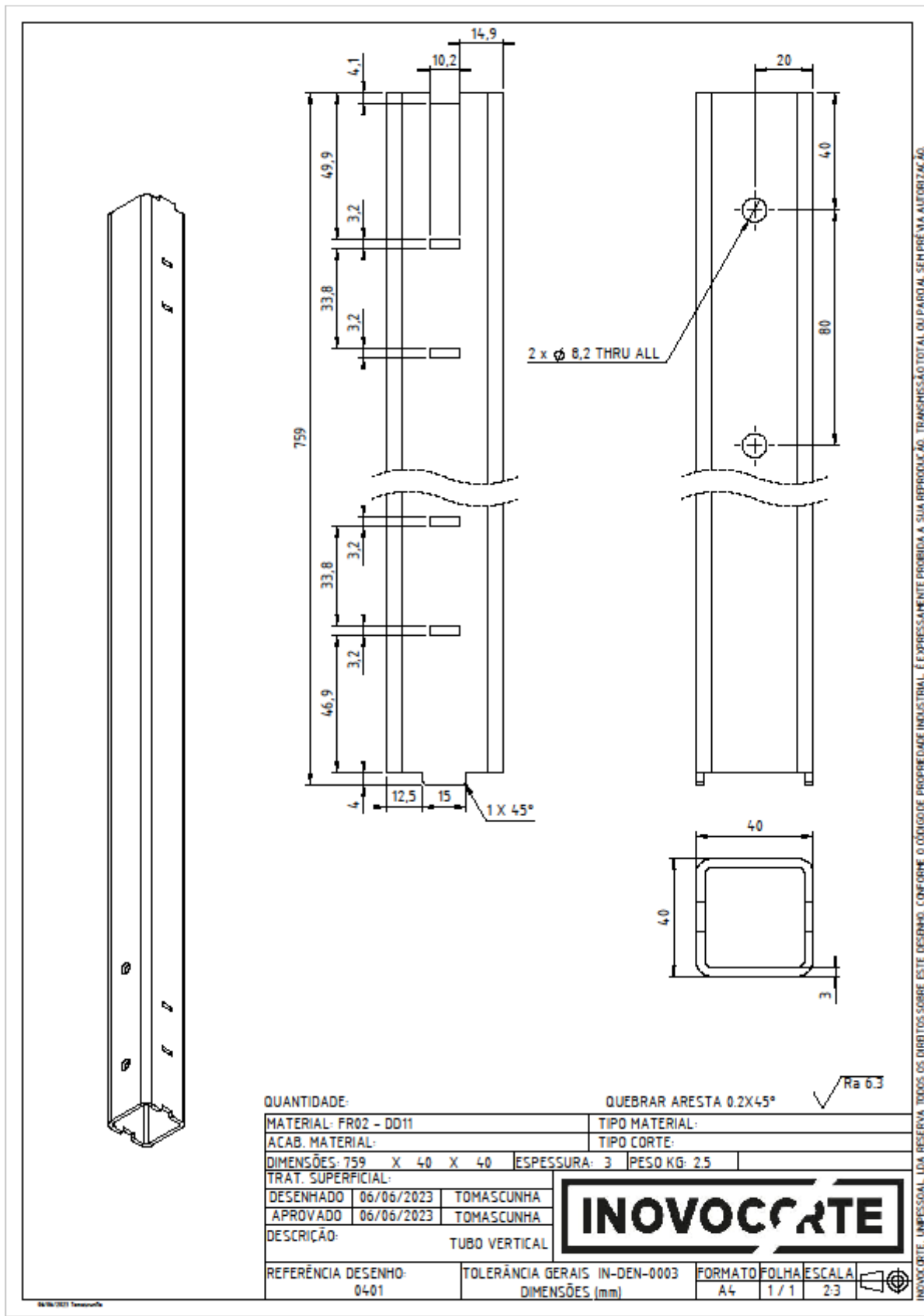


Figura 82 – Desenho técnico do tubo vertical (0401).

⇒ Tampa (0501)

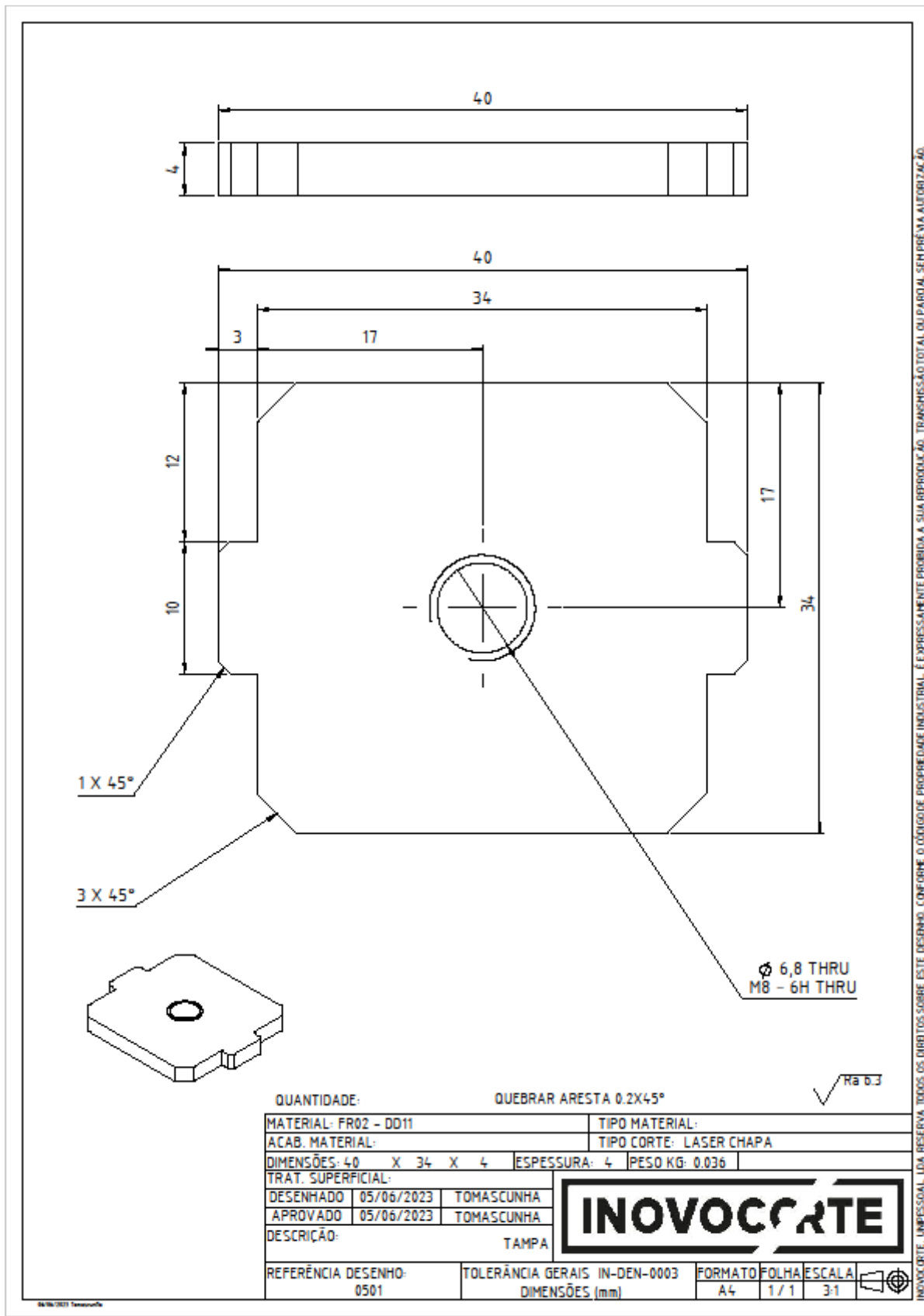


Figura 83 – Desenho técnico da tampa (0501).

⇒ Tubo horizontal s/ furos (0601)

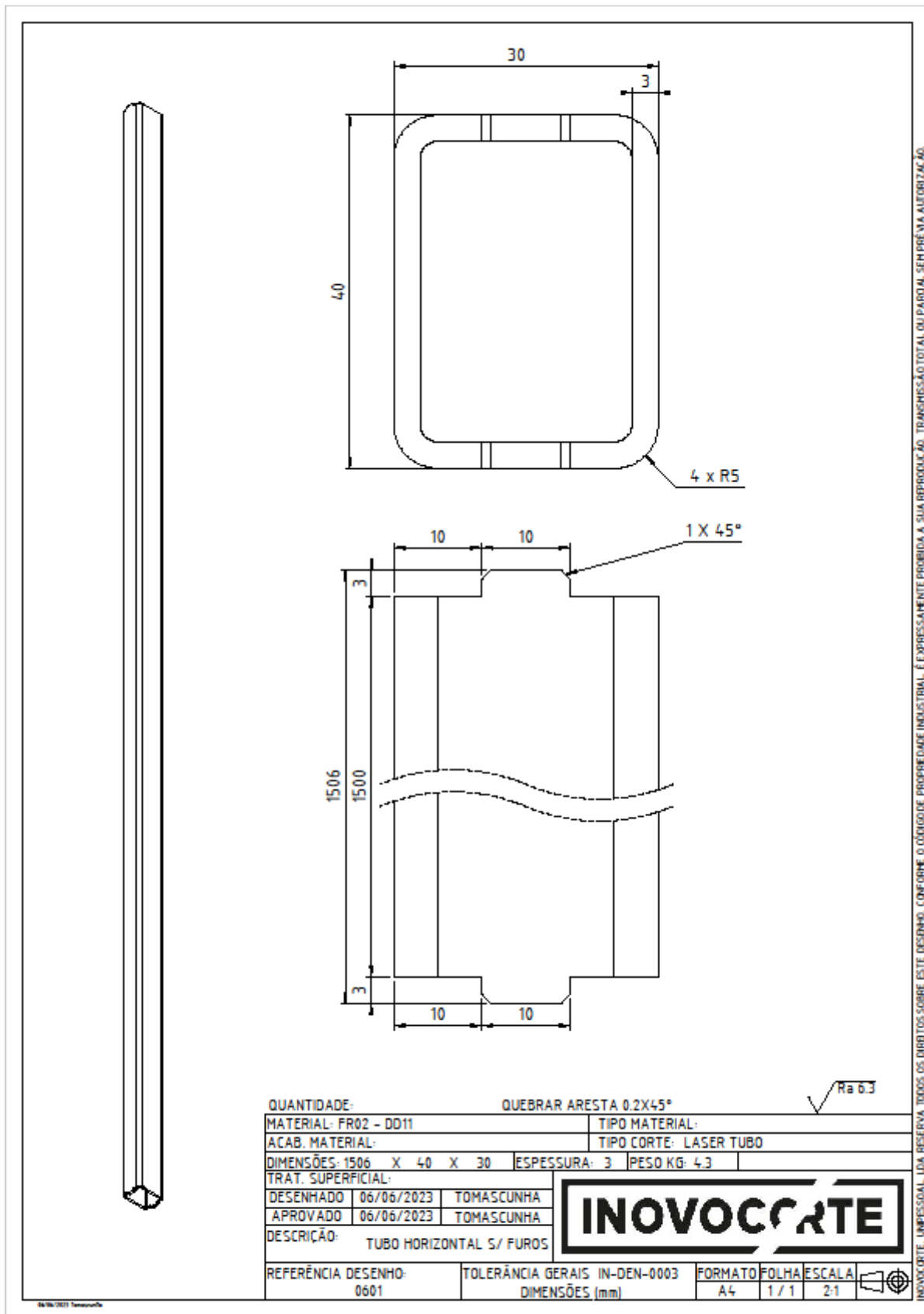


Figura 84 – Desenho técnico do tubo horizontal sem furos (0601).

⇒ Tubo horizontal c/ furos (0701)

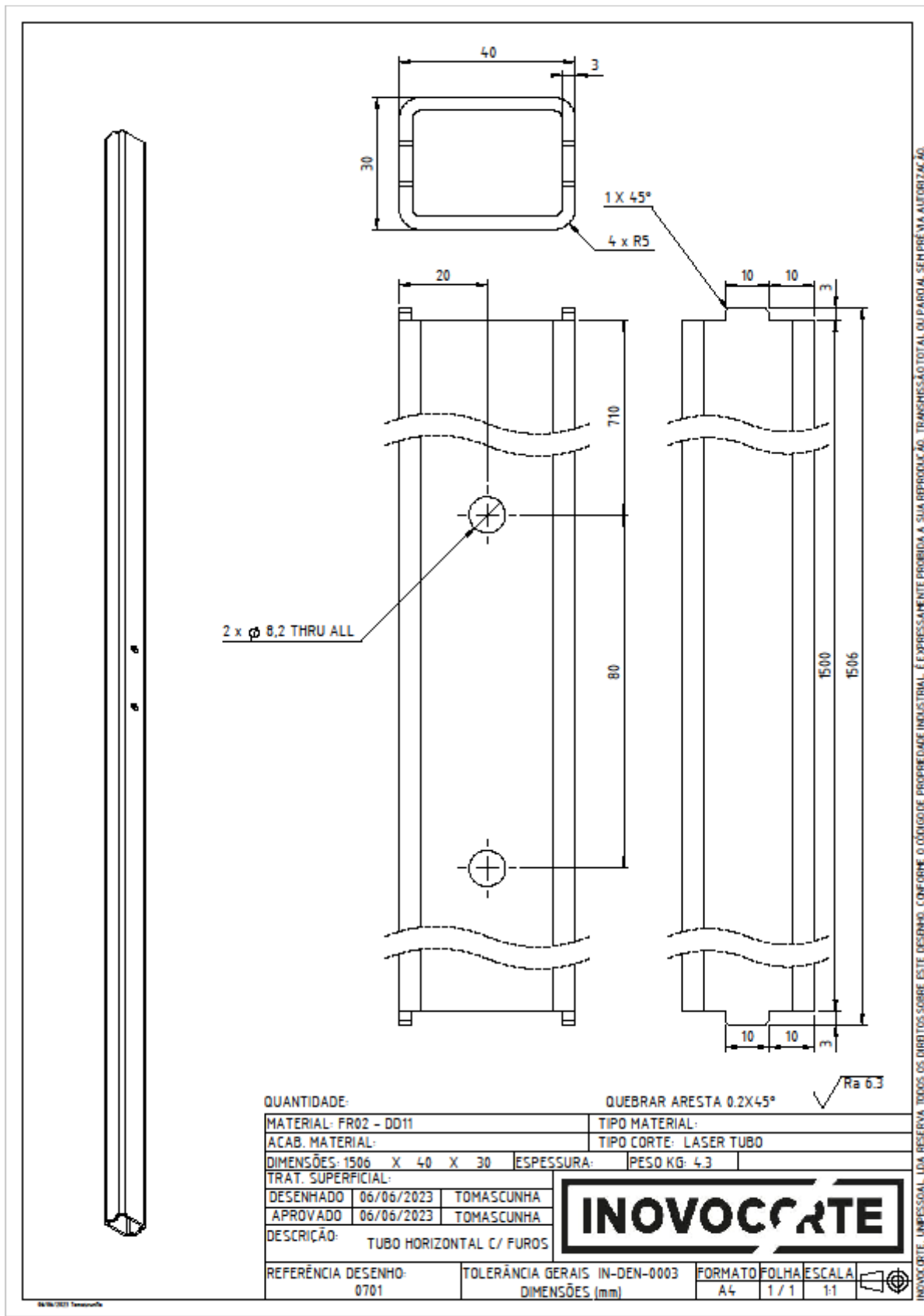


Figura 85 – Desenho técnico do tubo horizontal com furos (0701).

⇒ Suporte lateral esquerdo (0801)

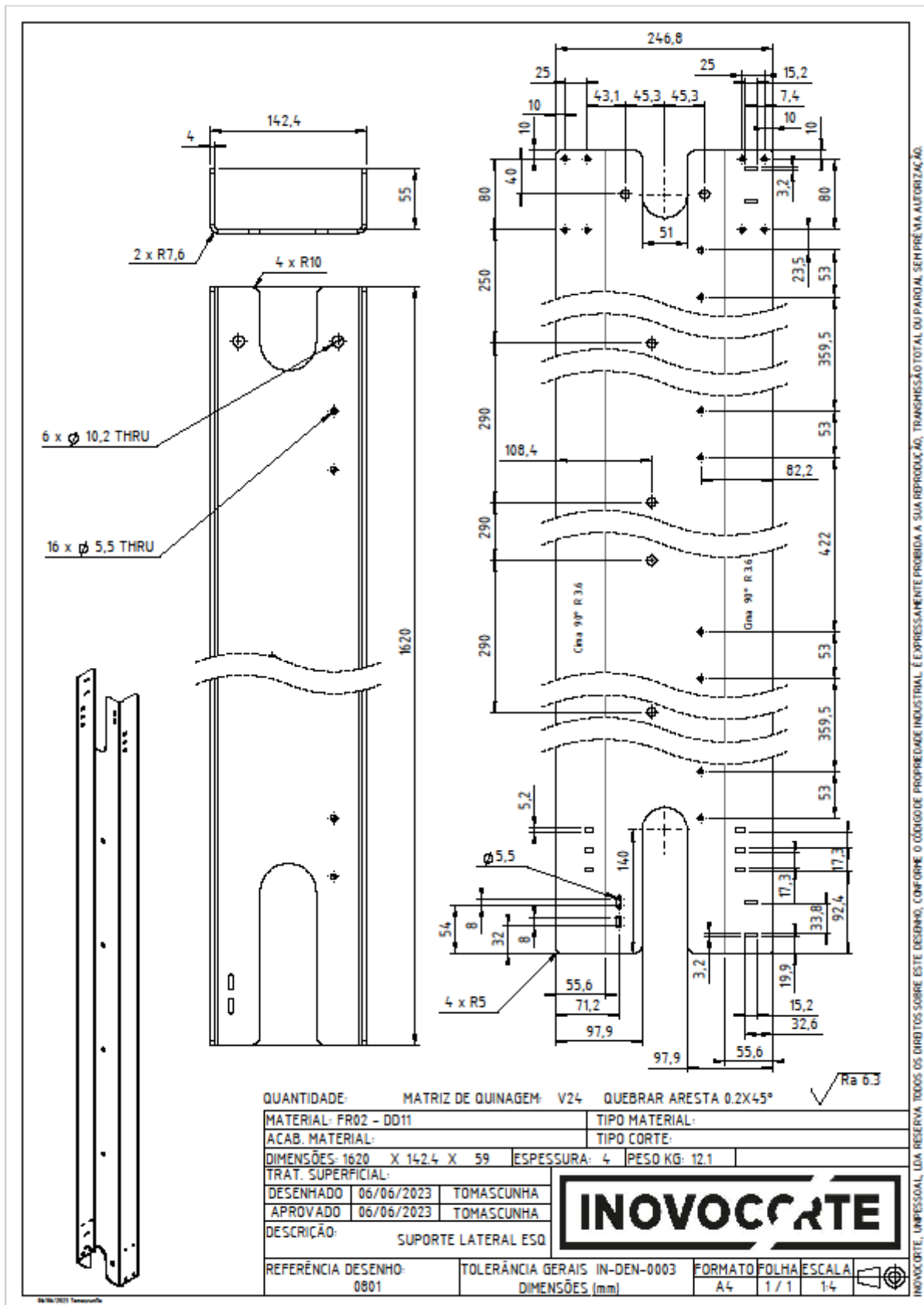


Figura 86 – Desenho técnico do suporte lateral esquerdo (0801).

⇒ Suporte deslizamento (0901)

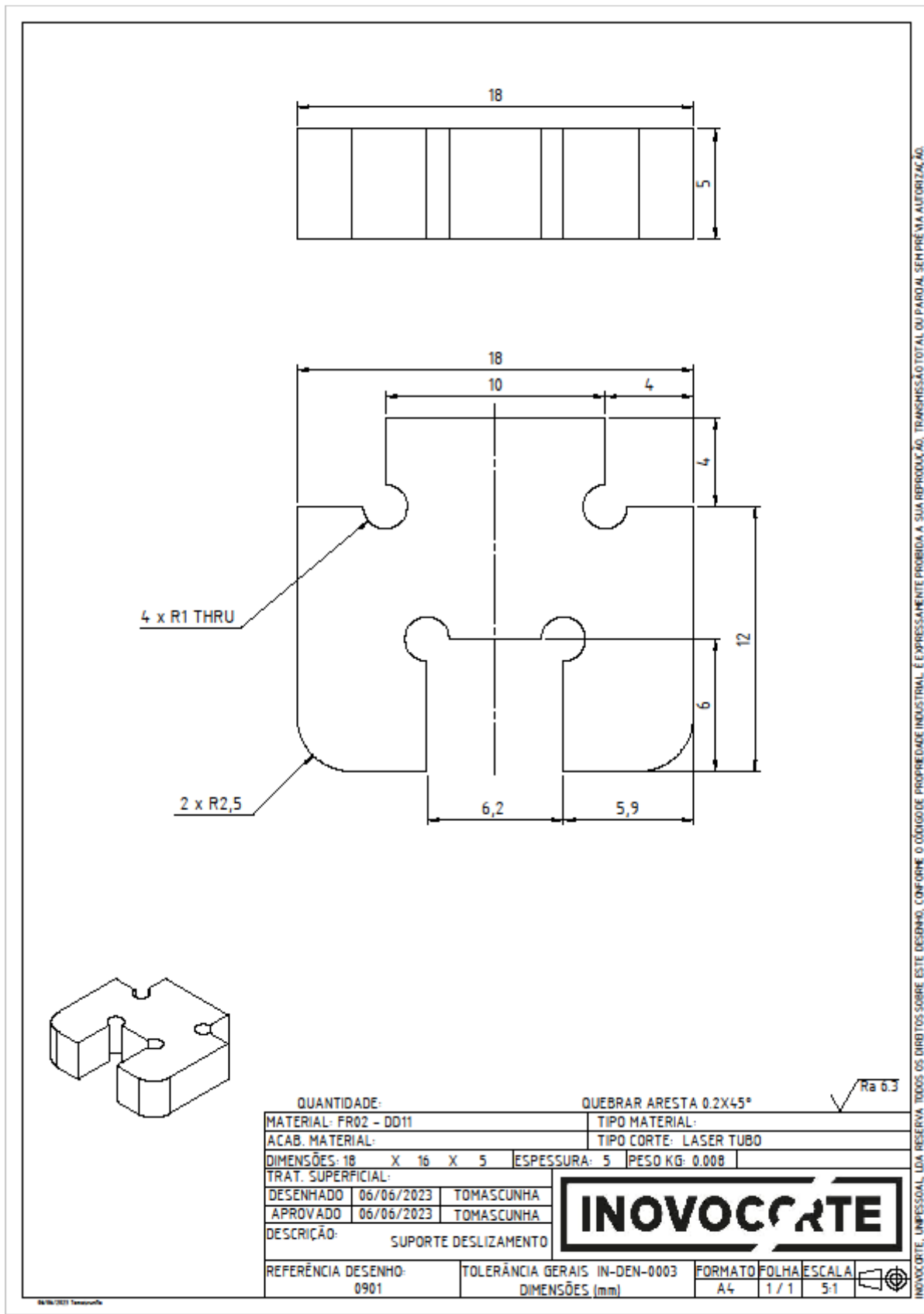


Figura 87 – Desenho técnico do suporte deslizamento (0901).

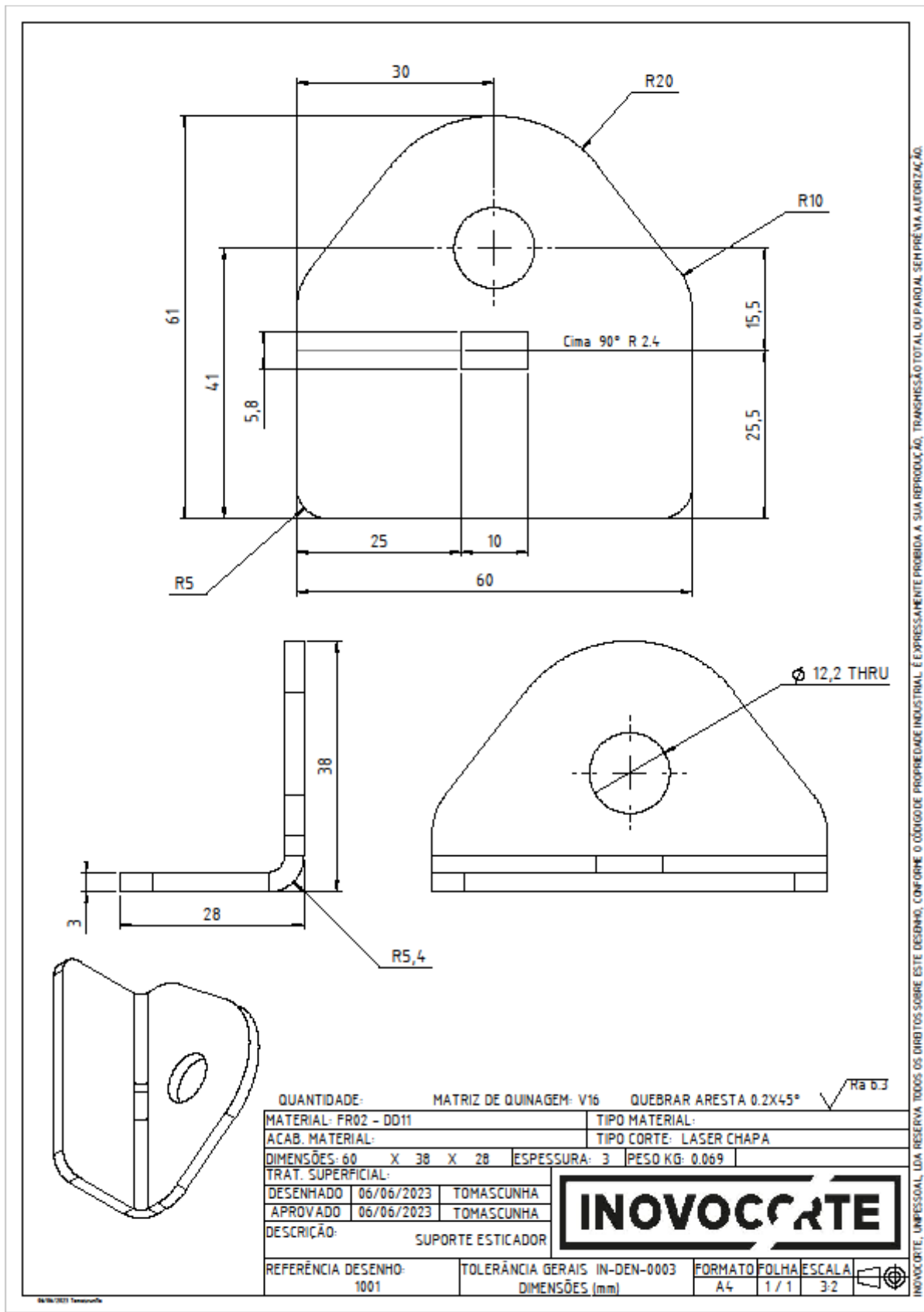
⇒ Suporte esticador (1001)

Figura 88 – Desenho técnico do suporte esticador (1001).

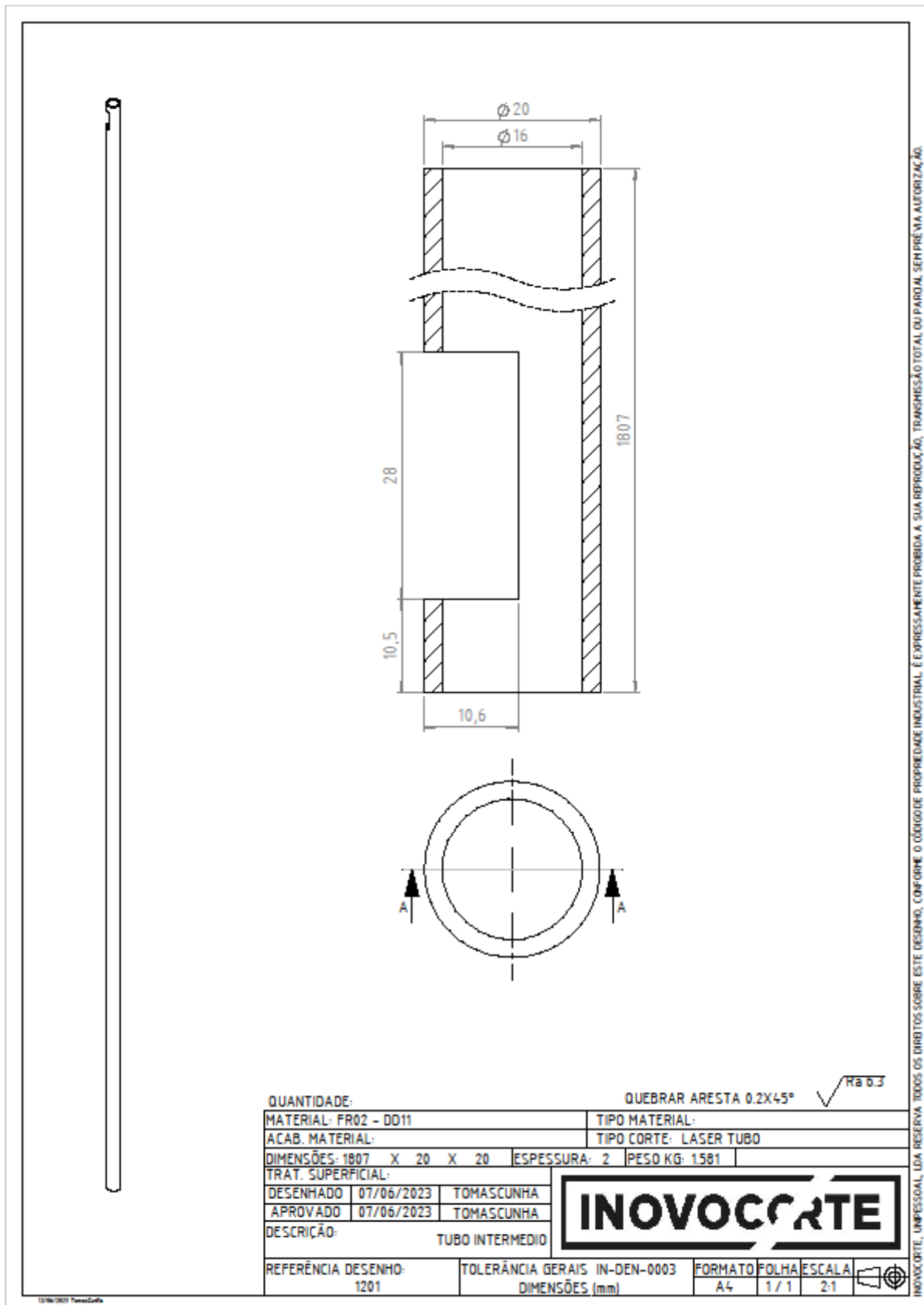
⇒ Tubo intermédio (1201)

Figura 90 – Desenho técnico do tubo intermédio (1201).

⇒ **Reforço superior 1 (1301)**

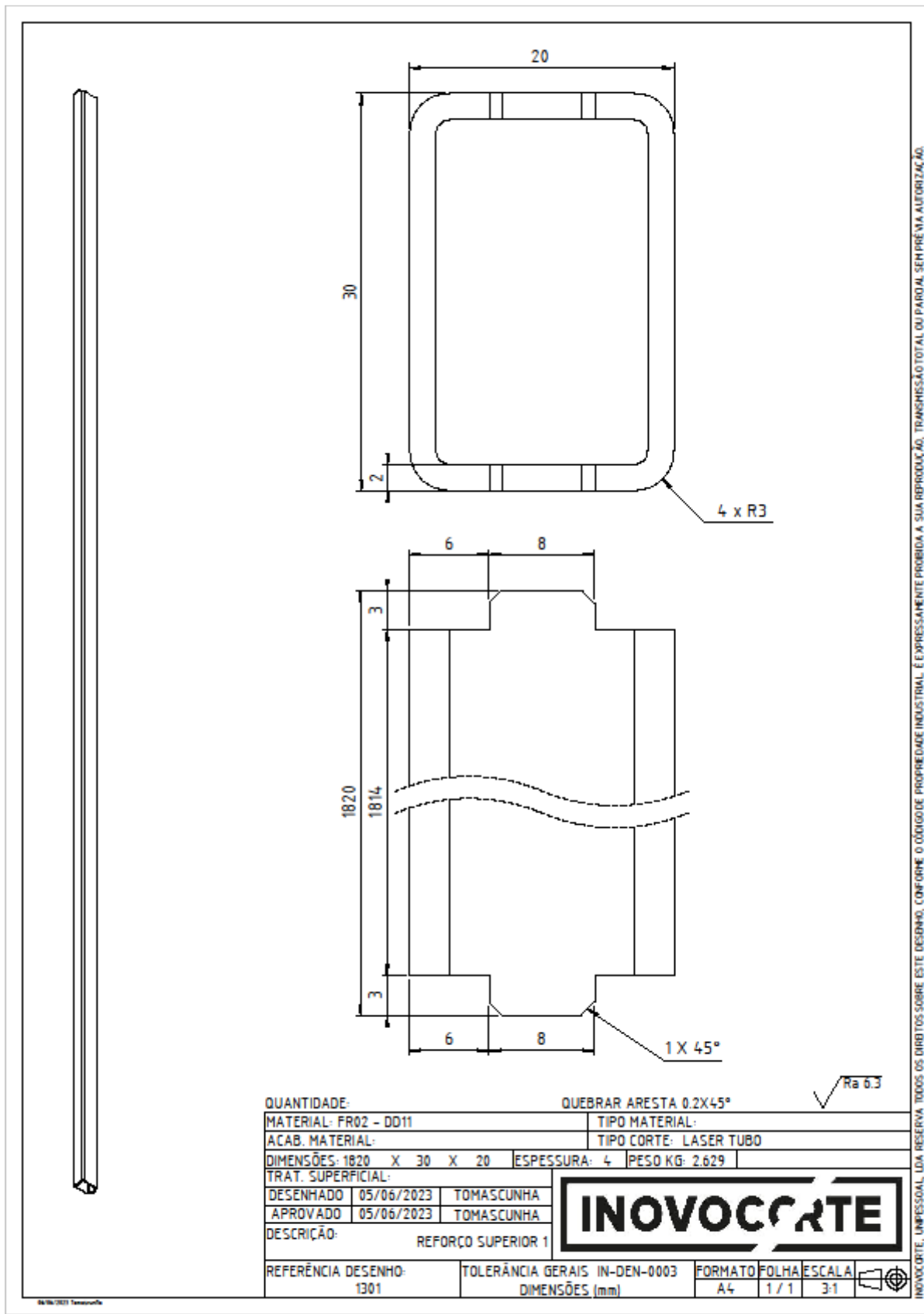


Figura 91 – Desenho técnico do reforço superior 1 (1301).

⇒ Reforço superior 2 (1401)

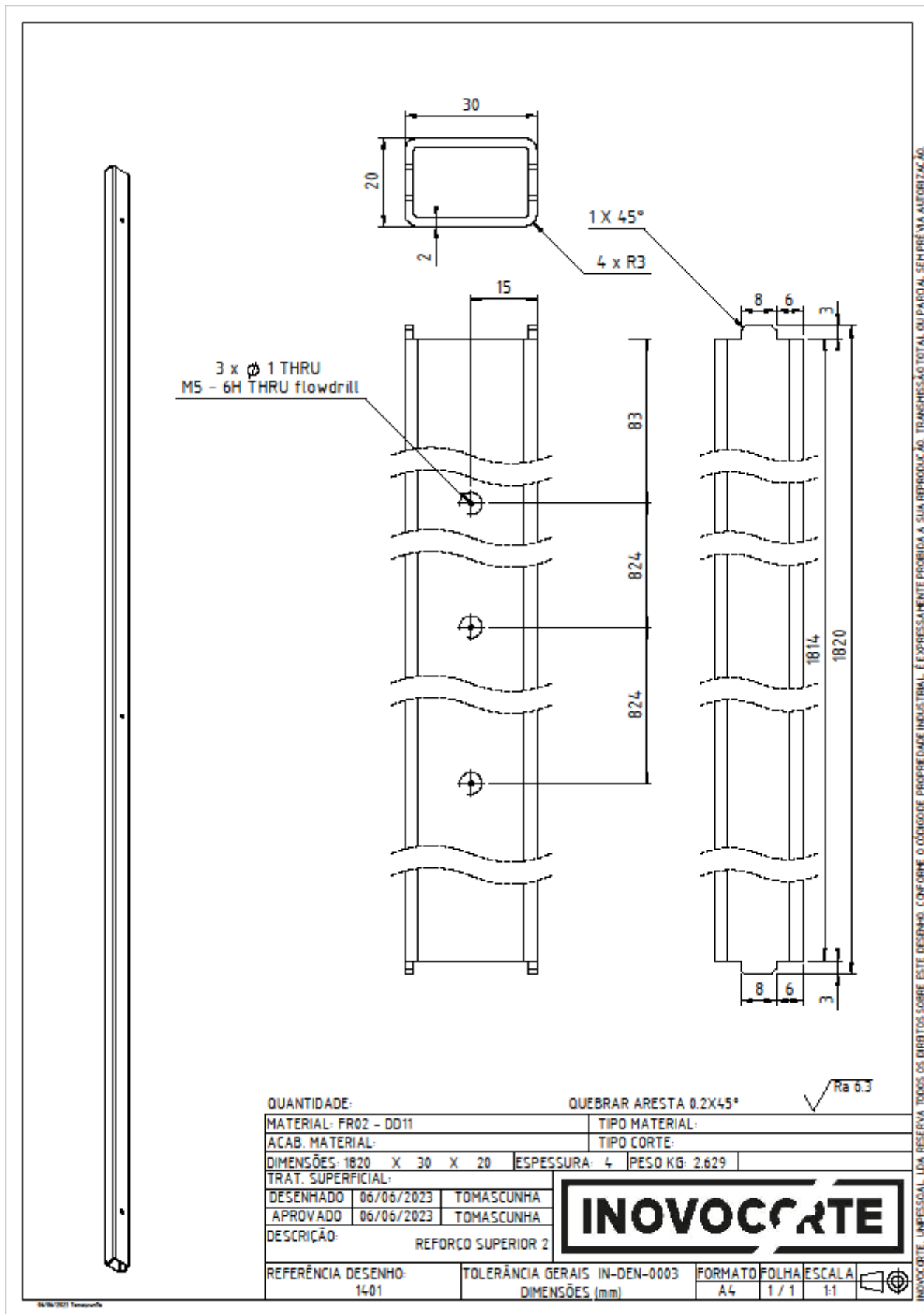


Figura 92 – Desenho técnico do reforço superior 2 (1401).

⇒ Reforço superior 3 (1501)

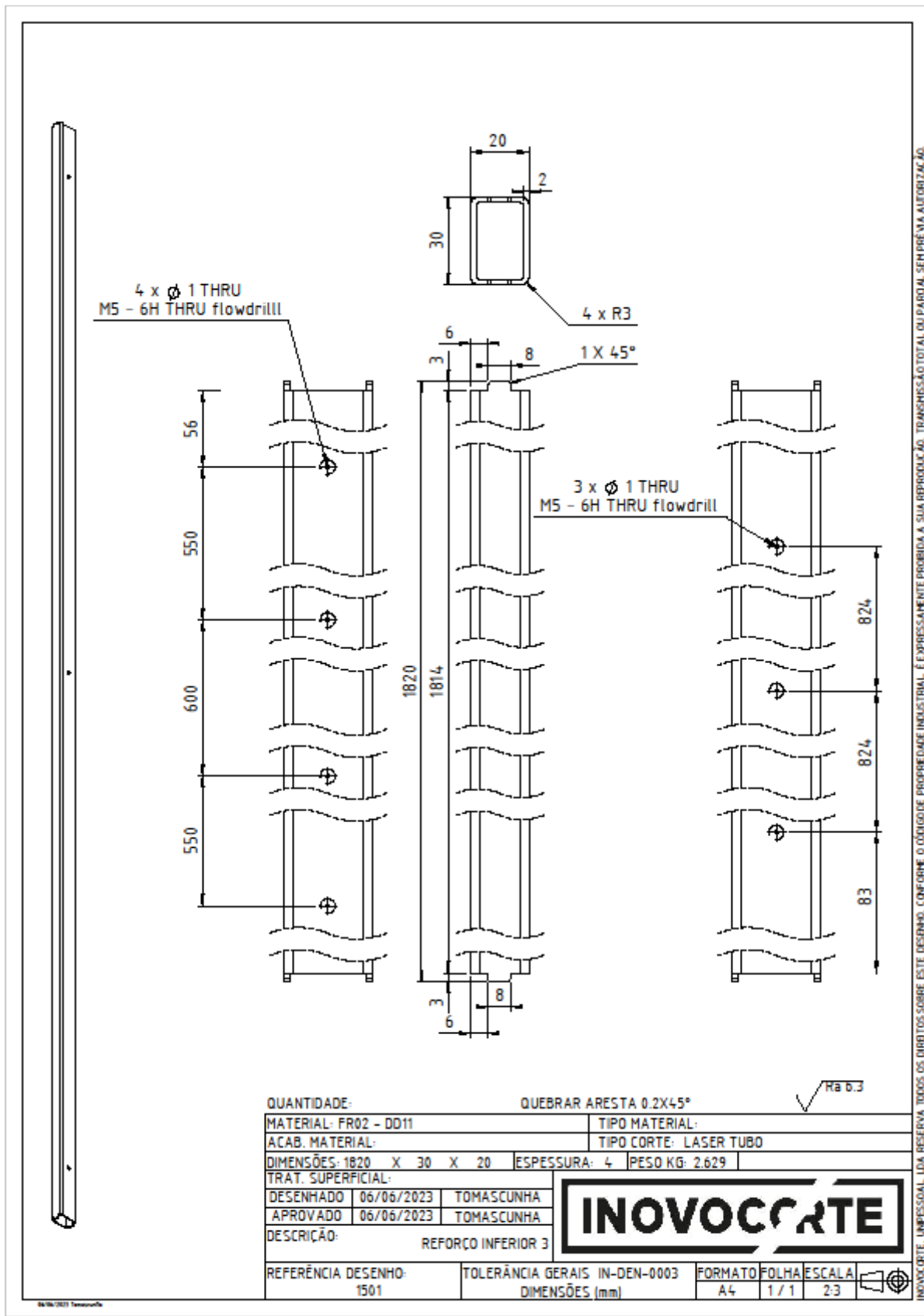


Figura 93 – Desenho técnico do reforço superior 3 (1501).

⇒ Suporte reforço superior (1601)

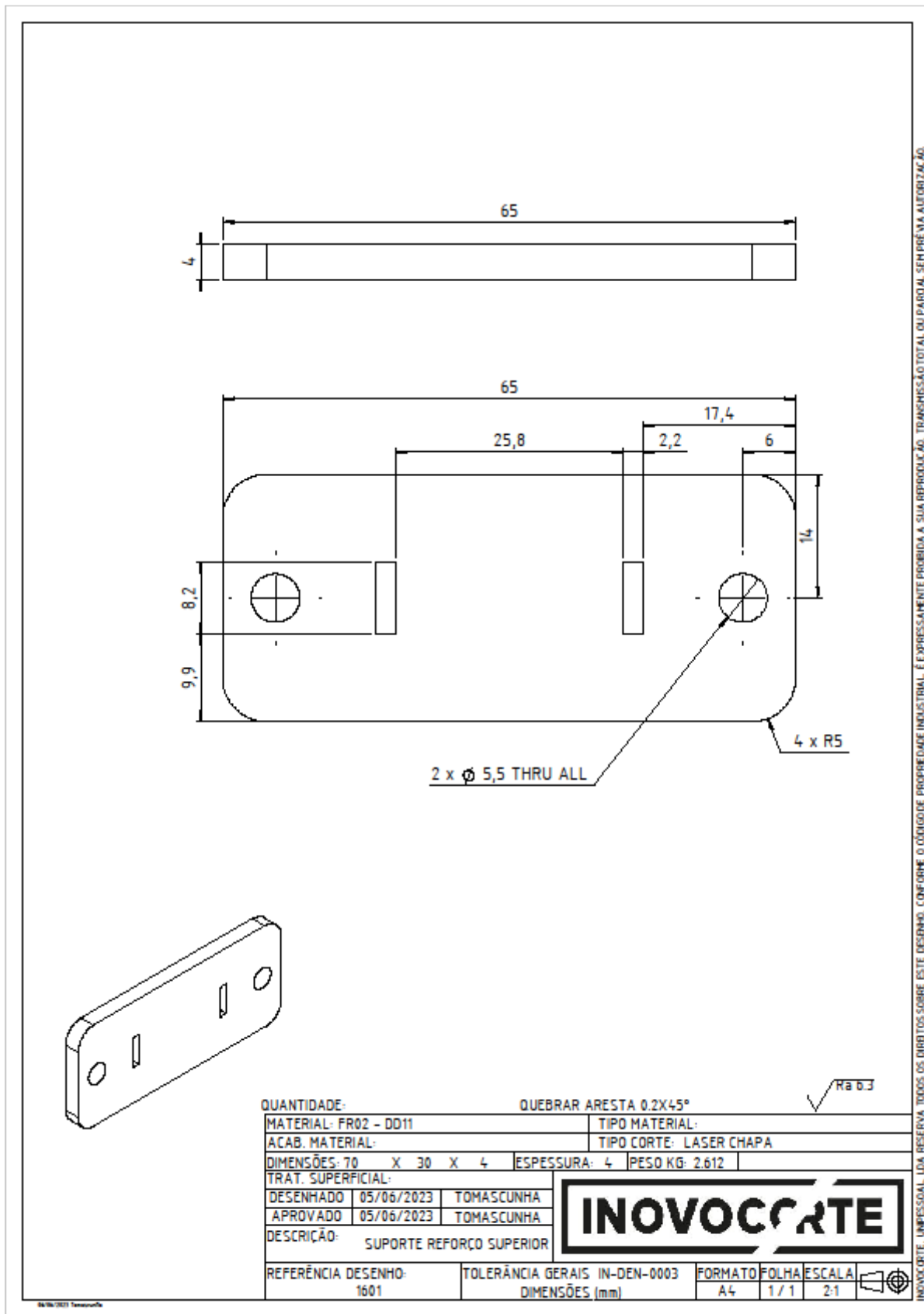


Figura 94 – Desenho técnico do suporte reforço superior (1601).

⇒ Chapa compressão (1701)

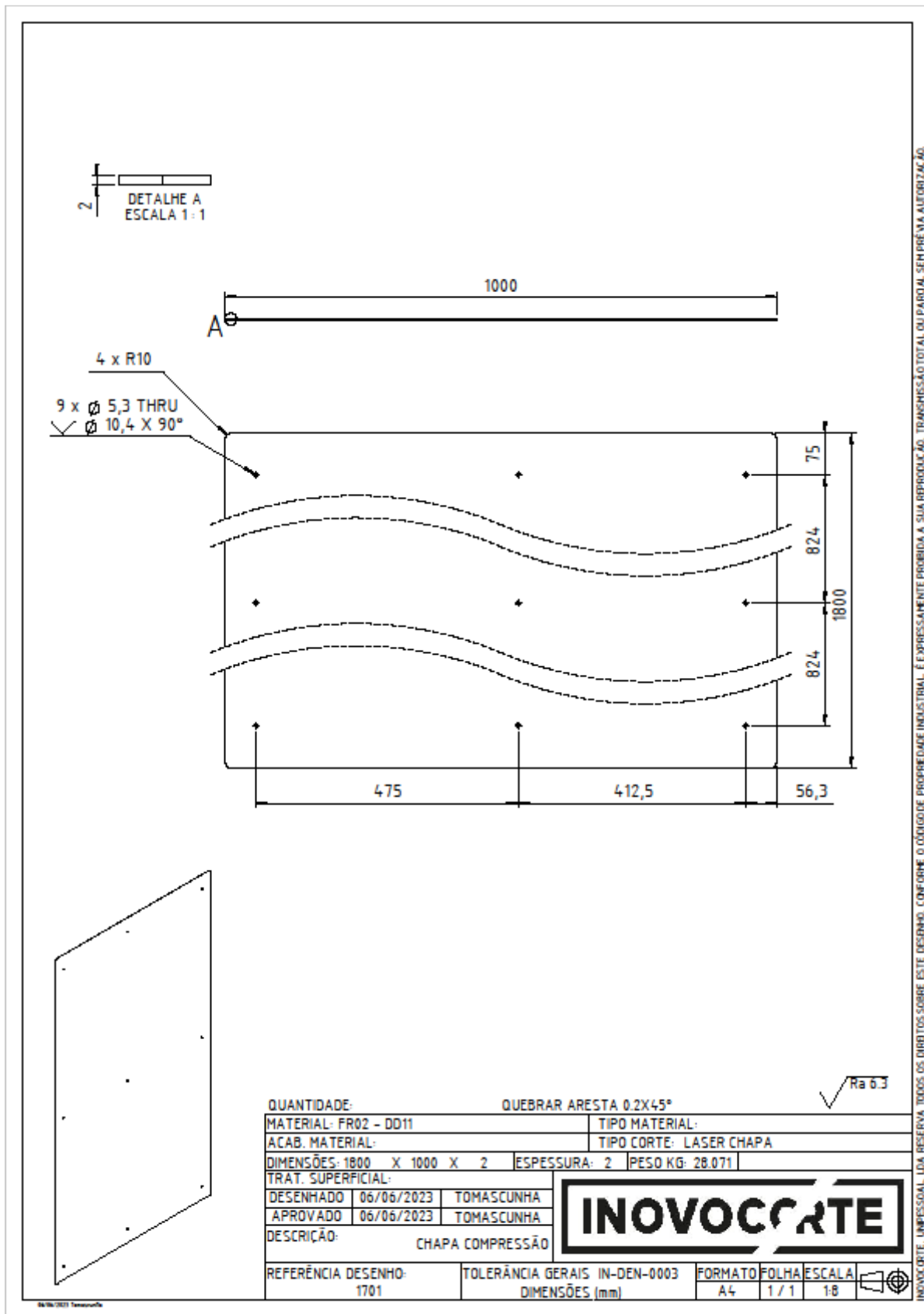


Figura 95 – Desenho técnico da chapa de compressão (1701).

⇒ Veio chumaceira (1801)

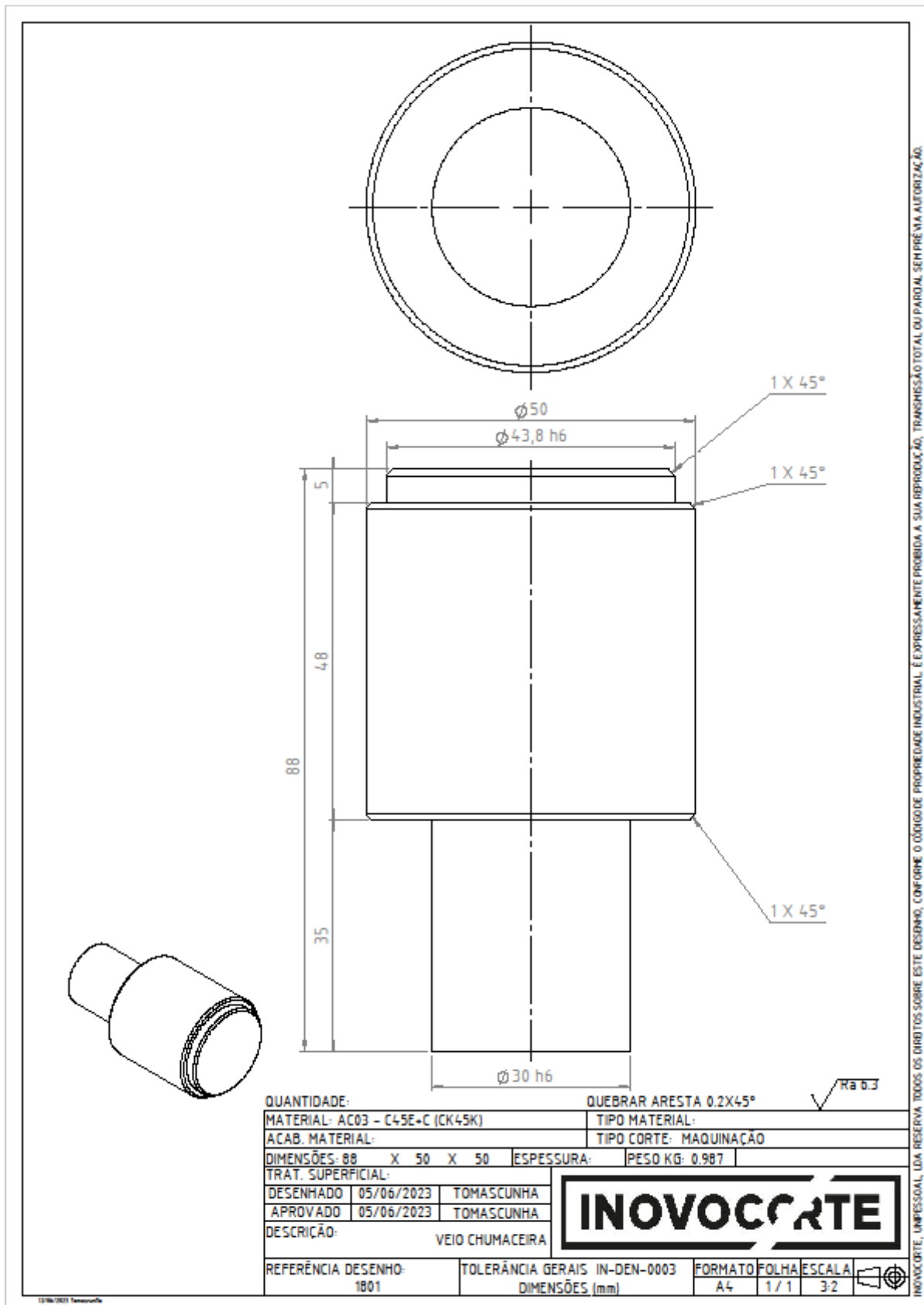
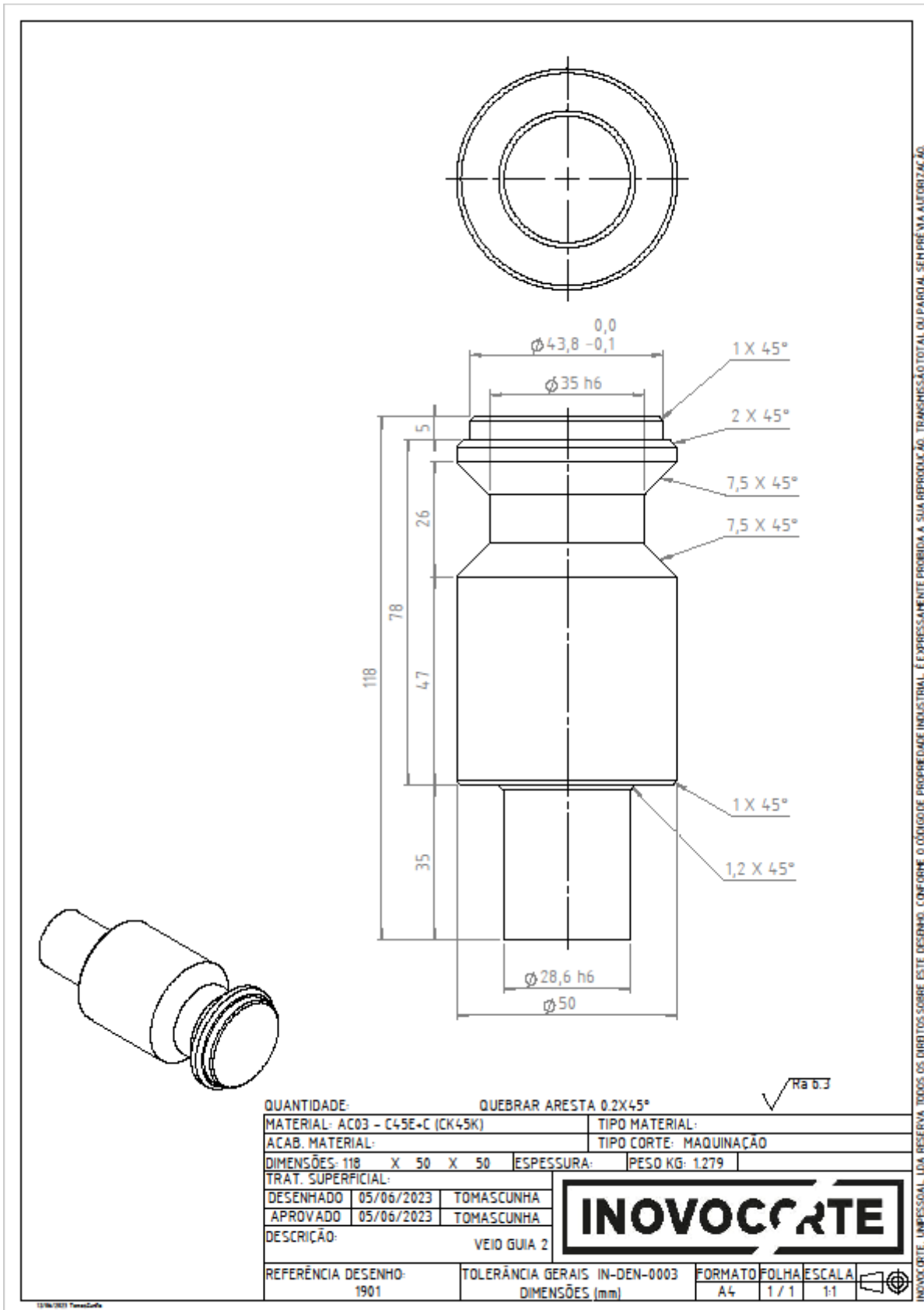


Figura 96 – Desenho técnico do veio chumaceira (1801).

⇒ Veio motor 2 (1901)



INOVOCORTE, LDA RESERVA TODOS OS DIREITOS SOBRE ESTE DESENHO, CONFORME O CÓDIGO DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. É EXPRESSAMENTE PROIBIDA A SUA REPRODUÇÃO, TRANSMISSÃO TOTAL OU PARCIAL, SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO.

Figura 97 – Desenho técnico do veio guia 2 (1901).

⇒ Reforço inferior pequeno (2101)

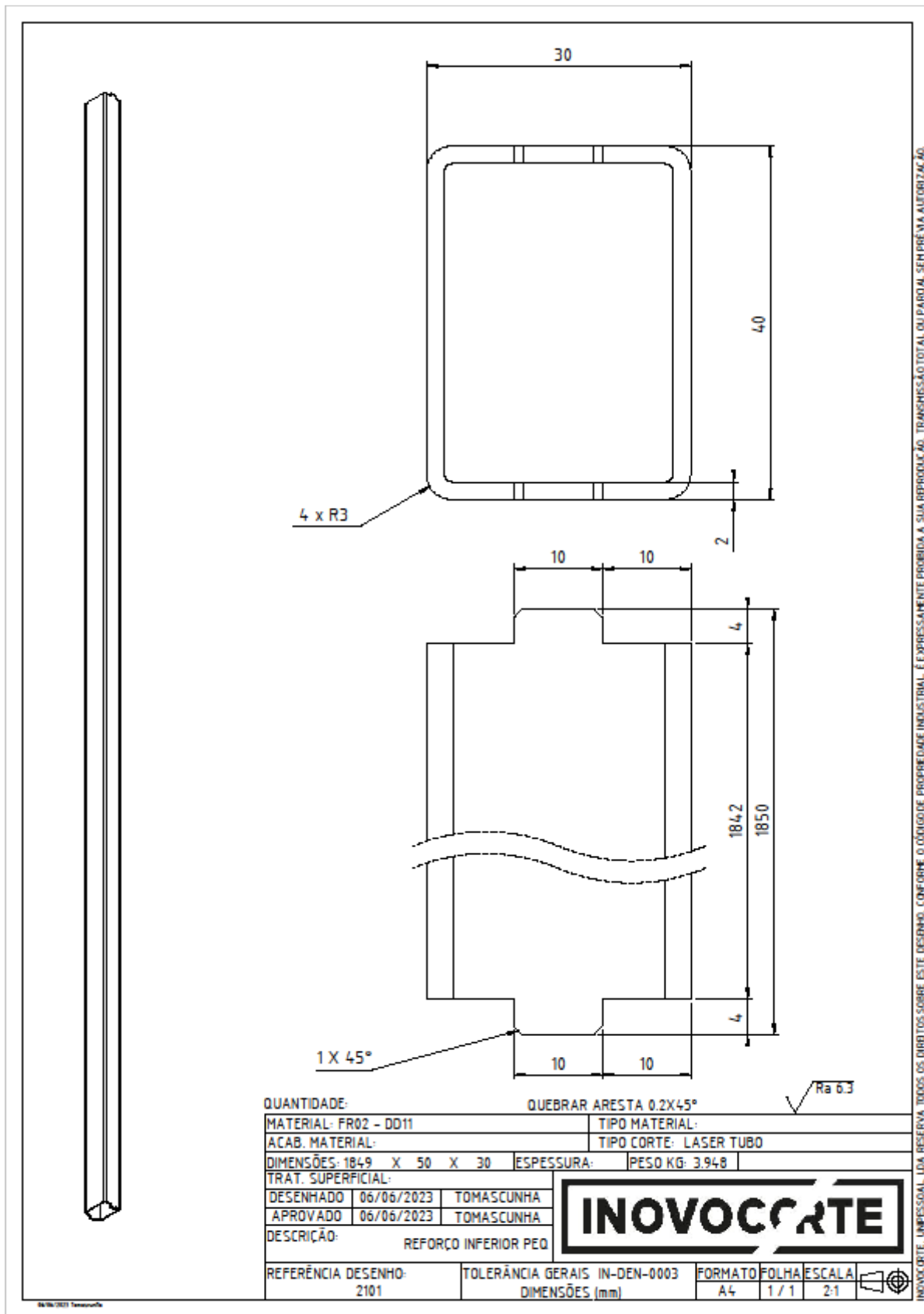


Figura 99 – Desenho técnico do reforço inferior pequeno (2101).

⇒ Veio transmissão (2201)

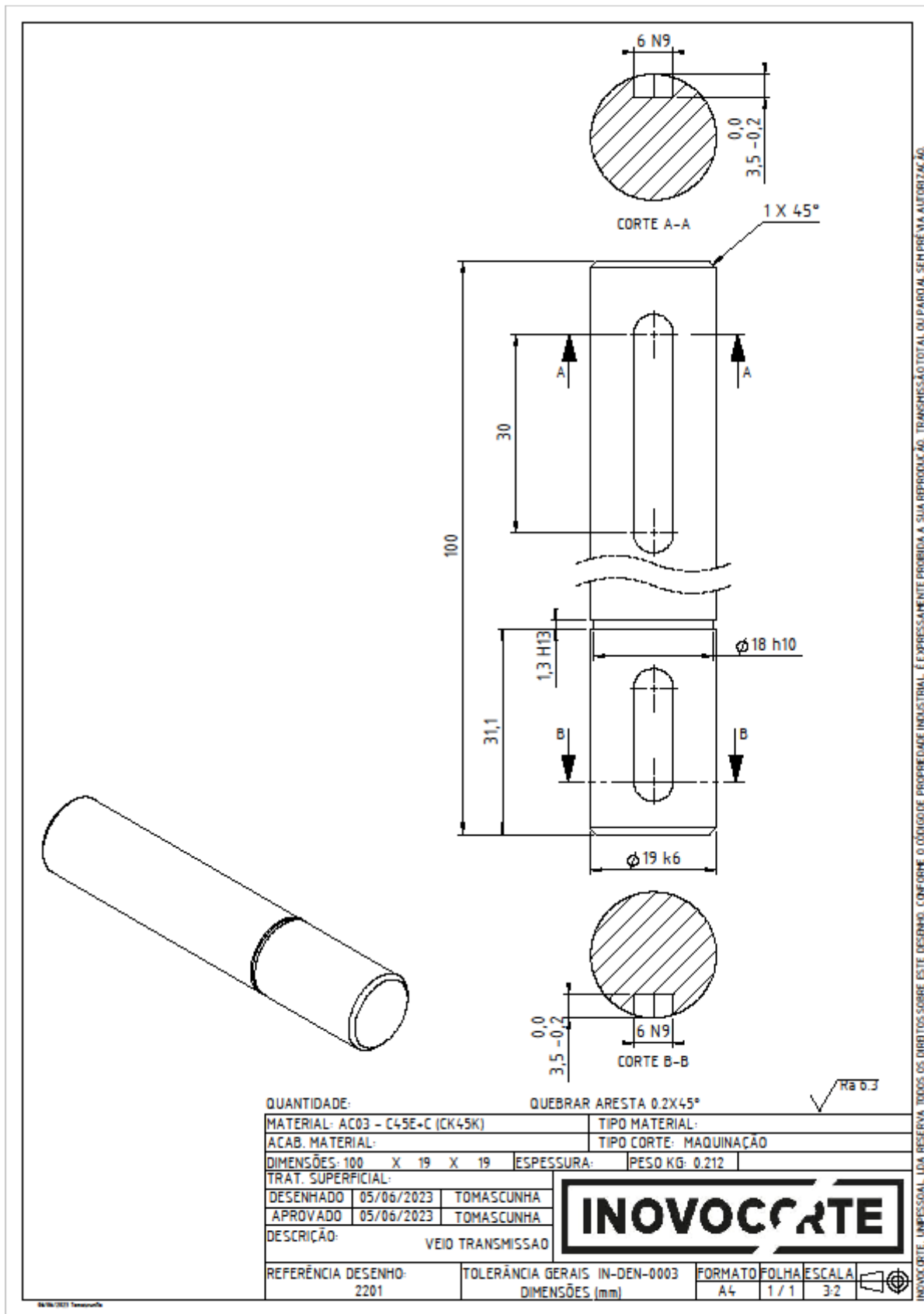
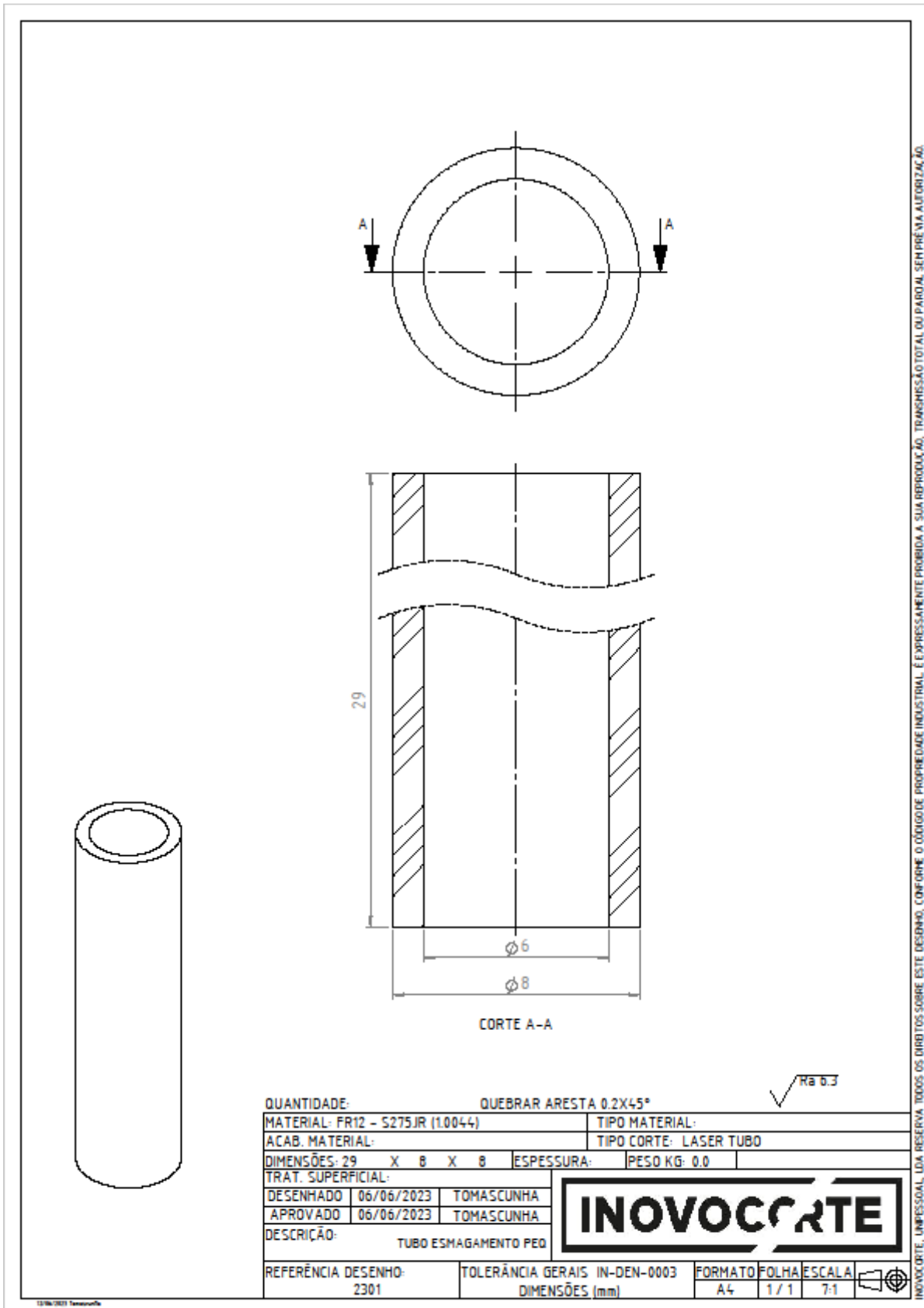


Figura 100 – Desenho técnico do veio transmissão (2201).

⇒ Tubo esmagamento pequeno (2301)



INOVOCORTE, UNIPESSOAL, LDA RESERVA TODOS OS DIREITOS SOBRE ESTE DESENHO, CONFORME O CÓDIGO DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. É EXPRESSAMENTE PROIBIDA A SUA REPRODUÇÃO, TRANSMISSÃO TOTAL OU PARCIAL, SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO.

Figura 101 – Desenho técnico do tubo esmagamento pequeno (2301).

⇒ Tubo esmagamento grande (2401)

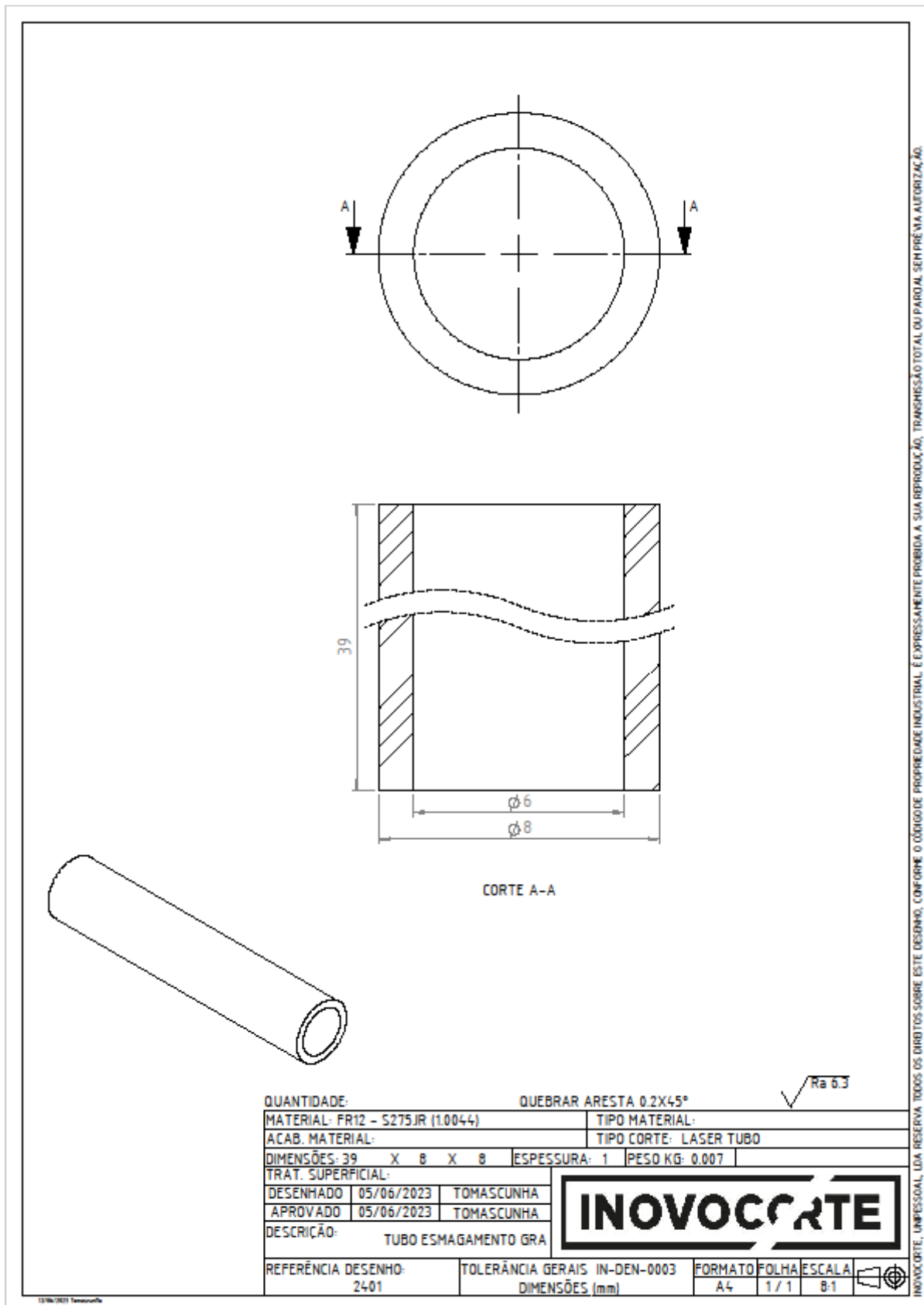


Figura 102 – Desenho técnico do tubo esmagamento grande (2401).

⇒ Reforço inferior grande (2501)

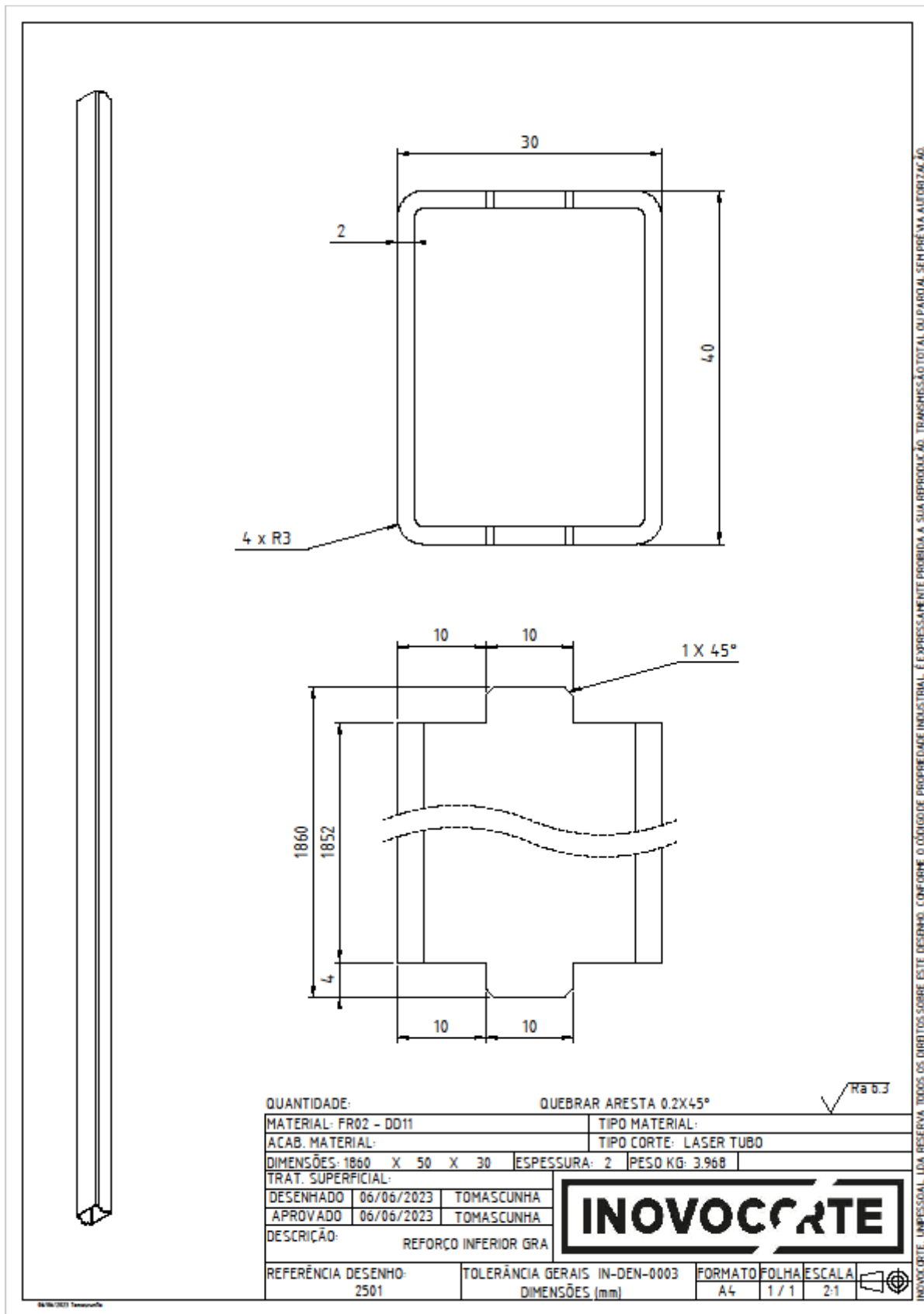


Figura 103 – Desenho técnico do reforço inferior grande (2501).

⇒ Suporte reforço inferior (2601)

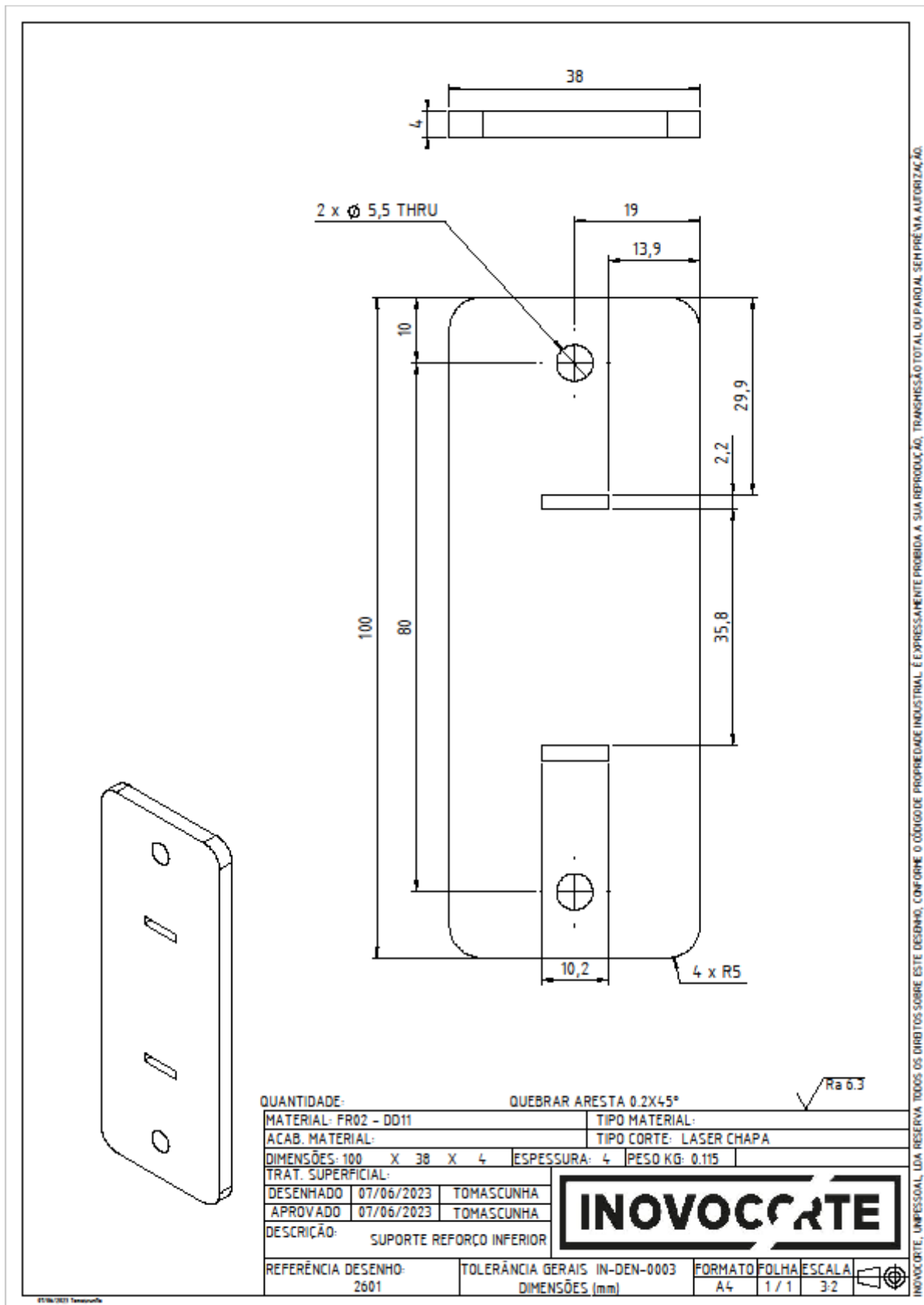


Figura 104 – Desenho técnico do suporte reforço inferior (2601).

⇒ Suporte motorreductor (2701)

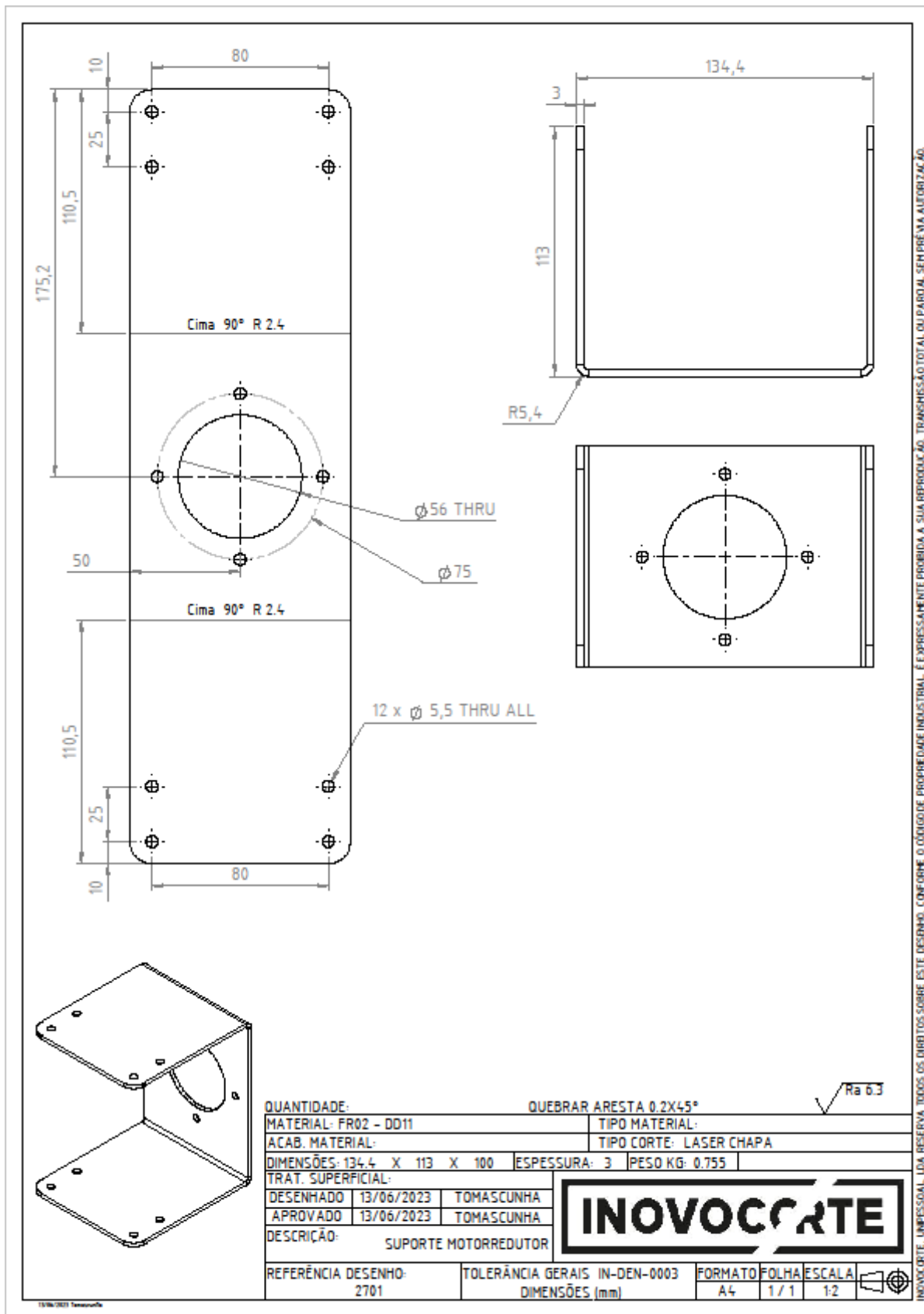


Figura 105 – Desenho técnico do suporte motorreductor (2701).

⇒ Suporte sensor (3301)

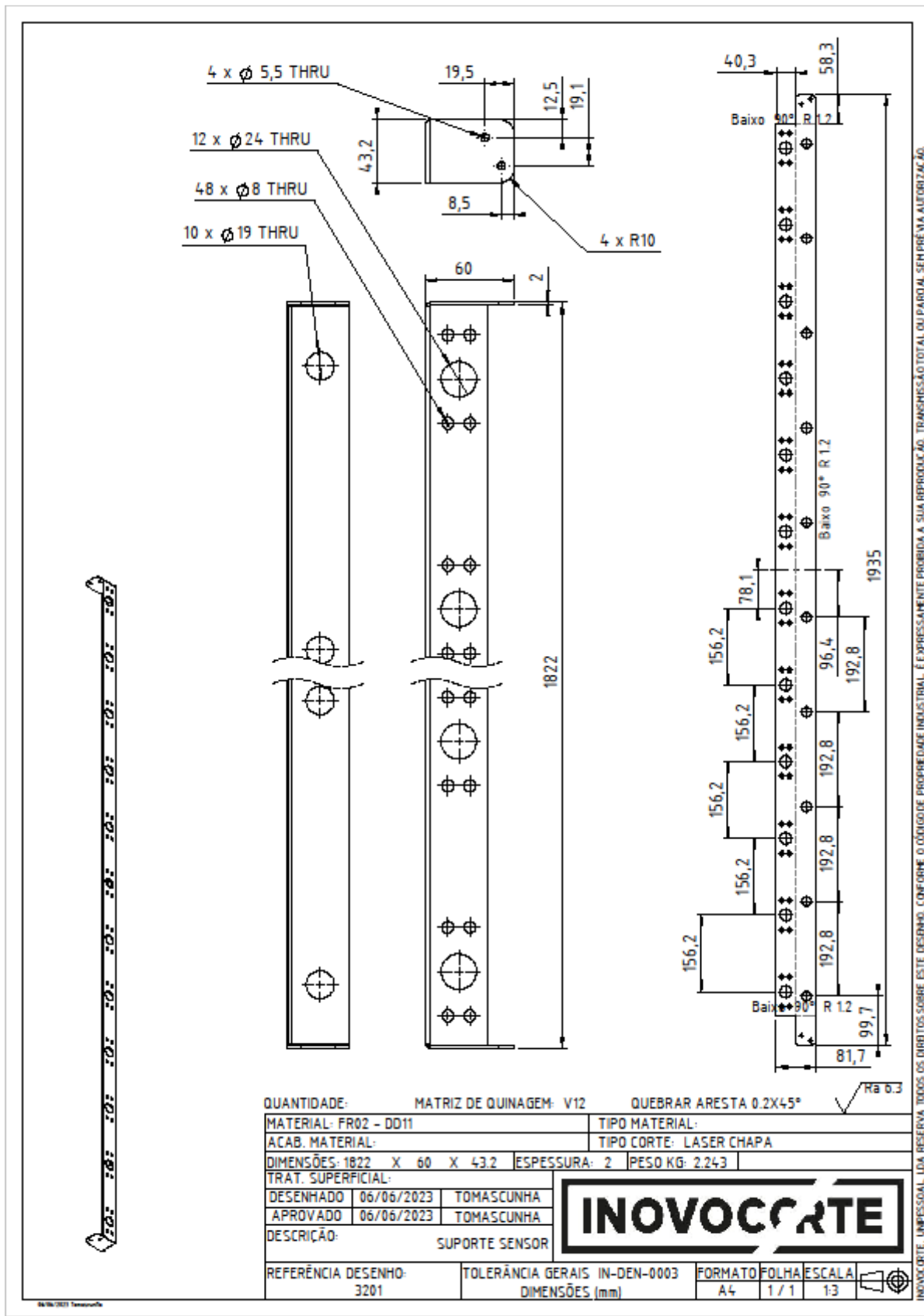


Figura 106 – Desenho técnico do suporte sensor (3301).

⇒ Suporte refletor (3401)

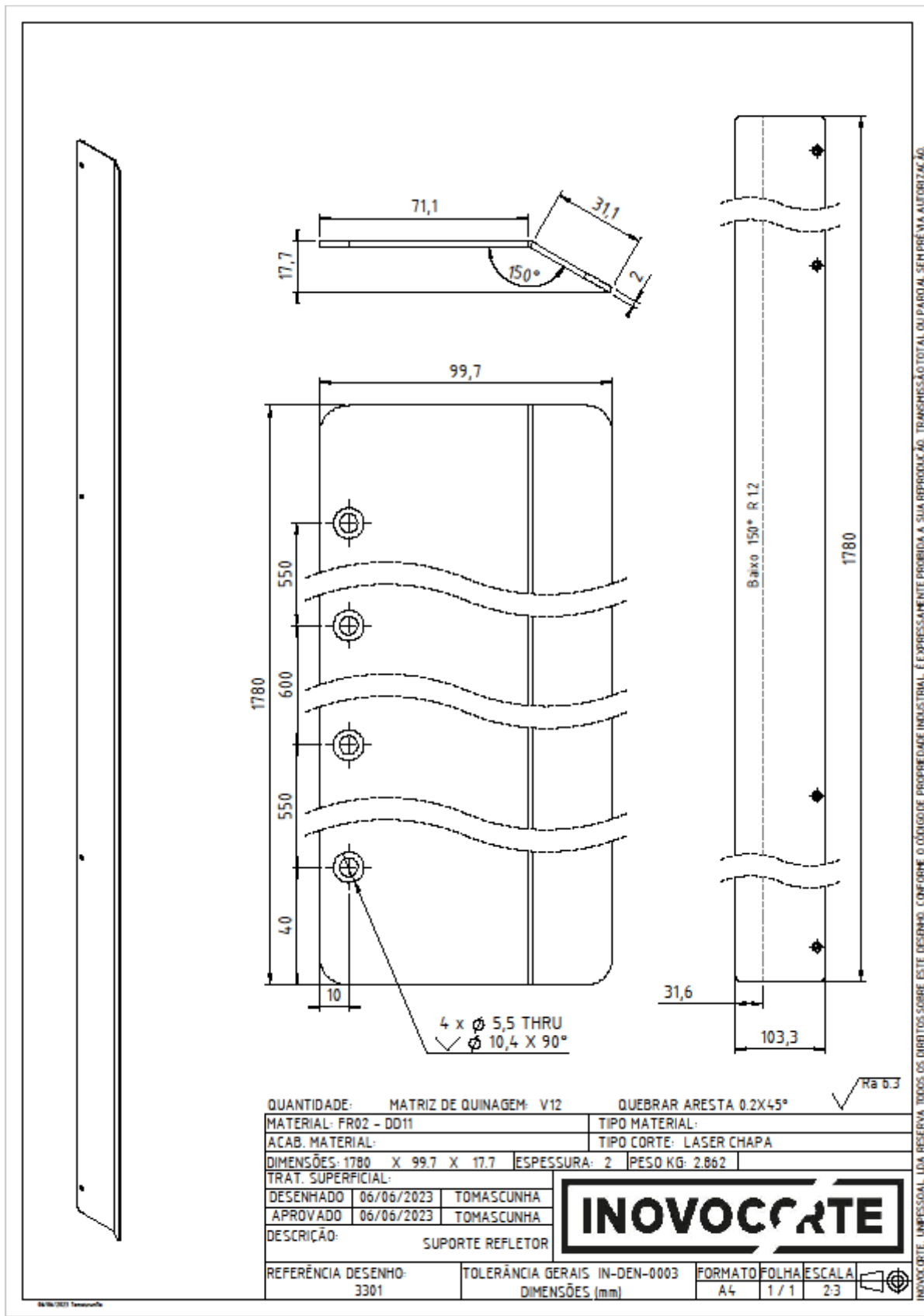


Figura 107 – Desenho técnico do suporte refletor (3401).

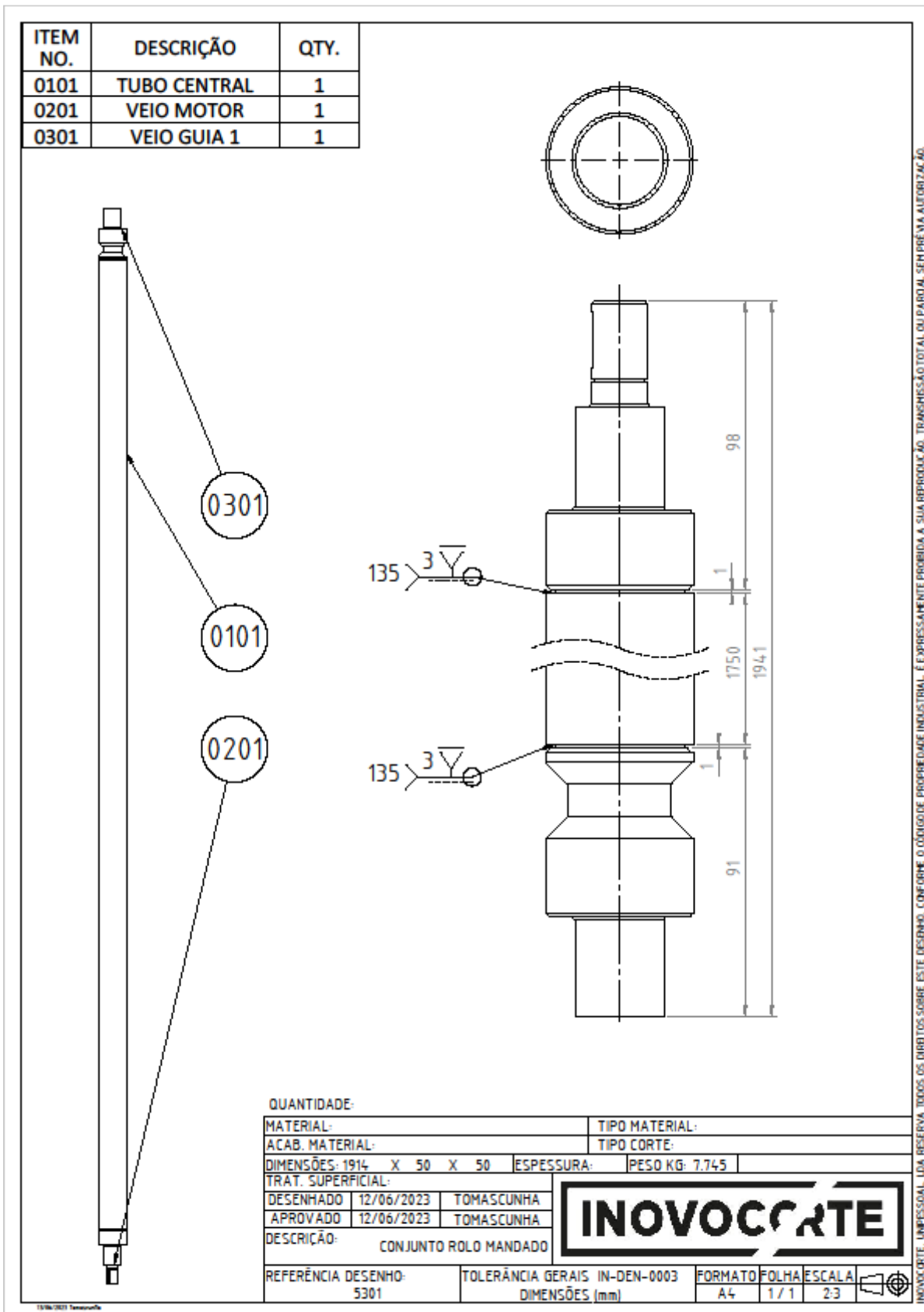
⇒ Conjunto rolo mandante (5301)

Figura 108 – Desenho técnico do conjunto rolo mandante (5301).

⇒ Conjunto rolo guia (5401)

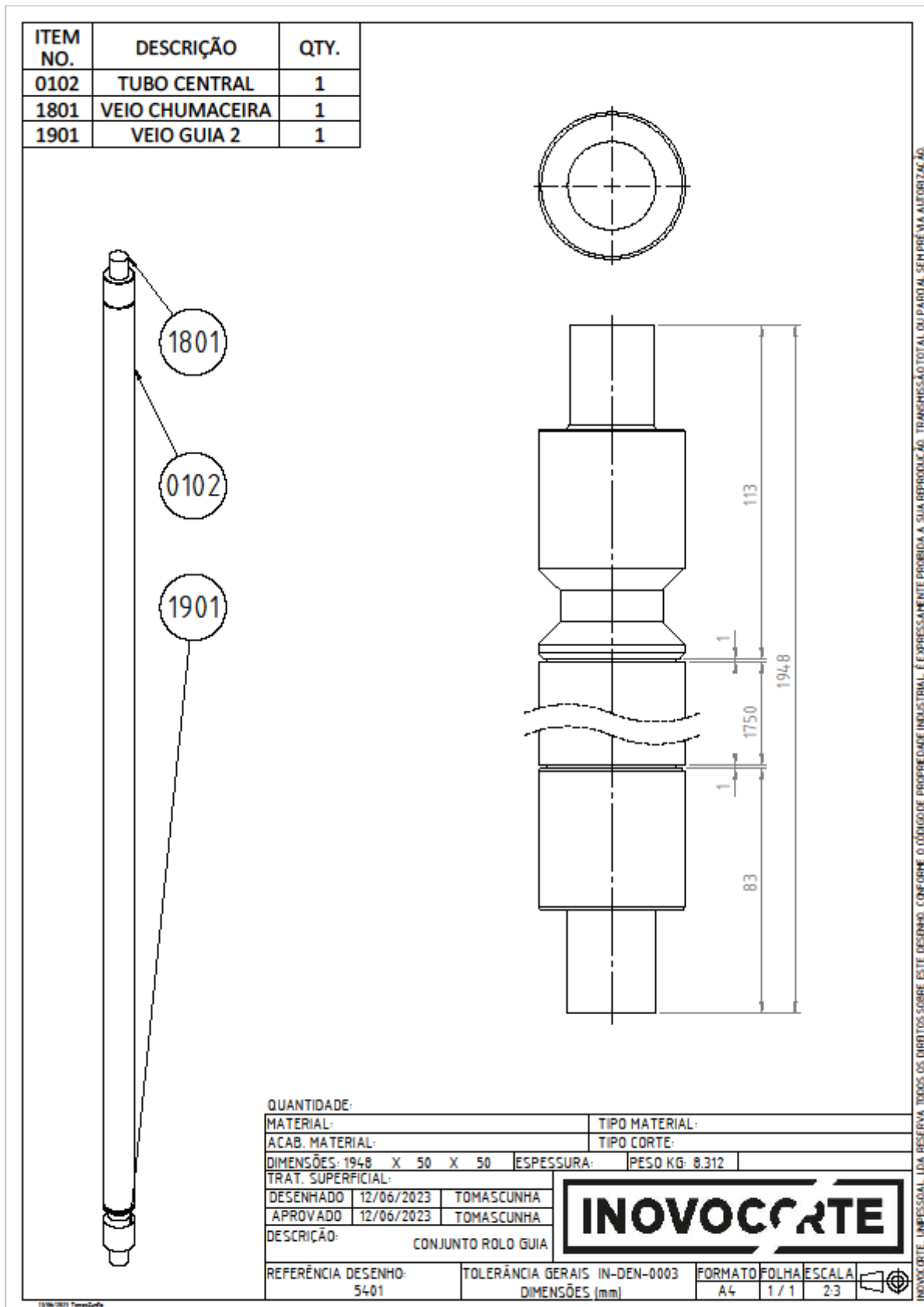


Figura 109 – Desenho técnico do rolo guia (5401).

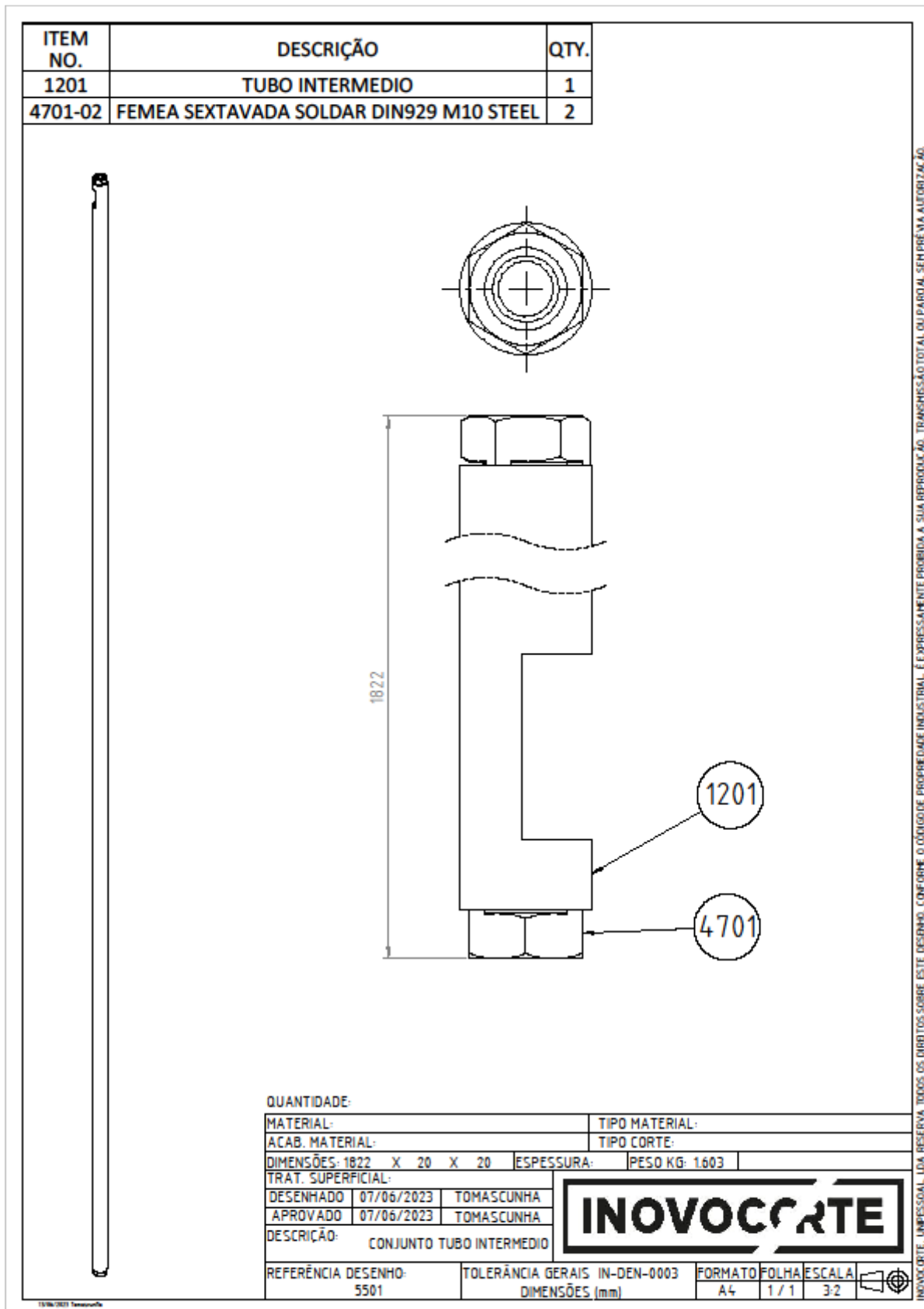
⇒ Conjunto tubo intermédio (5501)

Figura 110 – Desenho técnico do conjunto tubo intermédio (5501).

⇒ Conjunto reforço superior 1 (5601)

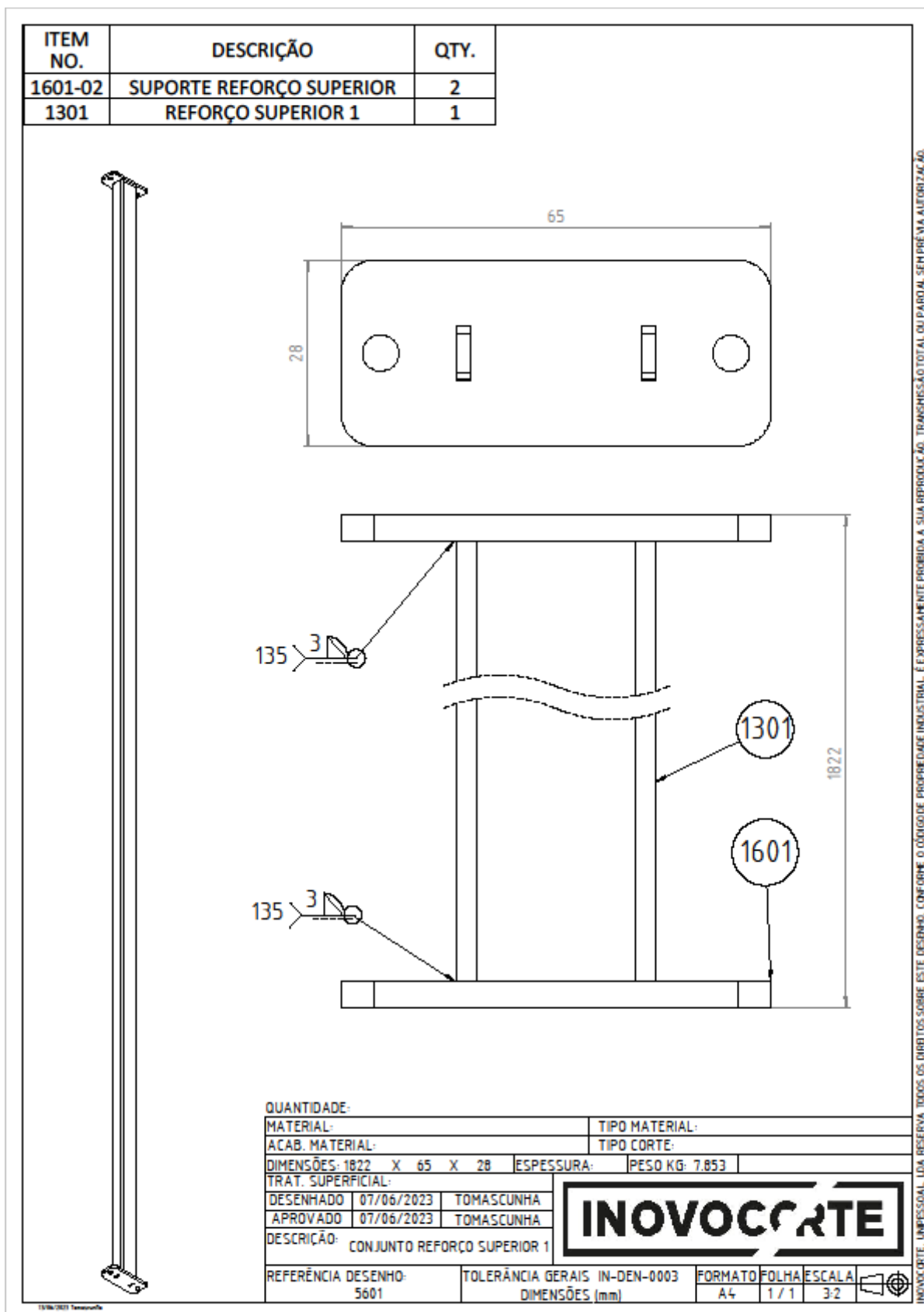


Figura 111 – Desenho técnico do conjunto reforço superior 1 (5601).

⇒ Conjunto reforço superior 2 (5701)

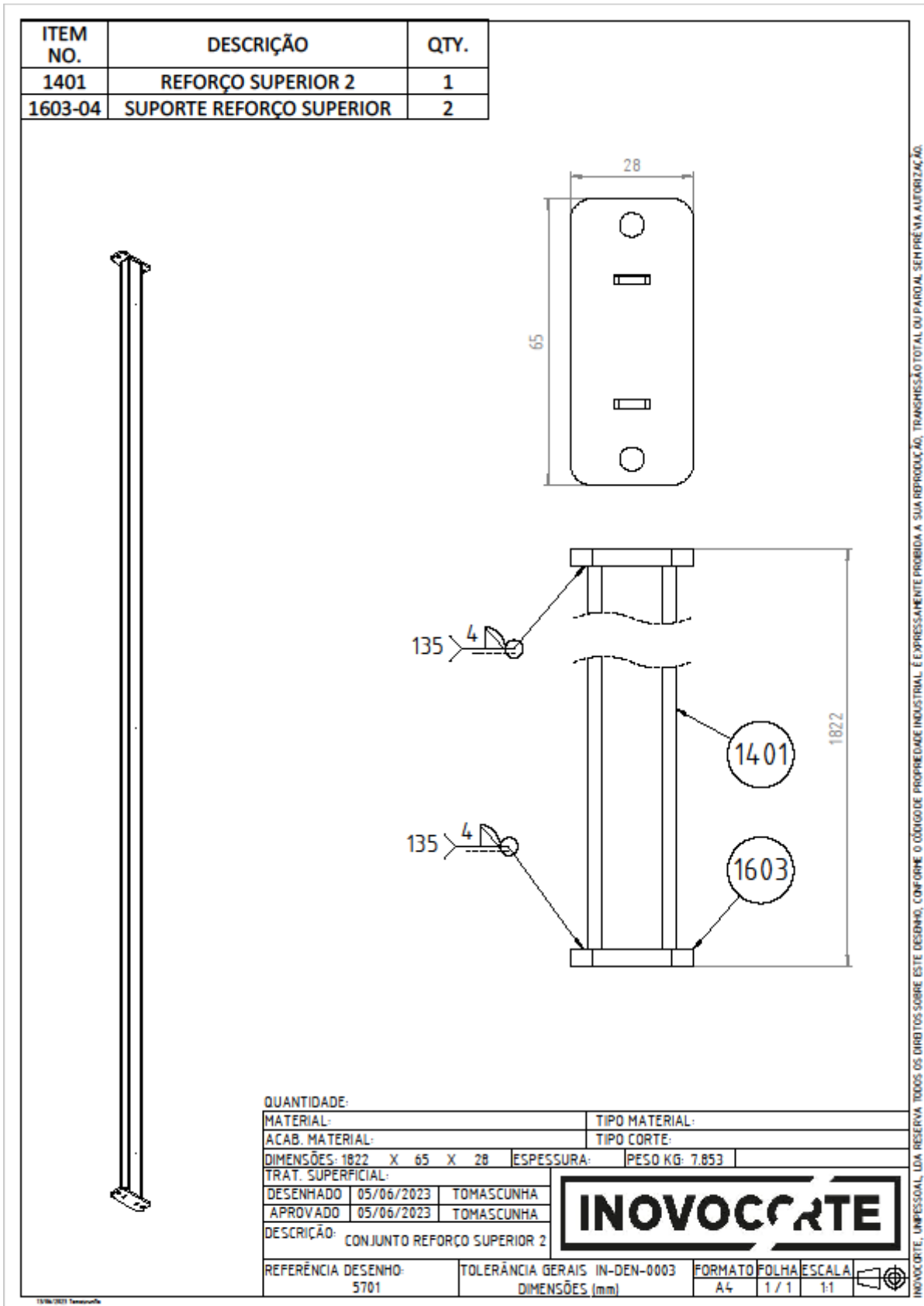


Figura 112 – Desenho técnico do conjunto reforço superior 2 (5701).

⇒ Conjunto reforço superior 3 (5801)

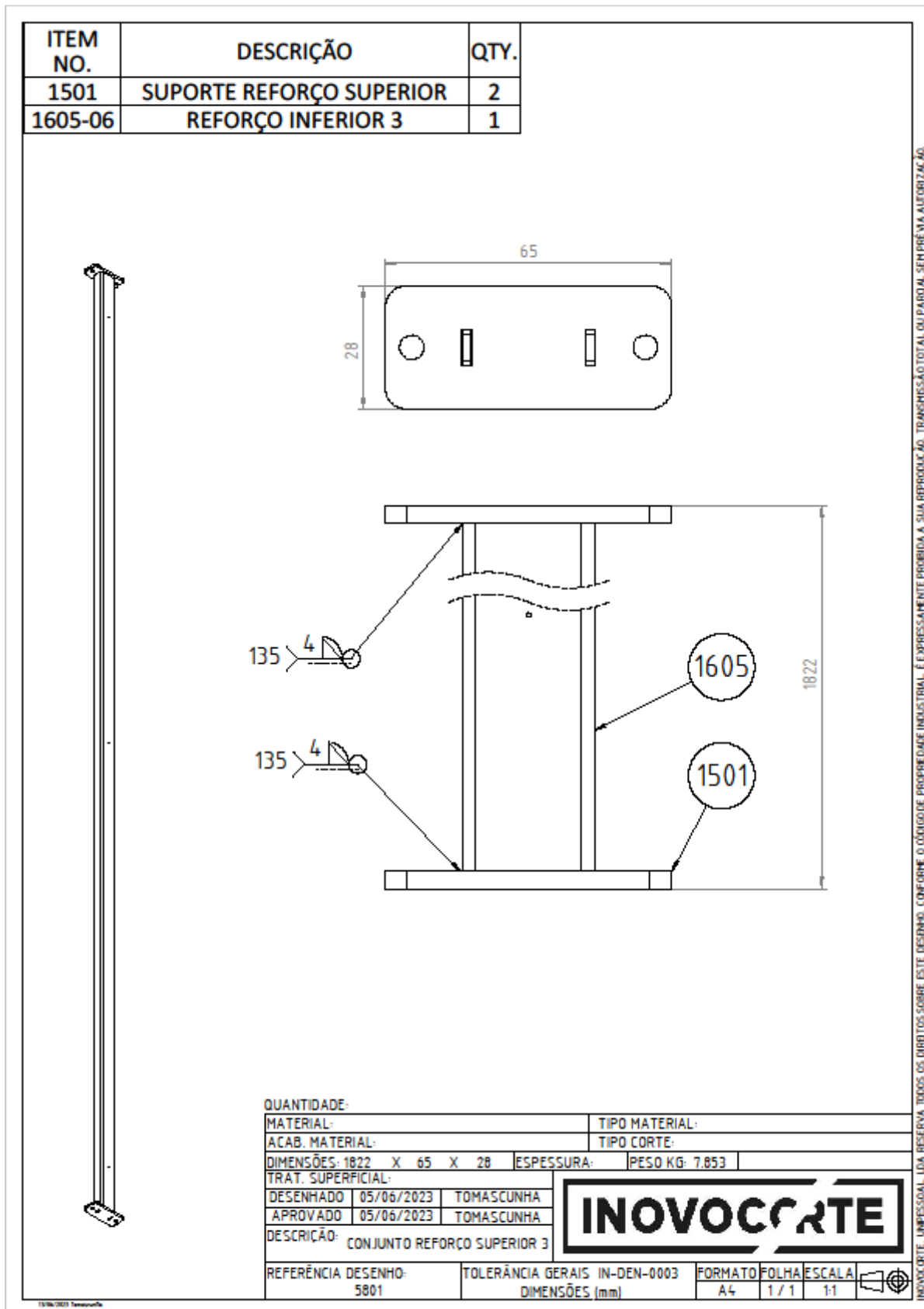


Figura 113 – Desenho técnico do conjunto reforço superior 3 (5801).

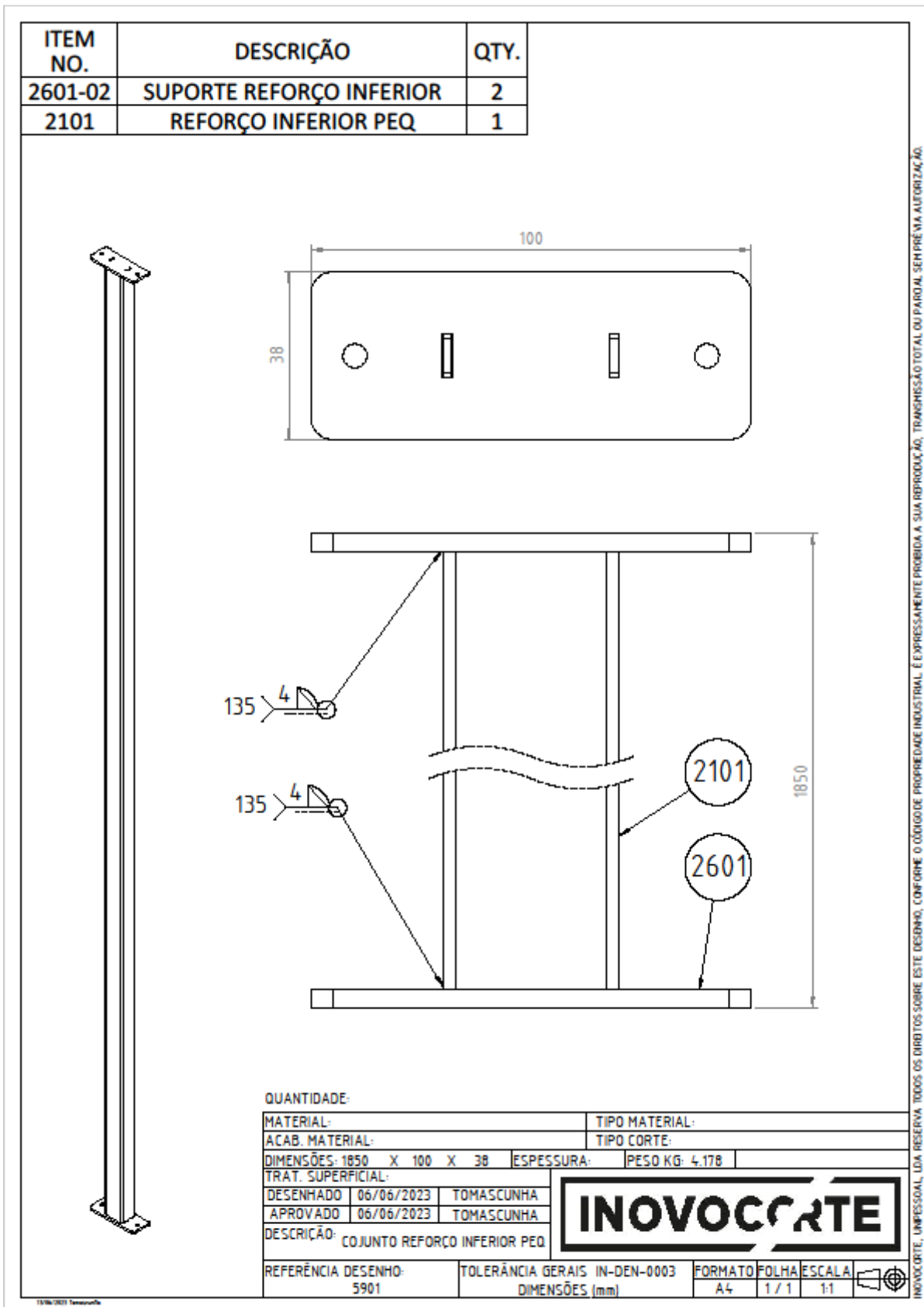
⇒ Conjunto reforço inferior pequeno (5901)

Figura 114 – Desenho técnico do conjunto reforço inferior pequeno (5901).

⇒ Conjunto reforço inferior grande (6001)

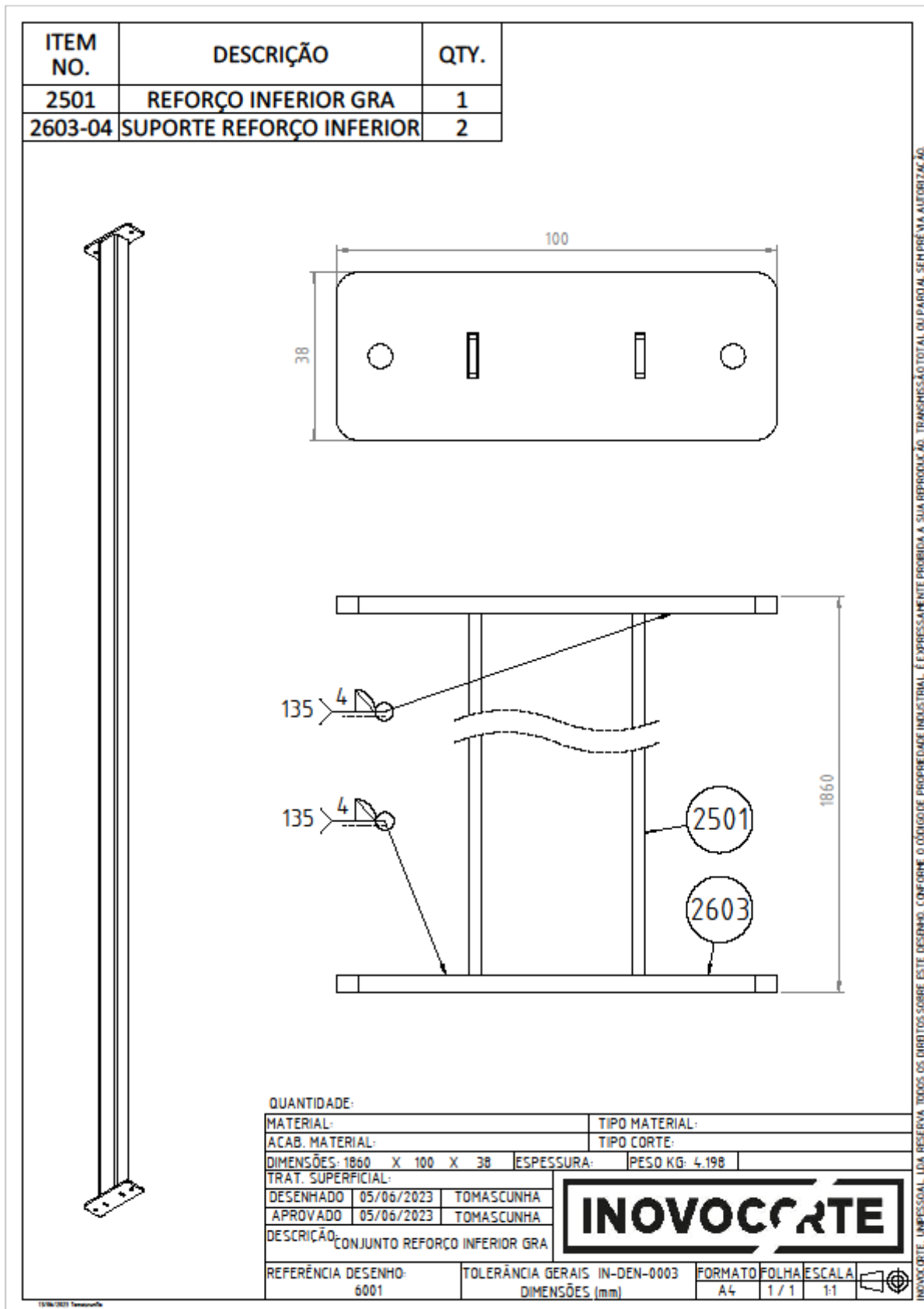


Figura 115 – Desenho técnico do conjunto reforço inferior grande (6001).

⇒ Conjunto estrutura lateral esquerdo (6101)

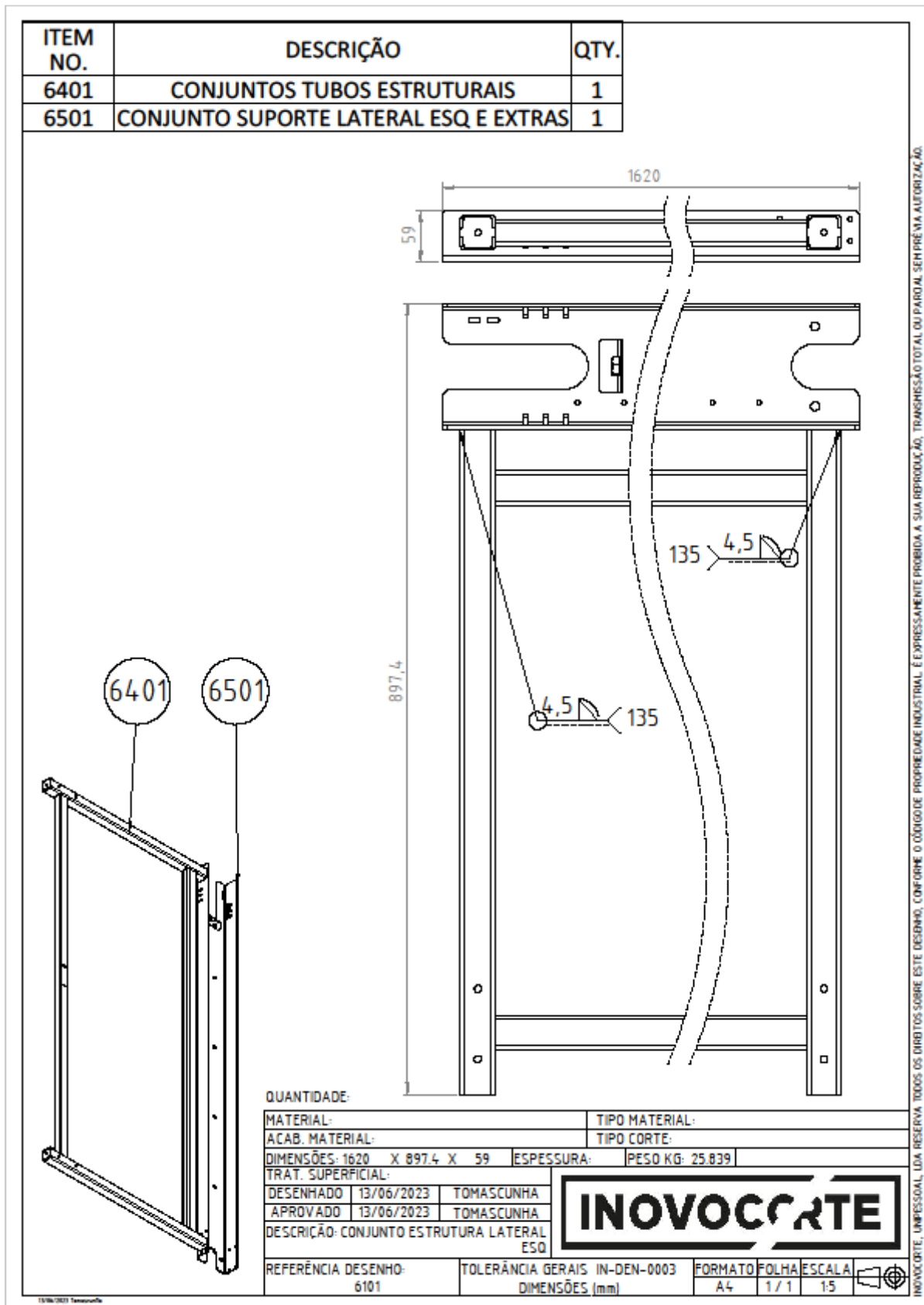


Figura 116 – Desenho técnico do conjunto estrutura lateral esquerda (6101).

⇒ Conjunto estrutura lateral direito (6201)

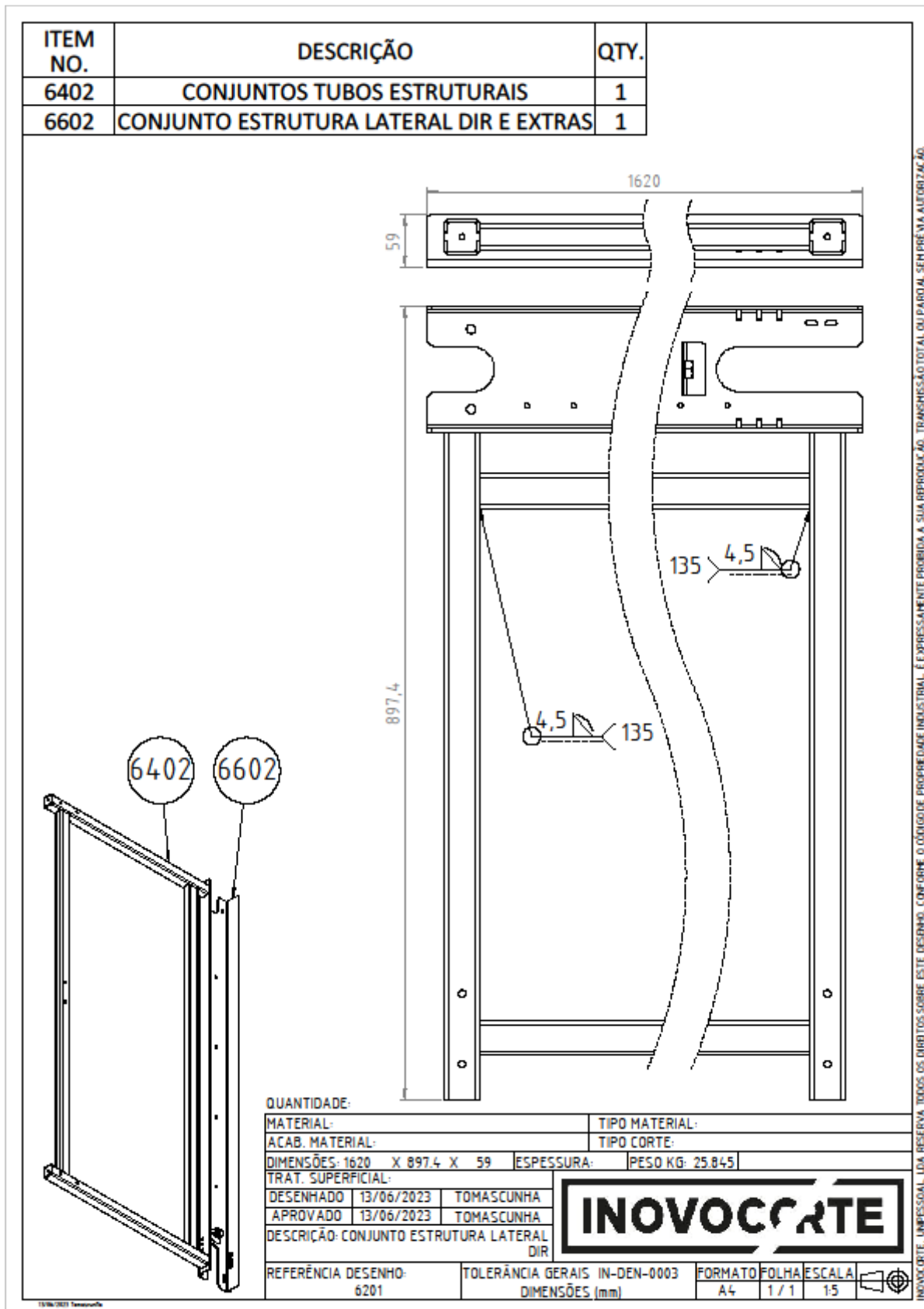


Figura 117 – Desenho técnico do conjunto estrutura lateral direita (6201).

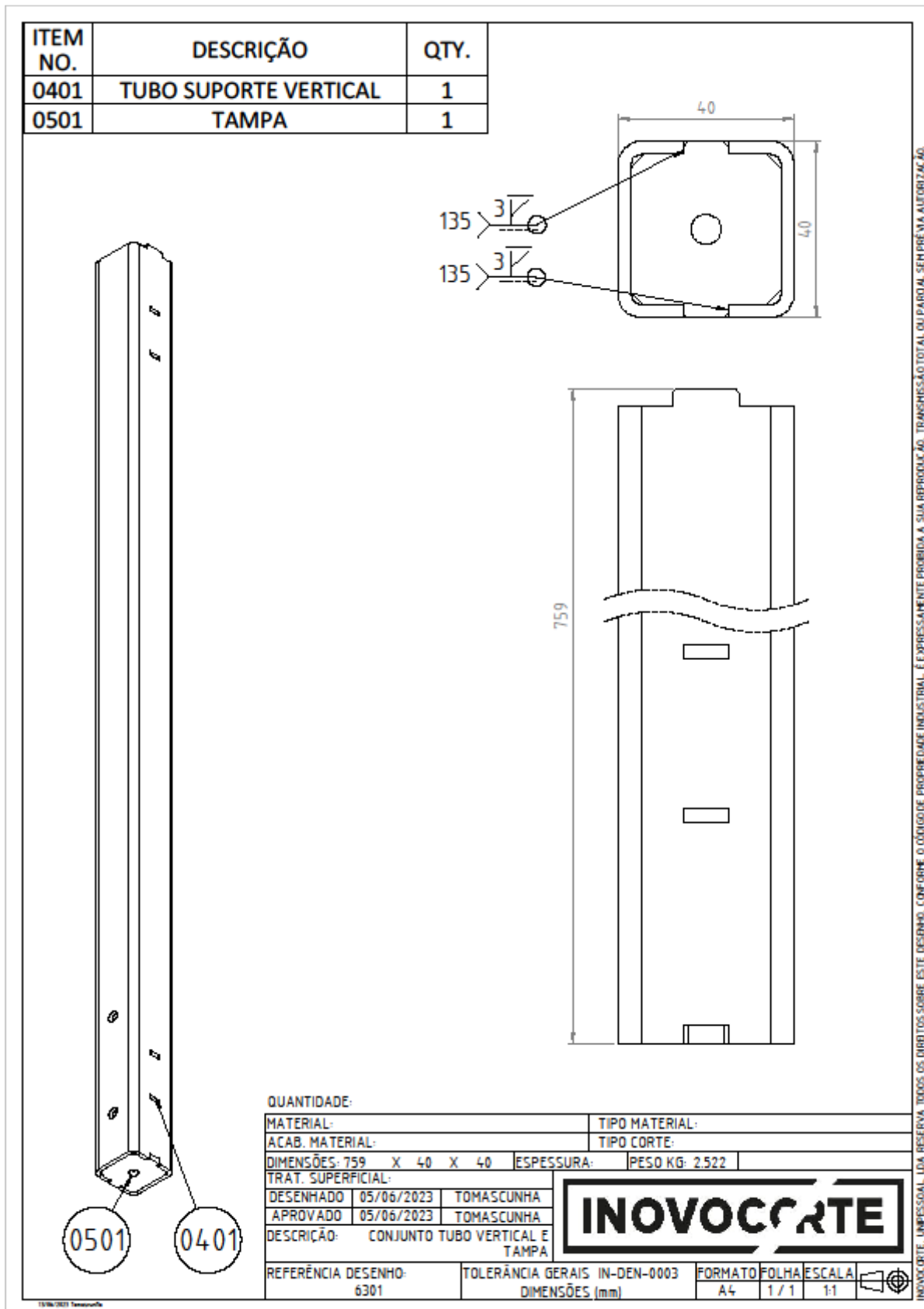
⇒ Conjunto vertical (6301)

Figura 118 – Desenho técnico do conjunto vertical (6301).

⇒ Conjunto tubos estruturais (6401)

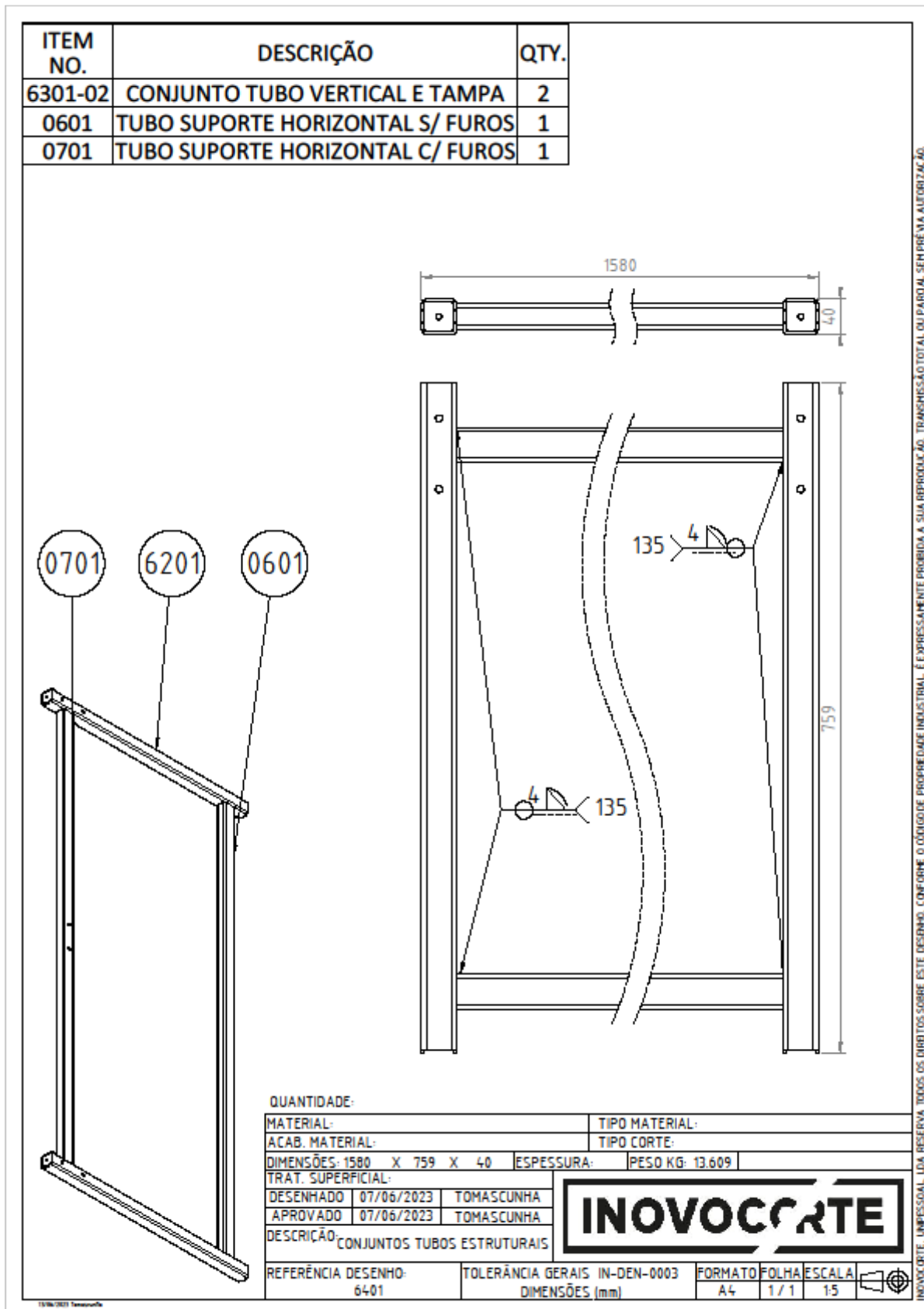


Figura 119 – Desenho técnico do conjunto tubos estruturais (6401).

⇒ Conjunto lateral esquerda mais extra (6501)

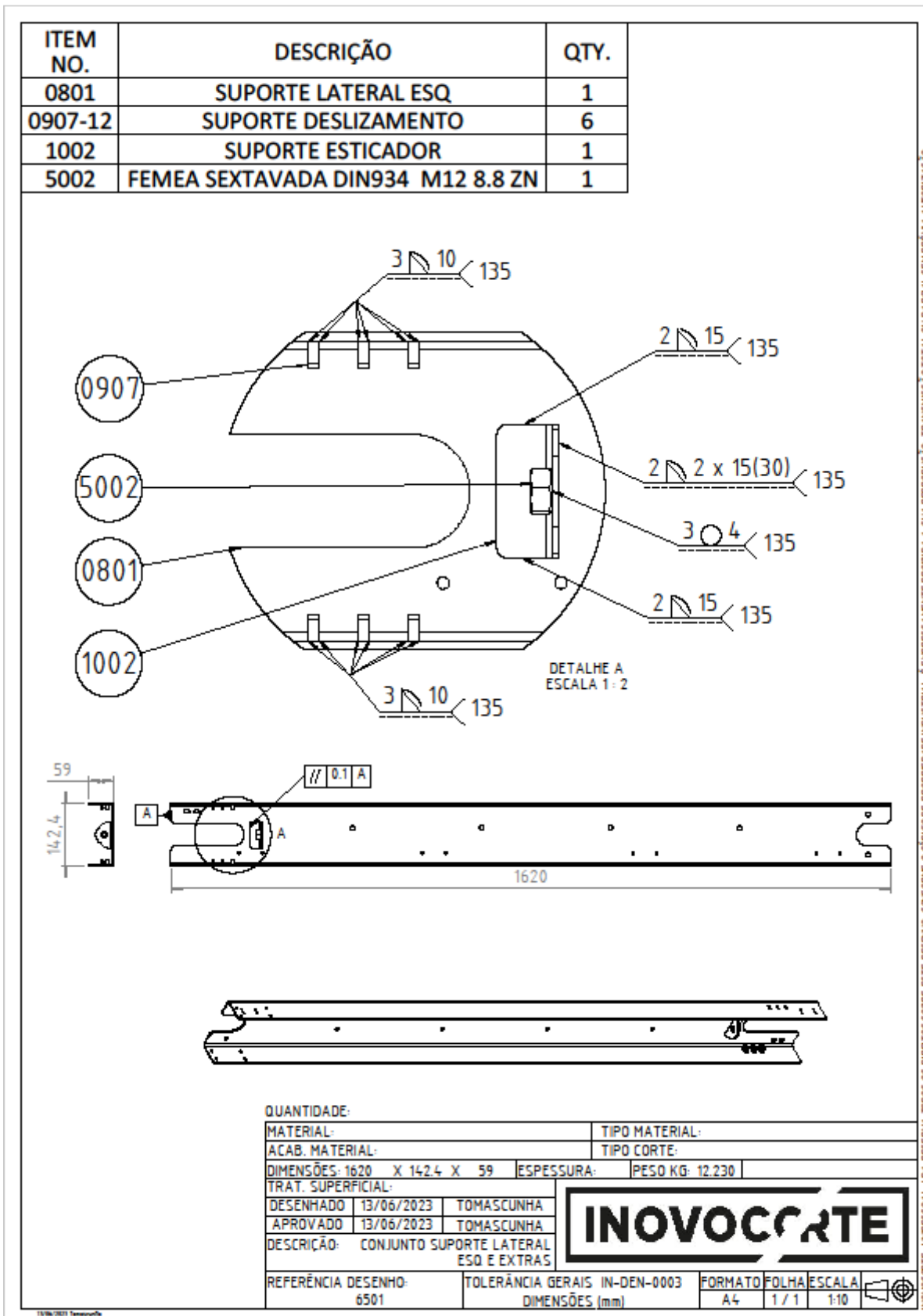


Figura 120 – Desenho técnico do conjunto suporte lateral esquerdo e extras (6501).

⇒ Conjunto lateral direito mais extra (6602)

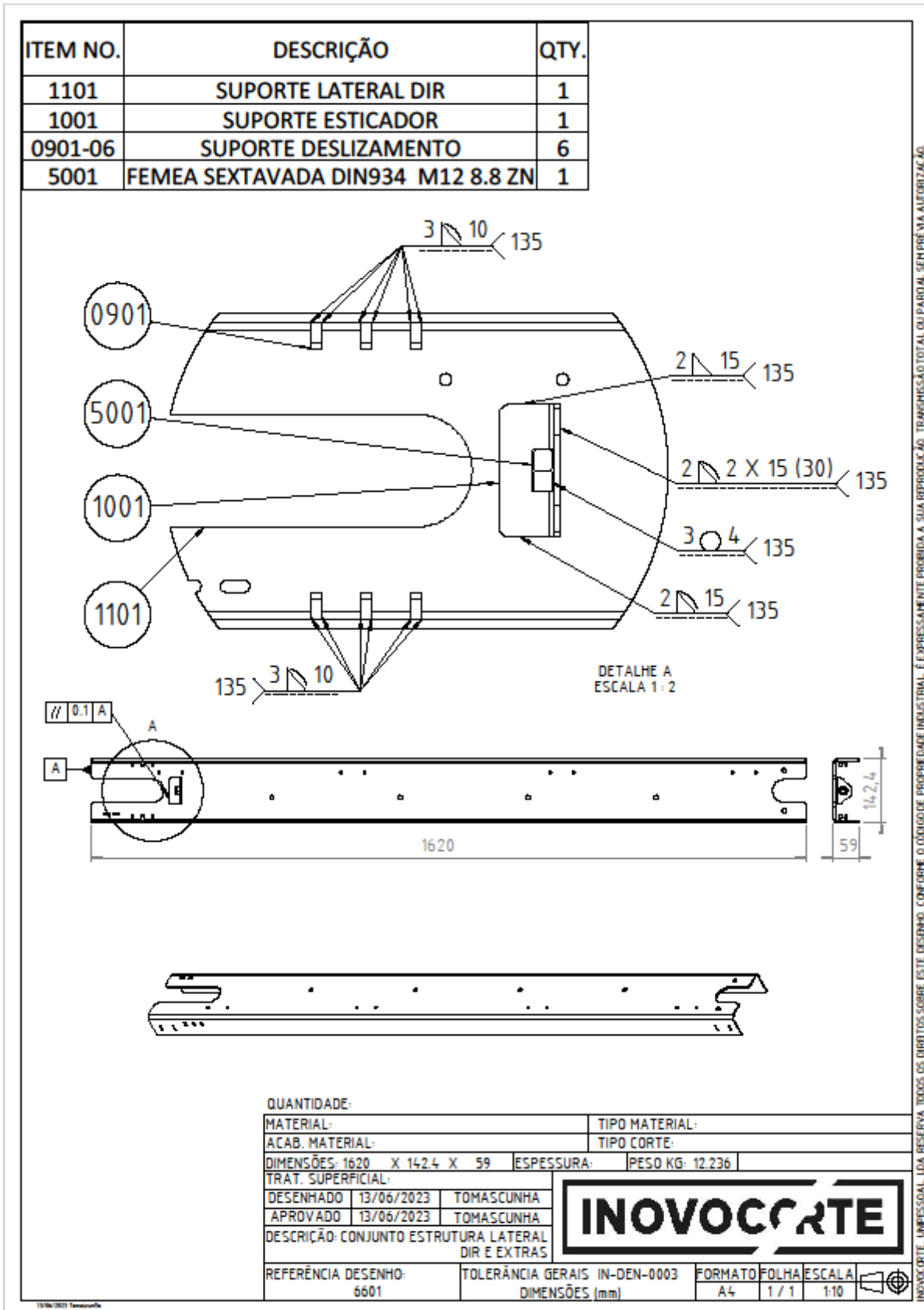
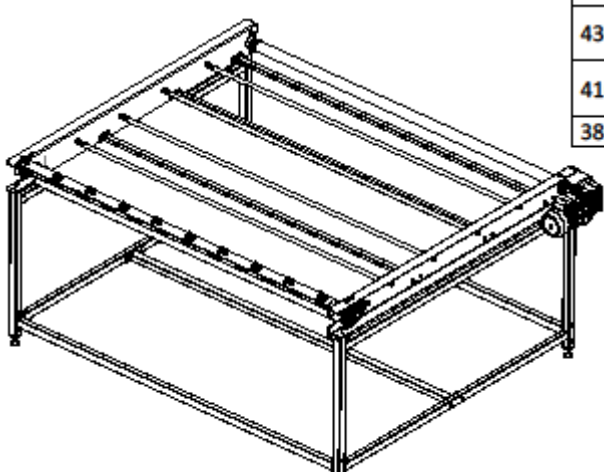


Figura 121 – Desenho técnico do conjunto suporte lateral direito e extras (6601).

⇒ Conjunto final (6701)

ITEM NO.	DESCRIÇÃO	QTY.	ITEM NO.	DESCRIÇÃO	QTY.
5301	CONJUNTO ROLO MANDADO	1	3301	SUPORE SENSOR	1
6101	CONJUNTO ESTRUTURA LATERAL ESQ	1	3101-10	SENSOR	10
6201	CONJUNTO ESTRUTURA LATERAL DIR	1	3201-10	CABLAGEM SENSOR	10
5501-04	CONJUNTO TUBO INTERMEDIO	4	3601	CHAVETA PARALELA GRANDE	1
5601	CONJUNTO REFORÇO SUPERIOR 1	1	3501-02	CHAVETA PARALELA PEQ	2
5701	CONJUNTO REFORÇO SUPERIOR 2	2	3701-02	ANEL ELASTICO	2
5801	CONJUNTO REFORÇO SUPERIOR 3	1	5101-16	ANILHA DIN125 M10 ZN	16
1701	CHAPA COMPRESSÃO	1	3901-08	PARAF. CAB. CIL. SEXT. DIN912 M10X16 ZN	8
5401	CONJUNTO ROLO GUIA	1	4601-13	PARAF. CAB. CON. SEXT. INT. DIN7991 M5X8 ZN	13
2001-02	CHAPA MOVEL	2	4001-08	PARAF. CAB. CIL. SEXT. DIN912 M10x25 ZN	8
2801-04	CHUMACEIRA	4	5201-84	ANILHA DIN9021 M5 ZN	84
2901	LIMITADOR DE TORQUE	1	4901-08	FEMEA SEXTAVADA DIN934 M10 8.8 ZN	8
2201	VEIO TRANSMISSAO	1	4801-40	FEMEA SEXTAVADA DIN934 M5 8.8 ZN	40
2701	SUPORE MOTORREDUTOR	1	5003-04	FEMEA SEXTAVADA DIN934 M12 8.8 ZN	2
6001	CONJUNTO REFORÇO INFERIOR GRA	1	4201-16	PARAF. CAB. CIL. SEXT. INT DIN912 M5x12 ZN	16
5901	CONJUNTO REFORÇO INFERIOR PEQ	2	4501-08	PARAF. CAB. CIL. SEXT. DIN912 M5x50 ZN	8
3001	MOTORREDUTOR	1	4401-04	PARAF. CAB. CIL. SEXT. INT. DIN912 M5x45 8.8 ZN	4
2301-08	TUBO ESMAGAMENTO GRA	8	4301-16	PARAF. CAB. CIL. SEXT. INT DIN912 M5x16 ZN	16
2401-04	TUBO ESMAGAMENTO PEQ	4	4101-02	PARAF. CAB. CIL. SEXT. INT DIN912 M12x70 ZN	2
3401	SUPORE REFLETOR	1	3801-04	Pés de nivelamento	4



QUANTIDADE:

MATERIAL:	TIPO MATERIAL:
ACAB. MATERIAL:	TIPO CORTE:
DIMENSÕES: 2117,4 X 1620 X 950	ESPESSURA:
TRAT. SUPERFICIAL:	PESO KG: 159,1
DESENHADO 13/06/2023 TOMASCUNHA	INOVOCORTE
APROVADO 13/06/2023 TOMASCUNHA	
DESCRIÇÃO: TRANSPORTE MODULAR	
REFERÊNCIA DESENHO: 6701	TOLERÂNCIA GERAIS IN-DEN-0003
	DIMENSÕES (mm)
	FORMATO: A4
	FOLHA: 1 / 2
	ESCALA: 1:25

13/06/2023 Tomascunha

INOVOCORTE, LDA RESERVA TODOS OS DIREITOS SOBRE ESTE DESENHO, CONFORME O CÓDIGO DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. É EXPRESSAMENTE PROIBIDA A SUA REPRODUÇÃO, TRANSMISSÃO TOTAL OU PARCIAL, SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO.

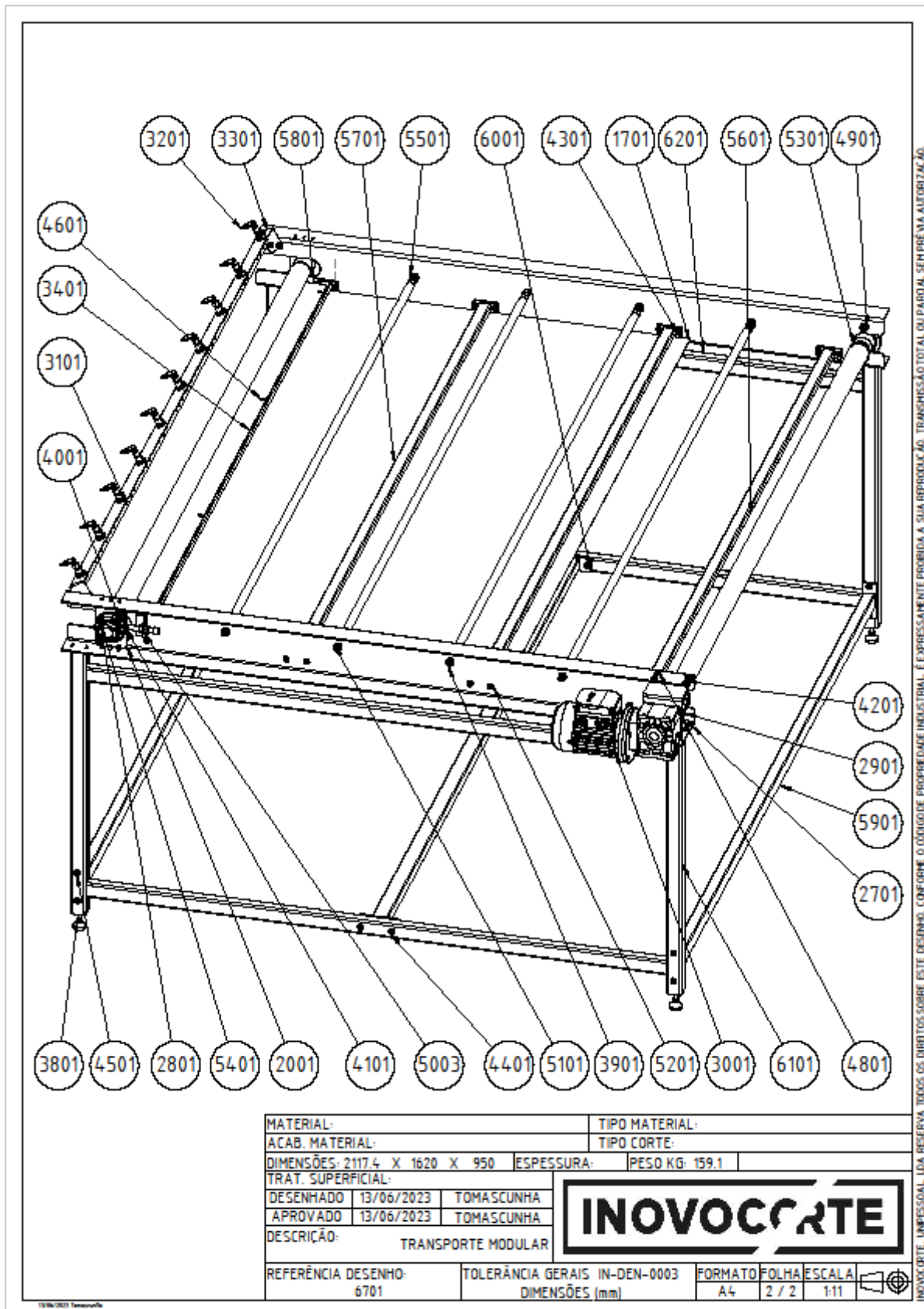


Figura 122 – Desenho técnico do transportador modular (6701).

página propositadamente em branco

4. CONCLUSÃO

Neste capítulo abordam-se as conclusões retiradas do desenvolvimento deste trabalho, e são sugeridas propostas de trabalhos futuros.

4.1. Conclusões finais

Esta dissertação investigou as características cruciais do dimensionamento de um tapete transportador dedicado à expedição de peças de vestuário, com especial ênfase na integração da automação. Várias descobertas e conhecimentos importantes emergiram de uma revisão intensiva da literatura, da investigação empírica e da análise de estudos de caso, fornecendo luz sobre a otimização das operações de manuseamento de materiais e os benefícios da automação neste contexto.


De acordo com o estudo, o dimensionamento ótimo da tela transportadora no contexto do transporte de roupas é fundamental para garantir operações suaves e eficazes, reduzindo possíveis danos ao vestuário e aumentando a produção. Fatores como capacidade de carga, velocidade da correia e compatibilidade de materiais podem ser ajustados de forma eficiente para satisfazer as necessidades especiais do transporte de roupas, estabelecendo adequadamente as dimensões, especificações e configuração do sistema de tela transportadora.




Além disso, esta análise demonstrou a importância de ferramentas avançadas de modelação e simulação no processo de dimensionamento. Estas permitem avaliar vários cenários, avaliar potenciais conceções de transportadores e estimar o desempenho do sistema em várias situações de funcionamento, utilizando ferramentas de conceção assistida por computador (CAD), modelos matemáticos e simulações virtuais. Com o auxílio destas é possível efetuar juízos fundamentados sobre o dimensionamento dos transportadores, identificar eventuais estrangulamentos ou restrições de conceção e melhorar a configuração do sistema antes da sua implementação.

O estudo também enfatizou a importância crítica da automação na melhoria da eficiência dos sistemas de correias transportadoras para o transporte de roupas. Os sistemas de sensores, os braços robóticos e os controlos informatizados, por exemplo, permitem a integração perfeita de numerosos trabalhos e processos que vão desde a triagem, dobragem e embalagem de vestuário até ao controlo de qualidade e gestão de inventário. As organizações podem alcançar melhores níveis de eficiência, precisão e rendimento através da automatização de determinadas operações, minimizando os trabalhos de mão-de-obra intensiva e o risco de erro humano.

A análise aos objetivos definidos está apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 – Análise aos objetivos propostos do projeto.

Objetivos	Conclusões	Avaliação
Desenvolver um sistema de transporte de produtos têxteis.	O equipamento desenvolvido é capaz de efetuar a extração dos produtos produzidos pelo cliente, contudo também apresenta diversidade para outras gamas de produtos têxteis.	

Definir os dispositivos necessários para automatizar o equipamento, tais como sensores, servomotores e limitadores de binário.	Foram selecionados os dispositivos essenciais para o funcionamento do sistema transportador; dimensionados e escolhidos tendo como objetivo automatizar o sistema.	
Avaliação da performance do tapete rolante.	Este objetivo não foi possível cumprir devido à falta do conjunto plataforma móvel e também porque os seus componentes ainda não foram produzidos.	
Realização do modelo 3D e 2D de todos os componentes e do conjunto desenvolvidos.	Como é possível ver no capítulo 3.10 e ao longo da dissertação o mecanismo desenvolvido apresenta modelo 3D e 2D. Estes dois modelos foram uma grande parte da presente dissertação.	

4.2. Propostas de trabalhos futuros

Embora esta dissertação tenha fornecido informações valiosas sobre o dimensionamento de transportadores de correia transportadora para o transporte de vestuário e a integração da automatização, ainda existem tópicos que necessitam de ser abordados para finalizar o projeto.

- Finalização do projeto relativamente à automação necessária para os sensores e para o motor;
- Melhorar a localização do sistema de controlo, tendo em conta que o sistema de controlo também é influenciado pelos futuros componentes do conjunto plataforma móvel;
- Incorporação do sistema plataforma móvel no sistema transportador modular, tendo em conta que este processo pode vir a alterar as dimensões de alguns componentes.

Alem das melhorias descritas anteriormente, também se discutiu sobre a possível introdução de um posto de controlo, após a saída dos artigos do sistema de termofixação. Este incluiria um braço robótico que pegaria nas peças de roupa para procurar qualquer não conformidade. Através desta melhoria, a solução idealizada torna-se uma possível candidata ao conceito da I4.0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Inovocorte, “Inovocorte - Home.” [Online]. Available: <https://www.inovocorte.pt/>. [Accessed: 05-Nov-2022].
- [2] F. Lamb, *Industrial Automation Hands-On*. 2019.
- [3] H. Assistant Professor and H. Kumar Mohajan, “The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era,” *J. Soc. Sci. Humanit.*, vol. 5, no. 4, pp. 377–387, 2019.
- [4] A. K. Gupta, S. K. Arora, and J. R. Wescott, *Industrial Automation and Robotics*, no. 1. 2017.
- [5] M. P. Groover, *Introduction to automation*. 2015.
- [6] H. Assistant Professor and H. Kumar Mohajan, *The Second Industrial Revolution has Brought Modern Social and Economic Developments*, vol. 6, no. 1. 2020.
- [7] C. Mechanisms, “The Ultimate Guide to CNC Machining,” 2016. [Online]. Available: <https://www.creativemechanisms.com/blog/the-ultimate-guide-to-cnc-machining>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [8] A. Ustandag and E. Cevikcan, *Managing the Digital Transformation*. 2018.
- [9] P. Ross and K. Maynard, “Towards a 4th industrial revolution,” *Intell. Build. Int.*, vol. 13, no. 3, pp. 159–161, 2021.
- [10] Z. Papulová, A. Gažová, and L. Šufliarský, “Implementation of Automation Technologies of Industry 4.0 in Automotive Manufacturing Companies,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, no. 2019, pp. 1488–1497, 2022.
- [11] MWES, “Fixed Automation Systems | Midwest Engineered Systems,” 2022. [Online]. Available: <https://www.mwes.com/capabilities/assembly-and-automation/fixed-automation-systems/>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [12] I. Tools, “Introduction to PLC - Advantages of PLC - Inst Tools,” 2022. [Online]. Available: <https://instrumentationtools.com/introduction-to-plc-advantages-of-plc/>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [13] H. P. Breivold and K. Sandstrom, “Internet of Things for Industrial Automation-Challenges and Technical Solutions,” *Proc. - 2015 IEEE Int. Conf. Data Sci. Data Intensive Syst. 8th IEEE Int. Conf. Cyber, Phys. Soc. Comput. 11th IEEE Int. Conf. Green Comput. Commun. 8th IEEE Inte*, pp. 532–539, 2015.
- [14] K. C. Rath, S. N. Maharana, and J. Rajak, “Replacement of Human Labour With Integration of Machines Into a Self-Governing System,” *Int. J. Syst. Dyn. Appl.*, vol. 10, no. 2, pp. 73–87, 2021.
- [15] Justdial, “Flexible Automation Systems in Visakhapatnam at best price by Sree Sreenidhi Engineering - Justdial.” [Online]. Available: <https://www.justdial.com/jdmart/Visakhapatnam/Flexible-Automation-Systems/pid-2008823545/0891PX891-X891-110201030917-P9M7>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [16] Z. He *et al.*, “Double-Arm Cooperation and Implementing for Harvesting Kiwifruit,” *Agriculture*, vol. 12, no. 11, p. 1763, 2022.
- [17] G. Urdaneta *et al.*, “A reference software architecture for the development of industrial automation high-level applications in the petroleum industry,” *Comput. Ind.*, vol. 58, no. 1, pp. 35–45, 2007.
- [18] F. J. G. Silva, G. Swertvaegher, R. D. S. G. Campilho, L. P. Ferreira, and J. C. Sá, “Robotized

- solution for handling complex automotive parts in inspection and packing,” *Procedia Manuf.*, vol. 51, no. 2020, pp. 156–163, 2020.
- [19] M. M. Ragab, H. A. Othman, and A. G. Hassabo, “An Overview of Printing Textile Techniques,” *Egypt. J. Chem.*, vol. 65, no. 8, pp. 749–761, 2022.
- [20] W. Stengg, *Textile and Clothing Industry in the EU*, no. 2. 2001.
- [21] P55.ART, “O que é a serigrafia? Como fazer? ,” 2021. [Online]. Available: <https://www.p55.art/blogs/p55-magazine/o-que-e-a-serigrafia-como-fazer>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [22] Fibre2Fashion, “Digital Printing: Creating New Trends in Textile Printing - Fibre2Fashion.” [Online]. Available: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1908/digital-printing-creating-new-trends-in-textile-printing>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [23] ROQ, “ROQ International - Home.” [Online]. Available: <https://www.roqinternational.com/pt/>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [24] D. Thomazini and P. U. B. Albuquerque, “Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações,” *Erica*. p. 224, 2011.
- [25] S. Soloman, *Sensors Handbook*. 1920.
- [26] A. Swain, E. Abdellatif, A. Mousa, and P. W. T. Pong, “Sensor Technologies for Transmission and Distribution Systems: A Review of the Latest Developments,” *Energies*, vol. 15, no. 19, 2022.
- [27] Festo, “Soluções em tecnologia de automatização e formação técnica | Festo PT.” [Online]. Available: <https://www.festo.com/pt/pt/>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [28] BKCASE Editorial Board and A. T. Sensor, “Technical Explanation for Photoelectric Sensors,” *Guid. to Syst. Eng. Body Knowl.*, pp. 1–17, 2016.
- [29] U. A. Gauges, “Vacuum Measurement User-optimized Active Gauges for Various Applications from,” 2000.
- [30] A. Parr, *Hydraulics and pneumatics: a technician’s and engineer’s guide*, vol. 29, no. 3. 2011.
- [31] G. W. Younkin, *INDUSTRIAL SERVO CONTROL SYSTEMS Fundamentals and Applications Second Edition, Revised and Expanded*. 2003.
- [32] W. Bolton, *MECHATRONICS Eletronic Control Systems in Mechanical and Eletrical Engineering*, vol. 1, no. 6. 2015.
- [33] Rexroth, “Bosch Rexroth Portugal.” [Online]. Available: <https://www.boschrexroth.com/pt/pt/>. [Accessed: 30-Dec-2022].
- [34] R. Group, “Gearmotors and Gearboxes.” [Online]. Available: <https://www.rossi.com/>.
- [35] DUNLOP, “Dunlop Conveyor Belt Design Manual,” p. 33, 2004.
- [36] M. S. Todkar, P. Student, and P. M. Ramgir, “Design of Belt Conveyor System,” 2018.
- [37] S. M. H. Inc., “Slider Bed Conveyor – Used.” [Online]. Available: <https://www.sjf.com/slider-bed-conveyor.html>.
- [38] Norelem, “Peças e componentes padrão para engenharia mecânica.” [Online]. Available: <https://norelem.es/pt/>.
- [39] L. Habasit AG, “Light Conveyor Belts NHM-10EKBV 11,” vol. 3, pp. 1–3, 2006.
- [40] Habasit, *Habasit Fabrication Tools and Hot Presses*. .

- [41] L. Habasit AG, "Fabric Conveyor Belts Engineering Guide Habasit – Solutions in motion," no. 6039, pp. 1–64, 2000.
- [42] W. C. YOUNG and R. G. BUDYNAS, *Roark's Formulas for Stress and Strain*. 2002.
- [43] R. G. Budynas and J. Keith Nisbet, *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 2008.
- [44] Mayr, "ROBA-slip hubs," pp. 1–24.
- [45] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, *Fundamentals of Machine Component Design Fifth Edition*. 2012.
- [46] R. Group, "A Series," *Society*, no. 1982, pp. 1–124.
- [47] R. Aços, "Aços." [Online]. Available: <https://www.ramada.pt/pt/produtos.html>. [Accessed: 12-Jun-2021].
- [48] Mayr, "Torque limiters and Couplings." [Online]. Available: <https://www.mayr.com/en/products/torque-limiters-and-couplings~47>.
- [49] SKF, "P 20 FM - Caixas de mancal de rolamento de esferas | SKF." [Online]. Available: <https://www.skf.com/pt/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-P 20 FM>. [Accessed: 10-Jun-2021].
- [50] JMM, "JMM Gonçalves Material Elétrico Máquinas Ferramentas." [Online]. Available: <http://jmm.pai.pt/>.
- [51] Bossard, "Coeficiente de Atrito." pp. 1–15, 2021.
- [52] R. Heiler, "Flow drilling technology and thread forming - An economical and secure connection in hollow sections and thin-walled components," *E3S Web Conf.*, vol. 97, 2019.
- [53] Indilube, "Flowdrill." [Online]. Available: <https://indulube.dk/Flowdrill.html>.
- [54] omron, "Produtos." [Online]. Available: <https://industrial.omron.pt/pt/products>.
- [55] T. E. Toolbox, "Friction and Friction Coefficients of some Common Materials Kinetic versus Static Frictional Coefficients," pp. 1–2.

página propositadamente em branco

APÊNDICE A – FORÇAS DE LIGAÇÕES APARAFUSADAS OBTIDAS ATRAVÉS DO *SOLIDWORKS*

Conjunto reforço superior apresenta quatro forças de ligação, sendo que destas quatro forças apenas existem dois valores diferentes.

- Força 1 ($-139; 27,9; -4,62$) N;
- Força 2 ($103; 58,2; -10,1$) N.

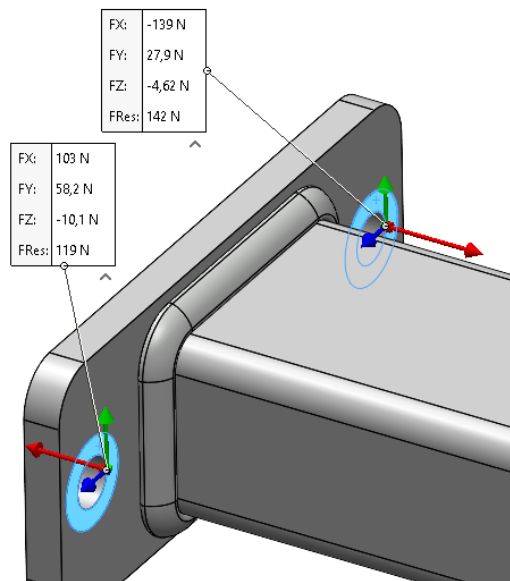


Ilustração 1 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do conjunto reforço superior.

Suporte deslizante apresenta duas forças de ligação:

- Força 1 ($-7,75; -49,9; -49,9$) N;
- Força 2 ($7,75; -50,1; -50,1$) N.

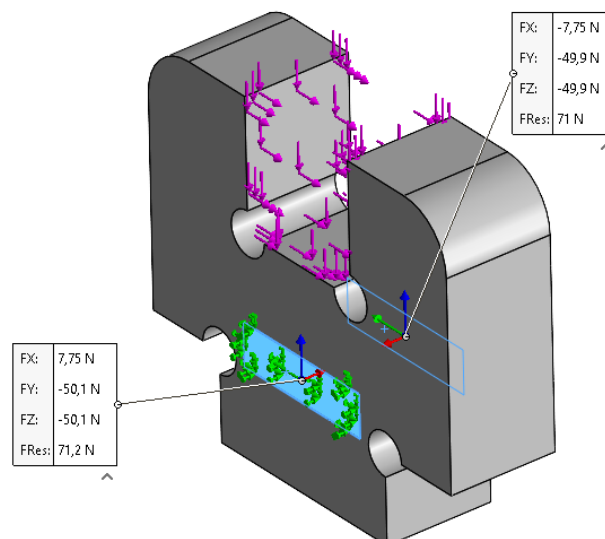


Ilustração 2 – Forças de ligação soldada obtidas no estudo do suporte deslizante.

Suporte esticador apresenta duas forças de ligação:

- Força 1 $(-86; 51,3; -23,9) N$;
- Força 2 $(-88,7; 75,3; -21,3) N$;
- Força 3 $(-14,2; -41,8; -17,9) N$;
- Força 4 $(-11,1; -34,7; 13,1) N$.

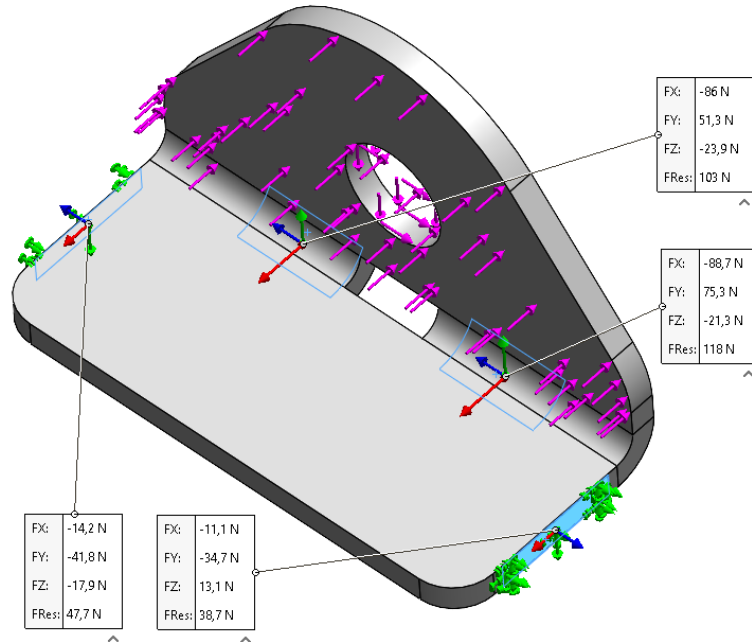


Ilustração 3 – Forças de ligação soldada obtidas no estudo do suporte esticador.

Tubo intermédio apresenta duas forças de ligação:

- Força 1 $(-215; -43,7; -40,1) N$;
- Força 2 $(215; -46,3; -49,9) N$.

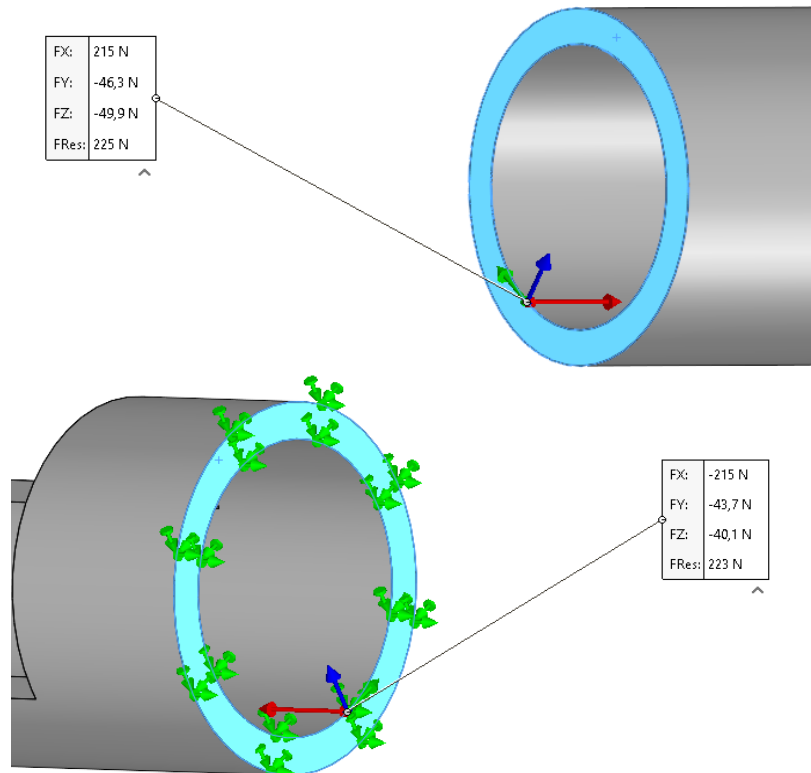


Ilustração 4 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do tubo intermédio.

Suporte motorreductor apresenta oito forças de ligação, todas diferentes:

- Força 1 $(-118; -63,7; -76) N$;
- Força 2 $(22,7; 47,5; 28,7) N$;
- Força 3 $(22,7; 56,8; -41,6) N$;
- Força 4 $(-117; 14; -14,1) N$;
- Força 5 $(-93,4; 63,3; -82,4) N$;
- Força 6 $(28,5; -46,7; 24,6) N$;
- Força 7 $(29,9; -56,9; -38) N$;
- Força 8 $(-94,9; -14,4; 20,6) N$.

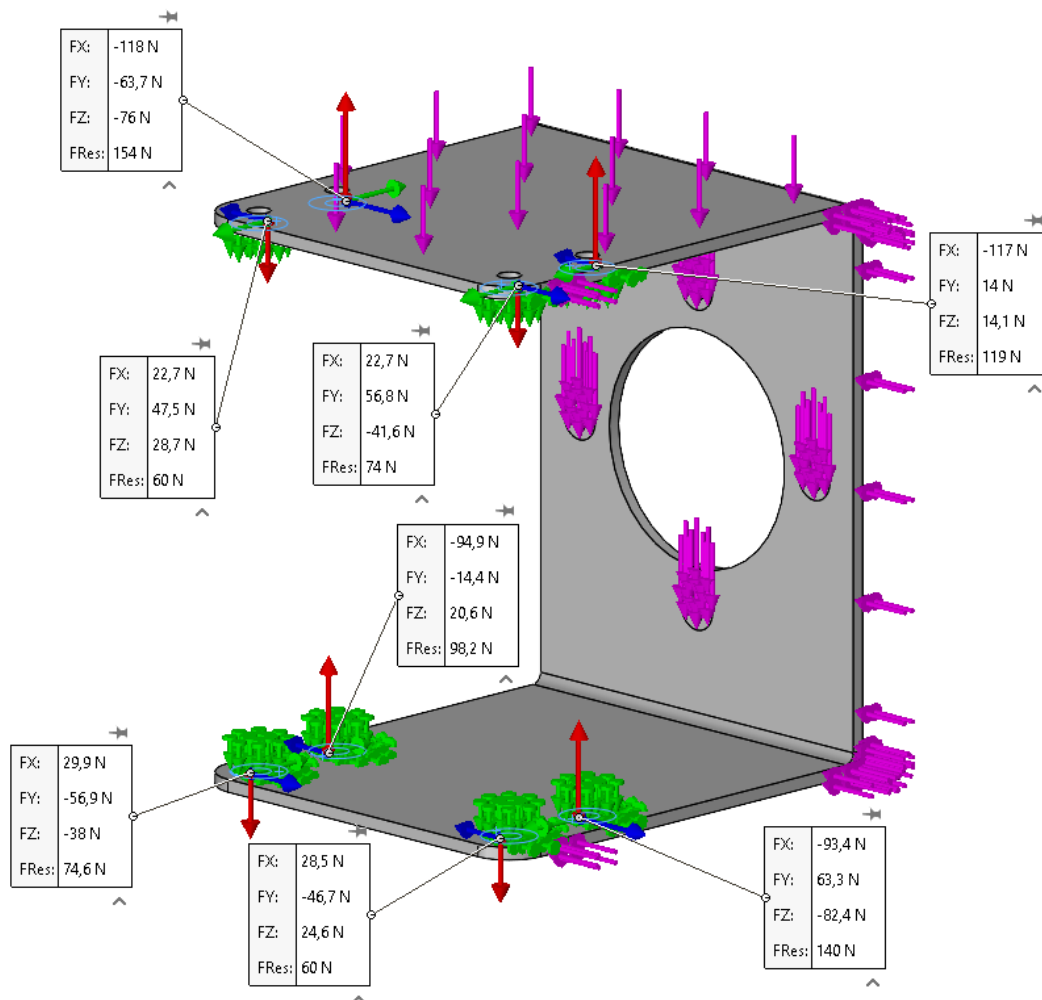


Ilustração 5 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do suporte motorreductor.

Suporte sensor apresenta quatro forças de ligação, sendo que destas quatro forças apenas existem dois valores diferentes:

- Força 1 $(-39; 13,3; -61,4) N$;
- Força 2 $(14,4; 36,8; 11,4) N$.

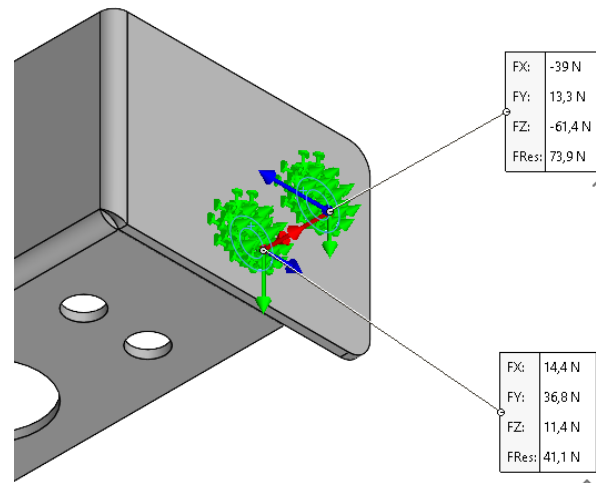


Ilustração 6 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do suporte sensor.

Chapa de compressão apresenta nove forças de ligação, todas diferentes:

- Força 1 (−2,62; −21,6; 7,45) N;
- Força 2 (−2,21; −9,66; −1,36) N;
- Força 3 (1,94; −18,9; −7,38) N;
- Força 4 (0; −7,33; −1,41) N;
- Força 5 (0; −38,4; 8,73) N;
- Força 6 (2; −18,3; 9,01) N;
- Força 7 0; −5,95; 22,9) N;
- Força 8 (2,94; −21,8; 37,6) N;
- Força 9 (−1,4; −7,98; 24,5) N.

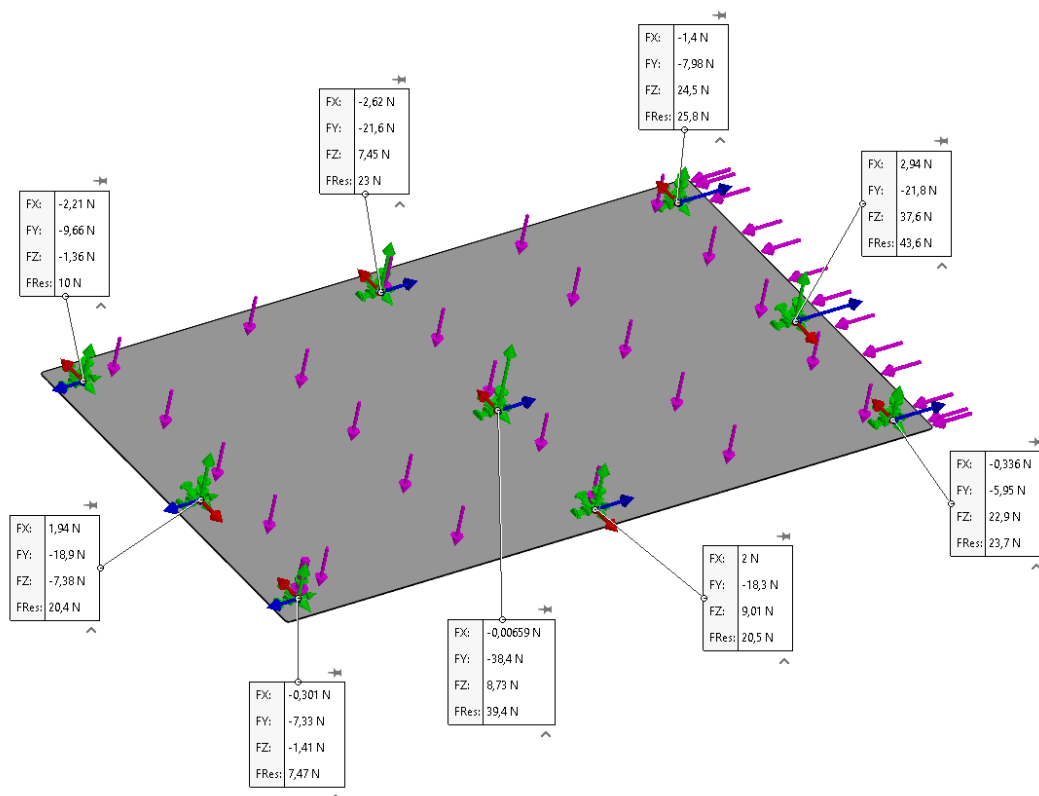


Ilustração 7 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo da chapa de compressão.

Conjunto reforço inferior apresenta quatro forças de ligação, sendo que destas quatro forças apenas existem dois valores diferentes:

- Força 1 ($-407; -42,9; 43,7$) N;
- Força 2 ($409; -38,3; 43,7$) N.

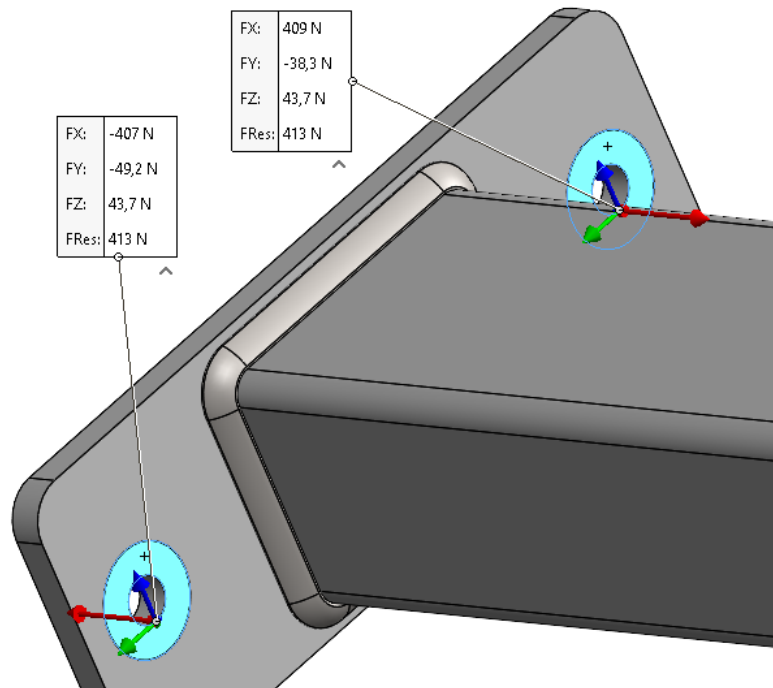


Ilustração 8 – Forças de ligação aparafusada obtidas no estudo do conjunto reforço inferior.

APÊNDICE B – TABELAS COM COEFICIENTE DE ATRITO

Threads	Friction coeff. $\mu_k = \mu_G$	Maximum preload $F_{M \max}$ [kN]							Maximum tightening torque $M_{A \max}$ [Nm]							Conversion factor X
		Property class based on ISO 898/1							Property class based on ISO 898/1							
		3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	
M10	0,08	8,7	11,6	14,5	23,2	31,0	45,6	53,3	10,2	13,6	17,0	27,2	36	53	62	1,16
	0,10	8,4	11,3	14,1	22,5	30,3	44,5	52,1	12	16,1	20,1	32,3	43	63	73	1,42
	0,12	8,2	11,0	13,7	21,9	29,6	43,4	50,8	13,7	18,3	22,9	36,5	48	71	83	1,65
	0,14	8,0	10,7	13,3	21,3	28,8	42,2	49,4	15,2	20,3	25,3	40,6	54	79	93	1,89
M12	0,08	12,7	16,9	21,1	33,8	45,2	66,3	77,6	17	23	29	47	63	92	108	1,39
	0,10	12,3	16,4	20,5	32,8	44,1	64,8	75,9	20	27	34	55	73	108	126	1,65
	0,12	12,0	16,0	20,0	32,0	43,0	63,2	74,0	23	31	39	62	84	123	144	1,94
	0,14	11,6	15,5	19,4	31,1	41,9	61,5	72,0	26	34	43	69	93	137	160	2,22

Ilustração 9 – Coeficiente de atrito utilizado para calcular o aperto necessário para o parafuso afinador, [51].

Frictional Coefficients for some Common Materials and Materials Combinations

Materials and Material Combinations		Static Frictional Coefficient - μ_s	
		Clean and Dry Surfaces	Lubricated and Greasy Surfaces
Aluminum	Aluminum	1.05 - 1.35	0.3
Aluminum-bronze	Steel	0.45	
Aluminum	Mild Steel	0.61	
Brake material	Cast iron	0.4	
Brake material	Cast iron (wet)	0.2	
Brass	Steel	0.35	0.19
Steel	Steel	0.8	0.16

Ilustração 10 – Coeficiente de atrito entre duas superfícies de aço, [55].

ANEXO A – FICHAS TÉCNICAS