



**Conceção e Desenvolvimento de Ecopontos  
Subterrâneos de Recolha Diferenciada**

José Barbosa

UMinho | 2021



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

José Pedro Lagarteira Barbosa

**Conceção e Desenvolvimento de Ecopontos  
Subterrâneos de Recolha Diferenciada**

dezembro de 2021





**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

José Pedro Lagarteira Barbosa

**Conceção e Desenvolvimento de Ecopontos  
Subterrâneos de Recolha Diferenciada**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Manufatura Aplicada

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra**

dezembro de 2021

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição-NãoComercial**  
**CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento deste projeto foi possibilitado pela intervenção de determinadas pessoas, nomeadamente:

O meu orientador, professor doutor Eurico Seabra, a quem agradeço pela disponibilidade e apoio prestado durante todo o ano letivo, através de sugestões e esclarecimento de dúvidas.

O Sr. José Lopes, cujo contributo foi fulcral para realização do trabalho, quer pelas exigências do novo projeto quer pelo apoio demonstrado no esclarecimento de dúvidas.

Por último, agradeço aos meus pais e irmão pelo amparo e motivação fornecida durante todo o meu percurso académico.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

# RESUMO

## **Conceção e desenvolvimento de ecopontos subterrâneos de recolha diferenciada**

O projeto de dissertação exposto foi realizado de acordo com o tema proposto pela empresa 3EcoAmbiente e teve como objetivo a implementação de um sistema de ecopontos subterrâneos mais eficiente.

O aumento exponencial da produção de resíduos e a constante necessidade do melhoramento da gestão de recursos, são fatores cruciais que contribuem para o desenvolvimento de sistemas de recolha contentorizada de maior eficiência. O aumento da sua eficiência traduz-se na redução dos tempos de recolha dos ecopontos e na redução da dificuldade da sua higienização.

Posto isto, inicialmente, foi estudado um sistema de ecopontos subterrâneos montado pela empresa proponente e foram identificadas as suas limitações relativamente às opções de vanguarda do mercado. Das suas limitações destacam-se o manuseamento da plataforma pedonal e a utilização de um sistema de engate simples durante a sua recolha.

Assim, foi desenvolvido um sistema de ecopontos de recolha unificada com controlo remoto dos alçapões inferiores por atuação de um sistema de gancho duplo. Com isto, elimina-se a etapa de manuseamento da plataforma pedonal, promovendo-se uma recolha mais rápida. Para além disso, o controlo automatizado dos alçapões permite que este sistema seja facilmente higienizado através da utilização de camiões especializados para o efeito. Deste modo, torna-se possível alcançar uma redução de até 46% no tempo de recolha de resíduos, dependendo de fatores como a experiência do operador e o tipo de grua utilizado.

Tendo em conta o que foi dito, foi realizada a modelação CAD 3D do sistema desenvolvido, no qual foram identificados todos os seus componentes e explicitadas as suas sequências de fabrico, seguida de uma simulação CAE para a sua avaliação estrutural. Para além disso, foi abordada a sua montagem e acabamento, com a respetiva identificação de elementos de conexão que permitam o devido funcionamento do sistema.

**Palavras-Chave:** Ecoponto subterrâneo; Gancho duplo; Projeto mecânico; Tempo de recolha.

# ABSTRACT

## Design and development of underground recycling bins

The exposed dissertation project was carried out in syntonny with the theme proposed by the 3EcoAmbiente company and the objective was the implementation of a more efficient underground bin system.

The exponential increase in waste production and the constant need to improve resource management are crucial factors that contribute to the development of more efficient containerized collection systems. The increase in efficiency translates into a reduced bin collection time and an easier cleaning process.

Having said that, initially, a system of underground bins assembled by the proposing company was studied, and its limitations were identified in relation to the leading options on the market. Among its limitations, the handling of the pedestrian platform and the use of a simple coupling system during its collection are the ones that stand out.

Thus, a system of unified underground bins was developed with remote controlled lower trapdoors through the actuation of a double hook system. With this, the stage of handling the pedestrian platform is eliminated, promoting a faster collection. Furthermore, the automated control of the trapdoors allows this system to be easily sanitized using specialized trucks for this purpose. In this way, it is possible to achieve a reduction of 46% in waste collection time, depending only on factors such as the operator's experience and the type of crane used in the process.

Considering what was said, a 3D CAD modelling of the developed system was carried out, in which all its components were identified and their manufacturing sequences explained, followed by a CAE simulation for its structural evaluation. Furthermore, its assembly and finishing were addressed, with the identification of connection elements that allow the proper functioning of the system.

**Keywords:** Collection time; Double hook; Mechanical project; Underground bin

# ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e motivação.....	1
1.2 Objetivos do trabalho.....	1
1.3 Estrutura da dissertação.....	2
2. Estado de Arte.....	3
2.1 Introdução histórica.....	3
2.2 Análise do mercado.....	9
2.2.1 Contentores semienterrados de saco de poliéster armado.....	9
2.2.2 Contentores semienterrados de aço.....	11
2.2.3 Contentores <i>standard</i> enterrados com elevador hidráulico.....	12
2.2.4 Contentores enterrados de levantamento unificado.....	13
2.2.5 Contentores enterrados de levantamento unificado com prensa integrada.....	16
2.2.6 Contentores enterrados de levantamento unificado e descarregamento invertido.....	18
2.2.7 Infraestrutura de recolha pneumática.....	19
2.3 Mecanismos de acoplamento para gruas.....	22
2.3.1 Gancho simples.....	22
2.3.2 Gancho duplo e triplo.....	23
2.3.3 Gancho <i>kinshoffer</i> .....	24
3. Sistema em operação.....	26
3.1 Sistematização do ecoponto.....	26
3.1.1 Cápsula isolante.....	26

3.1.2	Contentor .....	28
3.2	Avaliação do sistema .....	31
3.2.1	Limitações do sistema .....	31
3.2.2	Requisitos e especificações para o novo sistema .....	33
4.	Projeto conceptual do novo ecoponto .....	36
4.1	Isolamento .....	37
4.1.1	Cuba estanque .....	38
4.1.2	Aro de encaixe .....	38
4.1.3	Suportes do aro de encaixe .....	39
4.2	Ecoponto .....	40
4.2.1	Marco de deposição .....	41
4.2.2	Estrutura de elevação .....	42
4.2.3	Estrutura para mecanismo de abertura dos alçapões .....	45
4.2.4	Revestimento e reforço estrutural .....	47
4.2.5	Mecanismo de abertura .....	49
4.3	Plataforma de segurança .....	51
4.3.1	Porta de segurança .....	52
4.3.2	Mecanismo de fechaduras atuadas por pedais .....	53
5.	Simulação Numérica do Sistema Desenvolvido .....	56
5.1	Contentor .....	56
5.1.1	Material .....	56
5.1.2	Contactos .....	57
5.1.3	Esforços .....	58
5.1.4	Restrições .....	60
5.1.5	Malha .....	61
5.1.6	Resultados obtidos .....	61
5.2	Estrutura de Suporte dos Alçapões .....	69
5.2.1	Material .....	69
5.2.2	Contactos .....	69

5.2.3	Esforços .....	70
5.2.4	Restrições .....	70
5.2.5	Malha.....	71
5.2.6	Resultados obtidos.....	71
5.3	Plataforma de Segurança .....	74
5.3.1	Material.....	74
5.3.2	Contactos .....	75
5.3.3	Esforços .....	76
5.3.4	Restrições .....	77
5.3.5	Malha.....	77
5.3.6	Resultados obtidos.....	77
6.	Projeto para o fabrico do ecoponto implementado .....	81
6.1	Manufatura dos Componentes.....	81
6.1.1	Aro de encaixe, suportes do aro de encaixe e aro de posicionamento.....	82
6.1.2	Marco de deposição e plataforma pedonal .....	89
6.1.3	Gancho de elevação, tubo de elevação, barra U estrutural e suporte do contentor .....	95
6.1.4	Tubo fixador da corrente, tubo para passagem da corrente e perfil de engate das correntes 98	
6.1.5	Réguas Superiores, réguas estruturais e placas de revestimento.....	100
6.1.6	Chapas isoladoras das réguas, chapas para passagem das correntes e chapas isoladoras de resíduos.....	103
6.1.7	Alçapões do contentor .....	104
6.1.8	Pinos das dobradiças do alçapão do contentor e da porta de segurança .....	107
6.1.9	Dobradiças dos alçapões do contentor e das portas de segurança .....	108
6.1.10	Fechaduras e guias das fechaduras .....	109
6.1.11	Portas de segurança, pedais, barras de transmissão do movimento e fixadores .....	112
6.2	Montagem e Acabamento .....	116
6.2.1	Elementos de fixação.....	116
6.2.2	Elementos de transmissão de movimento .....	119
6.2.3	Soldadura.....	123
6.2.4	Galvanização .....	130

7. Conclusões e Trabalhos Futuros.....	132
7.1 Conclusões .....	132
7.2 Trabalhos futuros .....	133
Bibliografia .....	134
Anexo I – Dimensionamento da Ligação Aparafusada entre a Tubo de Elevação e a Barra U Estrutural .....	141
Anexo II – Soluções das Simulações Numéricas com Pré Carga dos Parafusos.....	150
Anexo III – Desenhos Técnicos dos Componentes Desenvolvidos.....	152
Anexo IV – Galvanização a quente.....	190



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Calendarização da dissertação. ....	2
Figura 2-1 – <i>Rakers</i> . ....	3
Figura 2-2 – Caixote do lixo (Século XIX). ....	4
Figura 2-3 – <i>Thornycroft steam wagon</i> (1896) e hipomóvel de recolha de lixo, respetivamente em a) e b). ....	5
Figura 2-4 – Operações de carregamento, levantamento e deposição de resíduos num <i>Refuse Getter</i> , respetivamente em a), b) e c). ....	5
Figura 2-5 – <i>Garwood Load Packer</i> . ....	6
Figura 2-6 – <i>Maxon Barrel Snatcher</i> em operação e em preservação num museu, respetivamente em a) e b). ....	7
Figura 2-7 – Contentor Molok® <i>Classic</i> . ....	7
Figura 2-8 – Nord Engineering® <i>Easy System</i> . ....	8
Figura 2-9 – Cuba de polietileno (a preto), saco com fundo atuado por cordão e saco com comporta de plástico, respetivamente em a), b) e c). ....	10
Figura 2-10 – EcoPontos em zona montanhosa, em zona de lazer e em zona urbana, respetivamente em a), b) e c). ....	11
Figura 2-11 – EcoPonto de aço com cuba de polietileno e com cuba de betão, respetivamente em a) e b). ....	11
Figura 2-12 – Elevador hidráulico com contentores <i>standard</i> e respetivos marcos de deposição .....	12
Figura 2-13 – Contentores de maior volume aplicados ao elevador hidráulico .....	13
Figura 2-14 – Plataforma de segurança com amortecedores, plataforma com contrapesos e vedação com contrapesos, respetivamente em a), b), c). ....	14
Figura 2-15 – Plataforma de segurança com amortecedores .....	14
Figura 2-16 – Plataforma de segurança com contrapesos .....	15
Figura 2-17 – Sistema unificado com contentor de polietileno e com contentor metálico, respetivamente em a) e b) .....	16
Figura 2-18 – Marco de deposição e respetivo painel solar responsável pela alimentação da prensa..	18
Figura 2-19 - Contentor em posição de depósito e em posição de recolha, respetivamente em a) e b). ....	18

Figura 2-20 – Infraestrutura do sistema de recolha pneumática.....	19
Figura 2-21 – Camião de recolha pneumático “Movac” .....	21
Figura 2-22 – Abertura do alçapão com recurso a um cabo e com recurso ao contacto com o camião, respetivamente em a) e b) .....	22
Figura 2-23 – Argola simples, placa furada e grua <i>standard</i> , respetivamente em a), b) e c).....	23
Figura 2-24 – Gancho duplo e triplo, respetivamente em a) e b) .....	23
Figura 2-25 – Posicionamento dos elementos mecânicos com alçapões fechados e abertos, respetivamente em a) e b) .....	24
Figura 2-26 – Gancho <i>kinshoffer</i> .....	25
Figura 2-27 – Grua <i>Speed-Gripper</i> .....	25
Figura 3-1 – Divisão do produto nos subsistemas contentor e cápsula isolante, respetivamente indicadas a vermelho e a preto.....	26
Figura 3-2 – Cubas de betão para contentores de 3 m <sup>3</sup> e 5 m <sup>3</sup> .....	27
Figura 3-3 – Plataforma pedonal de atuação manual.....	28
Figura 3-4 – Plataforma pedonal com guias soldadas e superfície de segurança atuada por amortecedor, respetivamente em a) e b) .....	28
Figura 3-5 – Contentores de fundo aberto, de 3 m <sup>3</sup> e de 5 m <sup>3</sup> , e de fundo fechado de 3 m <sup>3</sup> .....	29
Figura 3-6 – Barra com gancho simples, gancho duplo e gancho <i>kinshoffer</i> , respetivamente em a), b) e c) .....	29
Figura 3-7 – Marcos de deposição <i>IKON</i> , <i>IKONIC</i> e <i>RETRO</i> , respetivamente em a), b) e c).....	30
Figura 3-8 – Limpeza do contentor, do marco de deposição, da plataforma pedonal e da cuba estanque, respetivamente em a), b), c) e d) .....	33
Figura 4-1 – Cuba estanque com plataforma de segurança aberta e fechada; Contentor com alçapões abertos e fechados, respetivamente em a), b), c) e d). .....	37
Figura 4-2 – Cuba estanque.....	38
Figura 4-3 – Vista em perspetiva do interior da cuba. ....	38
Figura 4-4 – Aro de encaixe. ....	39
Figura 4-5 – Suporte do aro de encaixe.....	39
Figura 4-6 – Estruturas de deposição e respetivas tampas desenvolvidas para opções distintas. ....	41
Figura 4-7 – Dobradiça da tampa da estrutura de deposição. ....	41
Figura 4-8 – Divisória entre passagem de resíduos e sistema de elevação; furos para montagem em a) e b), respetivamente.....	42

Figura 4-9 – Puxador e furos para montagem da tampa da estrutura de deposição, respetivamente em a) e b).....	42
Figura 4-10 – Gancho de elevação.....	43
Figura 4-11 – Tubo de elevação, reforços da barra U estrutural e furos para montagem da mesma, respetivamente em a), b) e c). ....	43
Figura 4-12 – Régua superiores em posicionamento relativo e subconjunto de elevação conjugado, respetivamente em a) e b). ....	44
Figura 4-13 – Suporte do contentor e furos na sua parte inferior para engate das correntes, respetivamente em a) e b). ....	44
Figura 4-14 – Perspetiva isométrica e vista angular inferior do tubo fixador da corrente, respetivamente em a) e b). ....	45
Figura 4-15 – Vista em corte do tubo fixador da corrente e tubo para passagem da corrente, respetivamente em a) e b). ....	46
Figura 4-16 – Perfil de engate das correntes, chapa isoladora de resíduos, chapa para passagem das correntes e subsistema montado, respetivamente em a), b), c) e d). ....	47
Figura 4-17 – Plataforma pedonal.....	48
Figura 4-18 – Aro de posicionamento e placa de revestimento, respetivamente em a) e b).....	48
Figura 4-19 – Recorte superior e inferior, respetivamente em a) e b). ....	49
Figura 4-20 – Régua estrutural A, régua estrutural B e chapa isoladora das régua estruturais, respetivamente em a), b) e c). ....	49
Figura 4-21 – Alçapão do contentor. ....	50
Figura 4-22 – Dobradiça e pino da dobradiça dos alçapões, respetivamente em a) e b). ....	50
Figura 4-23 – Porta de segurança.....	52
Figura 4-24 – Fixador da dobradiça, segmento da dobradiça e pino da dobradiça, respetivamente em a), b) e c). ....	53
Figura 4-25 – Pedal de acionamento da fechadura, barra de transmissão e fixador da barra de transmissão, respetivamente em a), b) e c). ....	54
Figura 4-26 – Extremidade esquerda da fechadura, extremidade direita da fechadura, mola de compressão e fechadura completa, respetivamente em a), b), c) e d).....	54
Figura 4-27 – Guia da fechadura.....	55
Figura 5-1 – Ligação aparafusada do tubo de elevação à barra U estrutural vista de cima e vista de baixo, respetivamente em a) e b). ....	57

Figura 5-2 – Contacto dobradiça/pino da dobradiça e contacto tubo de elevação/barra U estrutural, respetivamente em a) e b). .....	58
Figura 5-3 – Alçapão do contentor com faces identificadas de "A" a "E" e vista das faces em perspetiva, respetivamente em a) e b). .....	59
Figura 5-4 – Divisão dos segmentos da parede interna da placa de revestimento. ....	60
Figura 5-5 – Restrições no gancho de elevação e nos alçapões do contentor, respetivamente em a) e b). .....	60
Figura 5-6 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> e do deslocamento total, respetivamente em a) e b), para a simulação sem pré tensão nos parafusos. ....	61
Figura 5-7 – Soluções do deslocamento total dos elementos e dos membros de ligação, respetivamente em a) e b), para a simulação sem pré tensão nos parafusos. ....	62
Figura 5-8 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> dos elementos e dos membros de ligação, respetivamente em a) e b), para a simulação sem pré tensão nos parafusos. ....	63
Figura 5-9 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> para o subconjunto dos alçapões e respetivas dobradiças com identificação do ponto máximo de tensão registado. ....	64
Figura 5-10 – Vista em secção de corte da zona de transição entre o alçapão e a respetiva dobradiça. ....	65
Figura 5-11 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> para o pino da dobradiça e alçapões do contentor, respetivamente em a) e b). ....	65
Figura 5-12 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> para as placas de revestimento, chapas para passagem das correntes e das chapas isoladoras das réguas estruturais em a); para as réguas estruturais em b). ....	66
Figura 5-13 – Função de conexão aparafusada do <i>software</i> Autodesk Nastran®. ....	67
Figura 5-14 – Solução da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> dos elementos de ligação sujeitos à pré tensão dos parafusos. ....	67
Figura 5-15 – Contactos do tipo <i>bonded</i> estabelecidos no segmento do estudo do tubo fixador da corrente e do perfil de engate das correntes, respetivamente em a) e b). ....	69
Figura 5-16 – Esforços aplicados no tubo fixador da corrente e no perfil de engate das correntes, respetivamente em a) e b). ....	70
Figura 5-17 – Restrições no gancho do tubo fixador da corrente; no bloco e nas faces laterais do perfil de engate das correntes, respetivamente em a), b) e c). ....	71
Figura 5-18 – Solução da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> no tubo fixador da corrente. ....	72

Figura 5-19 – Solução do deslocamento no tubo fixador da corrente. ....	72
Figura 5-20 – Solução da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> do perfil de engate das correntes. ....	73
Figura 5-21 – Solução do deslocamento do perfil de engate das correntes.....	73
Figura 5-22 – Elementos de ligação entre o pedal de acionamento da fechadura, fechadura e guia da fechadura.....	75
Figura 5-23 – Contactos estabelecidos entre a dobradiça/porta de segurança e guia da fechadura/porta de segurança, respetivamente em a) e b).....	75
Figura 5-24 – Contactos projetados entre barra de transmissão de movimento/fechadura, pedal de acionamento da fechadura/porta de segurança e fechadura/aro de encaixe, respetivamente em a), b) e c). ....	76
Figura 5-25 – Representação dos vetores das forças aplicadas sobre as portas de segurança.....	76
Figura 5-26 – Aplicação de restrições de todos os graus de liberdade nas faces externas da cuba estanque. ....	77
Figura 5-27 – Soluções do deslocamento total e da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> , respetivamente em a) e b), para a simulação da plataforma de segurança. ....	78
Figura 5-28 – Solução da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> para as portas da plataforma de segurança. ....	78
Figura 5-29 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> e do deslocamento total do aro de encaixe, respetivamente em a) e b). ....	79
Figura 5-30 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> e do deslocamento total das fechaduras, respetivamente em a) e b). ....	79
Figura 5-31 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> no subsistema das dobradiças e no pino da dobradiça, respetivamente em a) e b). ....	80
Figura 6-1 – Demonstração de fabrico das dobradiças da tampa.....	93
Figura 6-2 – Sequência de fabrico do gancho de elevação. ....	95
Figura 6-3 – Chapa (320x120) e etapa de soldadura para formação da peça, respetivamente em a) e b). ....	96
Figura 6-4 – Perfil U após furação e após soldadura das chapas especificadas, respetivamente em a) e b). ....	96
Figura 6-5 – Corte em meia esquadria das abas da cantoneira e junta soldada originada pela união de três cantoneiras, respetivamente em a) e b). ....	97
Figura 6-6 – Recortes nas cantoneiras inferiores e componente final, respetivamente em a) e b). ....	97

Figura 6-7 – Bloco após furação e roscagem, soldadura da chapa ao bloco e soldadura do tubo quadrado à restante geometria, respetivamente em a), b) e c). .....	98
Figura 6-8 – Tubo para passagem da corrente (140x140). .....	98
Figura 6-9 – Recortes na régua estrutural A e B, respetivamente em a) e b). .....	102
Figura 6-10 – Sequência de fabrico da chapa isoladora das réguas. ....	103
Figura 6-11 – Sequência de fabrico da chapa para passagem das correntes.....	103
Figura 6-12 – Chapa isoladora de resíduos finalizada. ....	104
Figura 6-13 – Roscagem e soldadura no pino da dobradiça do alçapão. ....	107
Figura 6-14 – Roscagem e soldadura no pino da dobradiça da porta de segurança.....	107
Figura 6-15 – Perfil da dobradiça do alçapão extrudido, maquinado e soldado respetivamente em a), b) e c). .....	108
Figura 6-16 – Perfil do fixador da dobradiça da porta de segurança extrudido, chapa do fixador maquinada e soldadura para união de ambas geometrias, respetivamente em a), b) e c). ....	108
Figura 6-17 – Segmento da dobradiça extrudido. ....	109
Figura 6-18 – Chapa para formação do pedal após corte laser e quinagem, respetivamente em a) e b). .....	114
Figura 6-19 – Perfil da barra de transmissão de movimento após corte a laser. ....	115
Figura 6-20 – Fixadores dos amortecedores para a porta de segurança, para o perfil de engate das correntes e para a cuba estanque, respetivamente em a), b) e c). ....	115
Figura 6-21 – Fixação do aro de encaixe à cuba estanque. ....	116
Figura 6-22 – Fixação dos fixadores das dobradiças das portas de segurança e dos amortecedores das portas de segurança à cuba estanque, respetivamente em a) e b). ....	117
Figura 6-23 – Fixação dos suportes do aro de encaixe.....	117
Figura 6-24 – Fixação da estrutura do marco de deposição à plataforma pedonal.....	118
Figura 6-25 – Fixação da tampa do contentor. ....	118
Figura 6-26 – Fixação dos pinos das dobradiças dos alçapões do contentor e das portas de segurança, respetivamente em a) e b). ....	119
Figura 6-27 – Diagrama de esforços de uma montagem de um amortecedor adaptado .....	119
Figura 6-28 – Amortecedor da porta de segurança montado. ....	120
Figura 6-29 – Subconjuntos das correntes, dos elos de ligação e dos anéis de elevação para a secção do perfil de engate das correntes/alçapão do contentor e tubo fixador da corrente/perfil de engate das correntes, respetivamente em a) e b). ....	121

Figura 6-30 – Posicionamento relativo do tubo fixador da corrente e do perfil de engate das correntes com os alçapões fechados e abertos, respetivamente em a) e b).....	122
Figura 6-31 – Ponto de engate do amortecedor no perfil de engate das correntes e no tubo para passagem da corrente, respetivamente em a) e b).....	123
Figura 6-32 – Mola de compressão aplicada na fechadura da porta de segurança. ....	123
Figura 6-33 – Posicionamento da dobradiça da tampa relativamente à estrutura de deposição. ....	124
Figura 6-34 – Soldadura da guia da fechadura, dos segmentos da dobradiça e do fixador do amortecedor da porta de segurança.....	130
Figura 6-35 – Curva de <i>Sandelin</i> .....	130
Figura Anexo I-1 – Resultados obtidos a partir da introdução das variáveis abordadas no <i>software</i> . ..	142
Figura Anexo I-2 – Ligação aparafusada. ....	144
Figura Anexo I-3 – Diagrama de <i>Goodman</i> adaptado .....	147
Figura Anexo II-1 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> e do deslocamento total, respetivamente em a) e b), para os alçapões do contentor. ....	150
Figura Anexo II-2 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> para a dobradiça do alçapão e para o pino da dobradiça do alçapão, respetivamente em a) e b). ....	150
Figura Anexo II-3 – Soluções da tensão equivalente de <i>Von Mises</i> sobre as placas de revestimento, chapas para passagem das correntes e chapas isoladoras das régua em a); sobre as régua estruturais em b). .....	151
Figura Anexo III-1 – Desenho técnico da cuba estanque. ....	152
Figura Anexo III-2 – Desenho técnico do aro de encaixe.....	153
Figura Anexo III-3 – Desenho técnico do suporte do aro de encaixe. ....	154
Figura Anexo III-4 – Desenho técnico do gancho de elevação.....	155
Figura Anexo III-5 – Desenho técnico da dobradiça da tampa. ....	156
Figura Anexo III-6 – Desenho técnico da tampa do contentor. ....	157
Figura Anexo III-7 – Desenho técnico da estrutura de deposição.....	158
Figura Anexo III-8 – Desenho técnico do tubo de elevação. ....	159
Figura anexo III-9 – Desenho técnico da barra U estrutural.....	160
Figura Anexo III-10 – Desenho técnico do tubo fixador da corrente. ....	161
Figura Anexo III-11 – Desenho técnico do tubo para passagem da corrente. ....	162
Figura Anexo III-12 – Desenho técnico da plataforma pedonal. ....	163
Figura Anexo III-13 – Desenho técnico das régua superiores.....	164

Figura Anexo III-14 – Desenho técnico do perfil de engate das correntes. ....	165
Figura Anexo III-15 – Desenho técnico do aro de posicionamento. ....	166
Figura Anexo III-16 – Desenho técnico do suporte do contentor. ....	167
Figura Anexo III-17 – Desenho técnico da placa de revestimento. ....	168
Figura Anexo III-18 – Desenho técnico da régua estrutural B. ....	169
Figura Anexo III-19 – Desenho técnico da régua estrutural A. ....	170
Figura Anexo III-20 – Desenho técnico da chapa para passagem das correntes. ....	171
Figura Anexo III-21 – Desenho técnico da chapa isoladora das régua. ....	172
Figura Anexo III-22 – Desenho técnico da chapa isoladora de resíduos. ....	173
Figura Anexo III-23 – Desenho técnico do alçapão do contentor. ....	174
Figura Anexo III-24 – Desenho técnico da dobradiça do alçapão. ....	175
Figura Anexo III-25 – Desenho técnico do pino da dobradiça do alçapão. ....	176
Figura Anexo III-26 – Desenho técnico da porta de segurança. ....	177
Figura Anexo III-27 – Desenho técnico do pedal de acionamento da fechadura. ....	178
Figura Anexo III-28 – Desenho técnico do fixador da barra de transmissão do movimento. ....	179
Figura Anexo III-29 – Desenho técnico da barra de transmissão de movimento. ....	180
Figura Anexo III-30 – Desenho técnico da fechadura da porta de segurança. ....	181
Figura Anexo III-31 – Desenho técnico da guia da fechadura. ....	182
Figura Anexo III-32 – Desenho técnico do fixador da dobradiça da porta de segurança. ....	183
Figura Anexo III-33 – Desenho técnico do pino da dobradiça da porta de segurança. ....	184
Figura Anexo III-34 – Desenho técnico do segmento da dobradiça da porta de segurança. ....	185
Figura Anexo III-35 – Desenho técnico do fixador do amortecedor da porta de segurança soldado. ....	186
Figura Anexo III-36 – Desenho técnico do fixador do amortecedor da porta de segurança aparafusado. ....	187
Figura Anexo III-37 – Desenho técnico do fixador do amortecedor para perfil de engate das correntes. ....	188
Figura Anexo III-38 – Desenho técnico do contentor completo. ....	189
Figura Anexo IV-1 – Etapas de preparação da superfície. ....	190



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Funcionamento da prensa. ....	16
Tabela 2-2 – Ciclo de funcionamento de um sistema de recolha pneumático.....	20
Tabela 3-1 – Procedimento para recolha de resíduos no sistema de recolha abordado .....	31
Tabela 3-2 – Análise de propostas para solucionar os problemas em estudo. ....	34
Tabela 4-1 – Vista explodida do subsistema de isolamento e identificação dos respetivos componentes. .....	37
Tabela 4-2 – Vista explodida do subsistema ecoponto e identificação dos respetivos componentes. ...	40
Tabela 4-3 – Vista explodida do subsistema plataforma de segurança e identificação dos respetivos componentes.....	51
Tabela 5-1 – Propriedades mecânicas do aço NP EN 10025-2 S355.....	57
Tabela 5-2 – Cálculo das forças a aplicar em cada zona dos alçapões.....	59
Tabela 5-3 – Propriedades mecânicas do aço NP EN 10025-2 S275.....	74
Tabela 6-1 – Sequência de fabrico do aro de encaixe. ....	82
Tabela 6-2 – Sequência de fabrico dos suportes do aro de encaixe.....	86
Tabela 6-3 – Sequência de fabrico do aro de posicionamento.....	88
Tabela 6-4 – Sequência de fabrico da tampa do contentor. ....	89
Tabela 6-5 – Sequência de fabrico da estrutura de deposição. ....	91
Tabela 6-6 – Sequência de fabrico da plataforma pedonal.....	93
Tabela 6-7 – Sequência de fabrico do perfil de engate das correntes. ....	99
Tabela 6-8 – Sequência de fabrico das réguas superiores. ....	101
Tabela 6-9 – Sequência de fabrico dos alçapões do contentor. ....	104
Tabela 6-10 – Sequência de fabrico das fechaduras.....	109
Tabela 6-11 – Sequência de fabrico da guia da fechadura.....	111
Tabela 6-12 – Sequência de fabrico das portas de segurança.....	113
Tabela 6-13 – Cálculo e seleção do amortecedor da porta de segurança. ....	120
Tabela 6-14 – Sequência de soldadura da estrutura do contentor.....	124
Tabela Anexo I-1 – Cálculo das variáveis identificadas. ....	144
Tabela Anexo I-2 – Cálculos com vista à obtenção do coeficiente de segurança contra a separação de membros.....	146

Tabela Anexo I-3 – Cálculos das cargas resultantes.....	146
Tabela Anexo I-4 – Cálculo dos critérios para teste à fadiga.....	148
Tabela Anexo I-5 – Cálculos dos coeficientes de segurança à fadiga.....	149

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

A - Árgon

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono

N<sub>2</sub>O - Óxido nitroso

PAYT - *Pay as you throw*

% - Percentagem

mm - Milímetro

mm<sup>2</sup> - Milímetro quadrado

m<sup>2</sup> - Metro quadrado

cm<sup>3</sup> - Centímetro cúbico

m<sup>3</sup> - Metro cúbico

g - Grama

kg - Quilograma

min - Minuto

s - Segundo

kgf - Quilograma-força

N - Newton

Nm - Newton metro

kN - Quilonewton

MPa - Megapascal

GPa - Gigapascal

MIG - *Metal inert gas*

MAG - *Metal active gas*

CNC - Comando numérico computadorizado

EN - Euro norm

NP - Norma portuguesa

AW - *Aluminum wrought*

DIN - *Deutches institut fur normung*

F<sub>1</sub> - Força de extensão do amortecedor [N]

F - Peso da porta de segurança e constituintes [N]

L - Comprimento/Distância [mm]  
k - Fator de aperto  
 $\psi$  – Fator adicional de aperto  
n - Fator de entrada de força  
f - Coeficiente de atrito da junta  
 $k_s$  - Coeficiente de segurança  
 $L_s$  - Espessura de ligação [mm]  
 $p_s$  - Pressão admitida na rosca [MPa]  
 $f_1$  - Coeficiente de atrito na rosca  
 $f_2$  - Coeficiente de atrito na interface parafuso/junta e porca/junta  
C - Constante de rigidez da junta  
 $A_d$  - Área de maior diâmetro do parafuso [mm<sup>2</sup>]  
 $L_r$  - Comprimento total da rosca do parafuso [mm]  
 $l_d$  - Comprimento da zona lisa do parafuso [mm]  
 $l_t$  - Comprimento da zona roscada do parafuso sujeita a esforço [mm]  
 $A_t$  - Área resistente à tração [mm<sup>2</sup>]  
 $E_{aço}$  - Módulo de elasticidade do aço [MPa]  
 $k_m$  - Constante de rigidez dos membros [N/mm]  
P - Carga axial aplicada a cada parafuso [N]  
W - Carga axial total [N]  
d - Diâmetro [mm]  
T - Binário de aperto a aplicar a cada parafuso [Nm]  
 $F_i$  - Pré-carga a aplicar a cada parafuso [N]  
 $n_0$  - Coeficiente de segurança contra a separação de membros  
 $F_0$  - Carga resultante nos parafusos [N]  
 $F_m$  - Carga resultante nos membros [N]  
 $S_e$  - Tensão limite de fadiga corrigida [MPa]  
 $S_{ut}$  - Tensão de rutura [MPa]  
 $\sigma_a$  - Tensão alternada instalada no parafuso [MPa]  
 $\sigma_m$  - Tensão média instalada no parafuso [MPa]  
 $\sigma_i$  - Tensão mínima [MPa]  
 $n_f$  - Coeficiente de segurança à fadiga

UE - Unidade externa

CSU - Contentor subterrâneo unificado

PS - Plataforma de segurança

FA - Fixadores dos amortecedores

CAD - *Computer aided design*

CAE - *Computer aided engineering*



# **1. INTRODUÇÃO**

O trabalho de dissertação apresentado ocorreu com a parceria da empresa 3EcoAmbiente e consistiu na projeção de um sistema de contentorização subterrânea para recolha de todo o tipo de resíduos e com capacidade para corresponder às necessidades atuais do setor, nomeadamente na eficiência das operações de recolha.

A 3EcoAmbiente é uma empresa multidisciplinar especializada no ramo ambiental, responsável pelo desenvolvimento de projetos e soluções, sendo reconhecida, no seu setor, pela qualidade dos seus produtos e pela satisfação dos seus clientes [1].

## **1.1 Enquadramento e motivação**

Dada a constante procura de metodologias que promovam a eficiência dos processos para variados setores da indústria e, neste caso em particular, a necessidade de aumentar a recolha diferenciada de resíduos para combate à poluição e desperdício, inspiram as empresas do ramo ao desenvolvimento de novas soluções de ecopontos. Estas soluções visam não só reduzir a dificuldade de extração dos detritos e respetiva manutenção dos ecopontos, mas também a melhoria da ergonomia durante a descarga dos resíduos.

No âmbito deste projeto procura-se avaliar os diferentes sistemas de recolha de resíduos subterrâneos existentes com vista ao desenvolvimento de um totalmente novo de forma a otimizar o sistema atualmente comercializado pela empresa proponente. O principal objetivo desta otimização passa pela melhoria da atuação mecânica, originando maior facilidade na gestão de resíduos que, por sua vez, reduz o tempo de recolha dos resíduos.

## **1.2 Objetivos do trabalho**

Com vista à otimização do sistema atualmente fabricado pela empresa proponente, definiram-se os seguintes objetivos para o projeto do novo ecoponto:

- Desenvolvimento de um sistema de recolha mais rápido;
- Desenvolvimento de um sistema que seja facilmente higienizado;

- Desenvolvimento de uma plataforma de segurança viável para ambos os sistemas, isto é, o atual e o que será projetado.

Posto isto, foi executado um estado de arte para avaliação dos sistemas existentes e foram identificadas as limitações do sistema atual com vista à implementação de melhorias e novas funcionalidades ao sistema a projetar. Por fim, a partir deste método, foi executado o projeto conceptual do novo ecoponto e o respetivo projeto para o fabrico. A calendarização, ilustrada na Figura 1-1, demonstra o planeamento do trabalho ao longo dos meses, o qual sofreu atrasos dada a situação pandémica vivida no decurso do ano letivo 2020/2021.

Planeamento de Atividades											
Dissertação	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Estado de arte											
Identificação das funções de cada componente do sistema											
Identificação de limitações do sistema de ecopontos em estudo											
Defenição de requisitos e especificações											
Projeto conceptual de um novo sistema											
Projeto para o fabrico do sistema implementado											
Escrita da dissertação											

Figura 1-1 – Calendarização da dissertação.

### 1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada encontra-se dividida em sete capítulos:

- O 1º expõem o enquadramento e os objetivos do trabalho a alcançar;
- O 2º é composto pelo estado de arte, no qual é realizada uma introdução histórica e uma análise do mercado existente neste setor;
- O 3º revela o contentor atualmente em operação, no qual são identificados os seus componentes, as suas limitações e são impostos os requisitos para o novo sistema;
- O 4º é formado pelo projeto concetual do sistema projetado, no qual são identificados todos os componentes que o idealizam e os materiais que o formam;
- O 5º é composto pela simulação CAE do sistema projetado, com vista à avaliação estrutural do mesmo;
- O 6º expõe as sequências de fabrico de todos os componentes e operações de montagem e acabamento associadas;
- O 7º revela as conclusões do trabalho e os trabalhos futuros para o desenvolvimento do projeto.



## 2. ESTADO DE ARTE

Neste capítulo procura-se contextualizar o tema em estudo com uma introdução histórica e uma análise ao mercado de contentores subterrâneos existentes para além daquele que foi o ponto de partida deste estudo. Estes diferenciam-se não só pelo próprio aspeto, mas também pelo seu funcionamento e diferentes métodos de recolha.

### 2.1 Introdução histórica

Há milhares de anos atrás, com a formação das primeiras vilas, começou a surgir a necessidade de a população livrar-se do lixo produzido, uma vez que a sua acumulação levava à poluição em massa da vila, originando doenças e infestações de germes. Estas infestações conduziam à poluição dos solos, afetando a agricultura e a criação de animais que, por sua vez, originava crises de fome. Para combater esta necessidade começaram-se a praticar formas de tornar as cidades mais limpas.

Numa primeira instância, na Grécia antiga, foi implementado que todo o lixo que fosse produzido seria depositado fora das cidades e enterrado sucessivamente em várias camadas de terra. Como era de esperar, esta solução era inviável pois não eliminava a poluição, isto é, apenas afastava o lixo da zona onde as pessoas viviam. No entanto, a solução era única e permaneceu por milhares de anos [2].

A ausência de leis ou a falta de autoridade sobre os cidadãos, fez com que as cidades continuassem constantemente poluídas, quer a nível do solo, quer a nível da água, o que resultava na morte prematura de grande parte da população.

Foi a partir do século XIV que se tomaram medidas mais severas para o combate à poluição com implementações de leis e com o aparecimento dos primeiros homens de recolha de resíduos. Estes eram responsáveis pelo transporte do lixo para aterros sanitários e este, por sua vez, era queimado [3]. Na Figura 2-1 pode-se observar um retrato de um grupo dos primeiros operadores de recolha de lixo.



Figura 2-1 – *Rakers* [3].

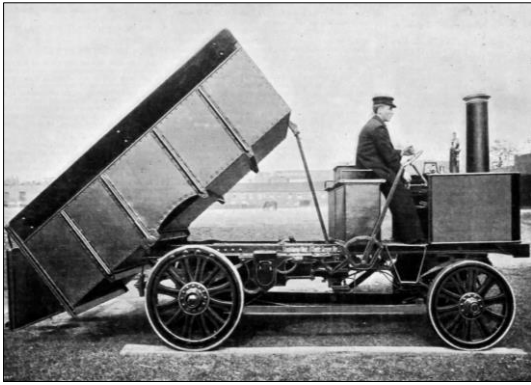
No final do século XVII, surgiu o primeiro conceito de reciclagem. Aconteceu em Philadelphia nos Estados Unidos da América e o processo consistia na recolha de restos de tecidos que através de processamento se transformava em papel reciclado [4].

Com a revolução industrial no século XVIII e XIX, começaram-se a produzir novos tipos de resíduos como restos têxteis e metais da manufatura. Para além disso, houve um crescimento exponencial da população dado o aumento da qualidade de vida nas cidades, originando um aumento na formação de lixo. Com isto, surgiu a necessidade de se criar novas formas de promover a deposição de lixo em locais especificados. Na Inglaterra criou-se o sistema de recolha porta a porta, onde todas as semanas os operadores de recolha faziam a coleta do lixo. Caso o recipiente de determinada casa estivesse vazio, os donos da mesma pagariam uma multa, criando-se assim a obrigação da deposição dos resíduos de forma regrada [3]. Este sistema provou-se tão eficaz que ainda hoje é praticado em muitas zonas de Inglaterra. Com isto, apareceu o primeiro conceito de caixote do lixo. A Figura 2-2 ilustra um exemplo destes recipientes.



Figura 2-2 – Caixote do lixo (Século XIX) [5].

A partir daqui começou a ser necessário introduzir a intervenção da máquina para ajudar os trabalhadores a reduzir a sua carga de esforço na recolha. Assim, os primeiros veículos de recolha de lixo apareceram. Estes eram movidos por um motor a vapor e transportavam pouca quantidade de lixo. Previamente a este tipo de transporte, usava-se veículos de tração animal para que se pudesse transportar maiores quantidades de lixo por operador de recolha. Na Figura 2-3 pode-se visualizar um dos primeiros veículos de recolha de lixo motorizados e um exemplo de um veículo de tração animal para recolha de resíduos.



a)



b)

Figura 2-3 – *Thornycroft steam wagon* (1896) e hipomóvel de recolha de lixo, respetivamente em a) e b) [6].

Na década de 20 começaram a aparecer os primeiros veículos de recolha traseira com caixa fechada. Esta invenção trouxe várias vantagens, nomeadamente na redução do esforço de trabalho por parte dos operadores uma vez que apenas era necessário depositar o lixo num recipiente na traseira do camião e depois este era elevado por braços mecânicos, controlados pelo operador, até à abertura no topo do camião. Outra vantagem reside na redução de mau cheiro pelas cidades pelo melhor isolamento no seu transporte, pois o facto de o lixo ser transportado coberto do sol trazia benefícios, uma vez que a temperatura na caixa fechada subia mais lentamente do que na caixa aberta, retardando a formação de germes. Na Figura 2-4 pode-se observar o primeiro camião de recolha traseira mecanizada em diferentes etapas de funcionamento.



a)



b)



c)

Figura 2-4 – Operações de carregamento, levantamento e deposição de resíduos num *Refuse Getter*, respetivamente em a), b) e c) [7].

Por outro lado, a eficiência do transporte era bastante reduzida, pois os veículos de recolha levavam quantidades de lixo relativamente pequenas para o seu tamanho. Foi também nesta década que surgiram os primeiros incineradores, os quais para além de queimarem os resíduos, produziam energia [3].

Na década de 30, surgiu uma grande invenção na indústria da gestão de resíduos, nomeadamente, o primeiro camião de recolha de resíduos com compactador hidráulico [3]. Esta criação permitiu transportar maiores quantidades de lixo num só camião, aumentando a eficiência do processo.

Esta tecnologia foi de tal forma notável que hoje serve de base para os camiões de recolha modernos. A Figura 2-5 ilustra o camião supramencionado.



Figura 2-5 – *Garwood Load Packer* [8].

Na década de 60, na Suécia, houve uma grande invenção que permitiu facilitar a gestão de resíduos. Esta invenção, que persiste até ao dia de hoje, foi o sistema de recolha pneumático. Este sistema que tem como base a aspiração de resíduos por tubos subterrâneos foi instalado pela primeira vez em 1961 num hospital sueco. Esta tecnologia permitiu que os vários resíduos produzidos no hospital pudessem ser todos acumulados no mesmo reservatório mesmo que estes fossem colocados em marcos de deposição diferentes. No entanto esta tecnologia não foi aplicada em muitos estados dado o elevado investimento associado. De aqui em diante este sistema sofreu variadas alterações, as quais aumentaram a sua fiabilidade e eficiência, tornando-o como grande candidato aos sistemas de recolha de resíduos dos dias de hoje.

Na década de 70, com a gestão de resíduos a ser ainda um grande problema das sociedades, medidas tiveram de ser tomadas para intervir neste problema. Foram criadas estratégias para reciclagem e incentivou-se a redução na produção de resíduos *per capita*. Aliado a isto, foram inauguradas centrais de transferência, que consistiam em armazéns de grandes dimensões para armazenamento de lixo, para que os veículos de recolha não tivessem de fazer demasiados quilómetros até aos aterros sanitários ou locais de incineração.

De forma a aumentar a eficiência da recolha, foi inventado o primeiro camião com um braço hidráulico capaz de elevar contentores até 1 m<sup>3</sup> de capacidade. Este feito permitiu a poupança de esforço dos operadores de recolha que conseguiam fazer a coleta do lixo com o controlo do braço hidráulico. Para além disso, o camião tinha dimensões tão elevadas para a altura que ganhou a alcunha de *Godzilla*, o que permitia o transporte de maiores quantidades de lixo de uma só vez [3]. Na Figura 2-6 pode-se observar o camião explicitado.



a)



b)

Figura 2-6 – *Maxon Barrel Snatcher* em operação e em preservação num museu, respetivamente em a) e b) [9].

Passados 10 anos, já na década de 80, começaram-se a desenvolver teorias da deposição de lixo em reservatórios subterrâneos. Este ideal trazia inúmeras vantagens, as quais serão mais à frente abordadas, levando eventualmente ao aparecimento dos primeiros contentores subterrâneos. Os pioneiros nesta tecnologia foram os finlandeses da Molok<sup>®</sup>, que criaram um contentor semienterrado que ainda hoje é possível ser encomendado [10]. Na Figura 2-7 pode-se observar o modelo de contentor lançado na época.



Figura 2-7 – Contentor Molok<sup>®</sup> *Classic* [11].

No final dos anos 90 houve uma evolução nos sistemas hidráulicos dos camiões, melhorando a sua capacidade de recolha de lixo até três vezes [3]. Daqui também surgiram variados tipos de camiões que são a imagem dos que são utilizados hoje, isto é, com carregamento lateral, frontal e até com gruas simples.

No ano de 1996 foi fundada em Portugal a Sociedade Ponto Verde, a primeira entidade portuguesa a sensibilizar o conceito da reciclagem aos portugueses. Foi exatamente há 25 anos que surgiram os primeiros ecopontos de superfície para recolha diferenciada de embalagens. Nessa altura Portugal era a



## 2.2 Análise do mercado

Com a tendência de crescimento da produção mundial de lixo surge a necessidade de se saber gerir todos estes resíduos de forma a não se gerar poluição [15]. A partir deste ideal, existe uma procura constante de formas de aumentar a capacidade de lotação dos locais para deposição dos resíduos sem com isso afetar o meio envolvente. Quando se pensa no problema em questão, a solução gerada para o mesmo foi a invenção dos ecopontos subterrâneos. Estes são capazes de albergar uma maior quantidade de resíduos comparativamente aos contentores de superfície, trazendo várias vantagens, nomeadamente [16]:

- Desaparecimento de cenários de sobrelotação dos contentores de superfície;
- O facto de os resíduos estarem debaixo da terra promove a redução da formação de bactérias pela redução da temperatura em profundidade, originando um decréscimo acentuado na formação de maus odores;
- Inexistência de animais nos locais de deposição por falta de acessibilidade aos resíduos em profundidade;
- Colocação em qualquer ambiente sem afetar a arquitetura do local, pois os topos podem ser desenhados e enquadrados ao meio envolvente;
- Redução de turnos de recolha pelo aumento do volume dos contentores, poupando combustível e otimizando as estratégias de recolha;
- Redução do número de operários por camião.

Posto isto, diferentes entidades estudaram formas de tornar este conceito em uma realidade. Destes estudos nasceram diferentes soluções para o mesmo problema, havendo entre eles prós e contras.

### 2.2.1 Contentores semienterrados de saco de poliéster armado

Este tipo de contentores representam a solução mais económica para depósito de resíduos subterrâneo. São compostos por uma cuba de polietileno, devidamente testada para sustentar os esforços das águas subterrâneas, onde se deposita o saco de poliéster reforçado a fibra de vidro para colocação dos resíduos. A principal função da cuba é isolar completamente o solo dos resíduos, prevenindo a infestação dos solos e dos lençóis freáticos.

Os sacos onde são depositados os resíduos podem ter dois tipos de fecho. Um é atuado por um cordão e outro possui um fundo de plástico com dobradiças.

A Figura 2-9 ilustra a cuba de polietileno utilizada para revestimento dos resíduos e os tipos de sacos de poliéster utilizados.

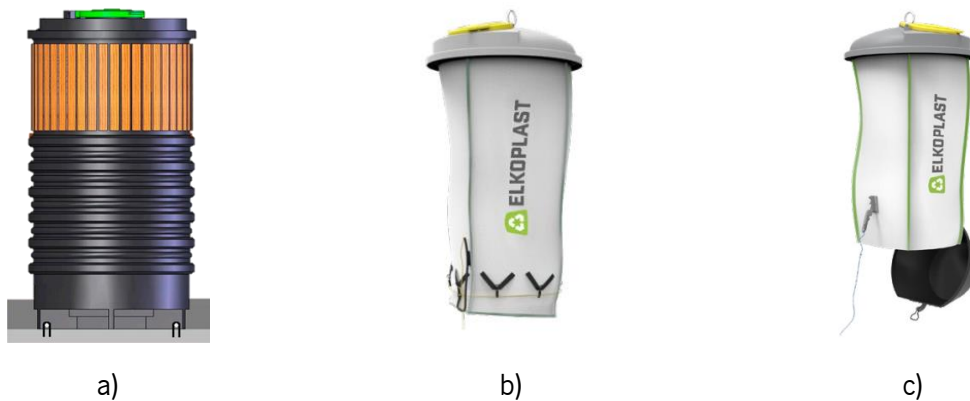


Figura 2-9 – Cuba de polietileno (a preto), saco com fundo atuado por cordão e saco com comporta de plástico, respetivamente em a), b) e c) [17,18].

O saco com cordão tem um funcionamento mais simplificado sendo assim mais barato, no entanto a sua morfologia compromete a sua utilização relativamente àquele que possui o fundo coberto por uma ou duas comportas. Isso deve-se ao facto de a carga de trabalho do saco com cordão ser bastante menor que o de fundo plástico, comprometendo a utilização do primeiro para cargas mais pesadas. Outra razão está relacionada com a possibilidade de se adaptar diferentes tipos de sistemas de acoplamento ao saco com fundo plástico, dando uma maior versatilidade na sua utilização por diferentes entidades de recolha de resíduos a nível mundial. O fundo com comporta faz com que seja possível interligar a abertura da mesma com o próprio sistema de elevação, ao contrário do saco com atuação por cordão, que permite a redução de carga de trabalho manual do operador. A última vantagem relativamente aos sacos atuados por cordão é a máxima otimização do volume, pois nos sacos com comportas no fundo não existe afunilamento no fecho do saco, permitindo o aproveitamento máximo de todo o volume disponível pelo saco [19].

Este tipo de ecopontos pode ser utilizado quer para recolha diferenciada, quer para recolha indiferenciada até 5 m<sup>3</sup> de capacidade. A parte não submersa pode ser revestida em diferentes materiais de forma que se possa adaptar a diferentes locais onde se encontra instalado. Na Figura 2-10 pode-se visualizar três exemplos de materiais aplicados para diferentes locais de instalação.





a)



b)



c)

Figura 2-10 – Ecopontos em zona montanhosa, em zona de lazer e em zona urbana, respetivamente em a), b) e c) [11,20].

### 2.2.2 Contentores semienterrados de aço

Estes contentores apresentam-se de forma idêntica relativamente aos de saco de poliéster armado, no entanto, sendo estes de aço, possuem uma maior resistência a fenómenos da natureza ou a atos de vandalismo. O corpo do contentor é composto por uma cuba de polietileno ou betão onde se insere o balde de aço com capacidade até 5 m<sup>3</sup>. A utilização da cuba de betão permite oferecer a máxima durabilidade e resistência do contentor, tornando-o praticamente indestrutível. A sua construção modular permite poupança no seu transporte e na substituição de peças no caso de dano. Na Figura 2-11 pode-se observar as diferentes configurações deste tipo de contentores.



a)



b)

Figura 2-11 – Ecoponto de aço com cuba de polietileno e com cuba de betão, respetivamente em a) e b) [17,21].

Tal como os contentores de poliéster com fundo plástico, os de aço permitem a recolha for diferentes tipos de equipamentos sendo possível adaptá-lo às necessidades das entidades de recolha. No caso da utilização de sistemas que permitam a recolha remota dos resíduos, os elementos mecânicos da abertura do alçapão encontram-se localizados na parte exterior do balde, evitando possíveis encravamentos no despejo dos resíduos.

A grande vantagem deste tipo de contentores relativamente aos completamente enterrados é o facto de estes não necessitarem de plataformas de segurança de qualquer tipo, sendo por isso mais baratos de implementar e com reduzida necessidade de manutenção.

### 2.2.3 Contentores *standard* enterrados com elevador hidráulico

Quando a solução passa por implementar um sistema que utilize contentores *standard* como recipiente de recolha sem que seja necessário utilizar camiões mais sofisticados para a efetuar, deparamo-nos com este produto. Assim, este sistema permite a colocação subterrânea de contentores de rodas tradicionais através de um elevador hidráulico que os sustenta. Na Figura 2-12 identifica-se o sistema em questão.



Figura 2-12 – Elevador hidráulico com contentores *standard* e respetivos marcos de deposição [22].

A grande vantagem deste sistema está relacionada com o facto de se puderem utilizar camiões mais antigos que só permitam descarga traseira ou lateral deste tipo de contentores. Assim, com a possibilidade de implementar diversos marcos de deposição, é possível adaptar o sistema a qualquer meio em que se insira. Todo o sistema encontra-se encoberto do ambiente subterrâneo através de uma cuba de betão e para além disso existe uma câmara anexa onde se encontra a central hidráulica do elevador. Esta câmara é acessível por uma comporta situada lateralmente a todo o sistema e encontra-se interligada a uma torre de controlo à superfície, para que se possa acionar o sistema.

O acionamento do sistema pode ser feito de duas formas: uma através da adaptação do camião com um circuito hidráulico, no qual é facilmente conectado com a torre de controlo do sistema; outra consiste na incorporação do circuito hidráulico na câmara da central hidráulica, podendo assim ser controlado remotamente através de um comando. A vantagem deste segundo sistema é a poupança de tempo na recolha, pois não são necessárias conexões para realizar a recolha [23].

Dentro desta tecnologia é ainda possível adaptá-la a outro tipo de contentores de maior volume e ainda a todo o tipo de sistemas de recolha, tornando-se uma solução bastante versátil para todo o tipo de aplicações. Uma desvantagem na utilização de contentores *standard* é a necessidade de haver três funcionários por cada camião para que seja efetuada a recolha, tal como é feita quando estes se encontram à superfície. Para além disso, estes contentores exigem inspeção rigorosa ao sistema

hidráulico e elétrico pois estes são a base para o funcionamento do sistema. Na Figura 2-13 pode-se observar uma alternativa aos contentores tradicionais utilizados neste tipo de tecnologia.



Figura 2-13 – Contentores de maior volume aplicados ao elevador hidráulico [22].

#### 2.2.4 Contentores enterrados de levantamento unificado

Com a constante procura de rentabilização de espaço associado à arquitetura local, surgiu a necessidade de investigar um sistema de deposição de resíduos que se pudesse integrar em qualquer local com a mínima ocupação a nível de superfície. Para além disso, pretendia-se que esse sistema fosse recolhido através da utilização de guias, para rentabilizar o tempo de recolha. Com isto, trazia-se como vantagem a redução do número de operários por camião, tal como nos contentores semienterrados de recolha automatizada. A grande diferença destes sistemas é a redução de volume ocupado acima da superfície, que nestes contentores é bastante reduzida, havendo apenas o marco de deposição como em outras tecnologias.

Este tipo de contentores é composto por uma cuba de betão estanque, que isola todo o mecanismo e resíduos do solo envolvente. Nela encontra-se montado o sistema de segurança, que durante a operação de recolha atua para prevenir a ocorrência de sinistros.

Essencialmente, existem dois tipos de funcionamento de plataformas de segurança: Uma utiliza amortecedores para elevar duas portas que tapam o interior da cuba; outra utiliza um sistema de contrapesos que elevam uma superfície desde o fundo até ao topo da cuba. Alternativamente a este sistema existe também a elevação de um aro através de contrapesos, que cria uma vedação de proteção de quedas para o interior da cuba. A Figura 2-14 evidencia os sistemas de segurança referenciados.

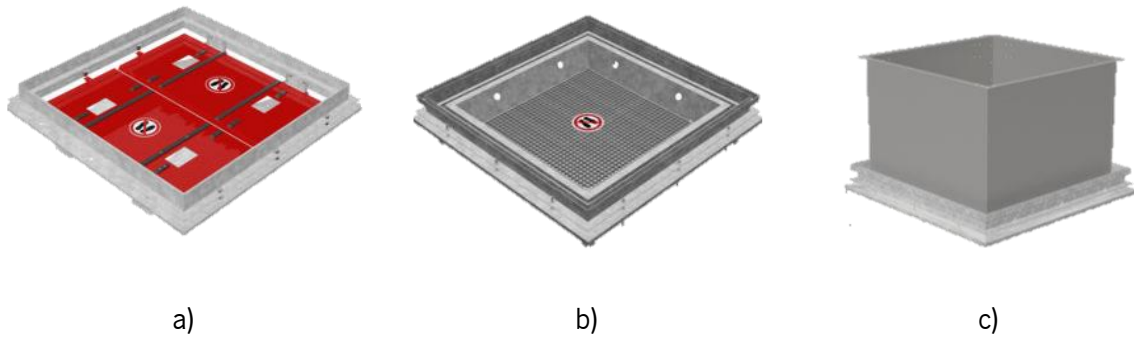


Figura 2-14 – Plataforma de segurança com amortecedores, plataforma com contrapesos e vedação com contrapesos, respetivamente em a), b), c) [24].

A plataforma com amortecedores faz uso dos mesmos para elevar a plataforma até à posição superior, no entanto o suporte de peso é executado pelas trancas de segurança que bloqueiam as plataformas na posição em que se encontram a cobrir o topo da cuba aquando da operação de esvaziamento do contentor. Estas trancas são acionadas por meio de pedais, que quando deixam de ser acionados pelo peso do contentor, fecham e trancam as plataformas no devido local. Para além disso, as trancas devem suportar a massa mínima de 150 kg estabelecidos por normas de segurança. Na Figura 2-15 é possível visualizar a localização dos pedais e das trancas numa plataforma deste tipo.

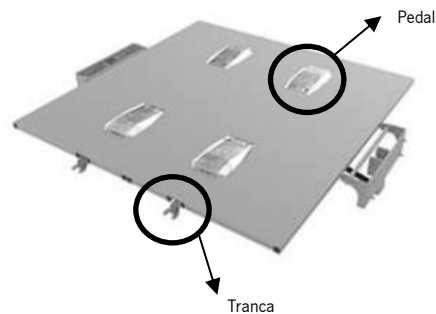


Figura 2-15 – Plataforma de segurança com amortecedores [25].

Relativamente à plataforma com contrapesos, esta utiliza pesos em conjunto com roldanas e cabos de aço para sustentar pelo menos o peso mínimo requerido. Em contrapartida, este sistema pode também ser adaptado com pedais que funcionam de igual forma como aqueles evidenciados nas plataformas com amortecedores. A Figura 2-16 ilustra o sistema em questão.

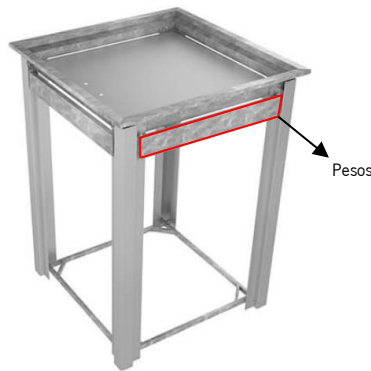


Figura 2-16 – Plataforma de segurança com contrapesos [25].

Quanto à opção alternativa baseada na mesma tecnologia, o aro eleva-se até pelo menos 1 metro de altura. Neste caso, como não é necessário o suporte vertical de 150 kg, o sistema não necessita de cargas elevadas de pesos, sendo assim uma vantagem relativamente às plataformas de segurança. Por outro lado, a abertura superficial da cuba encontra-se a céu aberto havendo a possibilidade, apesar de bastante reduzida, de ocorrer quedas para o interior da cuba.

Relativamente aos contentores, estes podem ser de polietileno ou de aço. Dada a massa reduzida, os de polietileno são ideais para sistemas de gruas mais antiquados. Quanto ao método de recolha, estes componentes podem ser esvaziados por qualquer tipo de sistema de acoplamento de grua. Quanto aos contentores de aço, estes foram desenvolvidos de forma a possuírem uma resistência mecânica bastante elevada sendo ideais para entidades de recolha que possuam camiões com sistemas de elevação modernos, sendo capazes de recolher elevadas cargas de resíduos.

Ambos os modelos permitem ser adaptados com a mais recente tecnologia no âmbito da gestão residual, permitindo monitorar o enchimento dos contentores de forma que seja possível rentabilizar o número de recolhas efetivamente necessárias ao longo do tempo. Isto traz vantagens económicas como a redução do consumo de combustível dos camiões e a otimização na distribuição de trabalhadores por diferentes locais de recolha, permitindo tempos de trabalho reduzidos [26]. Para além disso estes contentores podem também conter um mecanismo de acesso restrito para zonas de habitação com elevado número de moradores, tendo cada morador acesso ao contentor via cartão ou chip *contactless*. Na Figura 2-17 é possível observar os dois tipos de contentores em questão.



Figura 2-17 – Sistema unificado com contentor de polietileno e com contentor metálico, respetivamente em a) e b) [27,28].

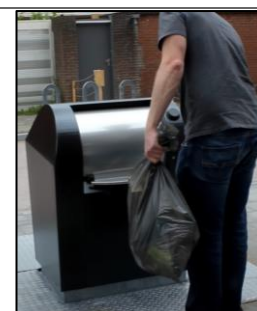
### 2.2.5 Contentores enterrados de levantamento unificado com prensa integrada

Este tipo de contentores alia-se aos subterrâneos de levantamento unificado, otimizando a capacidade de recolha. Estes são formados de igual forma por uma cuba estanque onde se encontra instalado um mecanismo de segurança. Por sua vez, o contentor possui um módulo adicional, isto é, o da prensa.

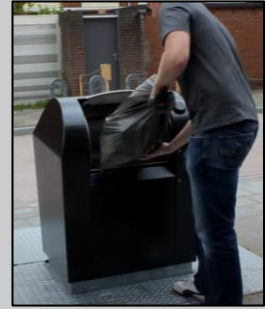
A prensa aplicada é totalmente elétrica e funciona a baixa tensão. Para além disso, existem diferentes métodos de segurança aplicados desde a abertura da tampa do marco de deposição, a qual recorre a um cartão de acesso, até à existência de alarmes no momento em que a porta de inspeção se encontra aberta. O funcionamento deste mecanismo consiste na deposição do lixo no marco de deposição e logo que a tampa deste seja fechada, esta é trancada e a prensa comprime o lixo. Deste modo, a recolha dos resíduos num só contentor pode aumentar até 275% da capacidade original. Este ganho permite a redução do número de contentores por zona ou então o aumento do intervalo de tempo entre recolha dos resíduos [19]. A Tabela 2-1 representa o funcionamento deste sistema.

Tabela 2-1 – Funcionamento da prensa.

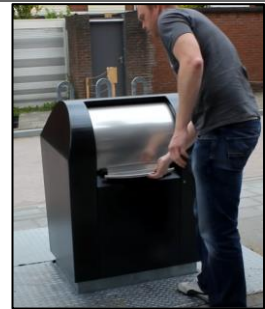
Em primeiro lugar utiliza-se o cartão de acesso para que seja possível aceder ao tambor de deposição. Todos os equipamentos estão equipados com sistemas restritos de acesso por questões de segurança.



De seguida, coloca-se o saco no tambor. A abertura ampla permite a introdução de resíduos volumosos.



Depois, ao fechar a tampa do tambor, este bloqueia automaticamente de forma que se possa iniciar o processo com segurança.



O saco cai do tambor e fica situado na superfície livre da prensa. Esta visualização é possível através da porta de inspeção, que se encontra aberta.



A prensa é acionada, comprimindo ao máximo os resíduos colocados. Após a compressão, os resíduos caem por gravidade no fundo do contentor. Caso o contentor se encontre cheio, a prensa mantém a pressão exercida sobre os resíduos até que o próximo saco seja depositado.



Para além disso, a prensa é totalmente autónoma, sendo a energia solar a sua base de funcionamento. Assim, esta solução permite reduzir em 50% as emissões de CO<sub>2</sub> geradas por todo o processo de recolha dos ecopontos. A Figura 2-18 representa um exemplo de um sistema que utiliza a tecnologia aqui abordada.



Figura 2-18 – Marco de deposição e respetivo painel solar responsável pela alimentação da prensa [19].

### 2.2.6 Contentores enterrados de levantamento unificado e descarregamento invertido

O surgimento destes contentores deveu-se à constante procura de soluções para a resolução de problemas específicos de outras opções existentes no mercado. Assim, a partir de uma iteração dos contentores com fundos isolados por uma ou duas portas, nasceram os contentores de descarregamento invertido. A Figura 2-19 ilustra os contentores em questão.

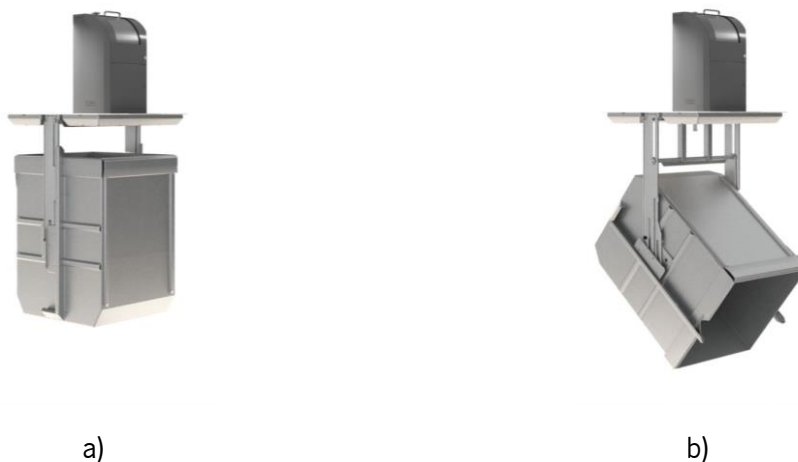


Figura 2-19 - Contentor em posição de depósito e em posição de recolha, respetivamente em a) e b) [29].

O objetivo por detrás desta solução é garantir em 100% o isolamento dos resíduos relativamente ao meio envolvente. As portas inferiores, apesar de bastante eficazes, não conseguem essa garantia devido à própria morfologia do sistema. A implementação desta solução permite a redução da contaminação da cuba de betão onde este contentor se insere, mas também dos pavimentos por onde o contentor sobrevoa enquanto está a ser recolhido, dando origem a menores custos em operações de limpeza [29].

O funcionamento deste sistema recorre à tecnologia previamente implementada em todos os sistemas de recolha unificada, isto é, em que o mecanismo de recolha controla o movimento associado



à abertura e fecho das portas inferiores. Neste caso, o movimento a controlar é o da rotação do contentor sobre o próprio eixo. Assim, a recolha pode ser elaborada automaticamente pela grua sem que haja a necessidade de intervenção física com o contentor. Para além disso, o sistema pode estar dotado das habituais plataformas de segurança e pode recolher todo o tipo de resíduos, quer diferenciados, quer indiferenciados.

### 2.2.7 Infraestrutura de recolha pneumática

Com o aumento da densidade populacional em determinadas cidades, a produção de resíduos aumenta proporcionalmente e a sua recolha requer uma gestão rigorosa de recursos pelas entidades responsáveis. Um meio de facilitar esta gestão foi a implementação do sistema de recolha pneumática, que consiste numa vasta rede de tubos subterrâneos que ligam a central de depósito aos vários marcos de deposição espalhados pela cidade onde foi instalado. Para além disso, os marcos de deposição podem ser instalados dentro de habitações, prédios, restaurantes e outros tipos de negócios, reduzindo o esforço no processo de despejo dos resíduos por parte da população. Na Figura 2-20 pode-se observar a rede de distribuição de tubos bem como a variada localização de marcos de deposição.



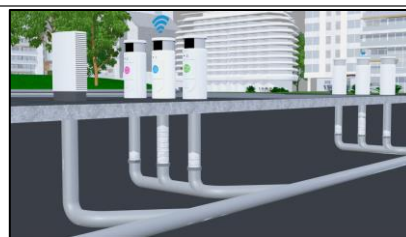
Figura 2-20 – Infraestrutura do sistema de recolha pneumática.

Este sistema é extremamente vantajoso para cidades em que a mobilidade dos veículos de recolha é condicionada quer pelo trânsito ou até mesmo pelos acessos aos marcos de deposição. No entanto esta infraestrutura não dispensa da utilização de veículos de recolha, pois estes são necessários para o transporte dos resíduos da central para locais de processamento posterior.

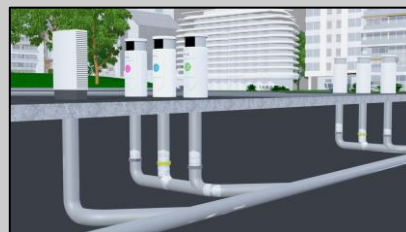
O processo de recolha é programado pela entidade responsável pela operacionalidade do sistema e é feito quando os tubos de acesso ao tubo de aspiração se encontram perto do volume máximo ocupado. Quando se chega a essa fase, ocorre a abertura de uma válvula onde os resíduos caem por gravidade e são aspirados até à central. A Tabela 2-2 ilustra o seu funcionamento.

Tabela 2-2 – Ciclo de funcionamento de um sistema de recolha pneumático [30].

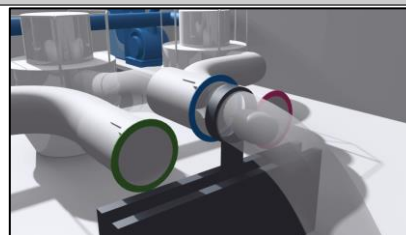
O volume de resíduos no marco de deposição central está perto da lotação máxima, ocorrendo a indicação do mesmo à central.



A central recebe a informação e ordena a abertura das válvulas de todos os marcos de deposição com o mesmo tipo de resíduos depositados. Esta ocorrência permite a recolha de resíduos de um só tipo por toda a cidade de uma vez só. Mesmo que outros depósitos estejam quase vazios as válvulas abrem de igual forma para rentabilizar o uso da energia na aspiração dos resíduos.



O segmento final do tubo de aspiração é automaticamente direcionado para o respetivo tubo de engate do depósito da central dependendo do tipo de resíduos que se encontra a recolher.



O camião de recolha recolhe os resíduos do depósito e transporta-os para operações de pós-processamento.



A implementação desta infraestrutura é bastante dispendiosa, sendo necessárias grandes intervenções no subsolo do local de instalação e caso seja necessário executar atualizações futuras, o sistema não revela grande flexibilidade para tal, dando origem a operações onerosas para que estas possam ocorrer. Para além disso, dada a morfologia do sistema, este está sujeito à ocorrência de bloqueamentos dos tubos subterrâneos. Isto levanta grandes problemas pois não existe forma de se saber a localização exata do entupimento [31].

Por outro lado, esta tecnologia pode ser rentabilizada em longo prazo dada a enorme poupança que pode ser feita a nível de manutenções e energia gasta comparativamente a outros sistemas de depósito subterrâneo. Estas diferenças estão associadas à redução da distância efetuada pelos veículos de recolha e à eliminação de contentores subterrâneos localizados. Outra poupança é a redução do

número de operários, pois a recolha do lixo é totalmente automatizada. Com isto, estima-se que a redução de custos anuais de operacionalidade, isto é, de manutenção e energia, rondam os 67% [31].

Esta tecnologia tem sido alvo de diversas atualizações que visam reduzir os custos associados. Estas atualizações passam pela introdução de prensas de compactação por baixo dos marcos de deposição que permite a redução do volume de lixo, sendo possível diminuir o diâmetro dos tubos de aspiração bem como o caudal de aspiração até 50% [32]. Para além disso, a diminuição da circulação de veículos de recolha permite uma redução anual de cerca de 82% nas emissões de partículas,  $N_2O$  e  $CO_2$  [33].

Com a passagem dos anos, surgiu uma iteração desta tecnologia que consiste numa central móvel, isto é, a adaptação de um camião de recolha com um motor que gera pressão negativa capaz de aspirar os resíduos dos tubos subterrâneos através de um orifício de ligação à superfície. Isto permite que o camião se desloque apenas aos locais de recolha estipulados sem ser necessário passar por todos os contentores, sendo também uma forma de garantir que menos emissões sejam produzidas ao longo do processo de recolha. A recolha dos diferentes resíduos é feita a partir de válvulas que conduzem os mesmos até ao camião de recolha, o qual possui diferentes câmaras para cada tipo de resíduos. Por último, de igual forma os camiões transportam os resíduos até às estações de pós processamento [34]. A Figura 2-21 ilustra um exemplo de um camião de recolha pneumática.



Figura 2-21 – Camião de recolha pneumático “Movac” [34].

## 2.3 Mecanismos de acoplamento para guas

Com a existência de diversas opções construtivas para deposição de resíduos subterraneamente, a adaptabilidade destes aos camiões de recolha torna-se um fator importante para que seja possível rentabilizar as operações de colheita de resíduos dos diferentes tipos de contentores instalados. A existência mecanismos de acoplamento permite que vários contentores sejam recolhidos por um só camião, dependendo do tipo de grua instalado no mesmo. Para além disso, os diferentes tipos de engate podem ser adaptados a qualquer tipo de contentor subterrâneo que utilize guas como método de recolha.

### 2.3.1 Gancho simples

O gancho simples representa-se como a opção mais acessível para levantamento dos contentores subterrâneos. A razão por detrás disso é o reduzido número de partes móveis associadas a este sistema comparativamente aos restantes.

O processo de engate pode ser feito com uma grua *standard* e a abertura das portas inferiores pode ser realizado de duas formas. Uma passa por instalar um cabo na tranca da porta, onde através da movimentação desse mesmo cabo por parte do operador a porta liberta-se e os resíduos caem por gravidade. O cabo encontra-se ligado a um travão mecânico e quando este é puxado, o travão é retirado, abrindo o alçapão. A remoção do travão mecânico pode ser feita sem o cabo, no entanto envolve o contacto direto do operador com o contentor, dificultando a tarefa. Outra consiste num pedal instalado na porta que, quando entra em contacto na zona de despejo do camião, é acionado pela própria geometria do depósito do camião. A Figura 2-22 ilustra os dois tipos de abertura abordados.



a)



b)

Figura 2-22 – Abertura do alçapão com recurso a um cabo e com recurso ao contacto com o camião, respetivamente em a) e b) [35,36].

Para ambos os casos, para se proceder ao fecho dos alçapões basta que os contentores pousem por cima destes e eles bloquear-se-ão novamente. No caso em particular dos contentores que usam o fio, para além do que foi dito, o operador tem de colocar o travão mecânico no seu local designado antes de o baixar até à cuba.

Relativamente ao gancho, este pode apresentar-se de variadas formas desde que sejam compatíveis com a grua e suportem a massa do contentor numa situação limite, isto é, a massa própria em conjunto com a massa dos resíduos. Na Figura 2-23 pode-se visualizar dois exemplos de ganchos simples aplicados a contentores e a grua capaz de os recolher.

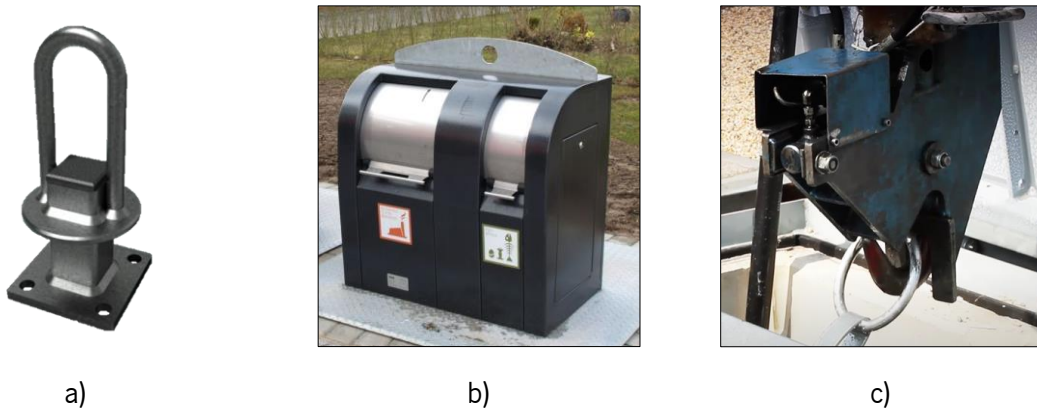


Figura 2-23 – Argola simples, placa furada e grua *standard*, respetivamente em a), b) e c) [37–39].

### 2.3.2 Gancho duplo e triplo

O aparecimento deste tipo de ganchos permitiu que o processo de recolha se tornasse mais fácil. Quando se compara este tipo de engate ao de gancho único depara-se que há uma redução na carga de esforço do operador pois apenas com os controlos da grua consegue-se controlar todo o sistema, incluindo a abertura dos alçapões inferiores. Na Figura 2-24 pode-se observar o tipo de ganchos em causa.



Figura 2-24 – Gancho duplo e triplo, respetivamente em a) e b) [40,41].

A grande diferença entre o gancho duplo e o triplo reside no facto de no triplo apresentar uma maior estabilidade de operação. No caso do duplo, uma argola é fixa e sustenta o contentor e outra é móvel e controla a abertura de ambas as portas simultaneamente. O gancho triplo funciona de igual forma, no entanto duas argolas estão dispostas para o levantamento do contentor.

O funcionamento do sistema é assegurado por uma grua especificada para o efeito, que no acoplamento segura na(s) argola(s) fixa(s) e eleva a restante para impedir a abertura dos alçapões enquanto o contentor não se encontra sobre o camião. Logo que o contentor esteja sobre o camião a argola é aliviada no seu curso e os alçapões abrem. A ligação das argolas às portas pode ser feita através da ligação direta de correntes ou cabos de aço, ou indireta através de correntes ou cabos de aço conectados a guias metálicas que, por sua vez, se ligam às portas. Em alternativa, a ligação pode ser executada com um sistema de alavancamento transversal em que através do levantamento e abaixamento do gancho, promove-se o movimento vertical de um sistema articulado que, por sua vez, origina a abertura e o fecho das portas. A Figura 2-25 ilustra um mecanismo de alavancamento transversal e o seu processo de abertura nas duas posições extremas, isto é, a argola içada com o alçapão fechado e a argola solta com o alçapão aberto.



Figura 2-25 – Posicionamento dos elementos mecânicos com alçapões fechados e abertos, respetivamente em a) e b) [42].

### 2.3.3 Gancho *kinshoffer*

Este sistema, também denominado como gancho "cogumelo", representa-se como uma evolução dos sistemas anteriormente abordados. O funcionamento deste é idêntico ao do gancho duplo e triplo, onde correntes ou cabos de aço fazem a ligação do gancho às portas inferiores, ou então através de um sistema de alavancamento transversal. Na Figura 2-26 pode-se observar o gancho abordado.





Figura 2-26 – Gancho *kinshoffer* [43].

A introdução deste gancho na indústria da gestão e tratamento de resíduos veio otimizar as operações de recolha dos mesmos. Dada a sua superfície de apoio circular, este gancho é aquele que permite a maior estabilidade de recolha relativamente a qualquer outro. Para além disso, estes podem ser dotados de incisões nessa mesma superfície, garantindo a máxima estabilidade ao contentor na operação de recolha.

Para efetuar o levantamento do contentor é necessário utilizar uma grua especializada que seja compatível com o gancho *kinshoffer*. Estas gruas podem ser controladas por um só operador como nos sistemas de gancho duplo e triplo, no entanto este processo pode ser ainda mais autónomo, isto é, o operador faz todo o trabalho sem deixar a cabina do camião. Estes sistemas automáticos apenas exigem ao operador o alinhamento da cabeça da grua com o gancho do contentor, pois o levantamento, a descarga e o pouso do contentor é executado automaticamente. Para além disso, o mesmo pode ser feito para a lavagem de contentores, tendo exatamente o mesmo procedimento por parte do operador. A Figura 2-27 ilustra um exemplo de uma grua responsável pelo levantamento deste tipo de ganchos.



Figura 2-27 – Grua *Speed-Gripper* [44].

### 3. SISTEMA EM OPERAÇÃO

Neste capítulo encontra-se evidenciado o sistema de ecopontos montados pela empresa proponente. Aqui, não só serão expostos os seus componentes e limitações, mas também as especificações e requisitos para o novo projeto.

#### 3.1 Sistematização do ecoponto

O ponto de partida deste projeto baseia-se num sistema de recolha que se encontra vastamente implementado por diversas cidades portuguesas. A sua aplicação até aos dias de hoje revela a simplicidade do sistema, quer na sua construção, quer na sua operacionalidade. Esta simplicidade permite a recolha de resíduos por qualquer tipo de maquinaria com uma grua simples, apresentando-se como uma solução sólida e eficaz para muitas entidades de recolha com poucos recursos disponíveis para recolha de resíduos. Para além disso, a entidade fabricante garante o sistema por 5 anos, no entanto estes revelam-se bastante fiáveis ao longo dos anos.

Com vista a facilitar a análise do ecoponto, este será dividido em dois subsistemas: o da cápsula isolante e do contentor. A Figura 3-1 ilustra a divisão do ecoponto em dois subsistemas.

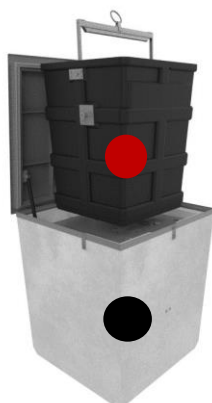


Figura 3-1 – Divisão do produto nos subsistemas contentor e cápsula isolante, respetivamente indicadas a vermelho e a preto [45].

##### 3.1.1 Cápsula isolante

Este subsistema representa todos os componentes envolventes ao contentor, isto é, aqueles que são responsáveis pelo isolamento total de todo o tipo de resíduos depositados nos ecopontos. Sem estes, os líquidos e o mau cheiro gerados pelo lixo iriam poluir o solo envolvente e, conseqüentemente, os lençóis freáticos.



A cápsula isolante é constituída por dois componentes: a cuba estanque e a plataforma pedonal. A cuba é produzida em betão, o qual lhe garante uma elevada resistência estrutural para suporte do solo envolvente e permite a estanquicidade de líquidos e odores dada a sua impermeabilidade. Para além disso, esta pode ter vários tamanhos dependendo do tamanho de contentor a instalar. Na Figura 3-2 pode-se visualizar o tipo de cubas utilizadas para o sistema abordado.



Figura 3-2 – Cubas de betão para contentores de 3 m<sup>3</sup> e 5 m<sup>3</sup>[45].

Por outro lado, a plataforma pedonal é concebida em aço de baixo teor em carbono de elevada resistência mecânica, que juntamente com a geometria do componente garantem imensa rigidez à estrutura, sendo assim capaz de suportar a massa das pessoas que passam sobre ela. Para além disso, a plataforma pedonal permite o isolamento de odores do contentor uma vez que funciona como uma tampa deste, que permite a existência de um meio urbano mais higiénico e, conseqüentemente, mais saudável.

A abertura da plataforma pedonal pode ser realizada manualmente por via de amortecedores ou então de forma completamente automática por circuito elétrico. Na plataforma manual, o operador procede à abertura da mesma através de uma chave que destranca a fechadura e, de seguida, realiza o levantamento com a ajuda dos amortecedores. Quanto à plataforma automática, o operador procede, igualmente, ao desbloqueio da fechadura com a chave especificada e de seguida a plataforma ascende automaticamente por operação de um atuador elétrico linear. Na Figura 3-3 pode-se observar a plataforma pedonal abordada.



Figura 3-3 – Plataforma pedonal de atuação manual [45].

Como meio de promover a segurança da comunidade, estas plataformas pedonais podem estar dotadas de guias soldadas à parte inferior, limitando o atravessamento da área da abertura superior da cuba e impedindo a queda para dentro da mesma. Em alternativa, pode-se instalar na cuba um sistema de segurança que consiste numa plataforma com trancas de segurança que é elevada, aquando da remoção do contentor, por via de amortecedores. O amortecedor apenas terá de impulsionar a massa própria do sistema de segurança, uma vez que o suporte da massa sobre a plataforma é feito exclusivamente pelas trancas de segurança. Para promover ao descendimento da mesma, coloca-se o contentor sobre os pedais, os quais desengatam as trancas, e esta, com a massa do contentor, descenderá até à posição inicial. Na Figura 3-4 consta os dois tipos de sistemas de segurança existentes para este modelo de ecopontos.



a)



b)

Figura 3-4 – Plataforma pedonal com guias soldadas e superfície de segurança atuada por amortecedor, respetivamente em a) e b) [45].

### 3.1.2 Contentor

Este subsistema é formado pelo contentor propriamente dito e o marco de deposição. A função destes componentes é a acumulação dos resíduos depositados e o isolamento primário dos mesmos com o meio envolvente. O contentor é construído em polietileno e pode ser construído com vista a duas

especificações: uma para descargas na traseira do camião e outra para descarga superior. Consoante a especificação escolhida o contentor apresenta componentes mecânicos diferentes, existindo o de fundo aberto por alçapão para descargas superiores e o de fundo fechado para descargas traseiras. Os elementos mecânicos responsáveis pela sustentação da massa do contentor, isto é, as guias e argolas, são manufacturadas em aço galvanizado a quente, o qual lhes garante elevada resistência. Na Figura 3-5 pode-se observar os diferentes tipos de contentor e em diferentes tamanhos.



Figura 3-5 – Contentores de fundo aberto, de 3 m<sup>3</sup> e de 5 m<sup>3</sup>, e de fundo fechado de 3 m<sup>3</sup> [45].

Ambos os tipos de contentores possuem uma barra superior com um gancho simples *standard* para que seja possível remover o contentor da cuba por intervenção de uma grua, no entanto os de fundo aberto possuem maior complexidade mecânica por adição de partes móveis. A abertura do fundo pode ser feita de diferentes formas conforme seja mais benéfico para a entidade responsável pela recolha dos resíduos efetuar a recolha. As escolhas existem desde o gancho simples até ao gancho *kinshoffer*, promovendo a utilização deste tipo de sistemas de recolha para qualquer tipo de gama de equipamentos de recolha disponíveis. Na Figura 3-6 pode-se visualizar a barra estrutural para levantamento do contentor com diferentes configurações de ganchos.

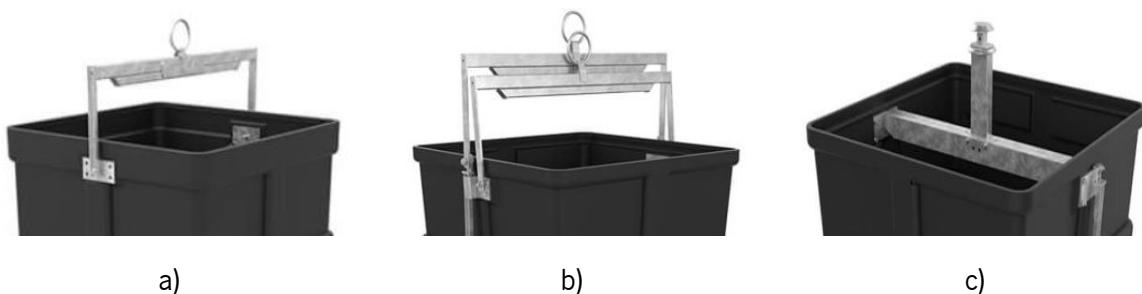


Figura 3-6 – Barra com gancho simples, gancho duplo e gancho *kinshoffer*, respetivamente em a), b) e c) [45].

Relativamente ao marco de deposição, este é montado sobre a plataforma pedonal e funciona como uma extensão do contentor, isto é, permite a deposição dos resíduos pela sua abertura superficial e isola o meio envolvente dos maus odores. Os marcos de deposição são desenvolvidos de forma a se

enquadrarem ao meio em que se inserem, podendo apresentar diversos *designs*. Normalmente são construídos em aço inoxidável pela sua resistência aos fatores externos, como chuva e poeiras, mas também pelo facto de ser facilmente ambientado a qualquer tipo de local dada as suas características visuais. A Figura 3-7 ilustra diferentes *designs* de marcos de deposição existentes neste modelo de ecopontos.



Figura 3-7 – Marcos de deposição *IKON*, *IKONIC* e *RETRO*, respetivamente em a), b) e c) [46].

Para além disso, os marcos de deposição podem estar dotados das mais recentes tecnologias da gestão de resíduos, nomeadamente sensores de enchimento para otimização de rotas de recolha e também da contagem do número e massa de deposições por habitante com pagamento de uma taxa associada. Este conceito, conhecido como PAYT, promove a redução da produção de resíduos indiferenciados por pagamento de uma taxa variável conforme a massa de resíduos produzida, incentivando assim à sua separação e reciclagem [47].

## 3.2 Avaliação do sistema

Com o avanço tecnológico, o número de soluções para melhoramento da gestão de resíduos aumentou consideravelmente. Este aumento deve-se ao facto de existirem limitações nos sistemas atualmente instalados, nomeadamente nos tempos de recolha e de higienização de contentores. De forma a combater estas limitações, existem certos requisitos e especificações a seguir para aumentar a competitividade do produto no mercado.

### 3.2.1 Limitações do sistema

No caso dos contentores montados pela empresa proponente, estes possuem duas vertentes: o de fundo fechado e o de fundo aberto, ambos com gancho simples. Esta informação indica-nos que o tempo de recolha destes modelos em particular são morosos e requerem, normalmente, mais do que um operador. A recolha demorada deve-se ao número de operações necessárias para efetuar a mesma, como consta na Tabela 3-1.

Tabela 3-1 – Procedimento para recolha de resíduos no sistema de recolha abordado [39,48–50].



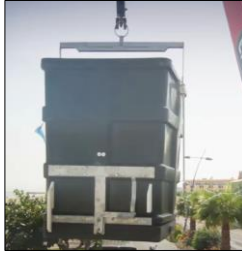

Operações	Fundo Fechado	Fundo Aberto por Alçapão
Desbloqueio e abertura da plataforma pedonal. O processo é idêntico em ambos os sistemas.		
Engate da grua e remoção do contentor da cuba estanque. A diferença reside nos contentores ilustrados.		

Tabela 3-1 – Procedimento para recolha de resíduos no sistema de recolha abordado [39,48–50] (cont.).

<b>Operações</b>		<b>Fundo Fechado</b>	<b>Fundo Aberto por Alçapão</b>
<b>Fundo Fechado</b>	Colocação do contentor nos braços mecânicos do camião, seguida da deposição dos resíduos na traseira do mesmo.		
<b>Fundo Aberto por Alçapão</b>	Colocação do contentor sobre o camião e remoção da tranca de segurança do alçapão.		
<b>Fundo Aberto por Alçapão</b>	Abertura do fundo do contentor.	X	
<b>Fundo Fechado</b>	Colocação do contentor na cuba e fecho da plataforma pedonal.		
<b>Fundo Aberto por Alçapão</b>	Fecho da tampa por encaixe, colocação da tranca de segurança e recolocação do contentor na cuba.		

Para além disso, as operações de limpeza e higienização destes ecopontos são executadas por um operador com recurso a uma pistola de jato de água com aditivo desinfetante, constituindo um processo manual e demorado.

A limpeza é executada no contentor, na superfície pedonal, no marco de deposição e no interior da cuba. No contentor, esta tanto é feita dentro como fora do mesmo, sendo por isso necessário

movimentá-lo para efetuar as passagens do jato nas diferentes partes do mesmo. Na Figura 3-8 pode-se visualizar diferentes etapas do processo de limpeza de todo o sistema subterrâneo.



a)



b)



c)



d)

Figura 3-8 – Limpeza do contentor, do marco de deposição, da plataforma pedonal e da cuba estanque, respetivamente em a), b), c) e d) [51].

O processo de higienização promove uma maior adaptação dos sistemas de contentores no meio onde se inserem, inibindo a propulsão bacteriana e conseqüentemente eliminando o mau cheiro. Estas ações são benéficas para o combate à poluição e promovem o enaltecimento da saúde pública.

### 3.2.2 Requisitos e especificações para o novo sistema

Tendo em conta os dois problemas assinalados, surgiram propostas de forma a combater as necessidades do mercado. Com isto, as vantagens e as desvantagens de cada solução apresentada estão definidas na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 – Análise de propostas para solucionar os problemas em estudo.

<b>Propostas</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<p>Implementação de um gancho duplo ou <i>kinshoffer</i> ao sistema atual.</p> <p>(Ver <b>Figura 3-6 b) e c)</b>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação da tranca de segurança manual;</li> <li>• Abertura dos alçapões controlados pela grua;</li> <li>• Redução no tempo de recolha do ecoponto;</li> <li>• Apenas é necessário um operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adição de partes móveis ao sistema, torna o sistema mais complexo;</li> <li>• Necessidade de inspeção e manutenção mais exigente;</li> <li>• Necessidade de proceder à abertura da plataforma pedonal previamente à recolha do contentor.</li> </ul>
<p>Adaptação do sistema atual com o princípio de levantamento unificado.</p> <p>(Ver <b>Figura 2-17 a)</b>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação do tempo de abertura e fecho da plataforma pedonal;</li> <li>• Tempo de recolha mais reduzido que o anterior (até 46 % dependendo da experiência do operador, do tipo de gancho e/ou grua);</li> <li>• Necessidade de apenas um operador</li> <li>• Maior adaptabilidade aos veículos de limpeza relativamente à anterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos resistente que os de aço em situações de vandalismo e em impactos durante a operação de recolha;</li> <li>• Necessidade de inspeção e manutenção mais exigente.</li> </ul>
<p>Desenvolvimento de um contentor metálico de levantamento unificado.</p> <p>(Ver <b>Figura 2-17 b)</b>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas do sistema anterior;</li> <li>• Opção mais resistente;</li> <li>• Elevada durabilidade dos materiais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opção mais pesada;</li> <li>• Carência de inspeção e manutenção mais rigorosa.</li> </ul>

Conforme o que foi supramencionado, a primeira proposta é aquela que exige menos investimento, pois a única alteração existente é no sistema de acoplamento à grua do camião de recolha. Apesar de ser uma opção viável ao melhoramento do tempo de recolha, não o faz da forma mais eficaz devido à necessidade de manuseamento da plataforma pedonal, que consome tempo. Para além disso, elimina-se a necessidade de alocação de mais do que um trabalhador para a realização da recolha, pois toda esta é controlado pelo controlo remoto da grua.



De seguida, a segunda proposta permite a adaptação do sistema atualmente implementado com vista às novas tecnologias do ramo, com a introdução da unificação da plataforma pedonal ao restante conjunto de componentes, eliminando duas etapas necessárias à operação de recolha e/ou limpeza dos ecopontos. Evidências videográficas demonstram que um tempo de 3 min e 25 s, correspondentes à operação de recolha de um ecoponto subterrâneo com plataforma pedonal separada do corpo do contentor, pode ser reduzido para 1 min e 50 s num sistema de contentorização unificada [49,52]. Esta diferença pode variar dependendo do tipo de engate e da experiência do operador. O maior benefício deste tipo de sistema é a possibilidade de executar todo o processo de recolha sem sair do interior do camião, uma vez que não são necessárias pré etapas para proceder à recolha dos resíduos.

Por último, a terceira proposta representa a versão alternativa à segunda, no entanto de maior refinamento mecânico. Os contentores unificados metálicos apresentam-se como os mais duráveis e os mais resistentes, nos quais existe melhor capacidade para inovação no seu funcionamento, uma vez que estes são mais fáceis de se adaptar relativamente aos de plástico. O projeto conceptual do novo sistema vai-se reger por esta proposta, dado que é aquela que foi solicitada pela empresa proponente.

## 4. PROJETO CONCEPTUAL DO NOVO ECOPONTO

No presente capítulo pretende-se elucidar o projeto elaborado no âmbito das especificações estipuladas.

Para além dos requisitos previamente abordados, a empresa proponente requereu que o sistema desenvolvido possuísse certas características mais específicas:

- Mecanismo de acoplamento de gancho duplo;
- Alçapões que no total fossem capazes de suportar até 70 litros de resíduos líquidos;
- Plataforma de segurança com apenas um amortecedor para cada porta;
- Plataforma de segurança compatível com ambos os sistemas, isto é, o atualmente em utilização e aquele que vai ser projetado.

Posto isto, foi desenvolvido um sistema de recolha de 5 m<sup>3</sup> que permitisse dar resposta às especificações propostas, no qual serão identificados os seus componentes e características mecânicas. A escolha deste volume deveu-se ao facto de este representar o pior cenário em termos de massa bruta para a elevação do contentor em operações de recolha. A identificação dos componentes será feita por diferentes subsistemas: o de isolamento, o do ecoponto e o da plataforma de segurança. O sistema projetado pode ser observado na Figura 4-1.



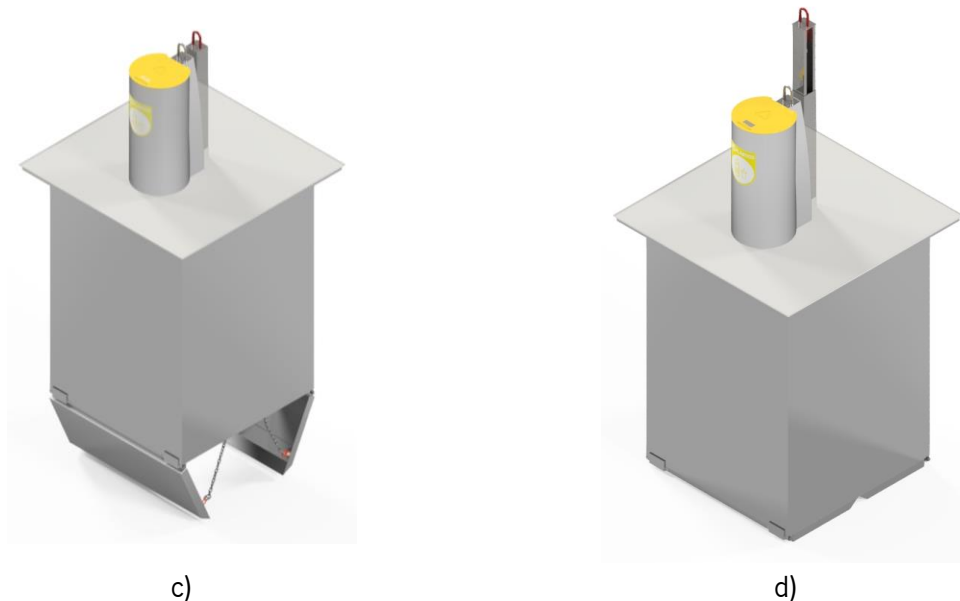
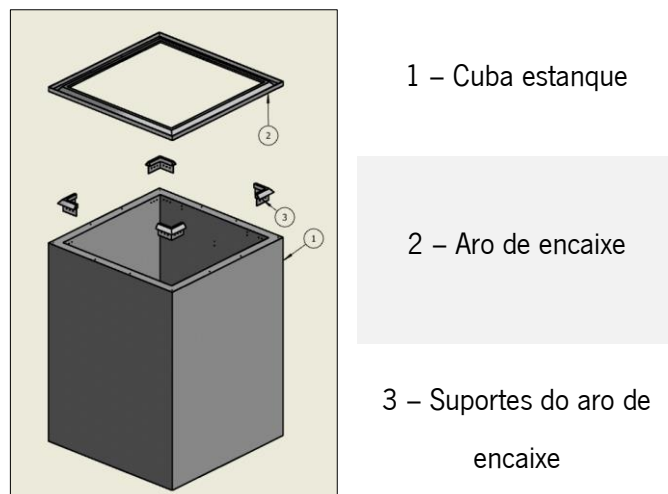


Figura 4-1 – Cuba estanque com plataforma de segurança aberta e fechada; Contentor com alçapões abertos e fechados, respetivamente em a), b), c) e d).

## 4.1 Isolamento

Este subsistema é composto pela cuba estanque e respetivos componentes associados a esta, nomeadamente, o aro de encaixe e os suportes do mesmo. A Tabela 4-1 ilustra o subsistema explodido e identificado.

Tabela 4-1 – Vista explodida do subsistema de isolamento e identificação dos respetivos componentes.



#### 4.1.1 Cuba estanque

O dimensionamento da cuba foi feito a partir das especificações requeridas, tendo a capacidade de albergamento de contentores até 5 m<sup>3</sup> de volume. A cuba é feita em betão armado com classe de resistência C40/50 segundo a norma NP EN 206-1 [53]. Na Figura 4-2 pode-se observar a cuba estanque desenvolvida.

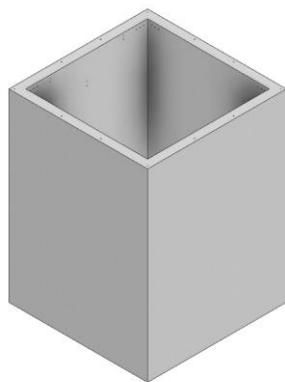


Figura 4-2 – Cuba estanque.

A estrutura da cuba foi desenvolvida de forma que os furos nela feitos estivessem conformes com as normas de distanciamento, entre centros dos furos e a distância destes às extremidades da cuba, para os elementos de ligação especificados. Para além disso, a cuba está dotada de um rebaixamento no seu fundo, ilustrado na Figura 4-3, com uma capacidade de acumulação de até 32 litros de dejetos líquidos que possam escapar do contentor, para que posteriormente se possa proceder à sua remoção através da aspiração.

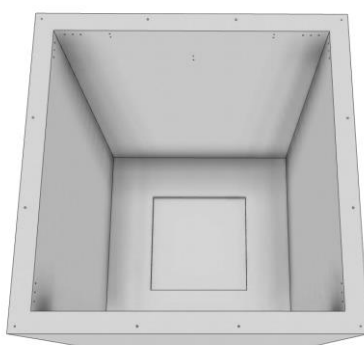


Figura 4-3 – Vista em perspetiva do interior da cuba.

#### 4.1.2 Aro de encaixe

O aro de encaixe tem como função o posicionamento devido do contentor no seu estado de repouso, isto é, no interior da cuba. Este é manufacturado em aço estrutural NP EN 10025-2 S355 de 5

mm de espessura, que sendo de baixo carbono lhe garante uma boa tenacidade, uma excelente soldabilidade e também maquinabilidade [54]. Para além disso, o aço é revestido de forma a lhe garantir propriedades anticorrosivas.

Tal como se observou na cuba, o aro de encaixe possui a mesma quantidade de furos, para parafusos de cabeça escareada, com vista à fixação do mesmo. A utilização de parafusos deste tipo permite que estes possam se integrar em profundidade na geometria dimensionada sem que haja interferências de contacto na cabeça do parafuso. Para além disso, o aro de encaixe está provido de mais quatro furos para que seja possível albergar as fechaduras das portas de segurança quando estas se encontram em posição de fecho. Na Figura 4-4 pode-se observar o aro de encaixe desenvolvido.

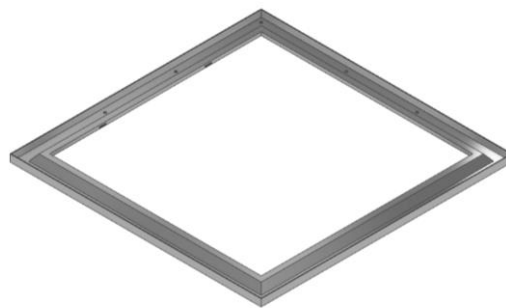


Figura 4-4 – Aro de encaixe.

#### 4.1.3 Suportes do aro de encaixe

A existência destes componentes fomenta a rigidez estrutural do aro de encaixe no momento de suporte do contentor em repouso. Estes são construídos em aço estrutural NP EN 10025-2 S355 de 5 mm com proteção anti corrosão.

Como se pode observar na Figura 4-5, o seu formato trapezoidal permite a sua conjugação ao aro de encaixe, promovendo uma ligação estável entre ambos componentes. Os furos presentes na parte inferior da geometria permitem a fixação dos suportes à cuba estanque.

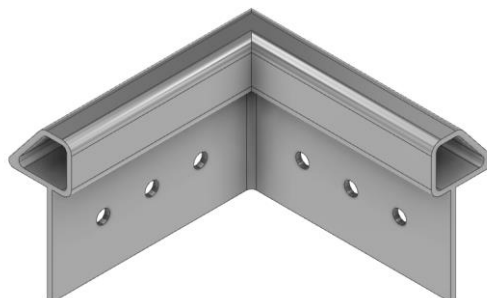
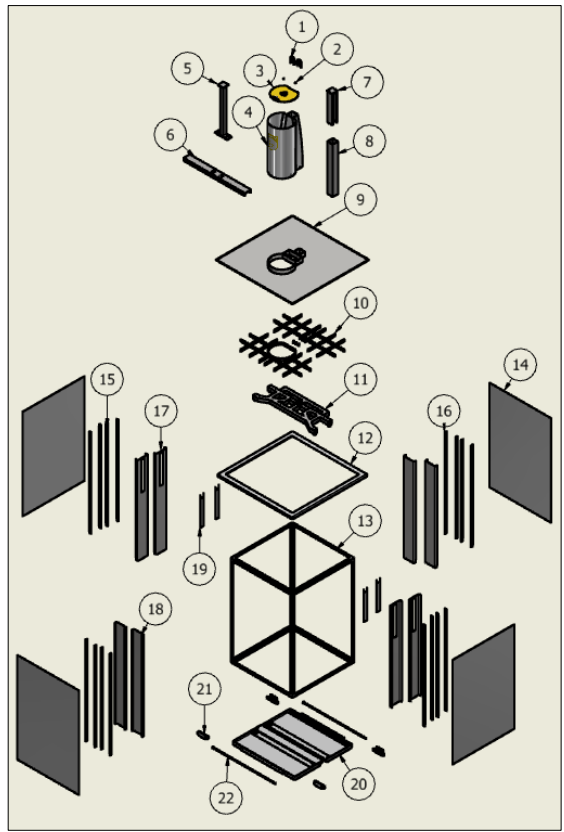
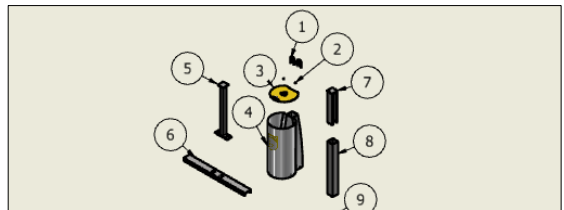
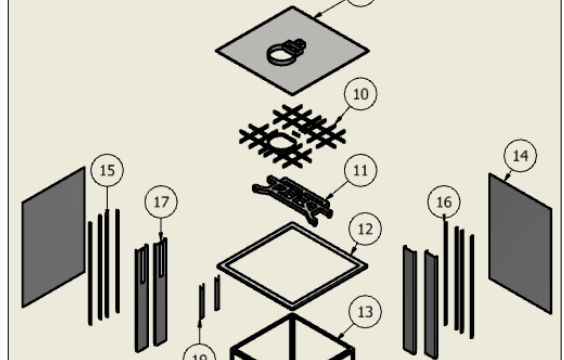
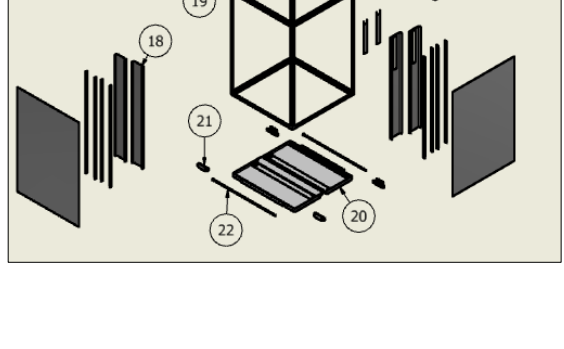



Figura 4-5 – Suporte do aro de encaixe.

## 4.2 Ecoporto

O subsistema do ecoporto é formado por todos os componentes que são removidos do interior da cuba aquando da operação de recolha ou lavagem. A Tabela 4-2 ilustra os diferentes componentes especificados e divididos em subgrupos.

Tabela 4-2 – Vista explodida do subsistema ecoporto e identificação dos respetivos componentes.

	<b>Marco de deposição</b>	3 – Tampa do contentor 2 – Dobradiças da tampa 4 – Estrutura de deposição
	<b>Estrutura de elevação</b>	1 – Gancho de elevação 5 – Tubo de elevação 6 – Barra U estrutural 10 – Régua superiores 13 – Suporte do contentor
	<b>Estrutura para mecanismo de abertura</b>	7 – Tubo fixador da corrente 8 – Tubo para passagem da corrente 11 – Perfil de engate das correntes 19 – Chapa isoladora de resíduos 17 – Chapa para passagem das correntes
	<b>Revestimento e reforço estrutural</b>	9 – Plataforma pedonal 12 – Aro de posicionamento 14 – Placa de revestimento 16 – Régua estrutural A 18 – Chapa isoladora das régua 15 – Régua estrutural B
	<b>Mecanismo de abertura</b>	20 – Alçapão do contentor 22 – Pino da dobradiça do alçapão 21 – Dobradiça do alçapão

#### 4.2.1 Marco de deposição

O marco de deposição consiste num grupo de componentes que representam a parte visível do contentor. A este encontra-se associada uma vertente mais arquitetónica, uma vez que a sua estética não é menos importante que as suas funções, isto é, existe a necessidade de adaptação do marco de deposição ao seu meio envolvente.

Posto isto, a Figura 4-6 ilustra duas geometrias distintas para a estrutura de deposição e respetivas tampas, na qual se selecionou a opção A para o projeto. Esta escolha foi feita tendo em conta a dificuldade de fabrico de ambas as opções, encarecendo o produto final.

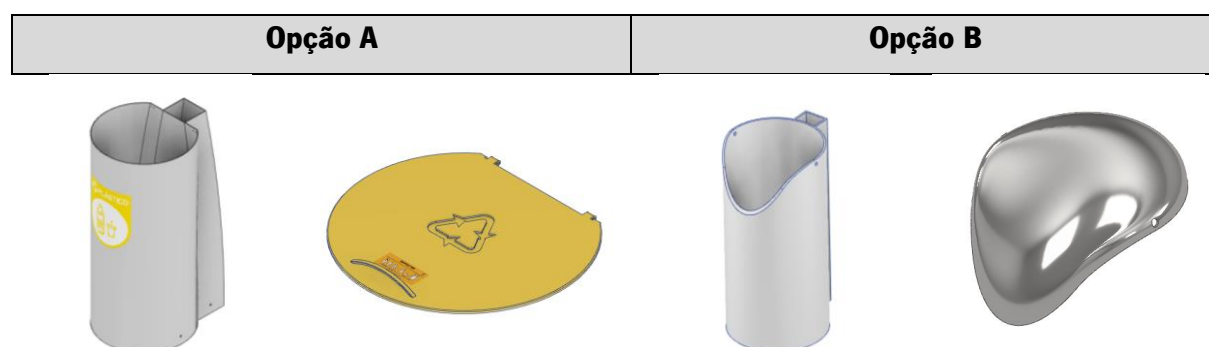


Figura 4-6 – Estruturas de deposição e respetivas tampas desenvolvidas para opções distintas.

Todos os componentes do marco de deposição são elaborados a partir de chapa de alumínio AW 5754 e barra quadrangular de AW 6082 , que lhes garante leveza e admite uma excelente soldabilidade [55,56]. A estrutura de deposição e a respetiva tampa possuem uma espessura de 3 mm, apresentando uma ótima rigidez para as suas funções. Por outro lado, as dobradiças da tampa possuem uma espessura de 8 mm na zona do furo passante para o pino, uma vez que é uma zona com bastantes ciclos de movimento ao longo da sua utilização. A Figura 4-7 ilustra a dobradiça desenvolvida para a tampa da estrutura de deposição.

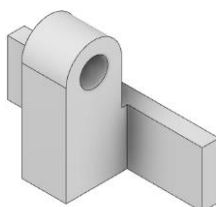


Figura 4-7 – Dobradiça da tampa da estrutura de deposição.

A estrutura de deposição foi desenvolvida de forma a isolar, conjuntamente, os resíduos depositados no contentor e o sistema de elevação, relativamente ao ambiente externo. Para tal, a

estrutura encontra-se dividida internamente, ilustrado na Figura 4-8 a), de modo que não haja contacto entre o sistema de elevação e os resíduos depositados.

Com vista ao processo de montagem, a estrutura de deposição está dotada de furos na sua parte inferior, como se pode observar na Figura 4-8 b), que por sua vez serão conectados à plataforma pedonal, a qual será abordada à frente.



Figura 4-8 – Divisória entre passagem de resíduos e sistema de elevação; furos para montagem em a) e b), respetivamente.

Relativamente à tampa da estrutura de deposição, a sua cor varia conforme o tipo de resíduos a depositar. De forma a facilitar a abertura da mesma, foi desenvolvido um puxador, como se pode visualizar na Figura 4-9 a).

Quanto à montagem da tampa à restante estrutura, os orifícios presentes na chapa enrolada permitem albergar o pino da dobradiça que consequentemente dão origem ao movimento de abertura e fecho da mesma. A Figura 4-9 b) ilustra os furos supramencionados.

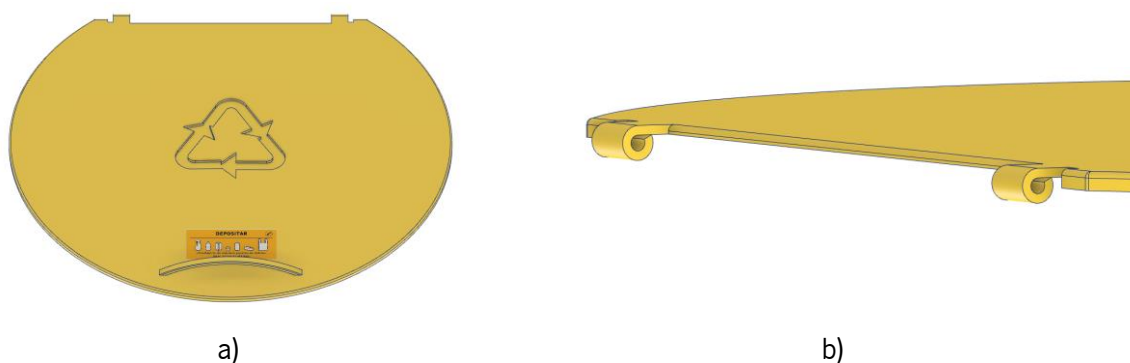


Figura 4-9 – Puxador e furos para montagem da tampa da estrutura de deposição, respetivamente em a) e b).

#### 4.2.2 Estrutura de elevação

A estrutura de elevação é a responsável pela sustentação do contentor aquando das operações de recolha de resíduos ou de lavagem do contentor. Esta possui cinco componentes: o gancho de elevação, o tubo de elevação, a barra U estrutural, as régua superiores e o suporte do contentor, sendo todos manufacturados em aço NP EN 10025-2 S355.



O gancho de elevação é obtido a partir de um varão de 25 mm de diâmetro, o qual é posteriormente revestido para combate à corrosão do meio ambiente. Este componente é o responsável pelo engate do sistema do contentor à grua do camião de recolha. A Figura 4-10 ilustra o gancho abordado.



Figura 4-10 – Gancho de elevação.

O tubo de elevação é composto por um tubo de secção quadrada NP EN 10219-1/2 de 6 mm de espessura conjugado com duas chapas de 10 mm de espessura. Na extremidade superior, encontra-se a chapa que une o gancho de elevação ao tubo de elevação através de soldadura. Por outro lado, na extremidade inferior, encontra-se a chapa que une o tubo de elevação à barra U estrutural por ligação aparafusada. Na Figura 4-11 a) pode-se visualizar o tubo de elevação desenvolvido.

A barra U estrutural apresenta-se como o elemento principal do suporte de esforços a que o contentor está sujeito e foi dimensionada segundo a norma NP EN 10279. Para além disso, foram acrescentadas à sua geometria pequenas chapas de 5 mm de espessura, ilustradas na Figura 4-11 b), com vista ao reforço mecânico da barra.

Numa perspetiva de montagem, a barra U encontra-se furada no seu centro, tal como se pode observar na Figura 4-11 c), para que seja possível efetuar a sua ligação ao tubo de elevação, tal como foi supramencionado. Por outro lado, a sua ligação às régua superiores e ao suporte do contentor é executado por efeito de soldadura.

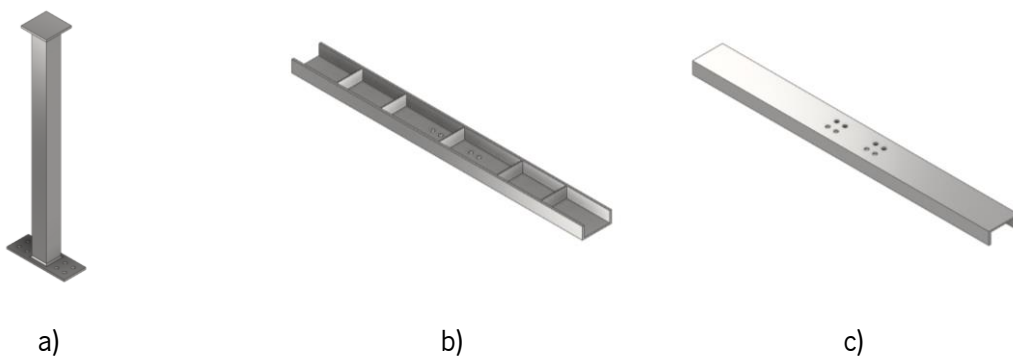


Figura 4-11 – Tubo de elevação, reforços da barra U estrutural e furos para montagem da mesma, respetivamente em a), b) e c).

As régua superiores são um conjunto de chapas soldadas de 5 mm de espessura cujo principal objetivo é o suporte da plataforma pedonal, a qual será abordada à frente, e a distribuição de tensões

pelo suporte do contentor, ao qual se encontram ligadas. Estas estão divididas em duas secções principais, isto é, uma situa-se sob a estrutura de deposição, caracterizada pela abertura ampla para a passagem dos resíduos, e outra não, como se pode observar na Figura 4-12 a). A divisão por secções deve-se ao facto da barra U estrutural se situar entre estas, promovendo a uniformidade estrutural.

Para além disso, existem ainda três chapas individuais que executam a ligação da barra U estrutural ao tubo para passagem da corrente, que será abordado adiante, de modo a finalizar a conexão estrutural de todos os componentes da estrutura de elevação, como ilustrado na Figura 4-12 b).

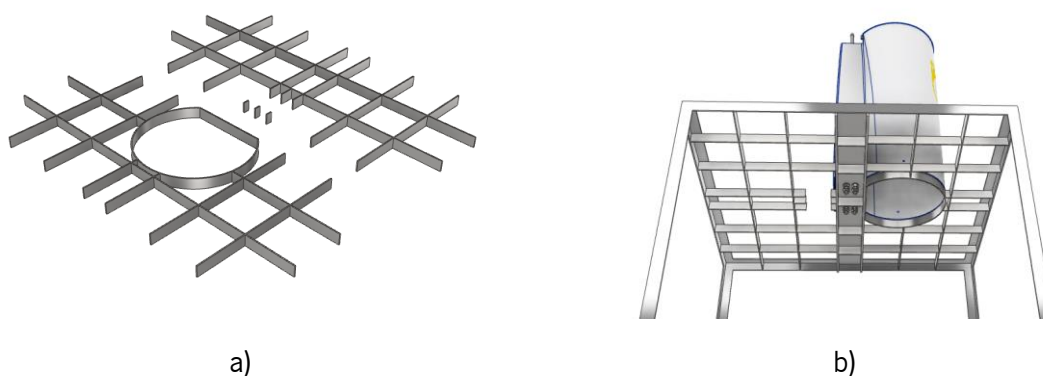


Figura 4-12 – Rêguas superiores em posicionamento relativo e subconjunto de elevação conjugado, respetivamente em a) e b).

O suporte do contentor é formado por cantoneiras de abas iguais de 55 mm e 6 mm de espessura segundo as normas NP EN 10056-1 e NP EN 10056-2. A sua função é crucial na estrutura do contentor uma vez que é o componente responsável pelo maior número de ligações estruturais entre componentes. Na Figura 4-13 a) pode-se observar o suporte de contentor desenvolvido.

Com vista à abertura dos alçapões, os quais serão abordados à frente, o suporte do contentor possui quatro furos na parte inferior, como se pode visualizar na Figura 4-13 b), de modo que se possa conectar as correntes aos respetivos anéis montados nos alçapões.

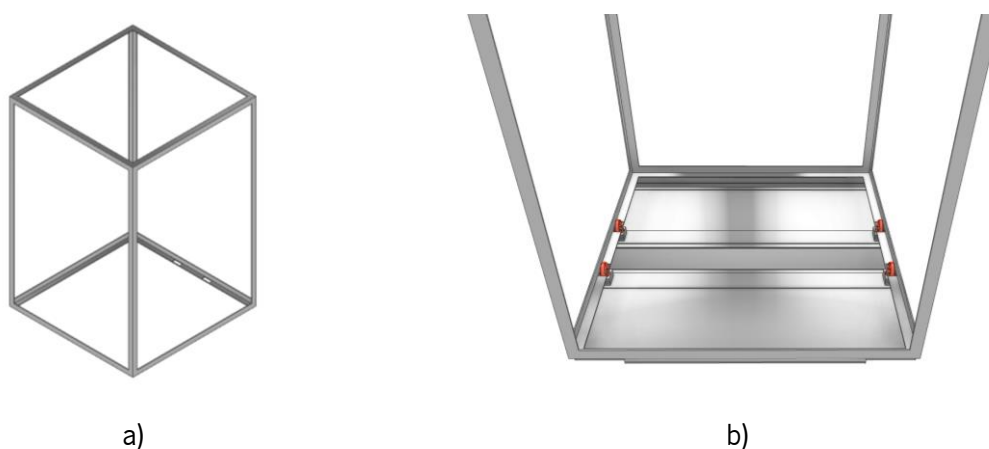


Figura 4-13 – Suporte do contentor e furos na sua parte inferior para engate das correntes, respetivamente em a) e b).

#### 4.2.3 Estrutura para mecanismo de abertura dos alçapões

A estrutura envolvente na abertura automatizada dos alçapões é composta por seis componentes: o gancho de elevação, o qual foi previamente abordado, o tubo fixador da corrente, o tubo para a passagem da corrente, o perfil de engate das correntes, as chapas para a passagem de correntes e as chapas isoladoras dos resíduos. Tal como nos outros subconjuntos de componentes identificados, este é todo ele manufacturado em aço NP EN 10025-2 S355 com revestimento anticorrosivo.

O tubo fixador da corrente consiste numa barra quadrada (70x70) soldada a uma chapa de 10 mm de espessura, a qual se vai conectar, de igual forma, ao gancho de elevação. Esta geometria é ainda inserida num tubo quadrado NP EN 10219-1/2 com 130 mm de lado e 4 mm de espessura, o qual possui um recorte longitudinal, conforme ilustrado na Figura 4-14. Por fim, a extremidade inferior do componente encontra-se aberta para que haja a passagem da corrente.



Figura 4-14 – Perspetiva isométrica e vista angular inferior do tubo fixador da corrente, respetivamente em a) e b).

Com vista à fixação da corrente, a barra quadrada está dotada de um furo roscado onde se vai localizar um anel capaz de carregar uma corrente para a abertura dos alçapões. Na Figura 4-15 a) pode-se visualizar o furo abordado.

Por outro lado, o tubo para a passagem da corrente deriva de um tubo quadrado que foi desenvolvido de forma a garantir o isolamento da corrente contra o ambiente envolvente. Este componente deriva de um tubo (140x140) que alberga o tubo fixador da corrente e funciona como ponto de repouso do último, estando fixo à plataforma pedonal e às régua superiores. Na Figura 4-15 b) pode-se observar o tubo para passagem da corrente.



Figura 4-15 – Vista em corte do tubo fixador da corrente e tubo para passagem da corrente, respetivamente em a) e b).

Relativamente ao perfil de engate das correntes, este foi desenvolvido com o intuito de fazer a transição do movimento gerado pela ascensão da corrente, fixa no tubo fixador da corrente, para as restantes quatro correntes que se encontram conectadas a si. Para isso, este está dotado de blocos roscados que representam os pontos de engate das correntes. O movimento vertical da geometria é limitado pelo facto desta se encontrar inserida nos recortes das chapas para a passagem das correntes, abordadas à frente. A sua geometria deriva da aplicação de tubos quadrados (80x80) com 5, 7 e 8 mm de espessura unidos entre si por soldadura, gerando o componente representado na Figura 4-16 a). Dada a irregularidade da geometria e a existência de apenas um ponto de apoio superior, foi aplicada uma barra quadrada (40x40) numa das extremidades de modo a equilibrar o seu centro de massa.

As chapas isoladoras de resíduos, ilustradas na Figura 4-16 b), foram desenvolvidas com vista ao cumprimento de dois objetivos: um consiste na proteção física das correntes, isto é, impedir a entrada de resíduos para o local onde circulam as correntes; o outro consiste no impedimento da movimentação do perfil de engate das correntes para fora das guias das chapas para a passagem das correntes.

As chapas para a passagem de correntes, ilustradas na Figura 4-16 c), foram projetadas para o isolamento das correntes até aos alçapões do contentor. Estas possuem 2 mm de espessura e são fixas às régua estruturais, que serão abordadas adiante, por soldadura. O rasgo situado na parte superior das chapas representam o local de guiamento para o perfil de engate das correntes. Para além disso, as chapas para a passagem das correntes acabam por ter dupla função uma vez que também isolam as régua estruturais, evitando o aprisionamento de resíduos junto a estas.

Na Figura 4-16 d) pode-se visualizar a montagem deste subsistema.

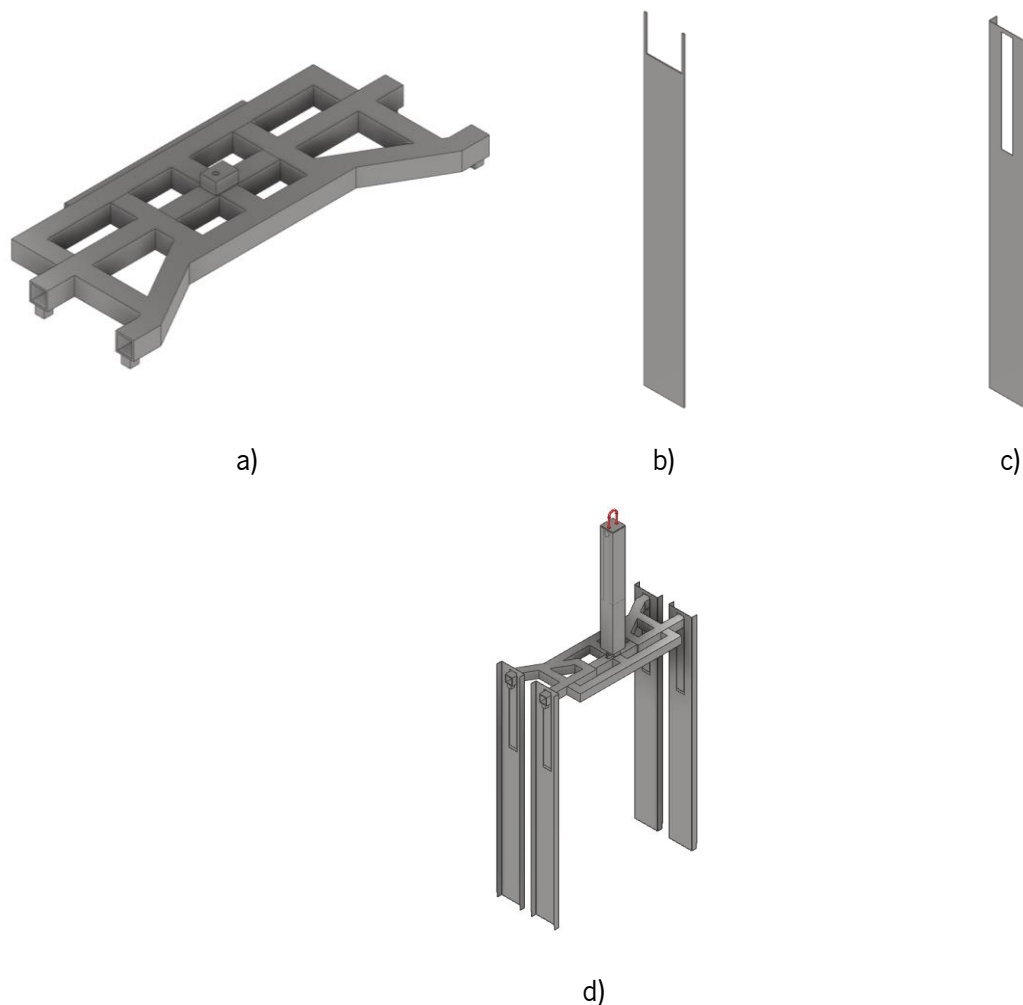


Figura 4-16 – Perfil de engate das correntes, chapa isoladora de resíduos, chapa para passagem das correntes e subsistema montado, respectivamente em a), b), c) e d).

#### 4.2.4 Revestimento e reforço estrutural

Este subconjunto é formado por seis componentes distintos: a plataforma pedonal, o aro de posicionamento, as placas de revestimento, as régulas estruturais (A e B) e as chapas isoladoras dessas mesmas régulas. Todos os componentes identificados são manufaturados em aço NP EN 10025-2 S355, não só pela resistência mecânica que providencia, mas também pela uniformidade metálica perante os restantes subsistemas que, por sua vez, facilita a fixação por soldadura entre estes.

A plataforma pedonal foi projetada para, ao mesmo tempo, revestir a parte superior do contentor do meio envolvente e para suportar as pessoas que caminhem sobre esta para deposição dos resíduos. A sua geometria deriva de uma chapa de 3 mm com rebordos que perfazem uma altura de 10 mm no seu interior. Assim, pode-se dotar a plataforma pedonal de diferentes pavimentações conforme a preferência do cliente. Para além disso, esta possui chapas perpendiculares com o formato do marco de

deposição e do tubo para passagem da corrente com vista à sua montagem por rebiteagem e por soldadura, respetivamente. Na Figura 4-17 pode-se visualizar a plataforma pedonal elaborada.

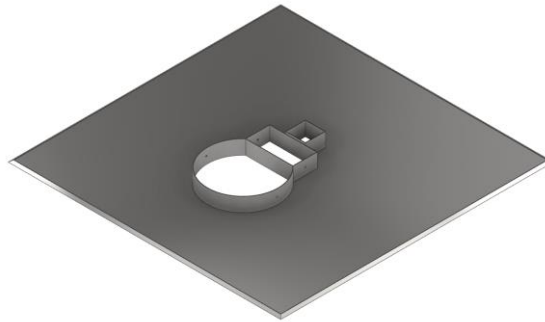


Figura 4-17 – Plataforma pedonal.

O aro de posicionamento funciona como um macho do aro de encaixe previamente abordado. Assim, o aro garante o posicionamento correto do contentor quando o último é inserido no interior da cuba. Este é projetado a partir de chapa de 3 mm de espessura e é fixo à plataforma pedonal por soldadura. A Figura 4-18 a) ilustra o aro de posicionamento desenvolvido.

As placas de revestimento são chapas de 2 mm de espessura responsáveis pelo isolamento dos resíduos no interior do contentor e a sua montagem ocorre por meios de soldadura ao suporte do contentor. Para além disso, estas servem como base para a montagem das régulas estruturais e respetivas chapas de isolamento das mesmas. Na Figura 4-18 b) pode-se observar as placas de revestimento abordadas.

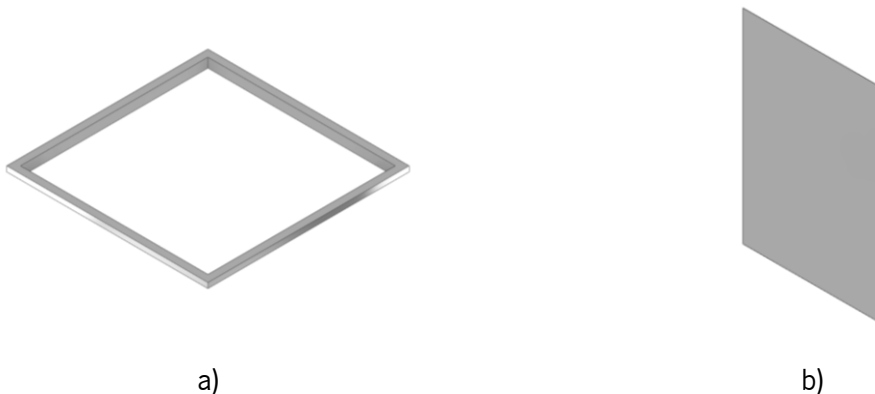


Figura 4-18 – Aro de posicionamento e placa de revestimento, respetivamente em a) e b).

As régulas estruturais A e B foram desenvolvidas como forma de reforço estrutural das placas de revestimento e para suporte das chapas por onde passam as correntes. As suas geometrias derivam de uma chapa de 5 mm de espessura. A diferença entre a régua estrutural A e B reside num recorte na extremidade superior no caso da régua B. Este recorte é necessário devido à necessidade de se prolongar o comprimento da régua até à face central da barra U estrutural uma vez que não existe coincidência direta com as régulas superiores nesta localização, como se pode visualizar na Figura 4-19 a) circundado

a preto. Por outro lado, o recorte na parte inferior, em ambos os casos, deve-se à presença do suporte do contentor, como se pode verificar na Figura 4-19 b) circundado a vermelho.

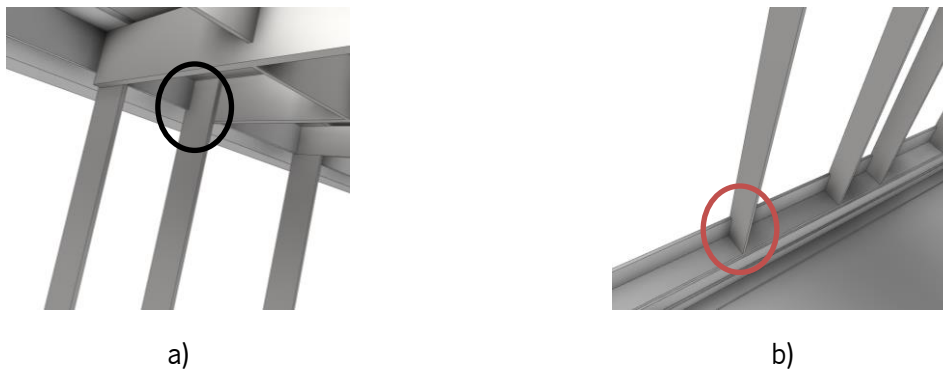


Figura 4-19 – Recorte superior e inferior, respetivamente em a) e b).

As chapas isoladoras das régua são derivadas de chapas de 2 mm de espessura e revestem as régua estruturais do contacto com os resíduos. Estas são essencialmente idênticas às chapas para passagem das correntes previamente abordadas, diferindo ligeiramente no seu comprimento e na ausência do rasgo. A Figura 4-20 ilustra as diferentes régua estruturais supramencionadas e as respetivas chapas isoladoras.

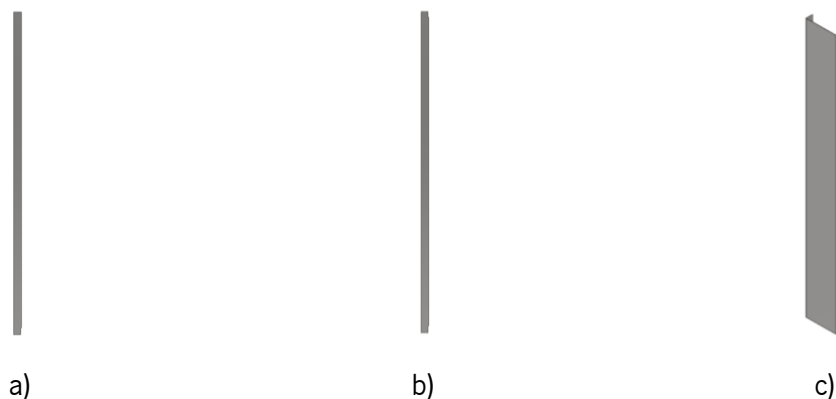


Figura 4-20 – Régua estrutural A, régua estrutural B e chapa isoladora das régua estruturais, respetivamente em a), b) e c).

#### 4.2.5 Mecanismo de abertura

O mecanismo de abertura é constituído pelos alçapões do contentor, as dobradiças dos alçapões e os respetivos pinos. Estes são manufacturados em aço NP EN 10025-2 S355 que lhes garante uma excelente resistência mecânica e soldabilidade para as suas fixações. Para além disso, todos os componentes devem ser devidamente revestidos de forma a combaterem os ataques químicos do meio envolvente, desde a presença de água até aos resíduos líquidos contidos no interior do contentor.

Os alçapões, ilustrados na Figura 4-21 a), são elaborados a partir de chapas de 3 mm nas faces laterais e de 5 mm na face inferior. No seu interior são capazes de conter 80 litros de resíduos líquidos, perfazendo os 160 litros no total. Na face lateral correspondente às dobradiças, o alçapão está dotado

de uma geometria oca, como se pode observar na Figura 4-21 b), para que se possa inserir o pino de dobradiça no seu interior. Para além disso, estes possuem reforços estruturais para aumento da sua resistência quando sujeito a cargas elevadas, nomeadamente uma cantoneira de abas iguais de 5 mm de espessura, indicada a vermelho na Figura 4-21 c), e uma placa de 5 mm de espessura, indicada a preto na Figura 4-21 c).

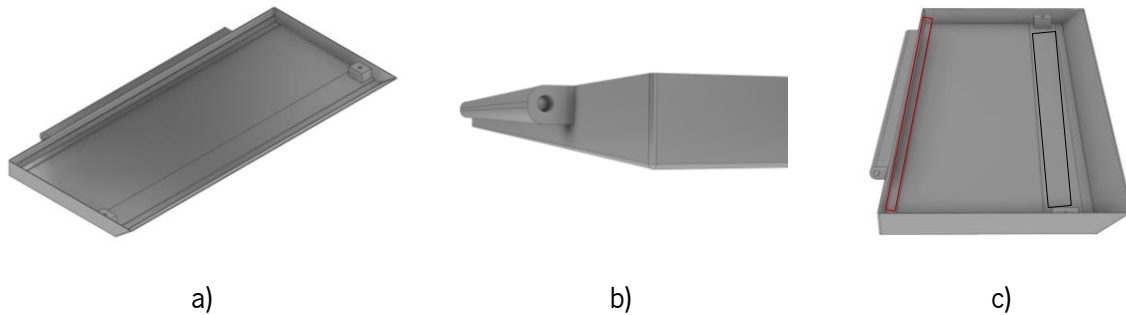


Figura 4-21 – Alçapão do contentor.

A dobradiça do alçapão foi desenvolvida a partir de tarugo que através de forjamento adquiriu a forma especificada. A esta está associada uma chapa de 10 mm de forma que se possa executar a soldadura da dobradiça às placas de revestimento do contentor. A Figura 4-22 a) ilustra a dobradiça projetada.

Relativamente ao pino da dobradiça do alçapão, este foi desenvolvido a partir de um varão de 20 mm de diâmetro de forma a garantir elevada resistência ao movimento de abertura e fecho dos alçapões. Numa das extremidades, o pino possui um perfil de maior diâmetro de modo a impedir a passagem deste para o interior da dobradiça, representando uma espécie de travão mecânico. Por outro lado, na outra extremidade, este encontra-se roscado para que seja possível limitar o seu movimento longitudinal no eixo da dobradiça através da utilização de uma porca. Na Figura 4-22 b) pode-se observar o pino projetado.

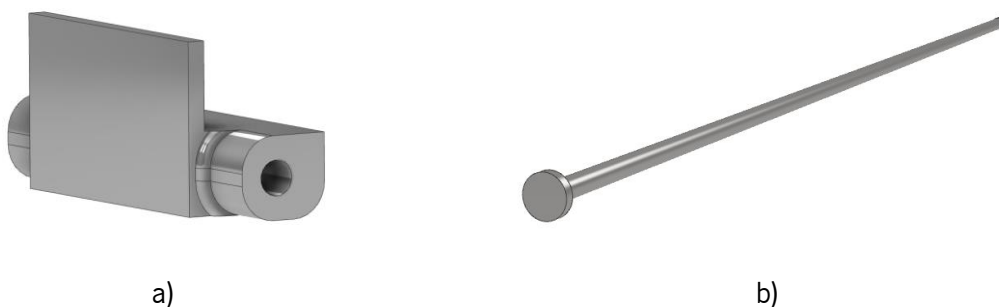


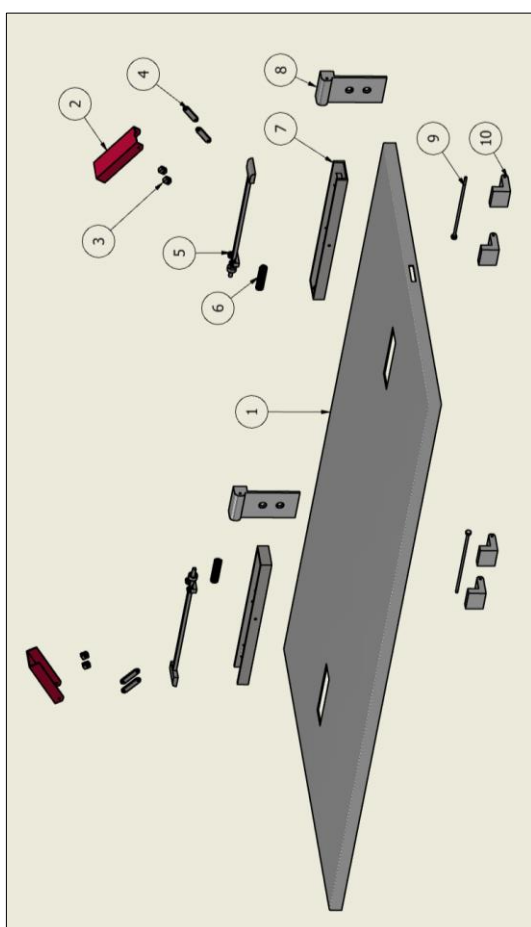
Figura 4-22 – Dobradiça e pino da dobradiça dos alçapões, respetivamente em a) e b).



### 4.3 Plataforma de segurança

A plataforma de segurança tem como objetivo garantir a segurança civil durante as operações de recolha de resíduos ou de lavagem dos contentores. O mecanismo desenvolvido para o efeito consiste numa plataforma de segurança de porta dupla, isto é, com duas portas de segurança. A Tabela 4-3 ilustra metade da plataforma de segurança, explodida e identificada, uma vez que os restantes componentes são idênticos àqueles que estão representados.

Tabela 4-3 – Vista explodida do subsistema plataforma de segurança e identificação dos respetivos componentes.



<b>Mecanismo de fechaduras atuadas por pedais</b>	1 – Porta de segurança
	2 – Pedal de acionamento da fechadura
	3 – Fixador da barra de transmissão de movimento
	4 – Barra de transmissão de movimento
	5 – Fechadura da porta de segurança
	6 – Mola de compressão
	7 – Guia da fechadura
	8 – Fixador da dobradiça da porta de segurança
	9 – Pino da dobradiça
	10 – Segmento da dobradiça da porta de segurança

#### 4.3.1 Porta de segurança

A porta de segurança representa-se como uma barreira física que tem como objetivo o impedimento de quedas para o interior da cuba estanque. Esta é manufaturada em chapa de aço NP EN 10025-2 S275 de 3 mm de espessura com tratamento anticorrosivo. Os rasgos na face superior, ilustrados na Figura 4-23 a), representam a localização dos pedais de acionamento da fechadura, que para se promover a abertura das portas é necessário que os quatro sejam acionados ao mesmo tempo. Por outro lado, na Figura 4-23 b), pode-se visualizar os rasgos laterais que são responsáveis pela passagem da fechadura para executar o trancamento das portas. Para além disso é possível observar, na Figura 4-23 c), que as portas se encontram reforçadas por tubos quadrados NP EN 10219-1/2 de 25 mm de lado e 3 mm de espessura, garantindo a rigidez necessária para o suporte da massa exigida.

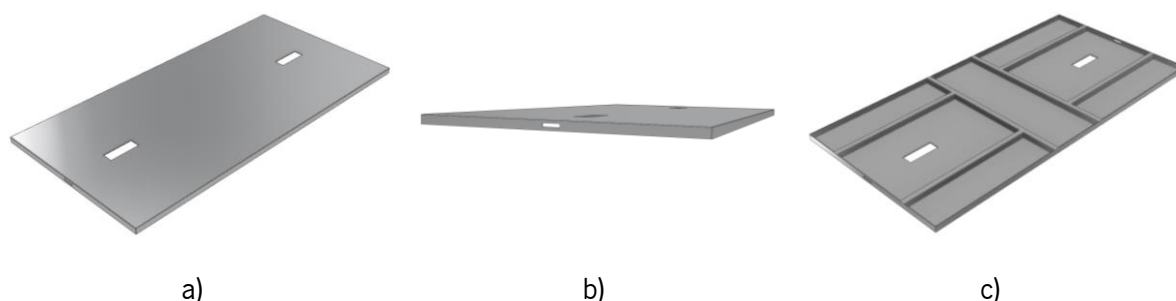


Figura 4-23 – Porta de segurança

De forma a promover o funcionamento da porta, procede-se à sua fixação através de três componentes igualmente fabricados em aço NP EN 10025-2 S275: o fixador da dobradiça e a dobradiça que por sua vez contém o pino. O fixador da dobradiça, ilustrado na Figura 4-24 a), é formado por uma chapa de 5 mm de espessura associada a uma geometria semicircular com um furo transversal. O furo identificado é onde se vai situar o pino da dobradiça, com 10 mm de espessura, que por sua vez se ligará de forma idêntica à dobradiça. Por outro lado, os furos na chapa permitem a fixação deste componente à cuba estanque.

Cada porta contém duas dobradiças que, por sua vez, são formadas por quatro segmentos de dobradiça. O segmento da dobradiça é obtido a partir de um tarugo que, através de um processo de forjamento, adquire o formato ilustrado na Figura 4-24 b). Numa extremidade esta vai ser soldada à porta e na outra, que se encontra dotada de um furo, é onde se insere o pino da dobradiça ilustrado na Figura 4-24 c).

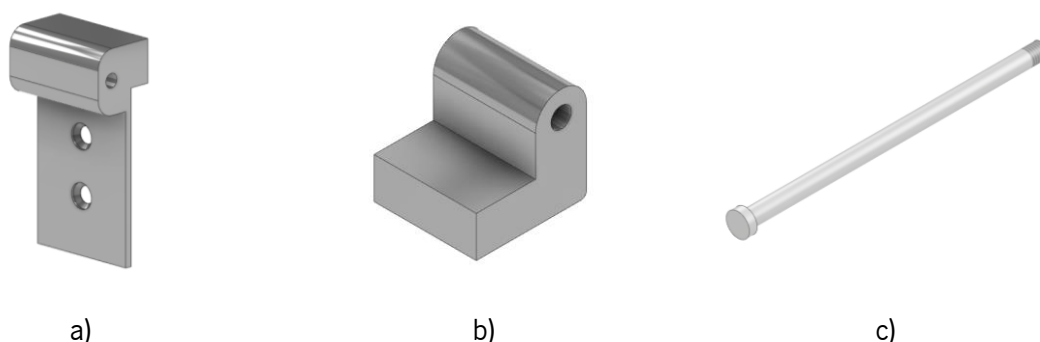


Figura 4-24 – Fixador da dobradiça, segmento da dobradiça e pino da dobradiça, respetivamente em a), b) e c).

#### 4.3.2 Mecanismo de fechaduras atuadas por pedais

O princípio de funcionamento da plataforma de segurança é alcançado pela utilização deste conjunto de componentes: os pedais de acionamento das fechaduras, os fixadores das barras de transmissão, as barras de transmissão do movimento, as fechaduras, as molas de compressão e as guias das fechaduras. Todos os componentes identificados são manufacturados em aço NP EN 10025-2 S275 à exceção da mola de compressão que é fabricada em aço inoxidável AISI 316.

O pedal de acionamento da fechadura deriva de uma chapa de 2 mm de espessura adquirindo a forma ilustrada na Figura 4-25 a) a partir de operações de quinagem. A sua geometria simples permite que exista a interação destes com o contentor, originando a desbloqueio das fechaduras e consecutiva abertura das portas. Esta possui um furo no centro de uma das faces laterais uma vez que é necessário introduzir-se um elemento de ligação no seu interior. Para além disso, os furos presentes na extremidade semicircular correspondem aos pontos de fixação deste à guia das fechaduras, que serão abordadas à frente.

As barras de transmissão de movimento são as responsáveis pela transmissão do movimento angular dos pedais, transformando-o num movimento longitudinal das fechaduras. De forma a tornar a ligação resistente, são utilizadas duas barras por cada pedal e cada fechadura. Os furos presentes nas suas extremidades são para a sua fixação aos fixadores e à fechadura. Na Figura 4-25 b) pode-se observar as barras de transmissão de movimento projetadas.

Os fixadores das barras da transmissão, conectam estas aos pedais e derivam de uma chapa de 2 mm. Como são utilizadas duas barras de transmissão por pedal, também são necessários dois fixadores uma vez que estes se encontram soldados ao último. Na Figura 4-25 c) pode-se visualizar o fixador desenvolvido.

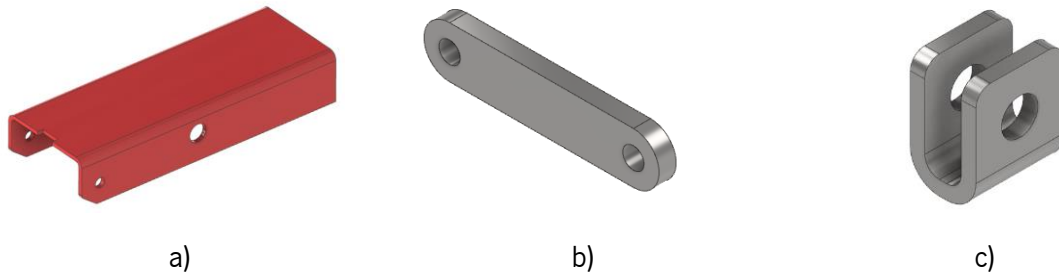


Figura 4-25 – Pedal de acionamento da fechadura, barra de transmissão e fixador da barra de transmissão, respetivamente em a), b) e c).

A fechadura representa-se como o componente crucial à plataforma de segurança, uma vez que é graças a ela que os requisitos mínimos de suporte de peso (cerca de 1500 N) podem ser superados. Na extremidade esquerda, de acordo com a Figura 4-26 a), esta apresenta-se com uma geometria em cunha de forma a permitir que a fechadura ceda com vista a inserir-se nos rasgos do aro de fixação previamente abordado. Por outro lado, na extremidade direita, presente na Figura 4-26 b), esta possui dois pormenores transversalmente simétricos, nos quais se conectam as barras de transmissão supramencionadas. Para além disso, a geometria circular presente na mesma extremidade permite albergar uma mola de compressão, ilustrada na Figura 4-26 c), responsável pelo recuo dos pedais à sua posição inicial, originando o bloqueio automático das fechaduras. A ligação entre as duas extremidades é feita por uma barra quadrada de 8 mm de lado que garante à fechadura uma resistência mecânica adequada à sua função. Na Figura 4-26 d) pode-se observar o corpo da fechadura completo.

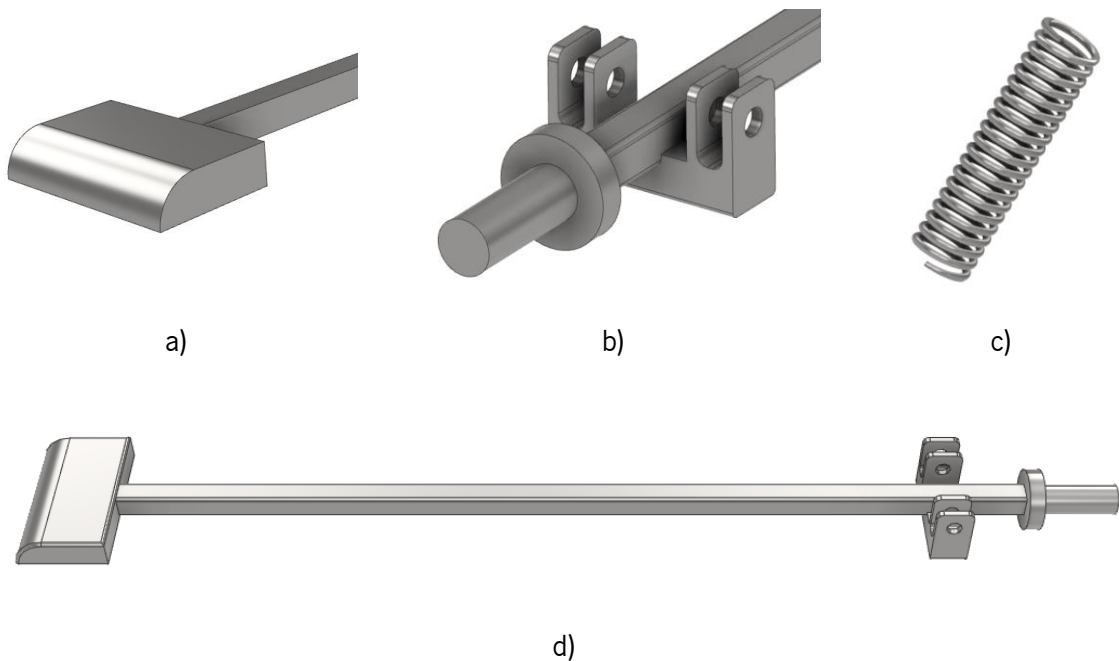


Figura 4-26 – Extremidade esquerda da fechadura, extremidade direita da fechadura, mola de compressão e fechadura completa, respetivamente em a), b), c) e d).

A guia da fechadura é manufaturada a partir de união de chapas por soldadura, onde vai correr a fechadura no seu interior. Como se pode observar na Figura 4-27, a guia está dotada de geometrias limitadoras de movimento transversal da fechadura, garantindo não só o seu alinhamento, mas também o seu suporte em diferentes pontos. Para além disso, de forma semelhante ao que se observou na fechadura, a guia possui, na sua extremidade direita, um pormenor circular que representa a parede fixa na qual a mola de compressão se encontra montada, possibilitando assim o seu ciclo de funcionamento de compressão/extensão.



Figura 4-27 – Guia da fechadura.

## 5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO SISTEMA DESENVOLVIDO

No presente capítulo foram elaboradas simulações numéricas com o intuito de testar as estruturas desenvolvidas para o contentor e para a plataforma de segurança, que devem ser dimensionadas para garantir a segurança das operações envolvidas. Por esse motivo executou-se uma análise linear estática, pois apenas se pretende avaliar as estruturas em regime elástico.

Em primeiro lugar serão identificadas as etapas de pré processamento responsáveis pela fiabilidade da simulação e, de seguida, serão analisados os resultados obtidos. O *software* utilizado neste estudo foi o Autodesk Nastran®.

### 5.1 Contentor

A estrutura do contentor deve ser suficientemente resistente para sustentar cargas elevadas, logo procura-se demonstrar que este é capaz de suportar cargas superiores à carga máxima esperada para o seu volume (cerca de 30 kN) e ainda possua, no mínimo, um coeficiente de segurança igual ou superior a 2 [28]. Com isto, elaboraram-se dois estudos de forma a provar a sua resistência: um com pré-tensão associada aos parafusos e outra com ausência desta. Nestes estudos não se consideraram qualquer componente do marco de deposição, uma vez que não representam relevância na resistência estrutural do sistema, nem o perfil de engate das correntes por ausência dos respetivos elementos de fixação. No entanto as suas massas estão consideradas na simulação pois, como foi supramencionado, as cargas testadas serão superiores à carga máxima esperada para o volume de 5 m<sup>3</sup> do contentor.

#### 5.1.1 Material

Conforme foi mencionado no subcapítulo 4.2, o material utilizado em toda a estrutura do contentor, à exceção do marco de deposição, é o aço laminado a quente NP EN 10025-2 S355. A razão pela seleção deste material reside no facto de ser um aço estrutural que é comumente utilizado em projetos de estruturas metálicas e que apresenta uma boa conformabilidade e excelente soldabilidade [57]. Na Tabela 5-1 pode-se visualizar as propriedades mecânicas deste material.

Tabela 5-1 – Propriedades mecânicas do aço NP EN 10025-2 S355 [58,59].

Densidade	7,8 g/cm <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson	0,30
Módulo de Elasticidade	210 GPa
Tensão de Cedência	≥ 355 MPa

Em contrapartida, os elementos de ligação utilizados para a união do tubo de elevação à barra U estrutural, selecionados a partir do dimensionamento do Anexo I, apresentam diferentes propriedades de resistência à tração relativamente aos restantes membros do contentor. Estes são parafusos DIN 933 M20x2.5 de classe 8.8 com 50 mm de comprimento, que são manufacturados em aço de médio carbono e apresentam uma tensão de cedência na ordem dos 640 MPa [60]. Para além disso, estão associadas aos parafusos as porcas sextavadas DIN 934 M20x2.5 e as anilhas planas DIN 125, ambas de classe 8.8, completando os componentes projetados para a ligação aparafusada. As propriedades mecânicas e o material em que estas são fabricadas são definidas pela classe, logo o que foi mencionado acerca do parafuso aplica-se também às porcas sextavadas e às anilhas planas [61,62]. Para além disso, a distância entre os furos dos elementos de ligação foram definidos segundo o Eurocódigo 3, isto é, a norma responsável pelo projeto de estruturas de aço [63]. Na Figura 5-1 pode-se observar a conexão entre o tubo de elevação e a barra U estrutural.

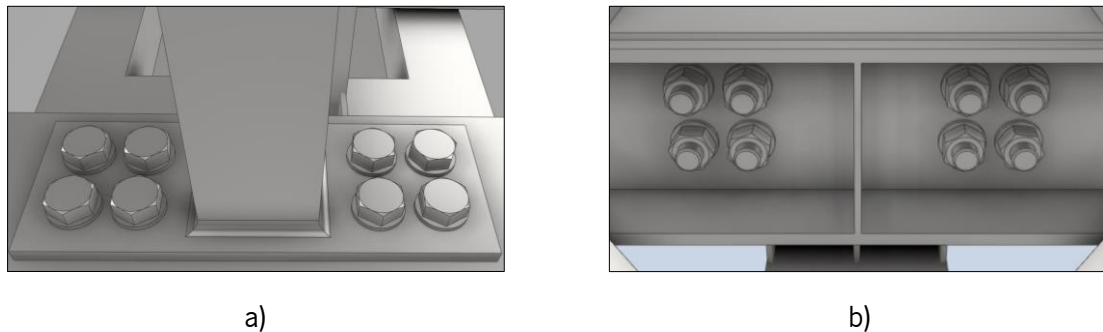


Figura 5-1 – Ligação aparafusada do tubo de elevação à barra U estrutural vista de cima e vista de baixo, respetivamente em a) e b).

### 5.1.2 Contactos

As definições dos contactos entre os diferentes componentes do sistema revelam grande importância no comportamento do mesmo à deformação por imposição de cargas. Uma definição errada dos mesmos resulta em soluções completamente diferentes. Posto isto, definiram-se contactos de três tipos: *bonded*, *sliding/no separation* e *separation/no sliding*.

Os contactos do tipo *bonded* implica que o par ligante não se separe nem se movimente entre si, representando uma ligação rígida. Estes foram estabelecidos entre os componentes que se encontram ligados por soldadura, os quais correspondem à maior parte dos contactos existentes. Para além disso, na simulação com ausência da pré-carga, considerou-se que os contactos entre os parafusos, porcas sextavadas e anilhas planas eram também deste tipo uma vez que é a forma mais eficaz de se estabelecer a ligação entre os mesmos.

Os contactos *sliding/no separation* estão presentes nas dobradiças dos alçapões uma vez que existe deslizamento entre estas e os respetivos pinos, sem que exista qualquer possibilidade de separação entre os dois componentes. Na Figura 5-2 a) pode-se visualizar a localização destes contactos no sistema desenvolvido.

Por último, os contactos *separation/no sliding* estão associados aos componentes que se encontram unidos exclusivamente, neste caso particular, por ação da ligação aparafusada, isto é, a sua união é garantida por elementos de ligação. Assim, o contacto entre os membros de ligação, ilustrado na Figura 5-2 b), e os contactos (membros de ligação/elementos da ligação) apresentam as características supramencionadas.

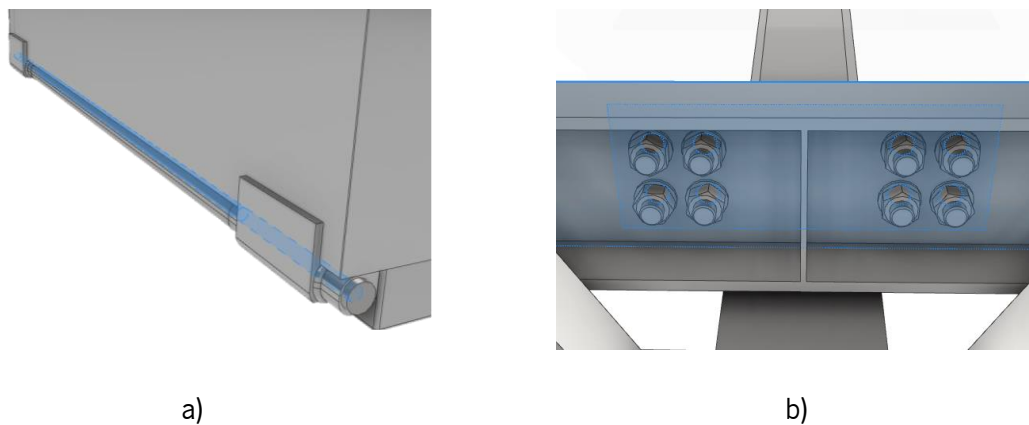


Figura 5-2 – Contacto dobradiça/pino da dobradiça e contacto tubo de elevação/barra U estrutural, respetivamente em a) e b).

### 5.1.3 Esforços

Como foi referido no subcapítulo 5.1, o contentor deve resistir a cargas superiores à carga máxima esperada de 30 kN para além do peso próprio. Para testar a capacidade do contentor sobre as cargas pretendidas, estabeleceu-se sobre os dois alçapões inferiores uma força de 33 kN. Assim, sobre cada alçapão, aplicou-se uma força de 16,5 kN distribuída por diversas faces do mesmo. A distribuição por faces deve-se às descontinuidades da sua superfície interna, o que levou a ajustes na sua aplicação. A Figura 5-3 ilustra a superfície interna dos alçapões dividida em diferentes secções.



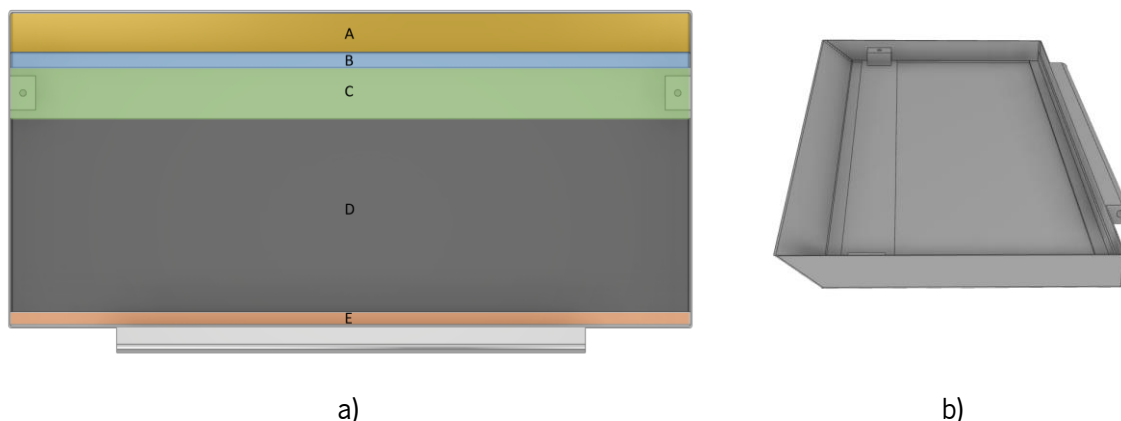


Figura 5-3 – Alçapão do contentor com faces identificadas de "A" a "E" e vista das faces em perspectiva, respetivamente em a) e b).

Com isto, através do *software*, obteve-se as áreas correspondentes a cada zona e fez-se corresponder cada uma delas à área total de forma a se estabelecer percentagens pelos diferentes segmentos. Na Tabela 5-2 pode-se observar os cálculos realizados para a obtenção da força a aplicar de acordo com a área de cada zona.

Tabela 5-2 – Cálculo das forças a aplicar em cada zona dos alçapões.

Área		Força a aplicar
<b>A</b>	0,188 m <sup>2</sup>	$16500 \times \frac{0,188}{1,188} \cong 2611,1 N$
<b>B</b>	0,052 m <sup>2</sup>	$16500 \times \frac{0,052}{1,188} \cong 722,2 N$
<b>C</b>	0,182 m <sup>2</sup>	$16500 \times \frac{0,182}{1,188} \cong 2527,8 N$
<b>D</b>	0,718 m <sup>2</sup>	$16500 \times \frac{0,718}{1,188} \cong 9972,2 N$
<b>E</b>	0,048 m <sup>2</sup>	$16500 \times \frac{0,048}{1,188} \cong 666,7 N$
<b>TOTAL</b>	1,188 m <sup>2</sup>	$16500 \times \frac{1,188}{1,188} = 16500 N$

Por outro lado, de forma a testar a resistência estrutural das paredes internas do contentor quando sujeitas aos esforços por acumulação de resíduos no seu interior, aplicou-se forças de 10 kN por cada face lateral interna do contentor. O valor atribuído à força representa um cenário improvável, no entanto este permitirá observar o comportamento das placas de revestimento quando sujeitas a cargas superiores à carga máxima esperada. Para isso, tornou-se necessário dividir a força por duas zonas da placa, como se pode observar na Figura 5-4.

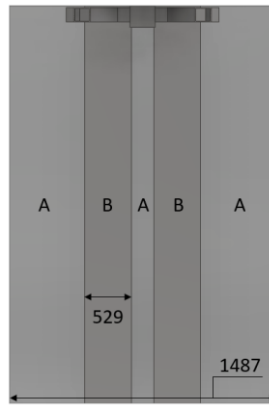


Figura 5-4 – Divisão dos segmentos da parede interna da placa de revestimento.

Os segmentos identificados pela letra B representam cerca de 35% da área total da parede interna da placa de revestimento, logo a força a aplicar sobre os dois segmentos totaliza os 3500 N. Sobre as restantes superfícies irão resultar 6500 N que corresponde à força que resta dos 10 kN iniciais.

#### 5.1.4 Restrições

Com o intuito de estabelecer os pontos de suporte do contentor numa situação de descarga é necessário implementar restrições à geometria de modo a garantir que o sistema apresente um comportamento de resposta aos esforços dentro do esperado. Para isso, executaram-se restrições de todos os graus de liberdade em cinco faces:

- Uma na face superior cilíndrica do gancho de elevação, ilustrada na Figura 5-5 a), que representa a zona de contacto do próprio com a grua para elevação do contentor.
- As restantes, nas faces onde se fixam os anéis de elevação, ilustradas na Figura 5-5 b), que são responsáveis pelo sustento da carga sobre os alçapões através do uso de correntes.

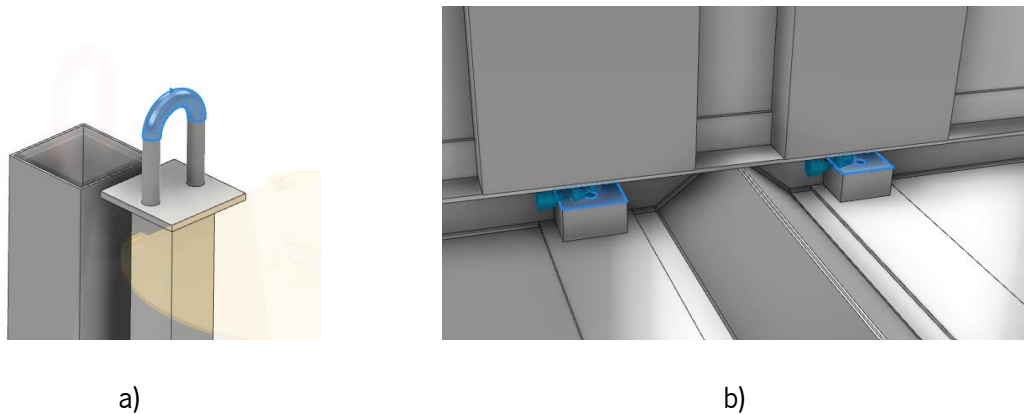


Figura 5-5 – Restrições no gancho de elevação e nos alçapões do contentor, respetivamente em a) e b).

### 5.1.5 Malha

A definição da malha é das características mais importantes de uma análise de elementos finitos, uma vez que é responsável pela qualidade da discretização dos componentes em estudo, isto é, o seu refinamento influencia os resultados obtidos.

Neste estudo definiu-se uma malha de elementos sólidos tetraédricos parabólicos com um tamanho médio geral de 17,5 mm, na qual as estruturas de menor tamanho possuem maior refinamento relativamente às maiores. Este tipo de elemento é constituído por dez nós, logo apresenta resultados mais precisos do que os elementos lineares que apenas possuem quatro [64].

### 5.1.6 Resultados obtidos

Concluídas as operações de pré processamento, procede-se com a simulação numérica até à obtenção de uma solução.

Posto isto, em primeiro lugar, obteve-se a solução para o estudo onde não se teve em conta a pré tensão dos parafusos. Numa primeira análise, após observação da Figura 5-6 a), verifica-se que o resultado máximo da tensão equivalente de *Von Mises* é cerca de 257,0 MPa. Esta corresponde à zona das dobradiças do contentor uma vez que grande parte dos esforços estão aplicados sobre os alçapões. Por outro lado, na Figura 5-6 b), o deslocamento máximo verificado no estudo situa-se no centro dos alçapões, com um valor registado de 5,10 mm, o qual é insignificante tendo em conta o tamanho dos mesmos. O resultado obtido já era esperado pelas mesmas razões apresentadas para os resultados da tensão equivalente de *Von Mises*.

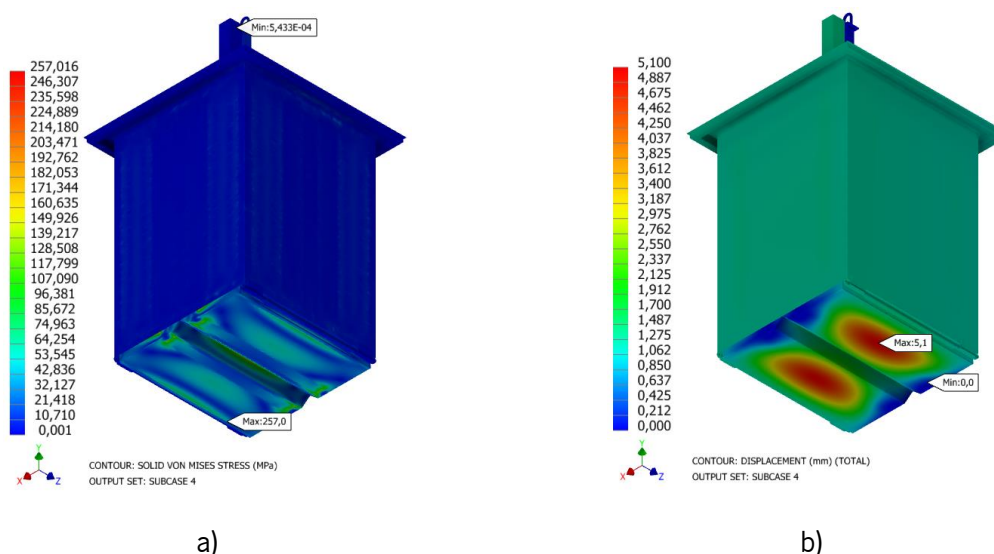


Figura 5-6 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* e do deslocamento total, respetivamente em a) e b), para a simulação sem pré tensão nos parafusos.

Com vista a uma análise mais pormenorizada, os resultados serão interpretados por diferentes secções do contentor que exigem maior atenção, nomeadamente: a zona de ligação aparafusada, os alçapões, as dobradiças dos alçapões e também as placas de revestimento.

Na zona de ligação aparafusada, para o deslocamento máximo, obtiveram-se os resultados ilustrados na Figura 5-7.

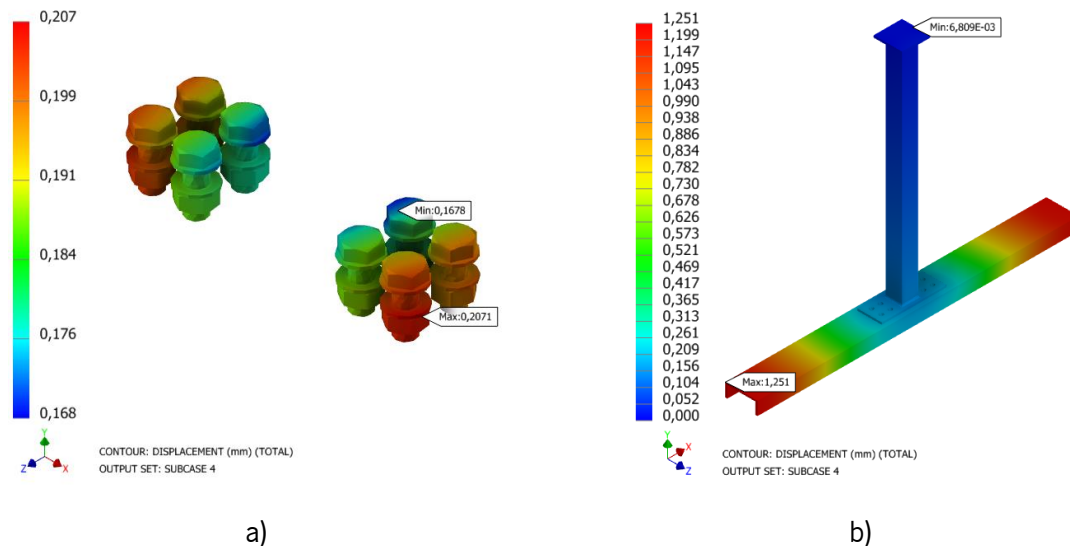
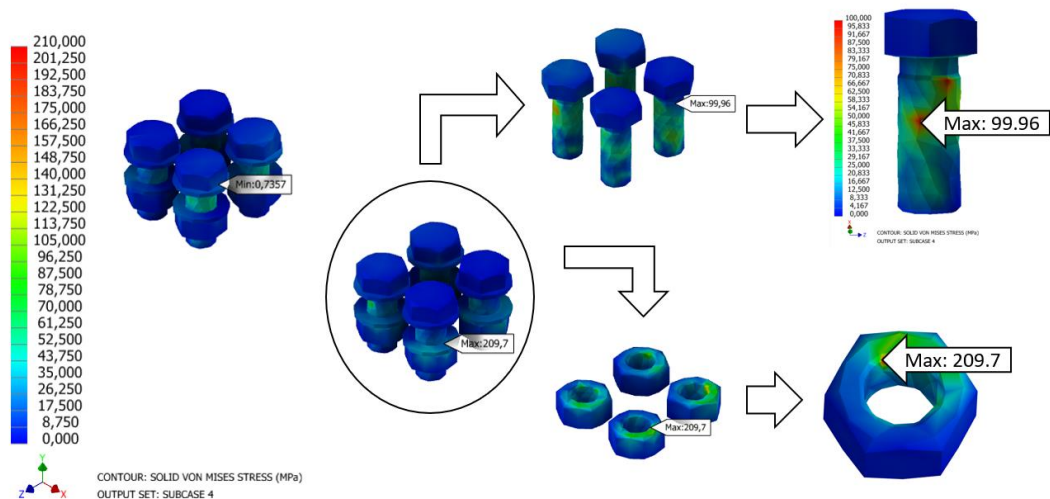


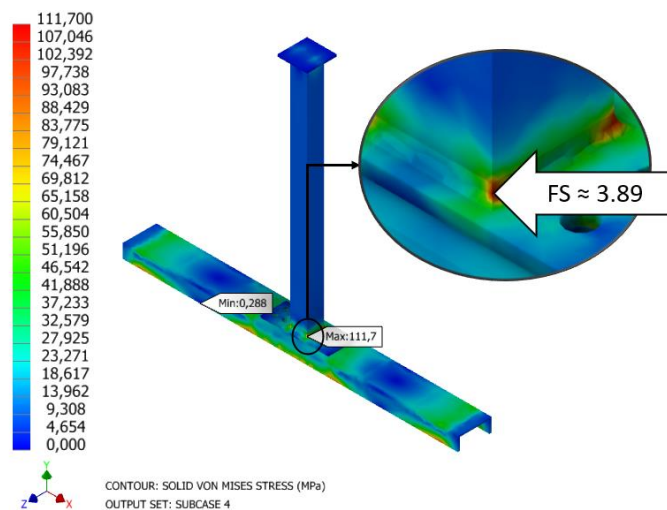
Figura 5-7 – Soluções do deslocamento total dos elementos e dos membros de ligação, respetivamente em a) e b), para a simulação sem pré tensão nos parafusos.

Como era de esperar, o maior deslocamento registado verificou-se na extremidade da barra U estrutural, com um valor de aproximadamente 1,25 mm, pois representa a zona mais afastada dos pontos de apoio. No caso dos elementos de ligação verificou-se o mesmo padrão, onde aqueles mais próximos das extremidades apresentaram um maior deslocamento relativamente aos que se encontram mais afastados. No entanto, o valor do deslocamento aqui verificado é bastante inferior àquele observado na barra U estrutural, correspondendo a cerca de 0,21 mm.

Por outro lado, a tensão equivalente de *Von Mises* resultante na zona de ligação aparafusada encontra-se ilustrada na Figura 5-8.



a)



b)

Figura 5-8 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* dos elementos e dos membros de ligação, respetivamente em a) e b), para a simulação sem pré tensão nos parafusos.

Neste caso, a tensão máxima verificada segundo o critério de *Von Mises*, foi nos elementos de ligação, nomeadamente, numa das porcas sextavadas. O valor atingido foi de 209,7 MPa. Tanto nos parafusos como nas porcas sextavadas, verificou-se uma maior intensidade de tensões nos elementos mais afastados do centro de ligação. Segundo o que foi observado acerca do deslocamento máximo para os mesmos componentes, pode-se concluir que a tensão aqui resultante segue o mesmo padrão de resultados, isto é, os elementos de ligação mais próximos das extremidades da barra U estrutural apresentam valores de tensão superiores comparativamente aos que se situam mais afastados destas. Para além disso, na porca sextavada ilustrada na Figura 5-8 a), a zona de maior concentração de tensões situa-se na parte superior do lado mais afastado do centro de ligação. A razão por detrás disso reside no facto de existir maior deslocamento vertical à medida que nos afastamos do centro de ligação

contribuindo para o maior esmagamento da porca sextavada em questão. Relativamente aos membros de ligação, verificou-se que a concentração de tensões localiza-se nos cantos da zona de solda do tubo de elevação, com um valor máximo atingido de 112,9 MPa. Este resultado explicita os pontos frágeis desta ligação soldada, no entanto a mesma demonstra ser perfeitamente segura uma vez que possui um coeficiente de segurança de aproximadamente 3,89.

Relativamente aos alçapões e as respetivas dobradiças, as primeiras soluções obtidas constam na Figura 5-9.

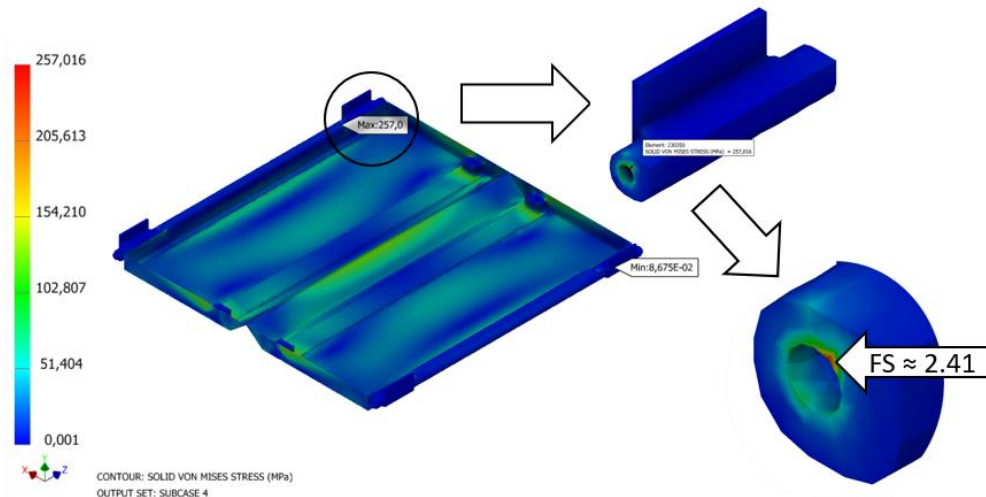


Figura 5-9 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* para o subconjunto dos alçapões e respetivas dobradiças com identificação do ponto máximo de tensão registado.

Conforme os resultados obtidos, verificou-se que o valor máximo da tensão equivalente de *Von Mises* atingido foi numa das quatro dobradiças dos alçapões do contentor, no qual o valor máximo foi de aproximadamente 257,0 MPa. Este resultado advém do facto de se tratar de uma zona de transição do pino da dobradiça entre o alçapão do contentor e a própria dobradiça, isto é, representa o local de alteração do estado de suporte do pino da dobradiça, originando uma zona de concentração de tensões na extremidade interna da dobradiça. Na Figura 5-10 pode-se observar a zona de transição entre a dobradiça e o alçapão.

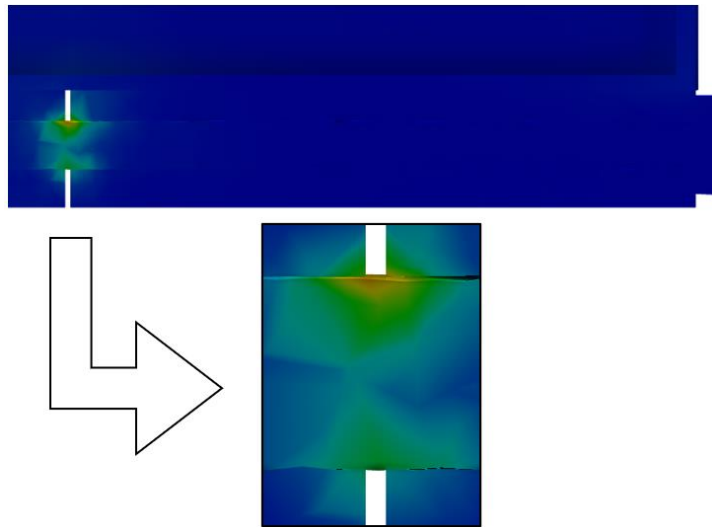


Figura 5-10 – Vista em secção de corte da zona de transição entre o alçapão e a respetiva dobradiça.

Relativamente ao pino de dobradiça, verificou-se um comportamento correspondente àquele observado na Figura 5-9 e Figura 5-10. A zona de maior tensão resultante, ilustrada na Figura 5-11 a), encontra-se situada na parte superior de contacto entre o pino e o alçapão do contentor, uma vez que é o local onde o pino começa a estar sujeito a uma carga radial devido aos esforços aplicados previamente nos alçapões. Neste caso, o valor máximo registado foi cerca de 242,2 MPa.

Analogamente, no alçapão do contentor, verificou-se que a zona de tensão máxima, ilustrada na Figura 5-11 b), localiza-se na extremidade de transição entre este e a respetiva dobradiça. Para além disso, a restante estrutura apresentou tensões simétricas pelos dois alçapões, com os maiores focos a destacarem-se no centro das extremidades de abertura dos mesmos e nas zonas soldadas dos segmentos maquinados para fixação dos anéis de elevação.

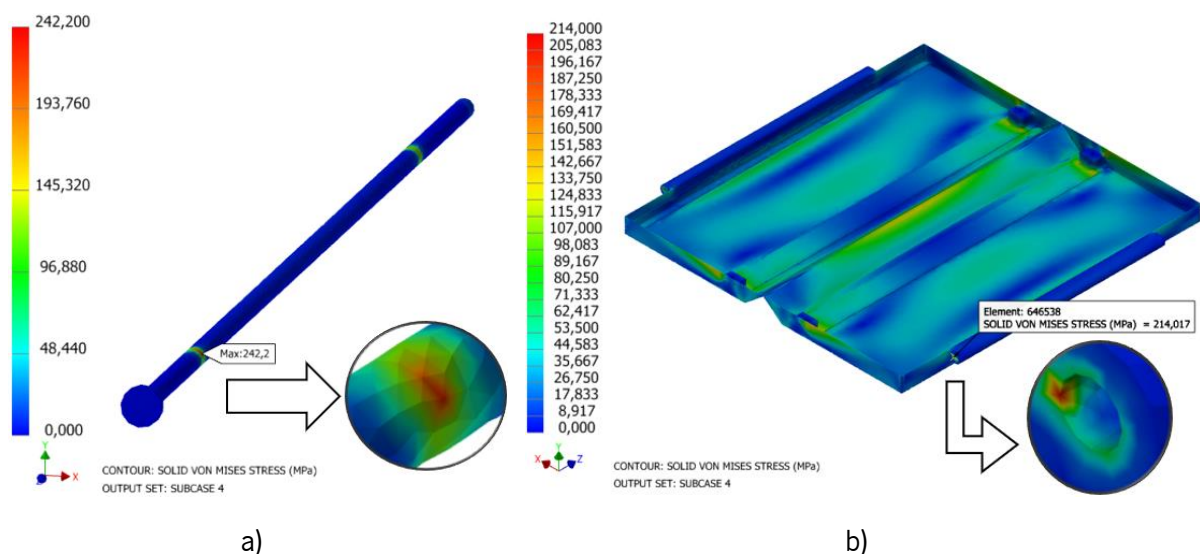


Figura 5-11 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* para o pino da dobradiça e alçapões do contentor, respetivamente em a) e b).

Por outro lado, nas placas de revestimento e nas chapas que envolvem as correntes e as régua estruturais, as tensões resultantes foram relativamente baixas, tendo sido verificado um máximo de aproximadamente 78,1 MPa. Estes resultados traduzem-se numa excelente resistência estrutural destes componentes, nos quais se verificou um deslocamento máximo de aproximadamente 1,38 mm. O valor de deslocamento obtido demonstra ser bastante reduzido tendo em conta as dimensões dos componentes abordados. Os resultados positivos destas simulações devem-se à presença de régua estruturais, ao longo da altura das placas de revestimento, que permitiram a melhor distribuição de tensões pela estrutura. As soluções obtidas para as régua estruturais foram semelhantes às observadas nas placas de revestimento, onde o valor máximo de tensão atingida foi de 74,2 MPa. Na Figura 5-12 pode-se visualizar a solução da tensão equivalente de *Von Mises* obtida para os componentes supramencionados.

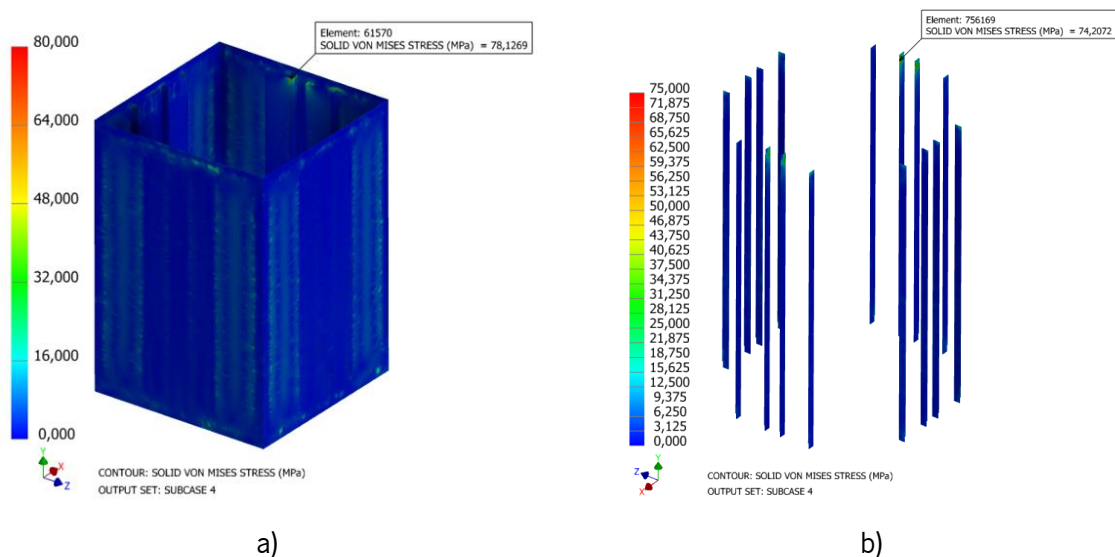


Figura 5-12 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* para as placas de revestimento, chapas para passagem das correntes e das chapas isoladoras das régua estruturais em a); para as régua estruturais em b).

Após a execução da simulação numérica sem consideração da pré tensão nos parafusos, procedeu-se então à implementação da mesma no estudo. Com isto, omitiu-se o modelo dos elementos de ligação e introduziu-se uma função de conexão do *software* Autodesk Nastran® na qual simula a existência de determinada ligação aparafusada, formada pelos parafusos, porcas e anilhas, com consideração de um binário de aperto. Assim, foram introduzidos, no software, os valores de entrada para a definição da conexão, ilustrada na Figura 5-13, de acordo com as dimensões da ligação aparafusada dimensionada a partir do Anexo I.



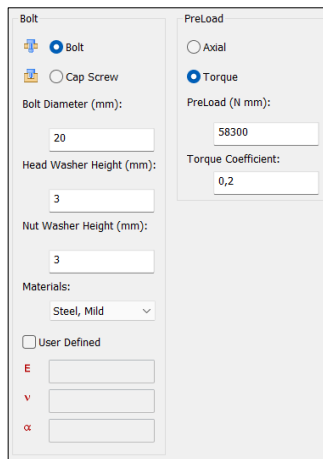


Figura 5-13 – Função de conexão aparafusada do *software* Autodesk Nastran®.

A introdução da pré tensão dos parafusos na simulação tem como principal objetivo a distribuição da carga axial, a que o sistema está sujeito, pelos membros de ligação na zona de conexão, reduzindo a mesma nos parafusos e porcas. Com isto, obtém-se um sistema mais rígido e resistente às cargas externas [65]. Assim, após a simulação numérica com pré tensão dos parafusos, obtiveram-se, para os membros de ligação, as soluções ilustradas na Figura 5-14.

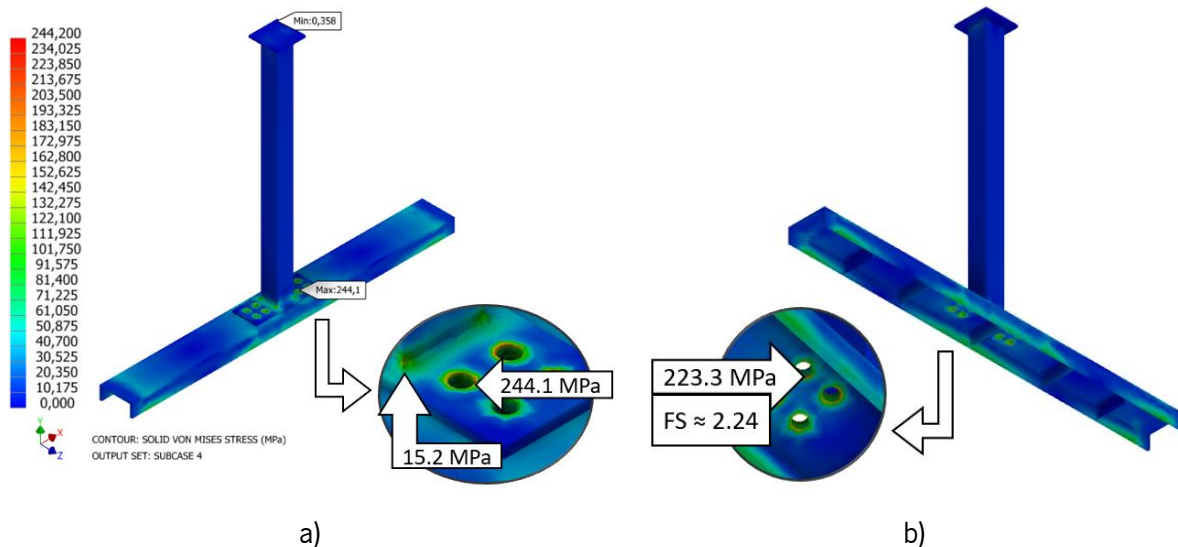


Figura 5-14 – Solução da tensão equivalente de *Von Mises* dos elementos de ligação sujeitos à pré tensão dos parafusos.

Pela observação da Figura 5-14 a), verifica-se que há uma distribuição de tensões na periferia dos orifícios para introdução dos parafusos, com o máximo da tensão equivalente de *Von Mises* a atingir os 244,1 MPa. Para além disso, o facto de haver uma distribuição das tensões pela zona de conexão, permitiu que o esforço previamente verificado na zona de solda na Figura 5-8 b) tenha sido reduzido em cerca de 86%, assumindo o valor de 15,2 MPa. Por outro lado, na Figura 5-14 b), verifica-se um cenário semelhante, onde a zona de concentração de tensões situa-se na periferia dos furos dos elementos de ligação. Neste caso, o valor máximo de tensão atingido foi de 223,3 MPa. Para além disso, o valor

mínimo de coeficiente de segurança verificado foi neste mesmo elemento, com um valor de aproximadamente 2,24. A razão para o facto de o coeficiente de segurança mínimo corresponder a um elemento onde não se verifica a tensão máxima deve-se à forma como o *software* calcula os mesmos. A tensão equivalente de *Von Mises* em cada elemento é dada como a tensão média das tensões verificadas em cada nó, no entanto, o coeficiente de segurança não é calculado a partir da tensão média obtida a partir de todos os nós. Este é obtido pelo cálculo individual do coeficiente de segurança em cada nó, seguido de uma média dos coeficientes de segurança em cada nó [66].

Relativamente aos restantes componentes do sistema, os resultados obtidos foram bastante semelhantes àqueles onde não foi considerada a pré tensão nos parafusos, sendo por isso representados no Anexo II.

## 5.2 Estrutura de Suporte dos Alçapões

A estrutura de suporte dos alçapões é um subsistema interno do sistema do contentor, sendo composta pelo tubo fixador da corrente e pelo perfil de engate das correntes. Nesta verificação não foram incluídas as correntes nem os anéis de levantamento para a fixação das correntes uma vez que estes apresentam os dados de carga estrutural para quais foram dimensionados, simplificando, assim, o estudo. Dada a ausência dos meios de transição dos esforços, o estudo foi separado em duas partes: uma com o tubo fixador da corrente e outra com o perfil de engate das correntes.

### 5.2.1 Material

De forma idêntica ao subcapítulo 5.1.1, os componentes deste subsistema são de aço estrutural NP EN 10025-2 S355, com propriedades mecânicas identificadas na Tabela 5-1.

### 5.2.2 Contactos

No estudo da estrutura de suporte dos alçapões foi definido apenas um tipo de contacto: *bonded*.

Na análise do tubo fixador da corrente, a união soldada entre o gancho de elevação e o próprio tubo representa o único contacto deste segmento do estudo. Por outro lado, no segmento do estudo do perfil de engate das correntes, os contactos estabelecidos foram definidos entre os diferentes segmentos sólidos dos tubos de secção quadrada. Na Figura 5-15 encontram-se ilustrados os contactos identificados.

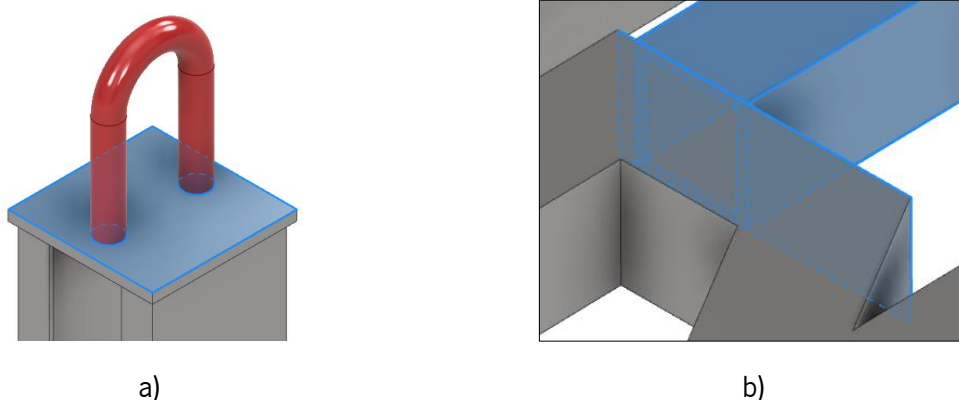


Figura 5-15 – Contactos do tipo *bonded* estabelecidos no segmento do estudo do tubo fixador da corrente e do perfil de engate das correntes, respetivamente em a) e b).

### 5.2.3 Esforços

De acordo com o subcapítulo 5.1.3, os alçapões do contentor foram sujeitos a uma carga total de 33 kN. Posto isto, de forma a testar a resistência estrutural dos componentes do suporte dos alçapões, foram aplicadas, em cada segmento do estudo, os esforços correspondentes à carga imposta sobre os alçapões.

No caso do tubo fixador da corrente, aplicou-se uma força no bloco furado de 33 kN no sentido negativo, como ilustrado na Figura 5-16 a).

De outro modo, no perfil de engate das correntes, aplicou-se em cada um dos blocos, situados nas extremidades dos tubos, uma carga de 8,25 kN, correspondente a 1/4 da carga total imposta sobre os alçapões. Na Figura 5-16 b) pode-se visualizar as forças aplicadas sobre o perfil de engate das correntes.

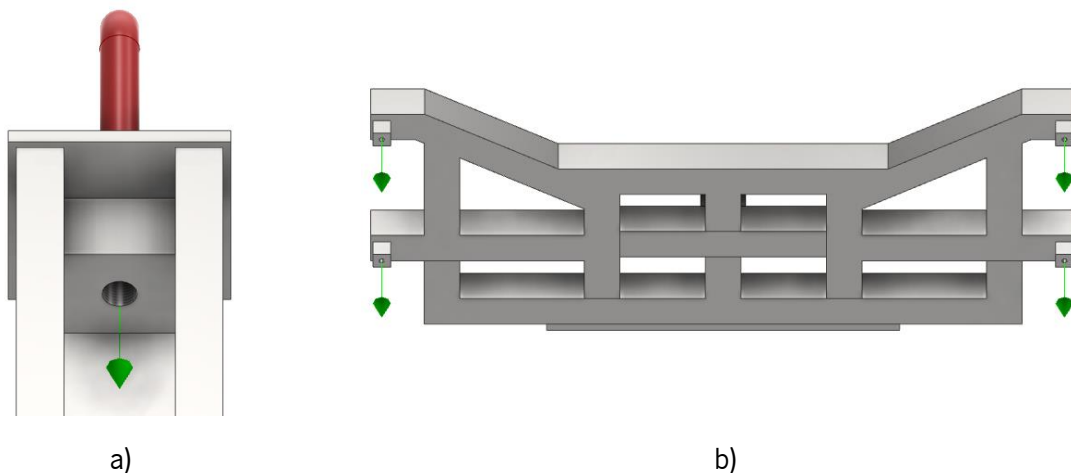


Figura 5-16 – Esforços aplicados no tubo fixador da corrente e no perfil de engate das correntes, respetivamente em a) e b).

### 5.2.4 Restrições

Com vista à definição do comportamento da geometria, enquanto sujeita aos esforços, foram estabelecidas restrições de forma a limitar o seu movimento. No segmento de estudo do tubo fixador da corrente, estabeleceu-se uma restrição de todos os graus de liberdade na zona superior do gancho de elevação, de forma idêntica ao que se observou no subcapítulo 5.1.4.

Por outro lado, no segmento de estudo do perfil de engate das correntes, estabeleceram-se restrições no bloco no qual engata a corrente que conecta o perfil ao tubo fixador da corrente e nas faces laterais que se encontram em contacto com as chapas para a passagem das correntes. Na face do bloco onde engata a corrente estabeleceu-se uma restrição em todos os graus de liberdade de translação, enquanto nas faces laterais apenas se fixou as translações na direção X do referencial, simulando a presença das chapas para passagem das correntes no estudo.

Na Figura 5-17 pode-se observar as restrições impostas em cada segmento do estudo.

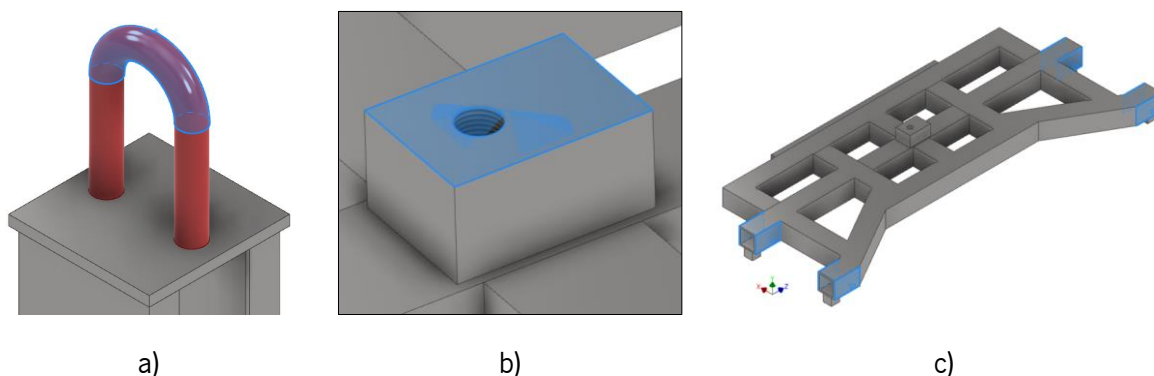


Figura 5-17 – Restrições no gancho do tubo fixador da corrente; no bloco e nas faces laterais do perfil de engate das correntes, respetivamente em a), b) e c).

### 5.2.5 Malha

De forma idêntica ao que se observou no subcapítulo 5.1.5, a malha gerada para este estudo apresenta elementos tetraédricos parabólicos, no qual o tamanho médio da mesma variou entre 3 e 5 mm, respetivamente no tubo fixador da corrente e no perfil de engate das correntes.

### 5.2.6 Resultados obtidos

Após definição dos pré-requisitos, procedeu-se com a simulação numérica, da qual surgiram os seguintes resultados.

No primeiro segmento do estudo, isto é, do tubo fixador da corrente, verificou-se uma tensão equivalente de *Von Mises* máxima de 125,7 MPa ao nível do gancho de elevação, ao qual corresponde um valor de fator de segurança de aproximadamente 3.88. A distribuição não uniforme das tensões pelo componente, notável na Figura 5-18 a), deve-se ao facto do ligeiro desfasamento do bloco roscado com o centro da chapa onde se solda o gancho de elevação, resultando numa zona de concentração de tensões na zona do gancho mais afastada do bloco. A origem da concentração de tensões advém da zona de solda do bloco, situada diretamente por baixo, a qual atinge o valor máximo de tensão equivalente de *Von Mises* de 113,1 MPa, como ilustrado na Figura 5-18 b).

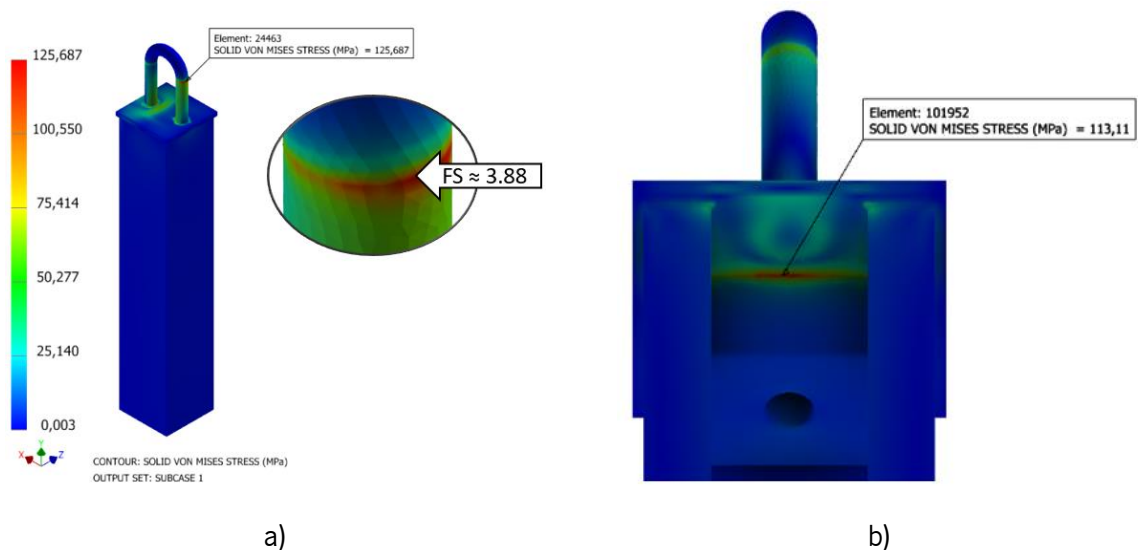


Figura 5-18 – Solução da tensão equivalente de *Von Mises* no tubo fixador da corrente.

Por outro lado, o deslocamento máximo verificado atingiu o valor de 0,076 mm, sendo este praticamente na direção Z do referencial. A razão pelo maior deslocamento na direção Z deve-se à presença da abertura longitudinal no tubo quadrado que tem a tendência a se deslocar. Na Figura 5-19 pode-se visualizar o deslocamento resultante do esforço aplicado ao tubo fixador da corrente.

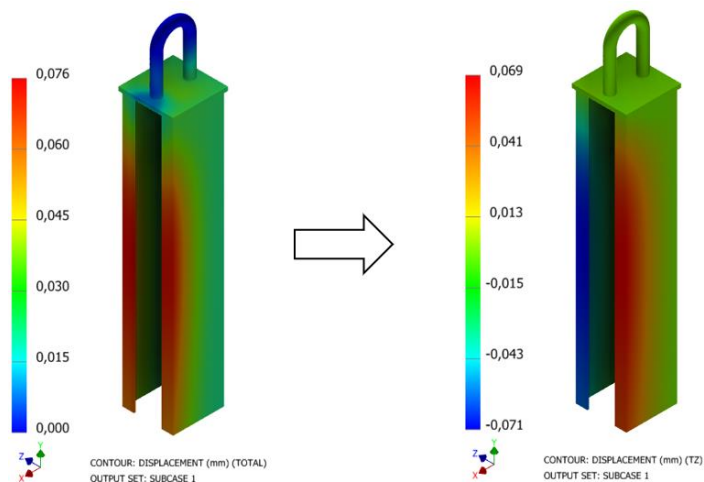


Figura 5-19 – Solução do deslocamento no tubo fixador da corrente.

No segundo segmento do estudo, no perfil de engate das correntes, verificou-se que a tensão equivalente de *Von Mises* atingiu um valor máximo de aproximadamente 234,2 MPa, com um fator de segurança associado de aproximadamente 2,18. Os resultados presentes na Figura 5-20, evidenciam uma distribuição uniforme da tensão pelos dois lados da geometria mesmo perante o ligeiro desvio do furo, no bloco roscado, relativamente ao centro da peça.

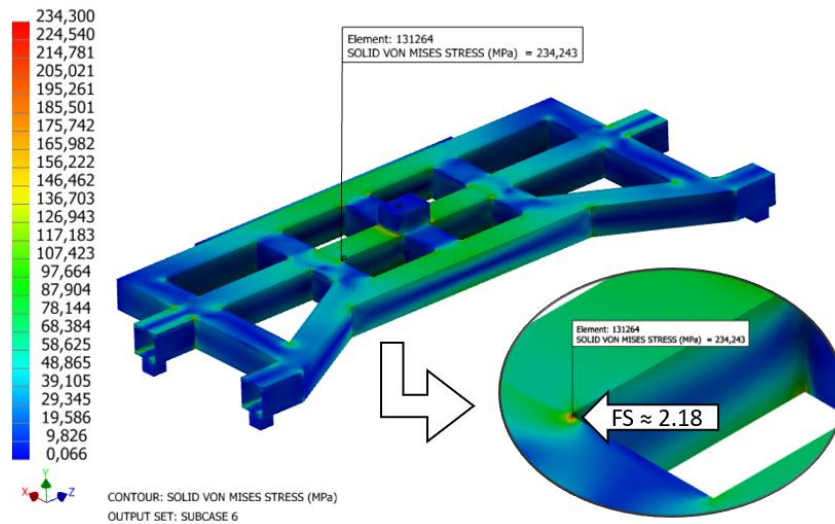


Figura 5-20 – Solução da tensão equivalente de *Von Mises* do perfil de engate das correntes.

De outro modo, o deslocamento máximo observado situa-se nas extremidades do perfil, isto é, nas zonas em que este se encontra sujeito aos esforços impostos, tendo atingido o valor máximo de aproximadamente 2,81 mm. A Figura 5-21 ilustra os resultados supramencionados.

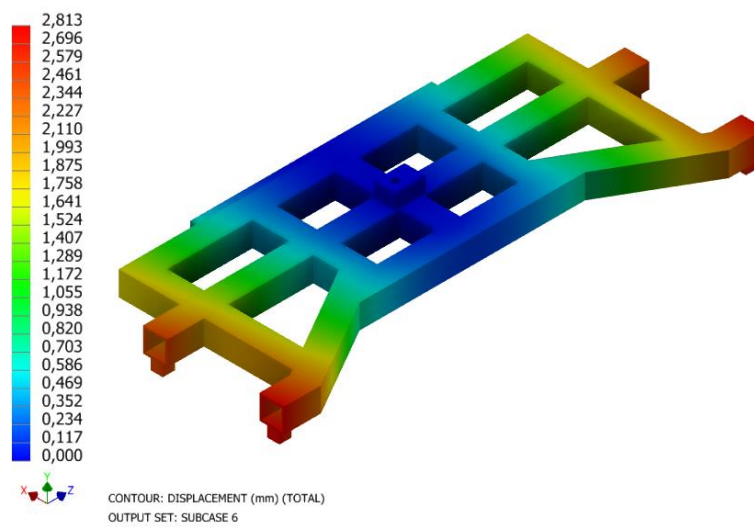


Figura 5-21 – Solução do deslocamento do perfil de engate das correntes.

### 5.3 Plataforma de Segurança

A plataforma de segurança deve ser capacitada de uma elevada resistência estrutural, uma vez que esta funciona como uma barreira física para prevenção de acidentes graves. Deste modo, o sistema da plataforma deve resistir a um peso de cerca de 1500 N com um coeficiente de segurança associado, igual ou superior a 2. Neste estudo não foram incluídas as molas nem as cupilhas dos pinos, que serão à frente abordadas, pois não representam relevância para a resistência estrutural do sistema.

#### 5.3.1 Material

De acordo com o subcapítulo 4.3, os componentes que formam a plataforma de segurança são manufacturados em aço laminado a quente NP EN 10025-2 S275. A escolha deste material segue o mesmo princípio daquele seleccionado para a estrutura do contentor. A grande diferença reside na reduzida resistência mecânica comparativamente ao aço S355, uma vez que a plataforma de segurança está sujeita a esforços bastante inferiores relativamente à estrutura do contentor. Na Tabela 5-3 pode-se observar as propriedades mecânicas do material seleccionado.

Tabela 5-3 – Propriedades mecânicas do aço NP EN 10025-2 S275 [67].

Densidade	7,8 g/cm <sup>3</sup>
Coeficiente de Poisson	0,30
Módulo de Elasticidade	210 GPa
Tensão de Cedência	≥ 275 MPa

Por outro lado, como já foi visto no subcapítulo 5.1.1, os elementos de ligação apresentam propriedades mecânicas diferentes. Neste caso, os elementos seleccionados foram os pinos DIN 1444 com cupilha DIN 94 associada, ambos de classe 8.8. Posto isto, estes elementos são manufacturados em aço de médio carbono e a sua tensão de cedência corresponde a um valor na ordem dos 640 MPa [68,69]. A Figura 5-22 ilustra os elementos de ligação seleccionados.



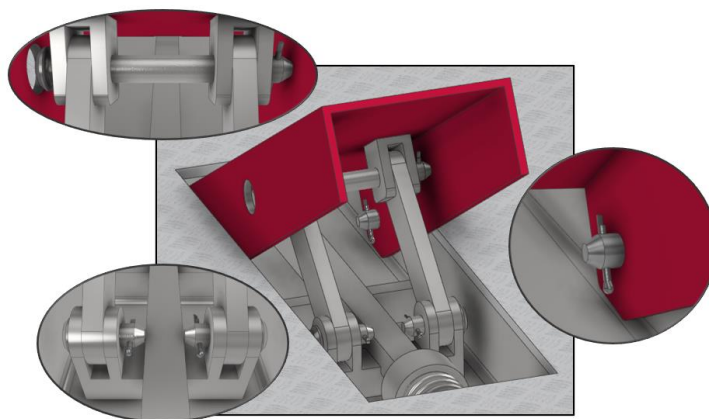
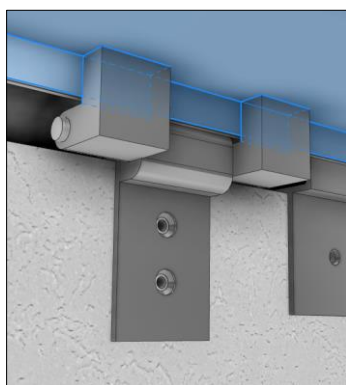


Figura 5-22 – Elementos de ligação entre o pedal de acionamento da fechadura, fechadura e guia da fechadura.

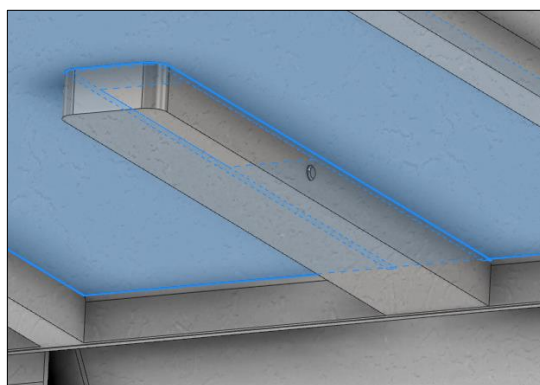
### 5.3.2 Contactos

Na plataforma de segurança à semelhança do que se observou no contentor, foram definidos três tipos de contactos: *bonded*, *sliding/no separation* e *separation/no sliding*.

Os contactos do tipo *bonded* foram seleccionados para as faces que representam uma ligação soldada ou, como é o caso da ligação dos fixadores das dobradiças à cuba, simular uma ligação aparafusada. Neste contexto, as ligações ilustradas na Figura 5-23, são do tipo *bonded*.



a)



b)

Figura 5-23 – Contactos estabelecidos entre a dobradiça/porta de segurança e guia da fechadura/porta de segurança, respetivamente em a) e b).

Por outro lado, nas ligações onde ocorre deslizamento entre componentes, foram seleccionados contactos do tipo *sliding/no separation*. Este é o caso das partes móveis, no qual ocorre deslizamento entre componentes com o movimento das peças. Na Figura 5-24 a) e b) pode-se observar contactos deste tipo.

Por último, os contactos do tipo *separation/no sliding* foram definidos entre as faces inferiores da zona de tranca das fechaduras e a face inferior dos rasgos do aro de fixação onde elas se inserem. Isto deve-se ao facto de se querer garantir o posicionamento da fechadura no sítio especificado, ao longo da

análise numérica, uma vez que se excluíram as molas do estudo. A Figura 5-24 c) ilustra o contacto abordado.

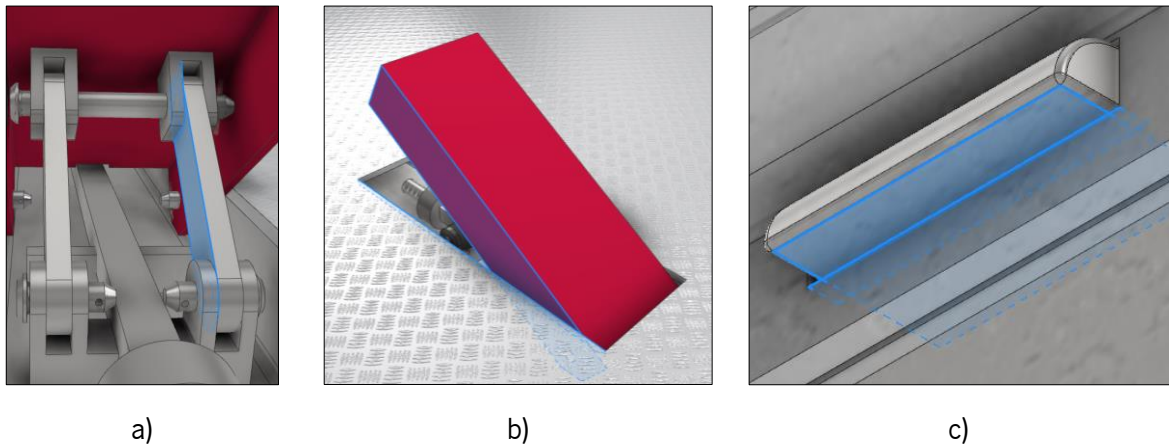


Figura 5-24 – Contactos projetados entre barra de transmissão de movimento/fechadura, pedal de acionamento da fechadura/porta de segurança e fechadura/aro de encaixe, respetivamente em a), b) e c).

### 5.3.3 Esforços

No cenário apresentado no subcapítulo 5.3 é indicado que o sistema da plataforma de segurança tem de ser capaz de resistir a um peso com um valor na ordem dos 1500 N. Posto isto, foi projetado, sobre cada porta, uma força de 1500 N. A aplicação deste valor sobre cada porta deve-se ao facto de ser necessário que cada uma das portas da plataforma de segurança cumpra as normas de segurança impostas. Como se trata de uma plataforma com duas portas, cada porta terá de suportar o peso estipulado.

Na Figura 5-25 pode-se observar, no *software*, a aplicação da força sobre as portas da plataforma de segurança.

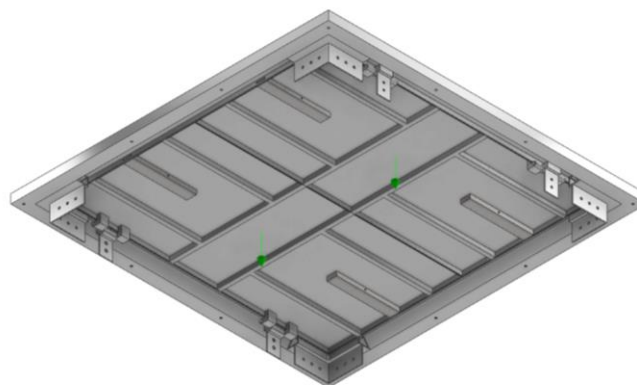


Figura 5-25 – Representação dos vetores das forças aplicadas sobre as portas de segurança.

#### 5.3.4 Restrições

Com o objetivo de simular as condições realistas a que a plataforma de segurança está sujeita, exerceu-se restrições de todos os graus de liberdade em cinco faces exteriores da cuba estanque, as quatro laterais e a inferior, de modo a retratar a sua inserção no terreno especificado. Na Figura 5-26 pode-se visualizar as faces restringidas no *software*.

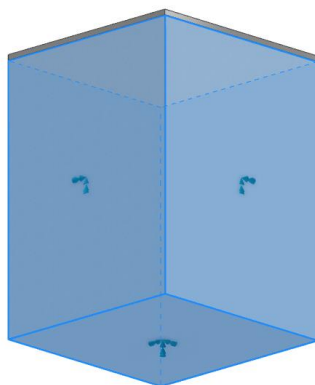


Figura 5-26 – Aplicação de restrições de todos os graus de liberdade nas faces externas da cuba estanque.

#### 5.3.5 Malha

De igual forma a como se observou no subcapítulo 5.1.5 e 5.2.5, a malha gerada para esta análise possui elementos sólidos tetraédricos parabólicos, no entanto com um tamanho médio de 20 mm.

#### 5.3.6 Resultados obtidos

Após a preparação de todos os requisitos para o problema, executou-se a simulação numérica com o objetivo de obter uma solução válida.

Numa primeira instância, avaliou-se de um modo geral os resultados obtidos para o deslocamento total e para a tensão equivalente de *Von Mises*. O deslocamento máximo observado localiza-se na extremidade interna das portas, local onde há menor suporte da estrutura uma vez que não existe qualquer apoio. O valor de deslocamento máximo atingido foi cerca de 7,73 mm, como se pode observar na Figura 5-27 a). Por outro lado, o maior valor resultante da tensão equivalente de *Von Mises* foi verificado para um dos pinos das dobradiças das portas de segurança. Sendo o pino da dobradiça um dos meios de sustentação da porta no momento em que esta se encontra fechada, o resultado obtido não apresentou surpresas. O valor máximo da tensão equivalente de *Von Mises* atingido foi de 198,6 MPa, tal como ilustrado na Figura 5-27 b).

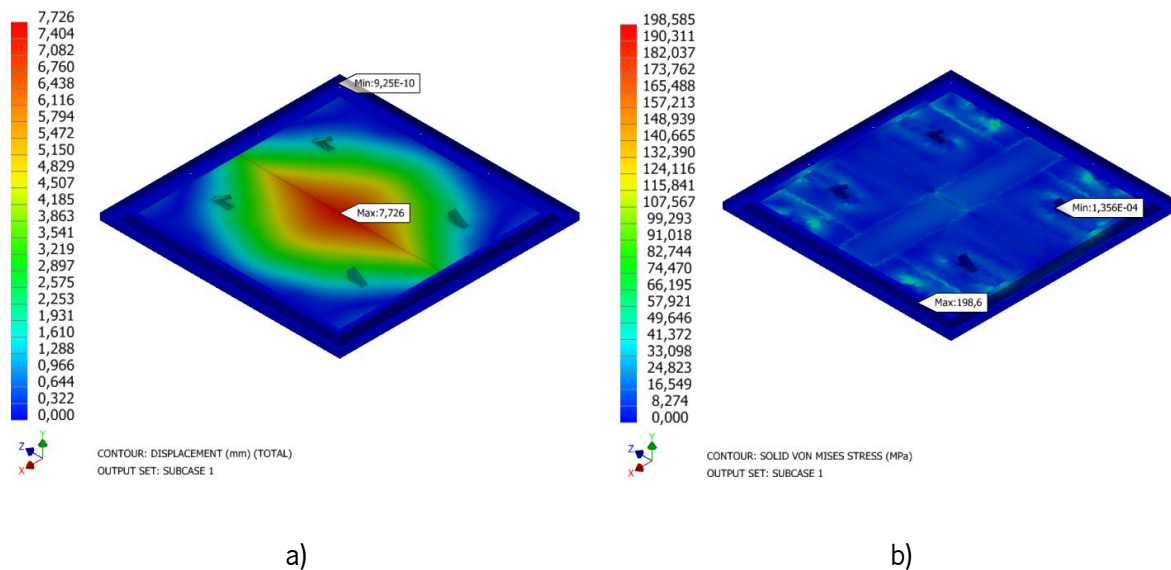


Figura 5-27 – Soluções do deslocamento total e da tensão equivalente de *Von Mises*, respetivamente em a) e b), para a simulação da plataforma de segurança.

Numa visão mais particular, as portas de segurança apresentam um resultado bastante positivo com uma distribuição de tensões uniforme sobre grande parte da sua estrutura. O valor máximo da tensão equivalente de *Von Mises* obtido, ilustrado na Figura 5-28, foi nas extremidades opostas àquelas onde se situam as dobradiças pois, como já foi mencionado, não existe apoio sob estas. Com isto, o fator de segurança mínimo associado à estrutura das portas assume o valor de 2,40, estando assim em conformidade com os requisitos pretendidos.

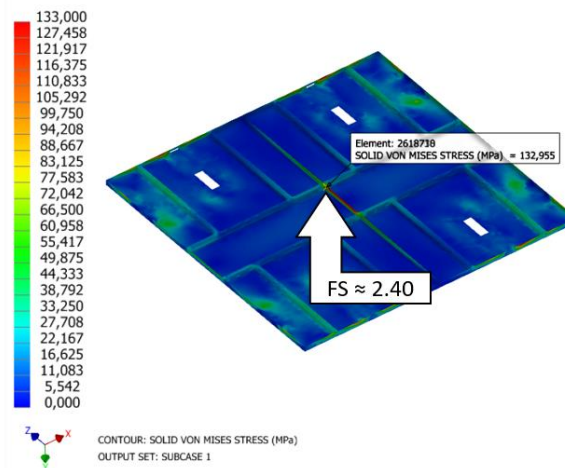


Figura 5-28 – Solução da tensão equivalente de *Von Mises* para as portas da plataforma de segurança.

Relativamente ao aro de encaixe, verificou-se que este apresenta uma estrutura praticamente isenta de tensões mais elevadas. A exceção localiza-se nos orifícios onde se inserem as trancas das fechaduras nos quais são visíveis zonas de concentração de tensões que, por sua vez, revelam os pontos críticos da estrutura. O valor máximo da tensão equivalente de *Von Mises* obtido, com um coeficiente de

segurança associado de 3,10, foi de 126,0 MPa. A estes valores pode-se ainda associar o valor de deslocamento máximo obtido para o aro de encaixe, que tomou o valor de aproximadamente 0,18 mm. A Figura 5-29 ilustra as soluções obtidas através da simulação numérica efetuada.

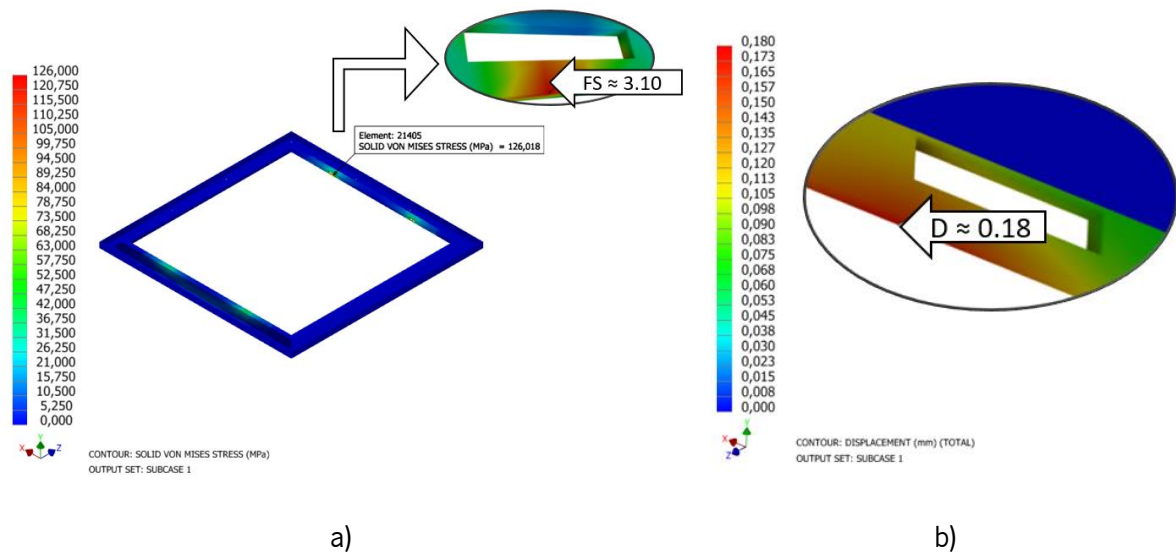


Figura 5-29 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* e do deslocamento total do aro de encaixe, respetivamente em a) e b).

Por outro lado, nas fechaduras, os resultados obtidos mostraram tensões bastante reduzidas comparativamente àquelas verificadas no aro de encaixe, como se pode observar na Figura 5-30 a). No entanto, o deslocamento máximo verificado foi na extremidade oposta à tranca da fechadura, o qual apresentou um valor de aproximadamente 2,32 mm. Este deslocamento, ilustrado na Figura 5-30 b), encontra-se diretamente associado àquele verificado nas portas de segurança uma vez que as fechaduras encontram-se associadas às portas de segurança por via das guias das mesmas.

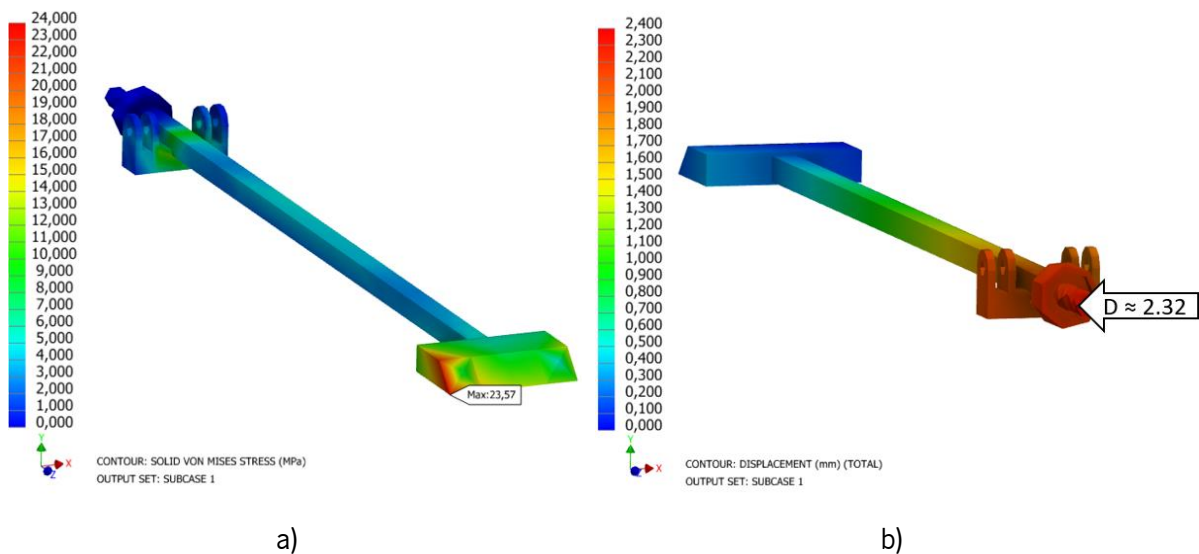


Figura 5-30 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* e do deslocamento total das fechaduras, respetivamente em a) e b).

Por último, as soluções obtidas para os componentes que formam as dobradiças revelaram uma maior intensidade de tensões, nomeadamente no pino da dobradiça. Os pontos críticos foram verificados

na zona de transição do furo do fixador da dobradiça para as dobradiças das portas de segurança, tendo um deles tomado o valor máximo de tensão equivalente de *Von Mises* de aproximadamente 198,6 MPa. Com isto, os pinos de dobradiça constituem as zonas de maior tensão da plataforma de segurança que, com um coeficiente de segurança associado de 2,07, viabilizam o funcionamento seguro do sistema. Na Figura 5-31 pode-se observar as soluções obtidas das simulações numéricas realizadas.

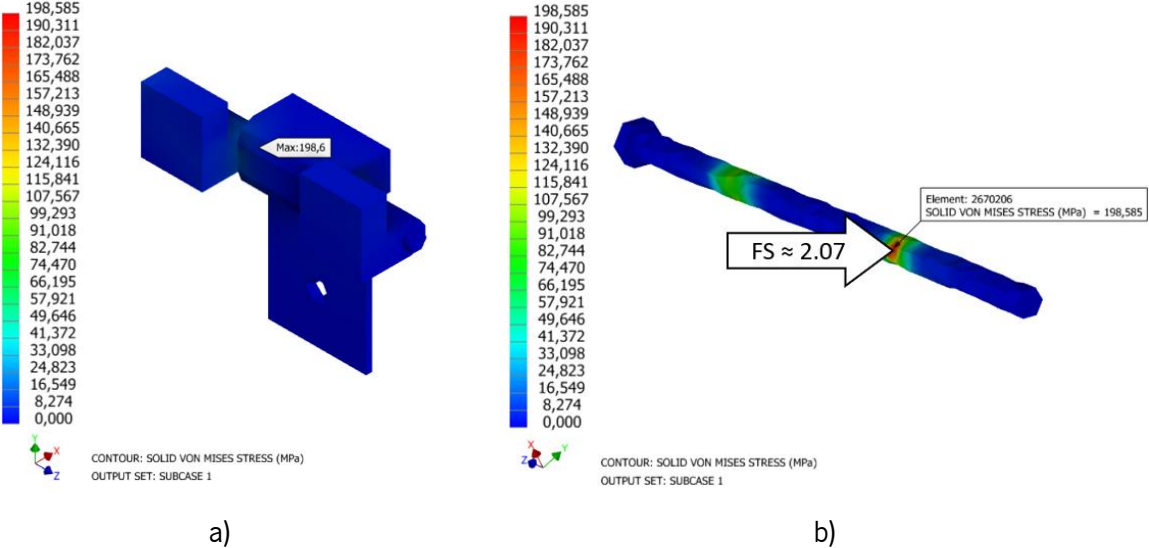


Figura 5-31 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* no subsistema das dobradiças e no pino da dobradiça, respetivamente em a) e b).

## 6. PROJETO PARA O FABRICO DO ECOPONTO IMPLEMENTADO

No presente capítulo, procura-se explicitar as ações de fabrico do sistema desenvolvido, bem como a sua montagem, com vista à obtenção do produto final.

### 6.1 Manufatura dos Componentes

O sistema de deposição de resíduos subterrâneo desenvolvido é composto maioritariamente por componentes conformados. Posto isto, foram elaboradas, para cada componente, sequências de operações de fabrico tendo em conta um elevado volume de produção.

As dimensões das chapas selecionadas para a manufatura dos componentes, por conformação de chapa, foram indicadas tendo como consideração a sua medição prévia às operações de fabrico, através das funções disponíveis na criação de uma *sheet metal part* do *software* Inventor®. Para além disso, para o dimensionamento do tamanho das chapas considerou-se um pequeno excesso de material, com vista à eliminação posterior de pequenos defeitos que se possam formar na periferia das mesmas. As dimensões finais de todos os componentes encontram-se evidenciadas no Anexo III.

As operações de soldadura indicadas neste subcapítulo são do tipo MIG/MAG. Na soldadura dos aços NP EN 10025-2 S275 e S355 utiliza-se um eletrodo designado SG1, comumente utilizado neste tipo de aços de construção, com gás de proteção M21 (Ar e CO<sub>2</sub>) [70]. Este consumível garante uma soldadura de elevada resistência com valores de tensão de cedência na ordem 400 MPa e é particularmente eficaz em estruturas que necessitem de ser posteriormente galvanizadas, como é o caso, dada a sua composição reduzida em silício [71]. Por outro lado, na soldadura dos alumínios AW 5754 e AW 6082 foi selecionado o eletrodo AlMg<sub>5</sub> com gás de proteção I1 (Ar), que garante uma resistência à corrosão e pode ser utilizado para diversas ligas de alumínio, incluindo na união de ligas dissimilares [72].



### 6.1.1 Aro de encaixe, suportes do aro de encaixe e aro de posicionamento

O aro de encaixe é fabricado a partir de uma chapa de aço EN 10025-2 S355 (2050x2050) com 5 mm de espessura. Com vista à obtenção do produto final, a chapa está sujeita às operações ilustradas na Tabela 6-1.

Tabela 6-1 – Sequência de fabrico do aro de encaixe.

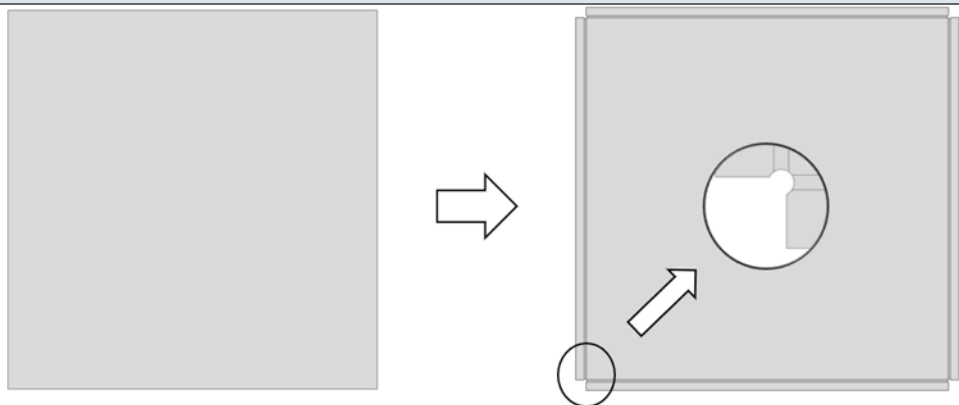
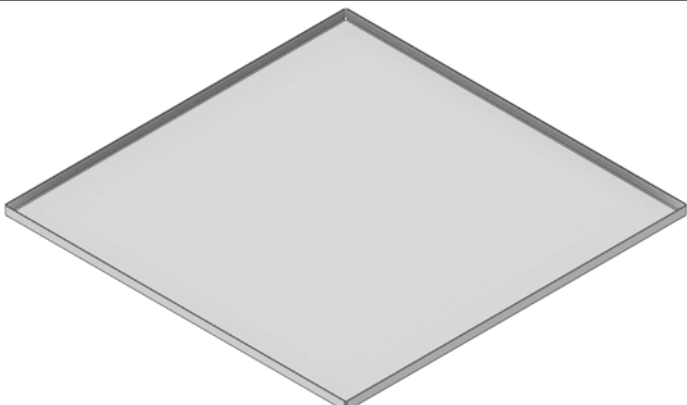
Nº	Operações
1	Corte a laser dos cantos da chapa para preparação de operação de quinagem posterior. O corte ao lado ilustrado representa a remoção de material necessária de forma a se poder realizar a quinagem da chapa sem que haja o seu rompimento nos cantos. O pormenor circular representa um aliviador de tensões que são geradas durante a dobragem da chapa.
	Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).
	
2	Quinagem da chapa de forma a elevar os flancos em 90°.
	Máquina ferramenta: Quinadora.
	



Tabela 6-1 – Sequência de fabrico do aro de encaixe (cont.).

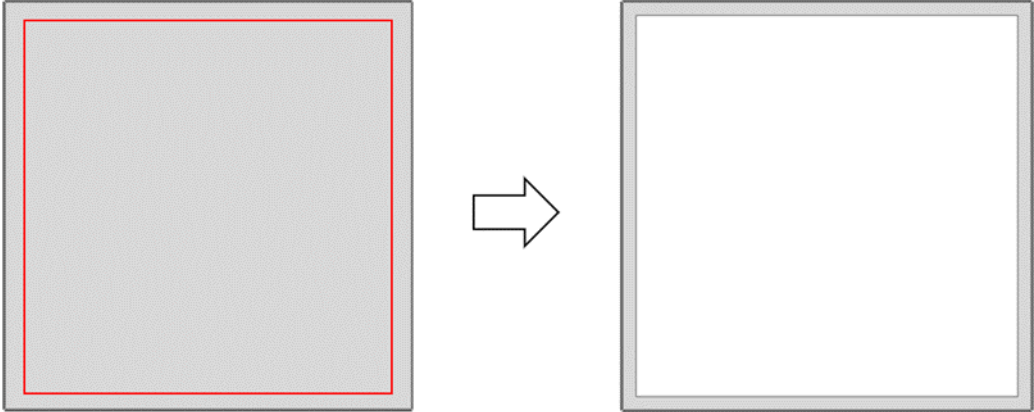
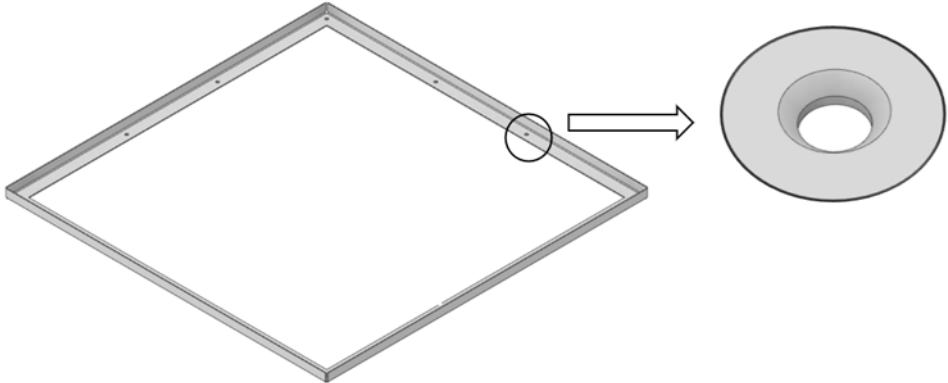
Nº	Operações
3	<p>Corte a laser da secção central da chapa (1085x1085), a qual será reaproveitada para outra secção do aro de encaixe. Para além disso, esta pode ainda ser aproveitada para a manufatura dos suportes do aro de encaixe.</p>
	<p>Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).</p> 
4	<p>Furação de doze furos para parafusos de cabeça escareada.</p>
	<p>Máquina ferramenta: Fresadora de mesa CNC com broca especificada para furos escareados.</p> 

Tabela 6-1 – Sequência de fabrico do aro de encaixe (cont.).

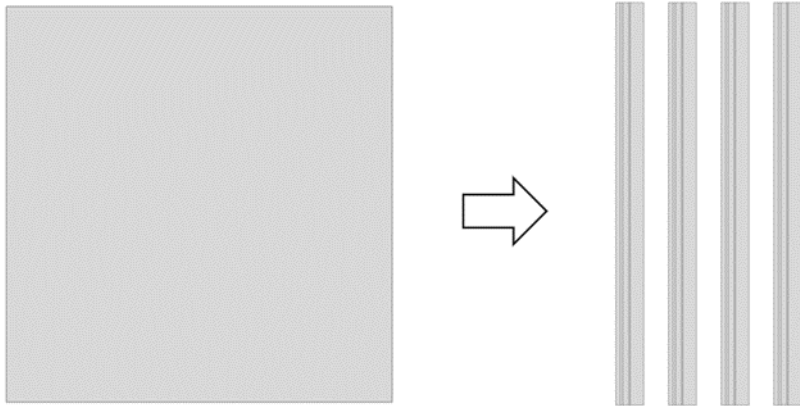
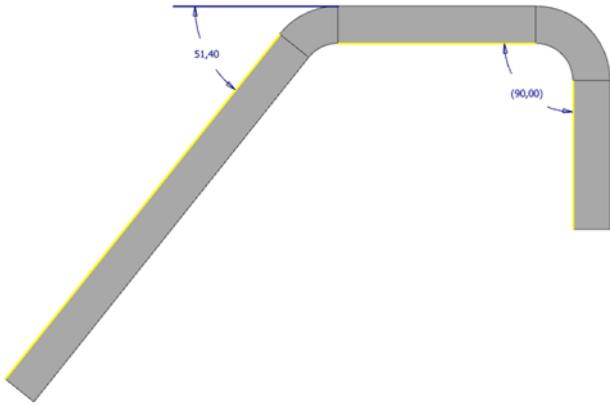
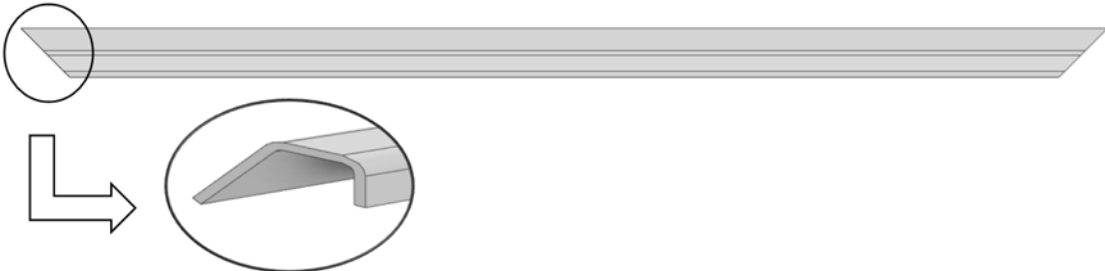
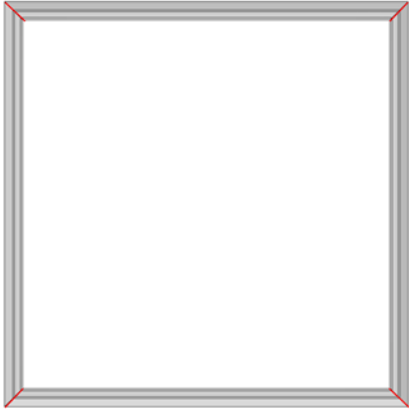
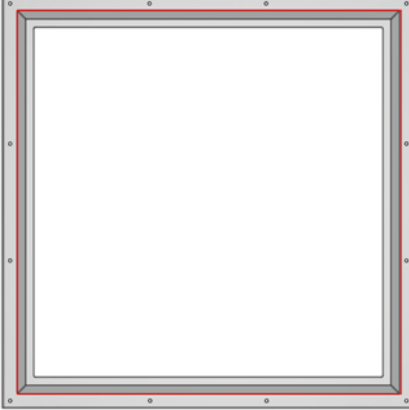
Nº	Operações
5	Com a chapa central resultante da operação <b>3</b> , elabora-se corte a laser da mesma para obtenção de tiras de chapa com 125 mm de largura. Para cada aro de encaixe fabricado são necessárias quatro tiras de chapa para a sua finalização.
	Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).
	
6	Corte a laser de ranhuras pelas quais serão inseridas as fechaduras. Esta operação é apenas executada em duas das quatro chapas.
	Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).
7	Quinagem da chapa em duas secções.
	Máquina ferramenta: Quinadora.
	

Tabela 6-1 – Sequência de fabrico do aro de encaixe (cont.).

Nº	Operações
8	Corte em meia esquadria em ambas as extremidades da secção quinada de forma a permitir a sua união por soldadura.
	Máquina ferramenta: Serra de esquadria.
	
9	União das quatro chapas, através de soldadura, de forma a criar uma geometria completamente delimitada.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	
10	União da geometria gerada na operação 9 à restante geometria previamente formada através de soldadura.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

Os suportes do aro de encaixe são manufacturados a partir do resto da chapa resultante da operação 5 da sequência de fabrico do aro de encaixe, ilustrado na Tabela 6-1. Estes derivam de chapas (255x175) e (405x100), na qual a sequência de manufactura encontra-se ilustrada na Tabela 6-2.

Tabela 6-2 – Sequência de fabrico dos suportes do aro de encaixe.

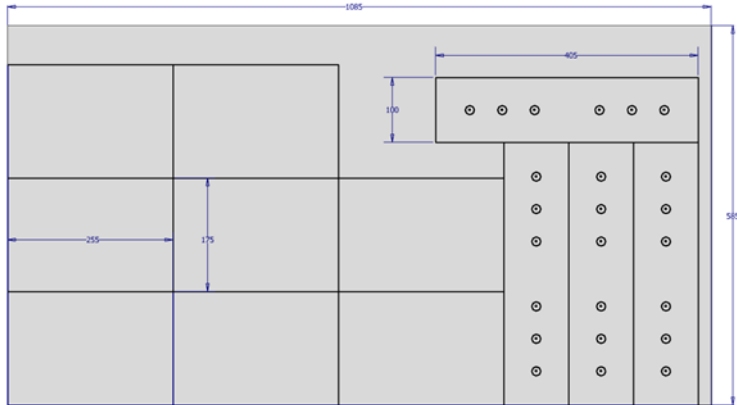
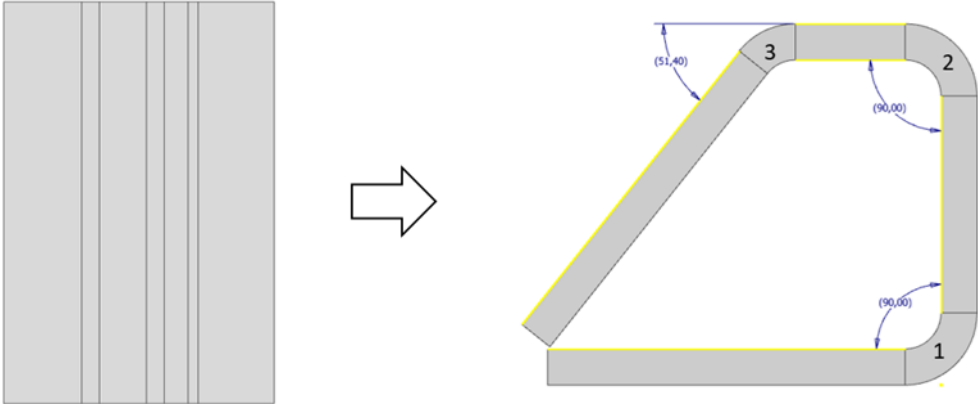
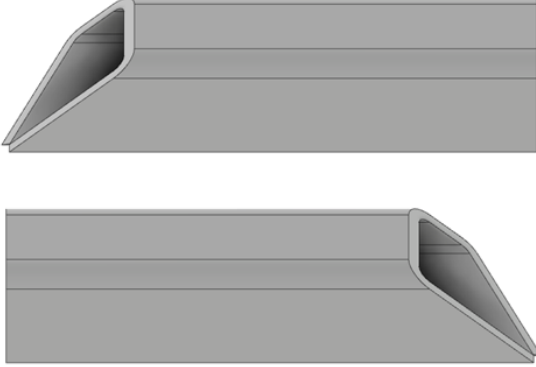
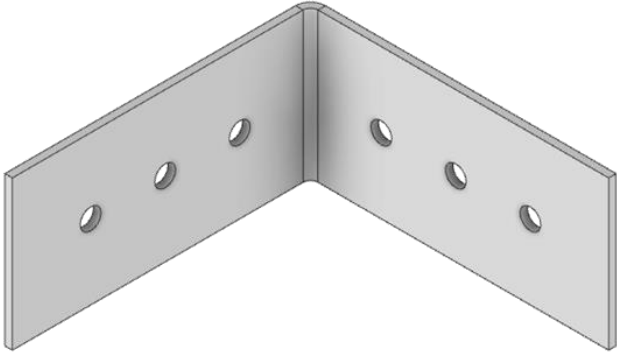
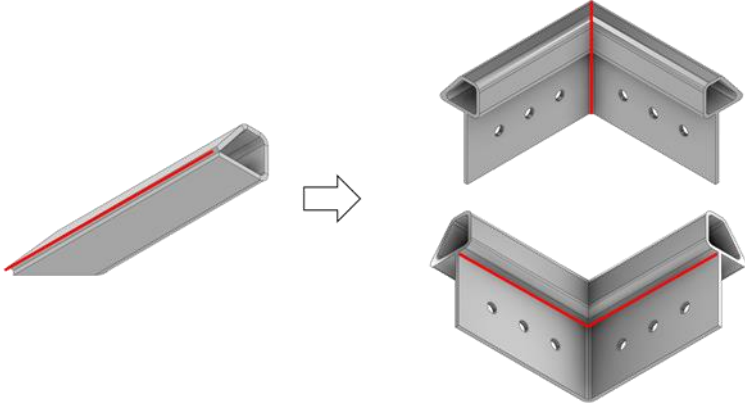
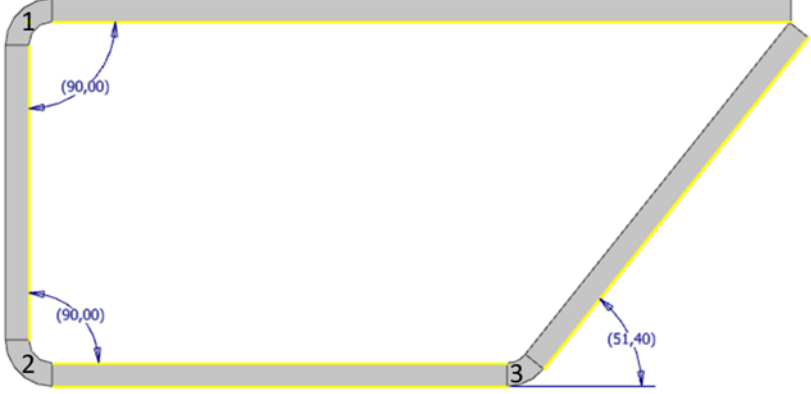

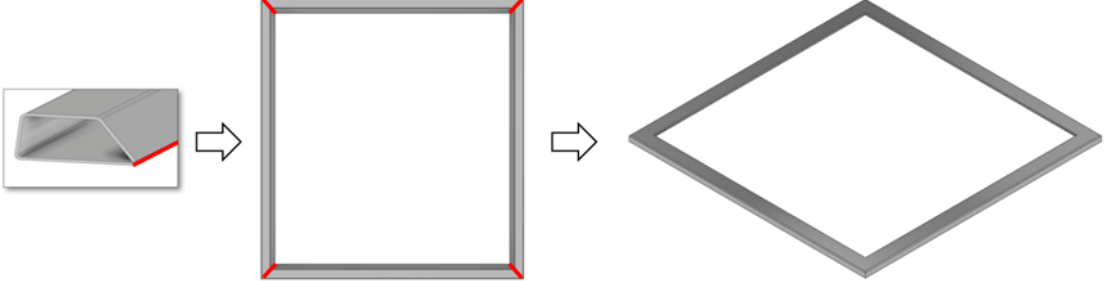
Nº	Operações
<b>1</b>	<p>Corte a laser de chapas de (255x175) e de (405x100) a partir da sobra resultante do fabrico do aro de encaixe. Na ilustração estão representadas oito chapas (255x175) e quatro (405x100) uma vez que é o número necessário de chapas para fabricar quatro suportes do aro de encaixe. As últimas estão dotadas de seis furos uma vez que são responsáveis pela fixação dos suportes.</p> <p>Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).</p> 
<b>2</b>	<p>A partir da chapa (255x175), elabora-se uma sequência de quinagens conforme representadas na ilustração abaixo.</p> <p>Máquina ferramenta: Quinadora.</p> 

Tabela 6-2 – Sequência de fabrico dos suportes do aro de encaixe (cont.).

Nº	Operações
3	<p>Corte em meia esquadria do componente de forma a preparar a sua união soldada a 90°. Para cada suporte do aro de encaixe é necessário criar este corte em duas direções distintas.</p> <p>Máquina ferramenta: Serra de esquadria.</p> 
4	<p>A partir da chapa (405x100), elaborar uma quinagem a 90°.</p> <p>Máquina ferramenta: Quinadora.</p> 
5	<p>Processo de soldadura de forma a unir todos os componentes, originando a peça final.</p> <p>Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.</p> 

O aro de posicionamento é obtido a partir de uma chapa de (1940x265) mm com 3 mm de espessura. A sua sequência de produção encontra-se ilustrada na Tabela 6-3.

Tabela 6-3 – Sequência de fabrico do aro de posicionamento.

Nº	Operações
1	Quinagem da chapa pela ordem ilustrada.
	Máquina ferramenta: Quinadora.
	
2	Corte em meia esquadria de forma a permitir a união, entre quatro componentes iguais, por soldadura.
	Máquina ferramenta: Serra de esquadria.
	
3	União da chapa dobrada seguida da união dos quatro componentes, através de soldadura, formando a peça final.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

### 6.1.2 Marco de deposição e plataforma pedonal

Conforme foi mencionado no subcapítulo 4.2.1, o marco de deposição é formado pela tampa do contentor, as respectivas dobradiças e a estrutura de deposição. A tampa do contentor é manufaturada a partir de uma chapa de alumínio AW 5754 de 3 e 5 mm de espessura. A sequência de operações encontra-se ilustrada na Tabela 6-4.

Tabela 6-4 – Sequência de fabrico da tampa do contentor.

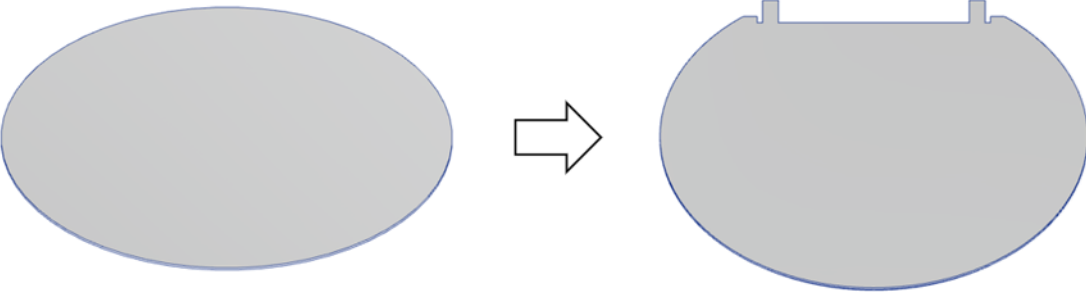
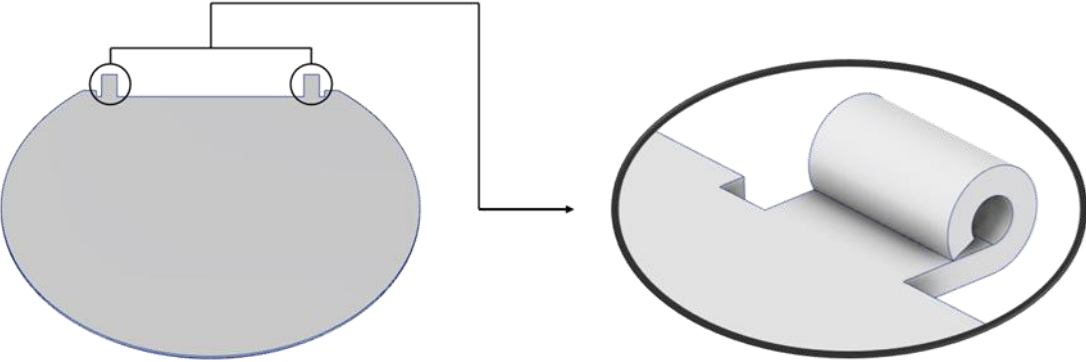
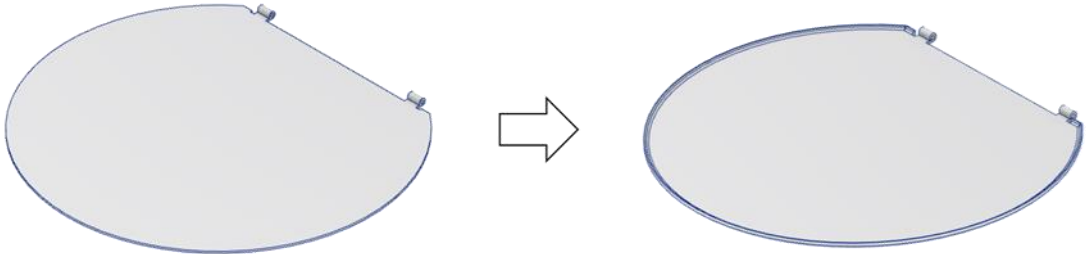
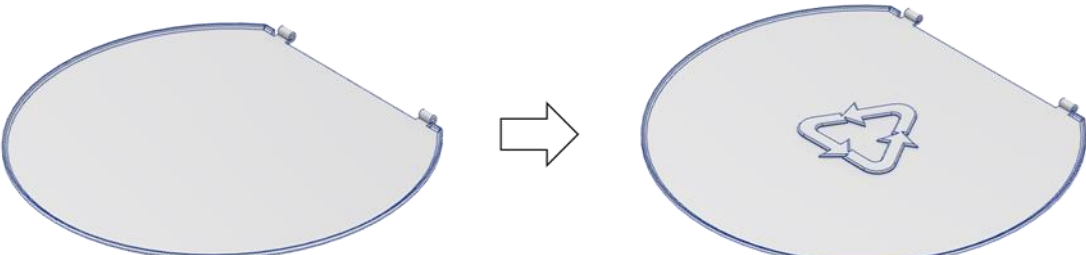
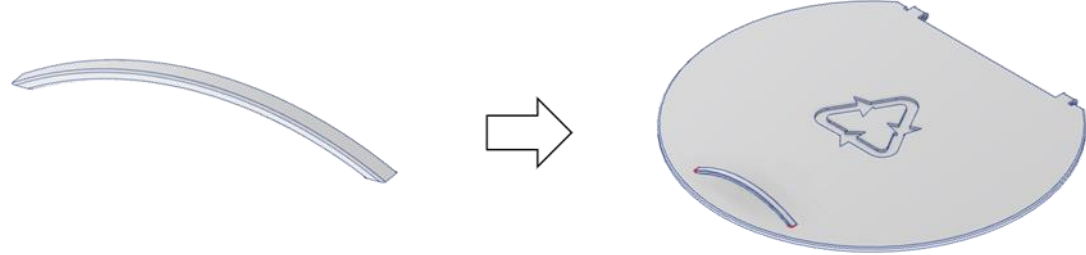
Nº	Operações
1	Corte a laser de uma chapa de 570 mm de diâmetro de modo a obter o perfil abaixo ilustrado.
	Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).
	
2	Quinagem das abas de chapa indicadas em diferentes estágios de forma a se obter o perfil abaixo ilustrado.
	Máquina ferramenta: Quinadora.
	

Tabela 6-4 – Sequência de fabrico da tampa do contentor (cont.).

Nº	Operações
3	Estampagem da chapa com profundidade de 3 mm.
	Máquina ferramenta: Prensa mecânica/hidráulica.
	
4	Estampagem inversa da chapa com vista à obtenção do pormenor abaixo ilustrado.
	Máquina ferramenta: Prensa mecânica/hidráulica.
	
5	Dobragem de chapa (185x10) de 5 mm de espessura de forma a conceber um puxador para a abertura da tampa do contentor. Esta será cortada nas pontas de forma que as suas faces laterais sejam paralelas à tampa do contentor e as arestas vivas retificadas. Por último, esta é soldada à tampa por soldadura.
	Máquinas ferramentas: Calandra, serra de esquadria e equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

No caso da estrutura de deposição, esta é fabricada a partir de chapa de alumínio AW 5754 de 3 mm de espessura. A sua sequência de fabrico encontra-se representada na Tabela 6-5.



Tabela 6-5 – Sequência de fabrico da estrutura de deposição.

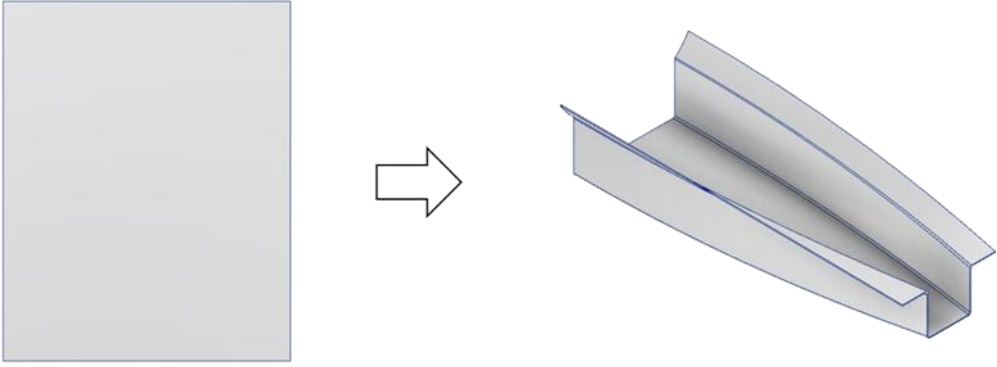
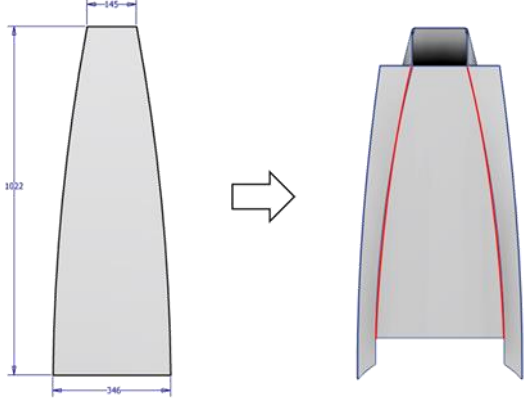
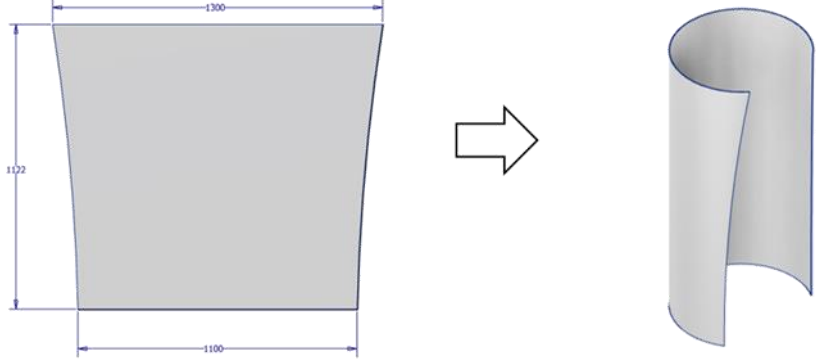
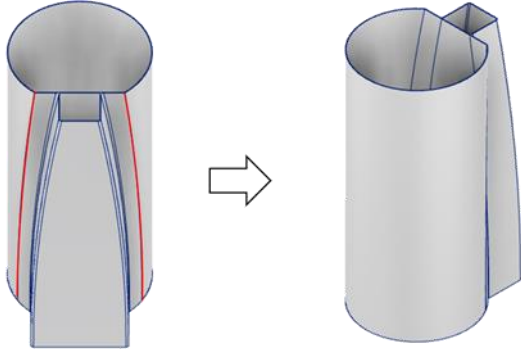
Nº	Operações
1	<p>Estampagem de uma chapa de (1125x900) previamente cortada a laser com vista à obtenção do perfil abaixo ilustrado.</p>
	<p>Máquinas ferramentas: Máquina de corte laser (fibra ótica) e prensa mecânica/hidráulica.</p>
	 <p>The diagram illustrates the stamping process. On the left, a flat rectangular sheet is shown. A white arrow points to the right, where a 3D perspective view of a U-shaped profile is shown. The profile has a flat bottom and two raised, slightly curved sides.</p>
2	<p>Corte a laser de uma chapa com dimensões especificadas e posterior soldadura à estrutura formada na operação <b>1</b>.</p>
	<p>Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica) e equipamento de soldadura MIG/MAG.</p>
	 <p>The diagram shows the laser cutting and welding process. On the left, a 2D technical drawing of a trapezoidal part is shown with dimensions: a top width of 45, a bottom width of 346, and a height of 1022. A white arrow points to the right, where a 3D perspective view of the same part is shown. Red lines indicate the laser cut edges, and a black rectangular piece is shown being welded to the top surface of the part.</p>

Tabela 6-5 – Sequência de fabrico da estrutura de deposição (cont.).

Nº	Operações
3	Calandragem de uma chapa com dimensões especificadas previamente cortada a laser.
	Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica) e calandra.
	
4	Soldadura dos dois perfis de chapa formados nas operações 2 e 3.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

Por fim, as dobradiças da tampa resultam da junção soldada de pequenas geometrias de chapa de alumínio AW 5754 de 3 mm de espessura e de uma barra quadrada de AW 6082 com vista à obtenção da geometria presente na Figura 6-1. A chapa (35x10) de alumínio AW 5754 é obtida por corte a laser e a geometria furada é fresada a partir de uma barra quadrada de 20 mm de lado. A linha vermelha presente na figura representa as zonas a soldar para promover a união dos perfis dimensionados.

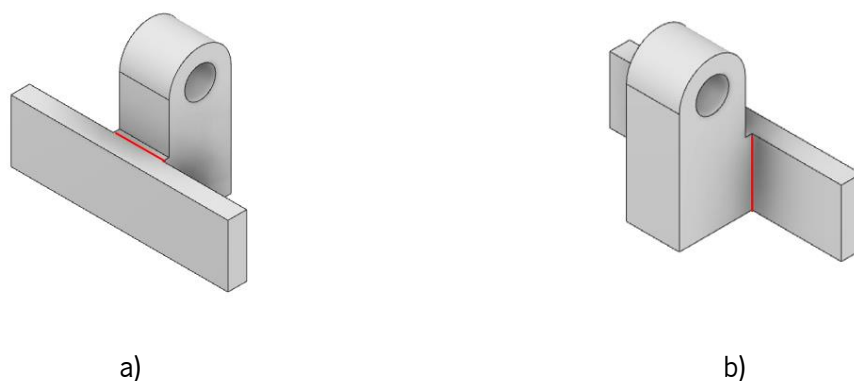


Figura 6-1 – Demonstração de fabrico das dobradiças da tampa.

A manufatura das dobradiças da tampa recorre à utilização das seguintes máquinas ferramentas:

- Máquina de corte laser (fibra ótica);
- Centro de maquinagem CNC;
- Equipamento de soldadura MIG/MAG.

Por fim, a plataforma pedonal é manufaturada a partir de chapa de aço NP EN 10025-2 S355 (2000x2000) de 3 mm de espessura. A sua sequência de fabrico encontra-se representada na Tabela 6-6.

Tabela 6-6 – Sequência de fabrico da plataforma pedonal.

Nº	Operações
<b>1</b>	Corte a laser dos cantos de uma chapa (2000x2000) de forma a preparar a operação de quinagem posterior. Para além disso realiza-se também as aberturas abaixo ilustradas.
	Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).

Tabela 6-6 – Sequência de fabrico da plataforma pedonal (cont.).

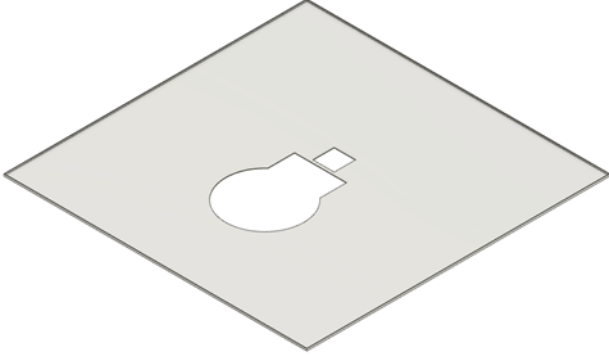
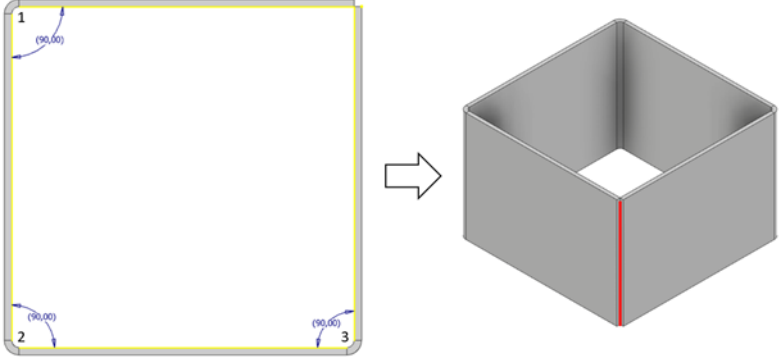
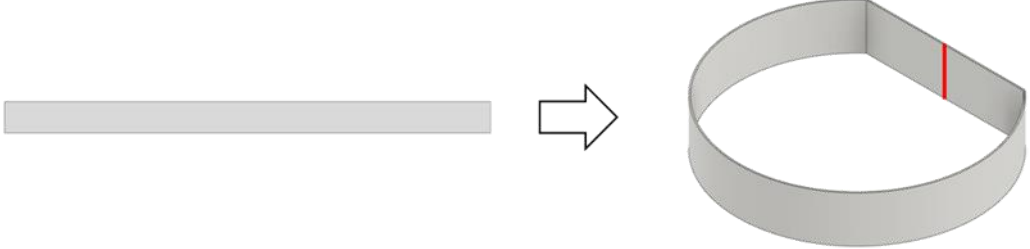
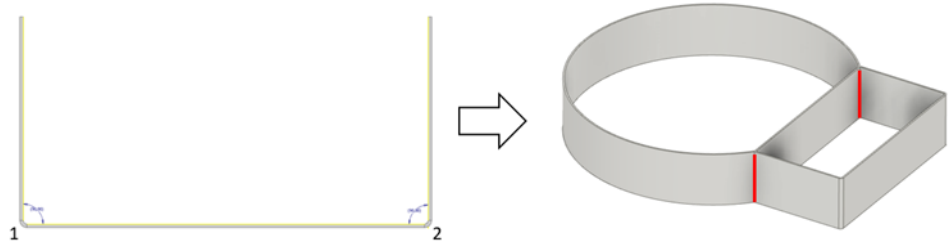
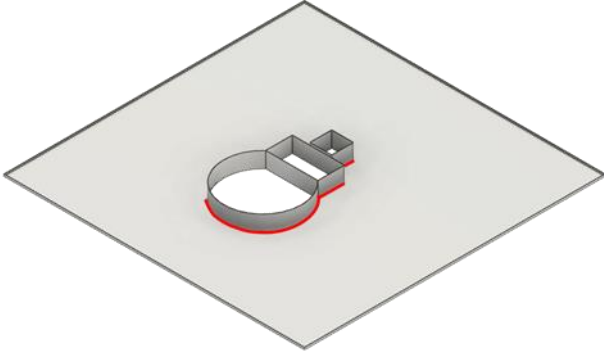
Nº	Operações
2	Quinagem dos flancos da chapa com um ângulo de 90°.
	Máquina ferramenta: Quinadora.
	
3	Formação de um perfil quadrado a partir de uma chapa (565x100) cortada a laser que foi sujeita a quinagem e, por fim, soldada.
	Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica), quinadora e equipamento de soldadura MIG/MAG.
	
4	Calandragem de uma chapa (1580x100) cortada a laser com vista à obtenção do perfil abaixo ilustrado. No final, este será soldado para união do perfil calandrado.
	Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica), calandra e equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

Tabela 6-6 – Sequência de fabrico da plataforma pedonal (cont.).

Nº	Operações
5	Quinagem de uma chapa (690x100) cortada a laser e soldadura da geometria obtida ao perfil de chapa resultante na operação 5.
	Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica), quinadora e equipamento de soldadura MIG/MAG.
	
6	Soldadura dos perfis obtidos nas operações 4 e 6 à geometria resultante da operação 3.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

### 6.1.3 Gancho de elevação, tubo de elevação, barra U estrutural e suporte do contentor

O gancho de elevação é composto por um varão de 25 mm de diâmetro de aço NP EN 10025-2 S355 sujeito a uma operação de dobragem a quente. A Figura 6-2 ilustra o resultado desta operação.

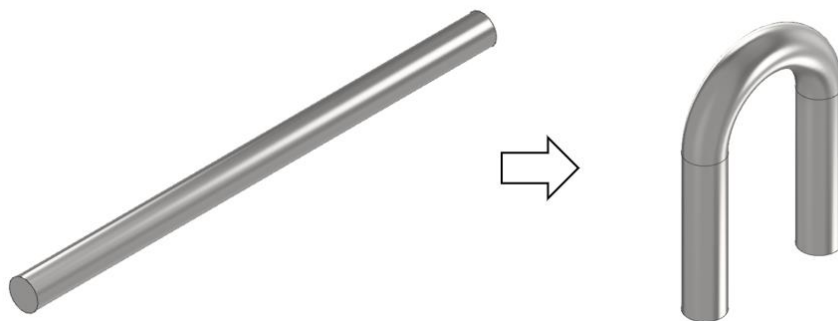


Figura 6-2 – Sequência de fabrico do gancho de elevação.

O tubo de elevação é constituído por um tubo quadrado (80x80) de 6 mm de espessura associado a duas chapas de 10 mm de espessura, sendo todos de aço NP EN 10025-2 S355. A chapa situada na parte inferior do tubo é sujeita a corte laser de modo a criar o perfil exposto na Figura 6-3 a). Após esta operação pode-se proceder à soldadura de ambas as chapas ao tubo quadrado, obtendo-se a peça finalizada, ilustrada na Figura 6-3 b).

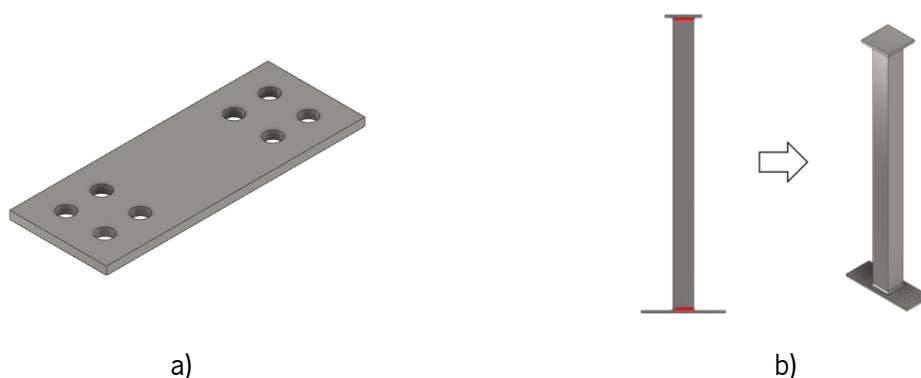


Figura 6-3 – Chapa (320x120) e etapa de soldadura para formação da peça, respetivamente em a) e b).

Por outro lado, a barra U estrutural é obtida a partir do fornecimento de um perfil de aço em U segundo a norma NP EN 10279 e de cinco chapas (138x57,5) de 5 mm de espessura, sendo todos de aço NP EN 10025-2 S355. Em primeiro lugar, o perfil é sujeito a corte laser de forma a abrir os furos coincidentes àqueles do tubo de elevação, dando origem à geometria ilustrada na Figura 6-4 a). De seguida, procede-se à soldadura das chapas especificadas ao longo do perfil U, obtendo-se o componente presente na Figura 6-4 b).

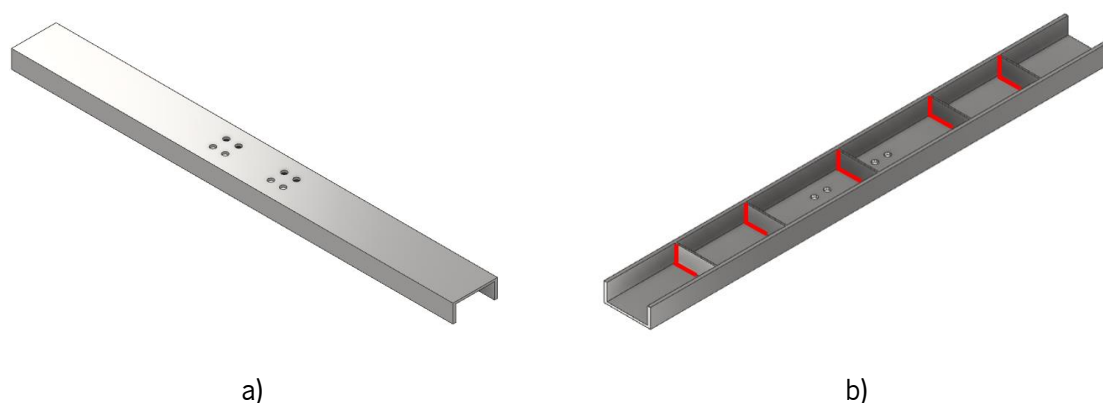


Figura 6-4 – Perfil U após furação e após soldadura das chapas especificadas, respetivamente em a) e b).

Por fim, o suporte do contentor deriva da ligação soldada de cantoneiras de abas iguais de 55 mm e com 6 mm de espessura de aço NP EN 10025-2 S355. Para se poder realizar a união das cantoneiras em cada junta é necessário preparar as mesmas de forma que a ligação soldada seja corretamente executada. Posto isto, procede-se com o corte das abas em meia esquadria, como se pode visualizar na Figura 6-5 a). Com vista a promover a sua junção, executa-se a soldadura das extremidades trabalhadas,

e repete-se o processo para as restantes juntas. Na Figura 6-5 b) pode-se observar a junta soldada resultante do processo supramencionado.

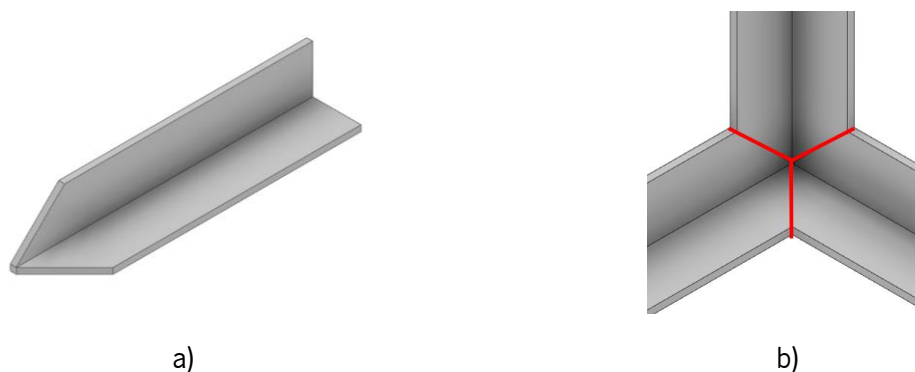


Figura 6-5 – Corte em meia esquadria das abas da cantoneira e junta soldada originada pela união de três cantoneiras, respetivamente em a) e b).

Para além disso, o suporte estrutural está dotado de quatro recortes situados na sua parte inferior em duas das quatro cantoneiras, os quais são executados a partir de corte a laser previamente à soldadura das juntas. Na Figura 6-6 pode-se visualizar os recortes mencionados e o componente finalizado.

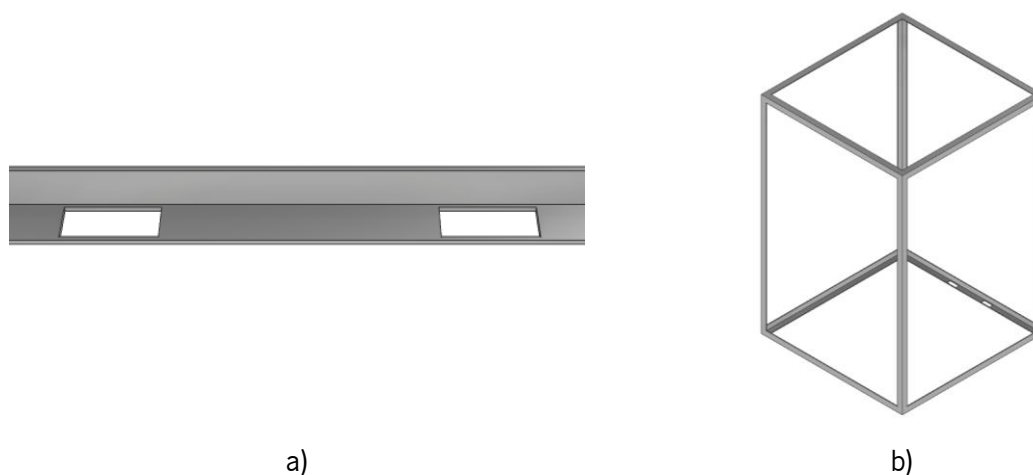


Figura 6-6 – Recortes nas cantoneiras inferiores e componente final, respetivamente em a) e b).

A realização destes componentes foi possibilitado com o recurso das seguintes máquinas ferramentas:

- Máquina de corte laser para a realização de corte das chapas para as dimensões a utilizar no fabrico dos componentes e para execução de pormenores, como os furos da chapa inferior do tubo de elevação, os furos da barra U estrutural e os recortes do suporte do contentor;
- Calandra para dobragem de perfis de aço circulares, nomeadamente, o gancho de elevação;
- Serra de esquadria para a preparação das cantoneiras para a sua junção;
- Equipamento de soldadura MIG/MAG para soldadura de todos os perfis.

#### 6.1.4 Tubo fixador da corrente, tubo para passagem da corrente e perfil de engate das correntes

O tubo fixador das correntes é composto por um conjunto de perfis de aço NP EN 10025-2 S355, sendo estes: um bloco formado a partir de uma barra de secção quadrada (70x70), um tubo quadrado (130x130) com 4 mm de espessura e por uma chapa (140x140) com 10 mm de espessura. Em primeiro lugar, realiza-se a operação de furação no bloco com recurso a uma broca M22 apta para furos cegos de 35 mm de profundidade, seguida de uma operação de roscagem com ferramenta de roscas M22x2.5, resultando no perfil ilustrado na Figura 6-7 a). De seguida, procede-se com a soldadura da chapa (140x140) na extremidade do bloco oposta ao furo, como consta na Figura 6-7 b). Por fim, realiza-se um recorte no tubo quadrado (130x130) e insere-se a geometria resultante das operações anteriores no seu interior, com vista à soldadura deste junto à extremidade do bloco onde se encontra a chapa, obtendo-se, assim, o componente finalizado. Na Figura 6-7 c) pode-se observar a etapa final de fabrico do tubo fixador da corrente.

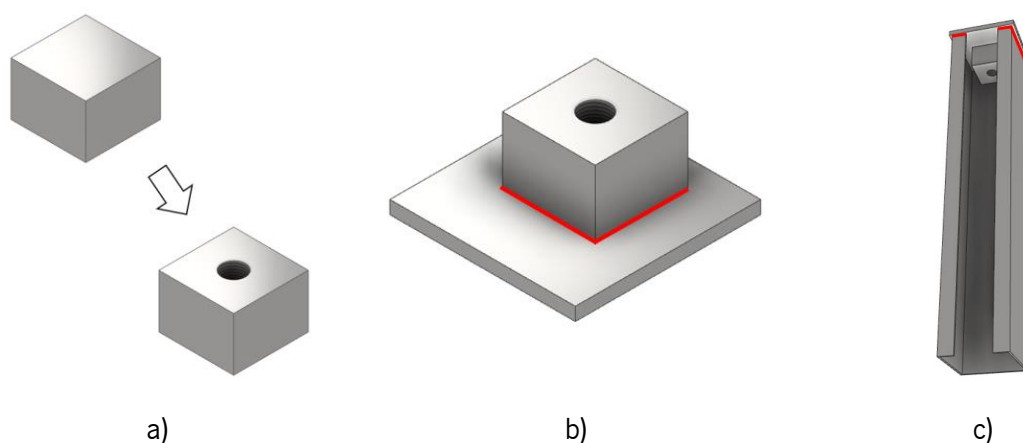


Figura 6-7 – Bloco após furação e roscagem, soldadura da chapa ao bloco e soldadura do tubo quadrado à restante geometria, respetivamente em a), b) e c).

De outro modo, o tubo para a passagem da corrente deriva de um tubo de secção quadrada (140x140) de 2 mm de espessura cortado, como ilustrado na Figura 6-8.

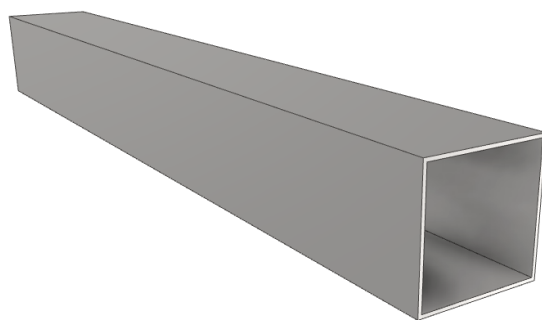


Figura 6-8 – Tubo para passagem da corrente (140x140).



Por outro lado, o perfil de engate das correntes resultam do corte de vários segmentos de tubo em ângulos especificados com vista à formação de um só componente através de soldadura. Na Tabela 6-7 pode-se visualizar as diferentes etapas de fabrico com vista à obtenção do componente finalizado.

Tabela 6-7 – Sequência de fabrico do perfil de engate das correntes.

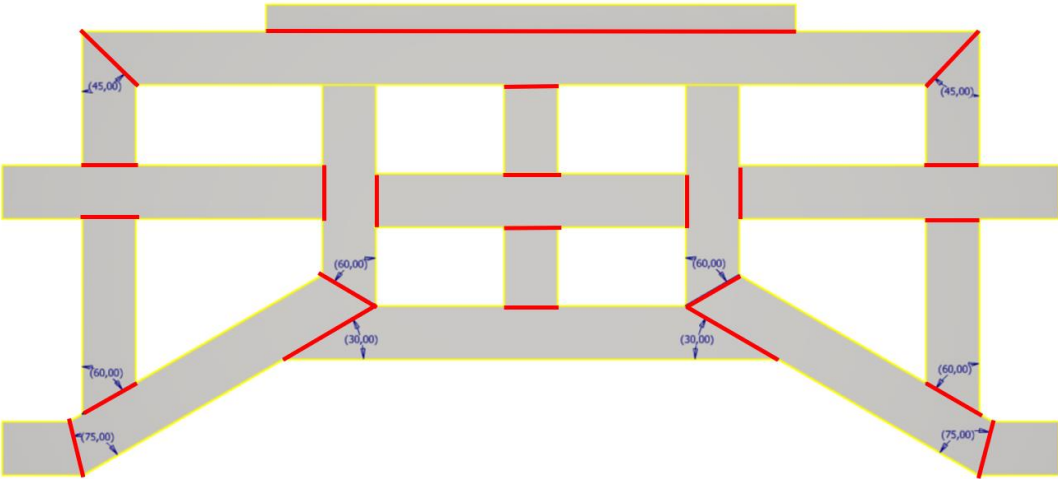
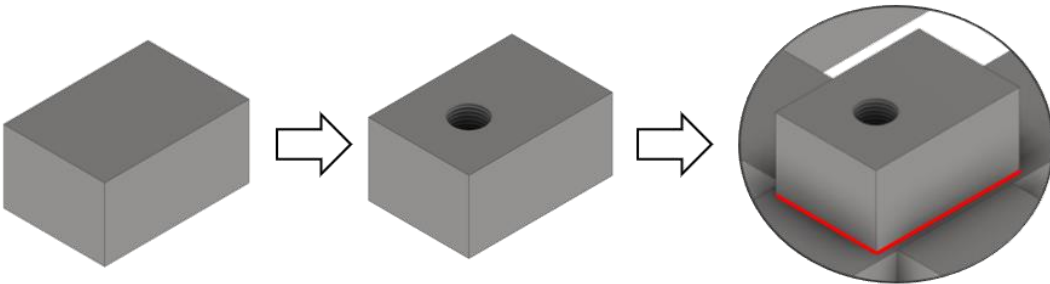
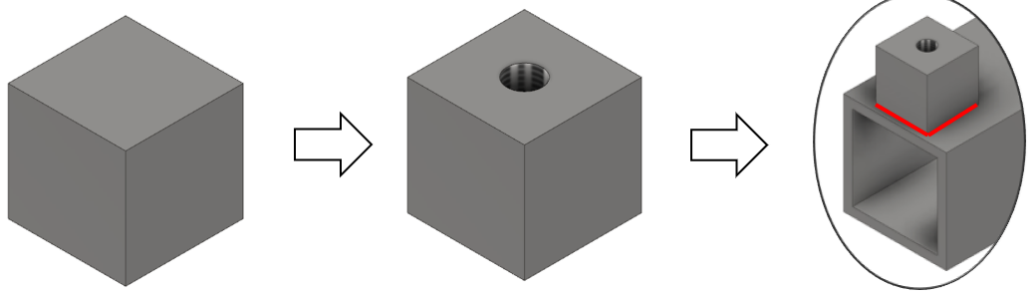
Nº	Operações
1	<p>Corte de uma barra quadrada (40x40), um conjunto de tubos quadrados (80x80) com 7 mm de espessura e dois individuais de 5 e 8 mm, em diferentes formatos, abaixo ilustrados, com ângulos de junta especificados. De seguida, procede-se à soldadura de todas as geometrias formando um perfil de metal único.</p> <p>Máquinas ferramentas: Serra de esquadria e equipamento de soldadura MIG/MAG.</p> 
2	<p>Corte de um bloco metálico a partir de uma barra de secção retangular (70x50). De seguida, procede-se à sua furação e roscagem com recurso a uma broca M22 para um furo cego com 35 mm de profundidade e uma ferramenta para roscas métricas M22x2.5, respetivamente. Por fim executa-se a sua soldadura ao restante perfil formado.</p> <p>Máquinas ferramentas: Serra de bancada, centro de maquinagem CNC e equipamento de soldadura MIG/MAG.</p> 

Tabela 6-7 – Sequência de fabrico do perfil de engate das correntes (cont.).

Nº	Operações
3	Corte de quatro blocos a partir de uma barra de secção quadrada (40x40). De seguida, procede-se com a furação e roscagem dos blocos a partir de uma broca M12 para furos cegos com 23 mm de profundidade e uma ferramenta para roscas métricas M12x1.75, respetivamente. Por fim, procede-se à soldadura destes ao restante perfil previamente formado.
	Máquinas ferramentas: Serra de bancada, centro de maquinagem CNC e equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

De forma a manufacturar os componentes abordados neste subcapítulo, são empregues as seguintes máquinas ferramentas:

- Máquina de corte laser para corte de chapa e do recorte do tubo quadrado necessário para o tubo fixador da corrente;
- Centro de maquinagem CNC para a realização da furação e roscagem no bloco do tubo fixador das correntes e nos blocos do perfil de engate das correntes;
- Serra de esquadria para o corte dos tubos e da barra quadrada para o dimensionamento desejado para cada componente;
- Equipamento de soldadura MIG/MAG para todas as operações de soldadura envolventes no fabrico dos componentes.

#### 6.1.5 Régua Superiores, régua estruturais e placas de revestimento

As régua superiores são formadas por chapas de aço NP EN 10025-2 S355 de múltiplos tamanhos com uma espessura igual a 5 mm, que se encontram divididas em duas secções principais em conjunto com três pequenas chapas individuais. A sua sequência de fabrico encontra-se ilustrada na Tabela 6-8.

Tabela 6-8 – Sequência de fabrico das régua superiores.


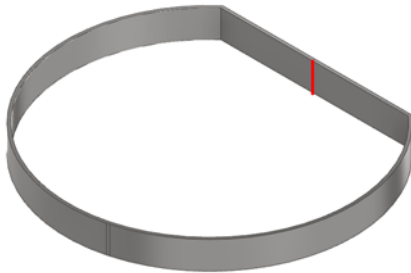
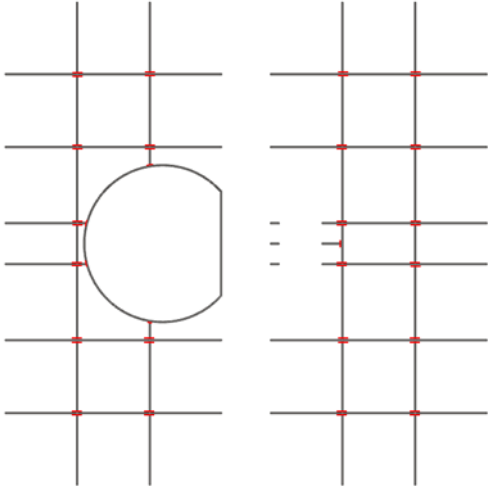
Nº	Operações
1	<p>Corte a laser de chapas com o formato requerido para o fabrico do componente. São necessárias dezasseis chapas de 234 mm de comprimento, oito de 712,5 mm; seis de 245 mm, três de 29 mm, três de 129 mm duas de 268 mm, duas de 543,5 mm; duas de 58,5 mm; uma de 65 mm e uma de 1600 mm. Para além disso, todas as chapas apresentam uma largura de 50 mm.</p>
	<p>Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).</p>
	
2	<p>Calandragem da chapa de 1600 mm com vista à obtenção do perfil abaixo ilustrado e respetiva soldadura.</p>
	<p>Máquinas ferramentas: Calandra e equipamento de soldadura MIG/MAG.</p>
	

Tabela 6-8 – Sequência de fabrico das régua superiores (cont.).

Nº	Operações
3	União das chapas por soldadura e representação da sua posição relativa entre secções.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

Por outro lado, as régua estruturais A e B são manufacturadas a partir de chapas de aço NP EN 10025-2 S355 (2283x55) e (2325x55), respetivamente, com 5 mm de espessura. O formato e os recortes presentes na sua geometria são elaborados por corte a laser, sendo o necessário para a conclusão de ambos os componentes. Na Figura 6-9 é possível observar os recortes efetuados em ambos perfis de chapa.



Figura 6-9 – Recortes na régua estrutural A e B, respetivamente em a) e b).

Por fim, as placas de revestimento, são chapas de aço NP EN 10025-2 S355 com 2 mm de espessura cortadas a laser de modo a se obter o formato desejado de (2345x1600).

Para a manufatura das régua estruturais e das placas de revestimento é necessário apenas uma máquina de corte laser, sendo, assim, dos componentes mais simples de todo o sistema.

### 6.1.6 Chapas isoladoras das régulas, chapas para passagem das correntes e chapas isoladoras de resíduos

As chapas abordadas neste capítulo são manufaturadas em aço NP EN 10025-2 S355 com 2 mm de espessura. A chapa isoladora das régulas é fabricada a partir de uma chapa (2280x370) com dois recortes nos cantos inferiores. A chapa, cujo formato é obtido por corte a laser, é depois sujeita a duas operações de quinagem a 90°, resultando no perfil representado na Figura 6-10.

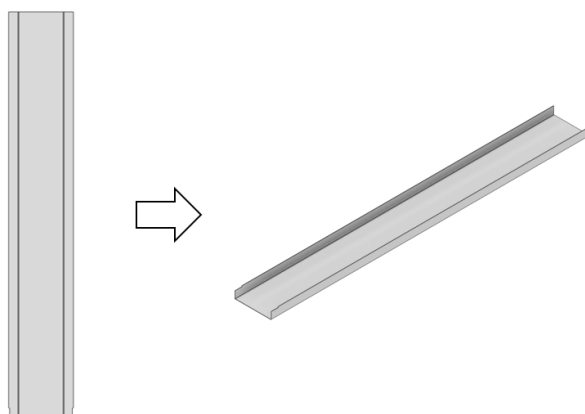


Figura 6-10 – Sequência de fabrico da chapa isoladora das régulas.

Por outro lado, as chapas para a passagem das correntes derivam de uma chapa (2265x370) com recortes inferiores idênticos àqueles verificados nas chapas isoladoras das régulas e com acréscimo de um rasgo na parte superior de secção (733x80). Após formatação da chapa por corte a laser, esta é quinada em 90° com vista à obtenção do perfil ilustrado na Figura 6-11.

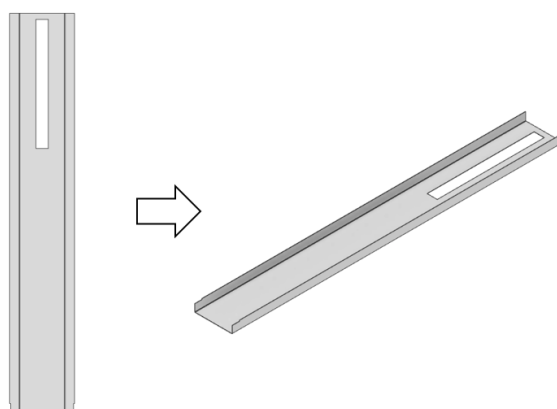


Figura 6-11 – Sequência de fabrico da chapa para passagem das correntes.

Relativamente às chapas isoladoras de resíduos, estas são obtidas pelo corte de um rasgo (80x80), desde a parte superior de uma chapa (735x90), com vista à obtenção do perfil ilustrado na Figura 6-12.



Figura 6-12 – Chapa isoladora de resíduos finalizada.

No fabrico das chapas abordadas neste subcapítulo é necessário uma máquina de corte laser para formação dos perfis de chapa e uma quinadora para a adição de dobras às duas primeiras.

#### 6.1.7 Alçapões do contentor

Os alçapões do contentor são manufacturados em aço NP EN 10025-2 S355, apresentando diferentes perfis do mesmo aço na sua estrutura. A sequência de fabrico do mesmo encontra-se ilustrada na Tabela 6-9.

Tabela 6-9 – Sequência de fabrico dos alçapões do contentor.

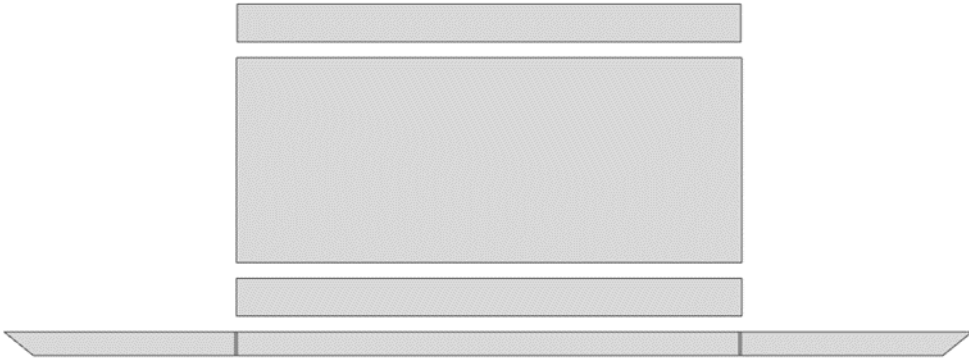
Nº	Operações
1	Corte a laser de quatro chapas de dimensões (1603x650) e (1597x120) com 5 mm de espessura; (1603x120) e (3070x75) com 3 mm de espessura. A última possui recortes nas extremidades para preparação da montagem entre os diferentes perfis.
	Máquina ferramenta: Máquina de corte a laser (fibra ótica).
	

Tabela 6-9 – Sequência de fabrico dos alçapões do contentor (cont.).

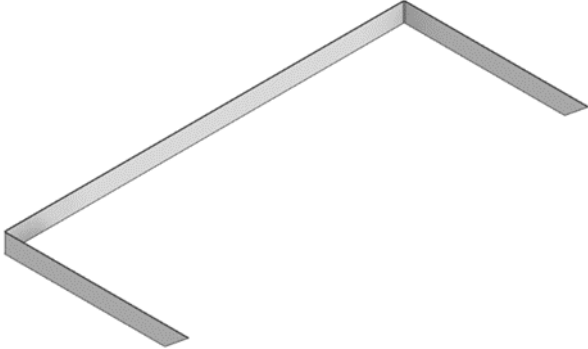
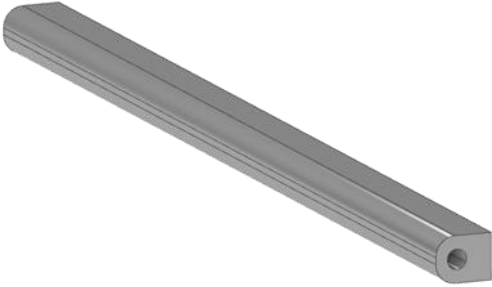
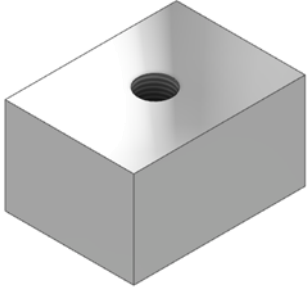
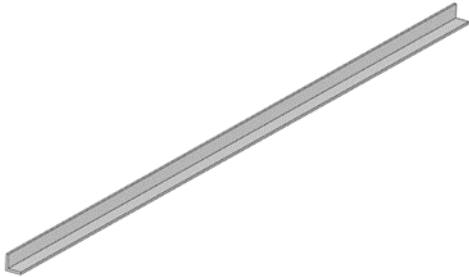
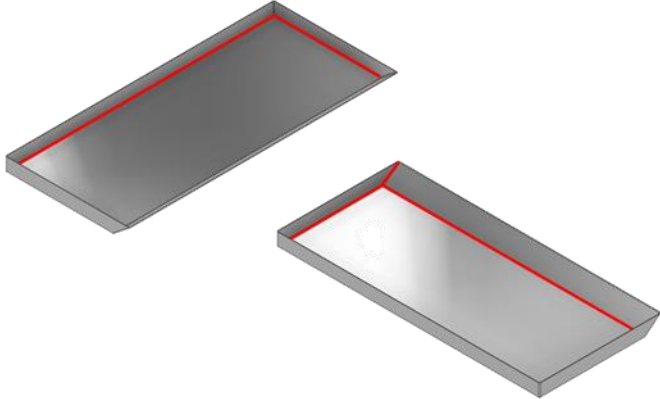
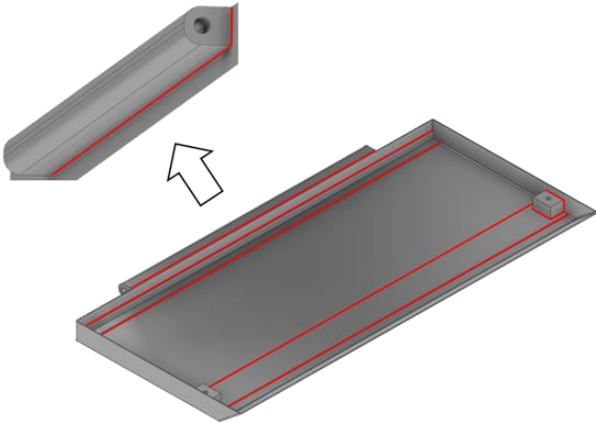
Nº	Operações
2	Quinagem da chapa (3070x75) com vista à obtenção do perfil abaixo ilustrado.
	Máquina ferramenta: Quinadora.
	
3	Extrusão a quente do perfil abaixo ilustrado.
	Máquina ferramenta: Extrusora.
	
4	Corte de dois blocos de metal a partir de uma barra retangular de secção (80x60). De seguida, executa-se um furo cego de 23 mm de profundidade com broca M12. Por fim, elabora-se uma operação de roscagem com ferramenta de roscas M12x1.75.
	Máquinas ferramentas: Serra de bancada e centro de maquinagem CNC com ferramentas especificadas para a operação de furação e roscagem supramencionadas.
	

Tabela 6-9 – Sequência de fabrico dos alçapões do contentor (cont.).

Nº	Operações
5	Corte de uma cantoneira de abas iguais (35x35) com 5 mm de espessura para posterior soldadura à estrutura do alçapão.
	Máquina ferramenta: Serra de bancada.
	
6	Soldadura das chapas de dimensões (1603x650), (1603x120) e (3070x75) com vista à formação de um alçapão.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	
7	Soldadura dos restantes perfis projetados para a estrutura do alçapão.
	Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.
	



### 6.1.8 Pinos das dobradiças do alçapão do contentor e da porta de segurança

Os pinos das dobradiças são manufacturados a partir de varões de aço NP EN 10025-2 S355 e S275 de diâmetros de 10 e 20 mm. No caso dos pinos das dobradiças dos alçapões, utilizam-se varões de 20 mm de diâmetro com 1620 mm de comprimento de aço S355. Numa extremidade este é soldado a um perfil resultante de um varão de 40 mm de diâmetro e noutra ocorre uma operação de roscagem externa M20x2 com 20 mm de comprimento. Na Figura 6-13 pode-se visualizar o resultado das operações de fabrico dos pinos das dobradiças dos alçapões dos contentores.

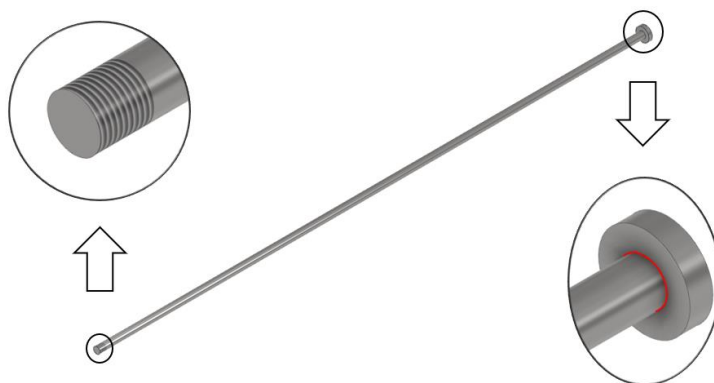


Figura 6-13 – Roscagem e soldadura no pino da dobradiça do alçapão.

Por outro lado, os pinos das dobradiças das portas de segurança derivam de um varão de 10 mm de diâmetro e 190 mm de comprimento de aço S275. De igual forma como foi visto para o pino dos alçapões do contentor, este encontra-se soldado a um perfil redondo de 20 mm de diâmetro numa extremidade e possui uma rosca M10x1.5 com 10 mm de comprimento noutra. A Figura 6-14 ilustra o resultado das operações de fabrico do componente abordado.



Figura 6-14 – Roscagem e soldadura no pino da dobradiça da porta de segurança.

Para o fabrico destes componentes são necessários um torno CNC para as operações de roscagem dos veios e um equipamento de soldadura MIG/MAG para união dos perfis de metal.

### 6.1.9 Dobradiças dos alçapões do contentor e das portas de segurança

As dobradiças dos alçapões do contentor são fabricadas a partir de tarugos de aço NP EN 10025-2 S355, os quais são extrudidos a quente de modo a adquirir a forma especificada pela matriz de extrusão e cortados nas dimensões especificadas de forma a originar o perfil ilustrado na Figura 6-15 a). De seguida, procede-se com a maquinagem da geometria extrudida num centro de maquinagem CNC, dando origem ao perfil ilustrado na Figura 6-15 b). Para finalizar, procede-se com a soldadura de uma chapa de 10 mm de espessura ao perfil maquinado, dando origem ao componente finalizado, ilustrado na Figura 6-15 c).

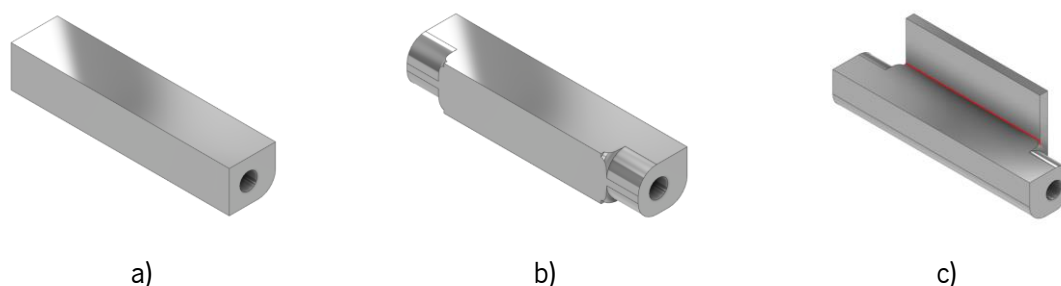


Figura 6-15 – Perfil da dobradiça do alçapão extrudido, maquinado e soldado respetivamente em a), b) e c).

Por outro lado, os fixadores e os segmentos das dobradiças da porta de segurança são manufacturados em aço NP EN 10025-2 S275. Os fixadores resultam da extrusão a quente e corte, no comprimento especificado, do perfil ilustrado na Figura 6-16 a) conjugado com uma chapa de 5 mm de espessura por soldadura. A chapa é cortada a laser e maquinada de forma a se produzir os furos escareados representados na Figura 6-16 b). Por fim, a Figura 6-16 c) ilustra o componente finalizado.

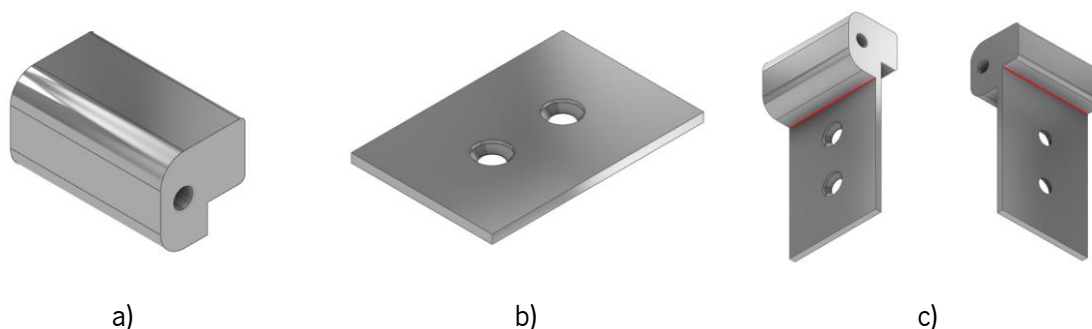


Figura 6-16 – Perfil do fixador da dobradiça da porta de segurança extrudido, chapa do fixador maquinada e soldadura para união de ambas geometrias, respetivamente em a), b) e c).

Por fim, os segmentos das dobradiças são fabricados de igual forma em aço NP EN 10025-2 S275 por um processo de extrusão a quente e corte no comprimento especificado, resultando no perfil presente na Figura 6-17.

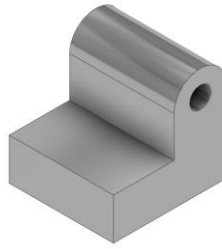


Figura 6-17 – Segmento da dobradiça extrudido.

Os componentes abordados neste subcapítulo são fabricados através do recurso às seguintes máquinas ferramentas:

- Uma extrusora, envolvida em todos os processos de extrusão;
- Um centro de maquinagem CNC para maquinagem das chapas dos fixadores das dobradiças da porta de segurança;
- Serra de bancada para corte dos perfis extrudidos nas dimensões de comprimento especificadas;
- Equipamento de soldadura MIG/MAG para união dos perfis extrudidos às respetivas chapas.

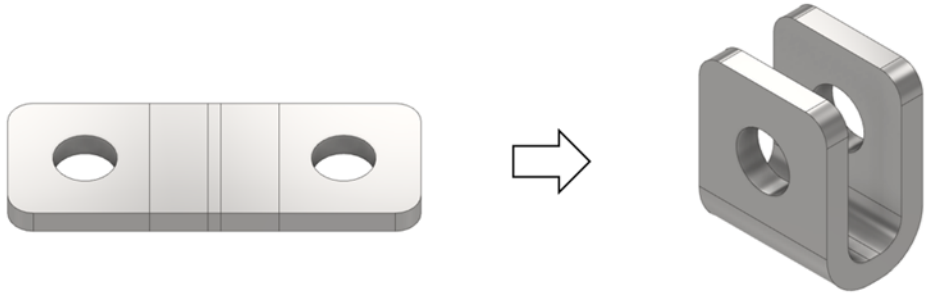
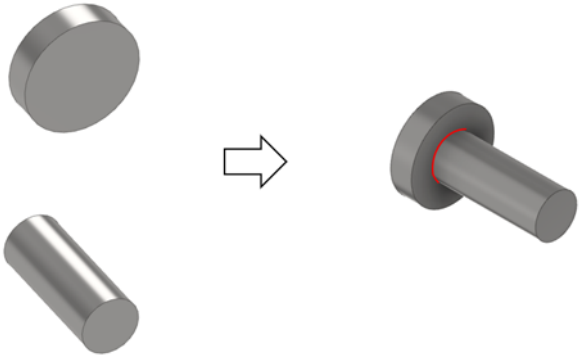
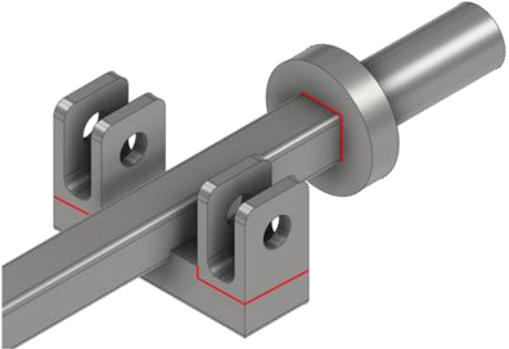
#### 6.1.10 Fechaduras e guias das fechaduras

As fechaduras da porta de segurança são manufacturadas a partir de um tarugo de aço NP EN 10025-2 S275 sujeito a uma operação de forjamento em matriz fechada em união com outros perfis maquinados do mesmo aço. A Tabela 6-10 ilustra a sua sequência de fabrico.

Tabela 6-10 – Sequência de fabrico das fechaduras.

Nº	Operações
1	Forjamento em matriz fechada de um tarugo com vista à obtenção do perfil abaixo ilustrado.
	Máquina ferramenta: Prensa mecânica/hidráulica.

Tabela 6-10 – Sequência de fabrico das fechaduras (cont.).

Nº	Operações
2	<p>Quinagem de uma chapa (35x12) de 2 mm de espessura cortada a laser com vista à obtenção do perfil abaixo ilustrado.</p>
	<p>Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica) e quinadora.</p>
	
3	<p>Corte de um varão de 10 mm de secção e de um perfil de chapa redondo com 5 mm de espessura e 20 mm de diâmetro. De seguida, faz-se a soldadura de ambos os perfis.</p>
	<p>Máquinas ferramentas: Serra de bancada, máquina de corte a laser (fibra ótica) e equipamento de soldadura MIG/MAG.</p>
	
4	<p>Soldadura dos perfis obtidos nas operações <b>2</b> e <b>3</b> ao perfil resultante da operação <b>1</b>.</p>
	<p>Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.</p>
	

Por outro lado, as guias das fechaduras são derivadas da união de duas chapas com adição de perfis por soldadura. Posto isto, a sua sequência de fabrico encontra-se ilustrada na Tabela 6-11.

Tabela 6-11 – Sequência de fabrico da guia da fechadura.

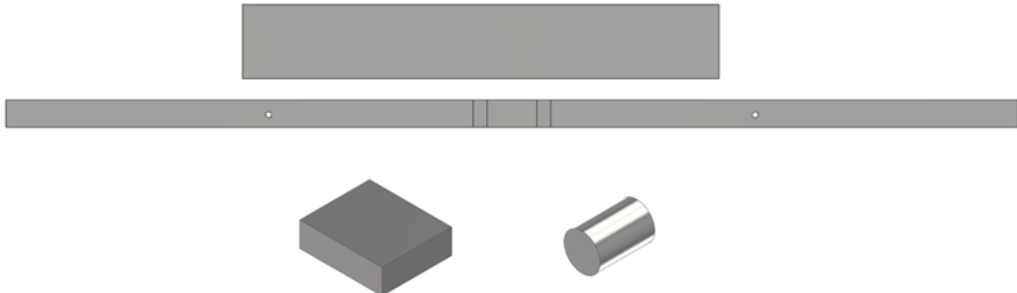
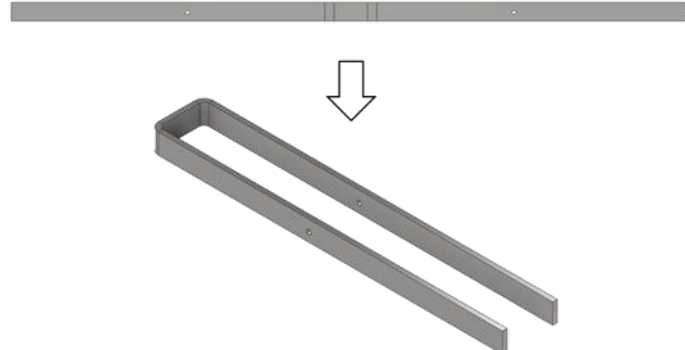
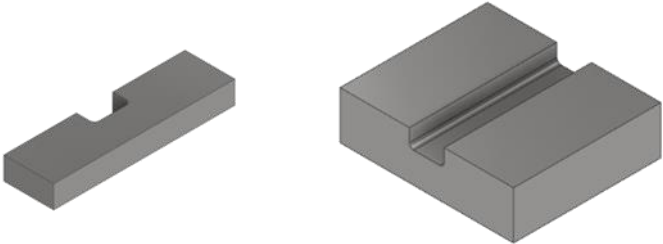
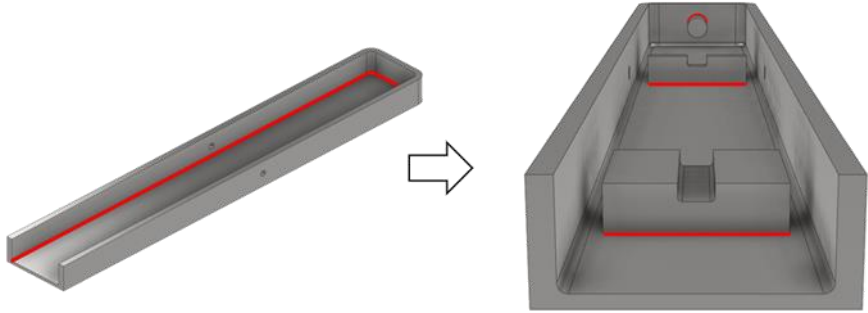
Nº	Operações
1	Corte a laser de uma chapa (387x60) de 3 mm de espessura, uma (820x22) de 5 mm de espessura e de uma barra retangular de secção (40x12). Para além disso executa-se o corte, com serra de bancada, de um varão de diâmetro de 10 mm.
	Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica) e serra de bancada.
	
2	Quinagem da chapa (820x22) com vista à obtenção do perfil abaixo ilustrado.
	Máquina ferramenta: Quinadora.
	

Tabela 6-11 – Sequência de fabrico da guia da fechadura (cont.).

Nº	Operações
3	Fresagem do bloco obtido (40x12) com de forma a criar a abertura abaixo ilustrada. Para além disso, procede-se ao corte de uma chapa com 5 mm de espessura com vista à obtenção de exatamente o mesmo perfil frontal do bloco após fresagem.
	<p>Máquinas ferramentas: Centro de maquinagem CNC e máquina de corte a laser (fibra ótica).</p> 
4	Soldadura dos perfis obtidos nas operações 2 e 3 juntamente com a chapa (387x60) e com o cilindro de 10 mm de diâmetro.
	<p>Máquina ferramenta: Equipamento de soldadura MIG/MAG.</p> 

#### 6.1.11 Portas de segurança, pedais, barras de transmissão do movimento e fixadores

As portas de segurança são fabricadas em aço NP EN 10025-2 S275 e derivam do corte de uma chapa (1690x870) associada a tubos quadrados de (25x25) com 3 mm de espessura. A sua sequência de fabrico encontra-se ilustrada na Tabela 6-12.

Tabela 6-12 – Sequência de fabrico das portas de segurança.


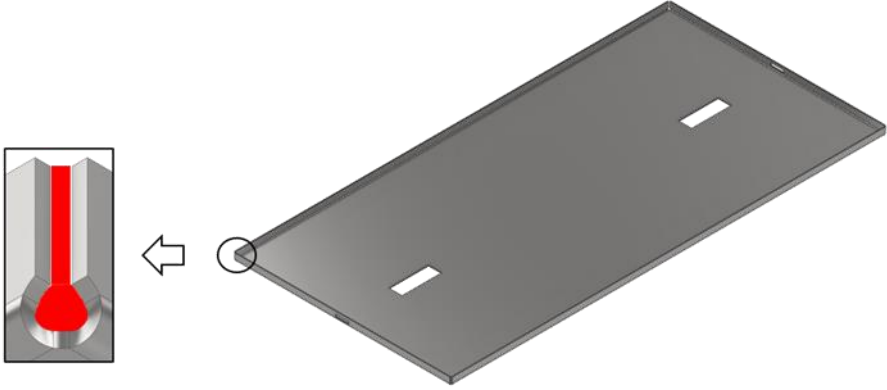
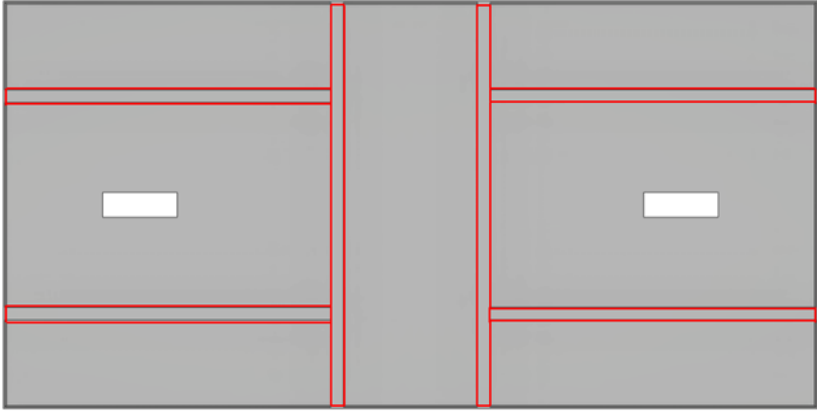
Nº	Operações
1	<p data-bbox="268 309 1394 405">Corte a laser da chapa (1690x870) de modo a obter o perfil abaixo ilustrado. Os cortes gerados em cada canto representam as etapas preparativas a uma operação de quinagem posterior.</p> <p data-bbox="268 427 991 461">Máquinas ferramentas: Máquina de corte a laser (fibra ótica).</p> 
2	<p data-bbox="268 922 1394 1019">Quinagem da chapa cortada a laser na operação <b>1</b> de forma a elevar os flancos em 90° e soldadura dos cantos.</p> <p data-bbox="268 1041 1123 1075">Máquina ferramenta: Quinadora e equipamento de soldadura MIG/MAG.</p> 

Tabela 6-12 – Sequência de fabrico das portas de segurança (cont.).

Nº	Operações
3	Corte de tubos quadrados (25x25) com 3 mm de espessura e soldadura à parte inferior das portas
	Máquinas ferramentas: Serra de bancada e equipamento de soldadura MIG/MAG.
	

Os pedais de acionamento das fechaduras derivam de uma chapa (140x100) de 2 mm do mesmo tipo de aço. Inicialmente, esta é sujeita a corte a laser de modo a criar o perfil ilustrado na Figura 6-18 a). De seguida, elabora-se a quinagem da mesma com um ângulo igual a 90°, obtendo-se o componente finalizado, ilustrado na Figura 6-18 b).

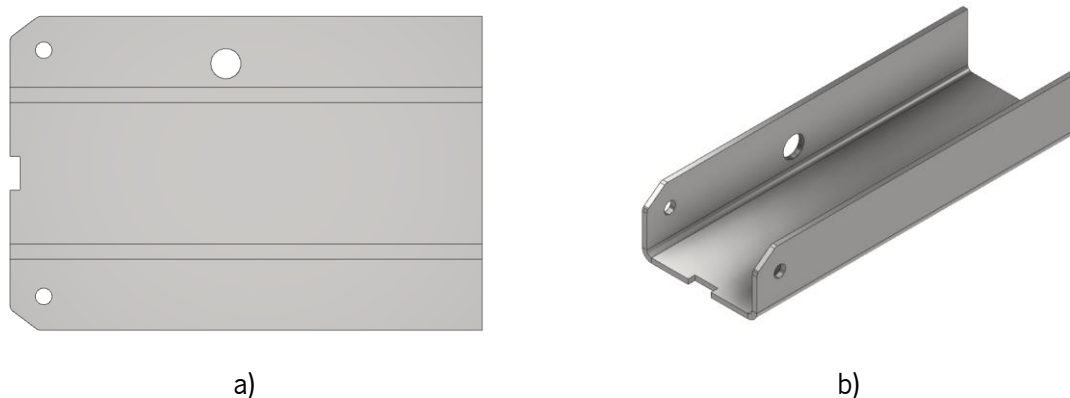


Figura 6-18 – Chapa para formação do pedal após corte laser e quinagem, respetivamente em a) e b).

As barras de transmissão de movimento são manufacturadas a partir de uma chapa de 4 mm de espessura cortada a laser, obtendo-se a geometria representada na Figura 6-19. Relativamente aos seus fixadores, estes são executados exatamente da mesma forma que aqueles elaborados na operação 2 da sequência de fabrico das fechaduras.





Figura 6-19 – Perfil da barra de transmissão de movimento após corte a laser.

Relativamente aos fixadores dos amortecedores, estes são manufacturados a partir de chapas de aço NP EN 10025-2 S275 de 5 e 10 mm. Estas são cortadas a laser e são soldadas entre si de acordo com a Figura 6-20.

Existem três variantes dos fixadores: aqueles que se fixam à cuba estanque, outros às portas de segurança e outros ao perfil de engate das correntes. Os mais distintos são aqueles que são fixos à cuba, pois apresentam furos na chapa de 5 mm, de modo que seja possível se aparafusar os mesmos à parede interna da cuba. Os furos são efetuados através de uma operação de furação, na qual tem de ter em conta a geometria dos parafusos de cabeça escareada. Os restantes fixadores apenas diferem no dimensionamento da chapa e no diâmetro do furo para montagem do amortecedor, sendo o utilizado na porta de segurança de 8 mm e o do perfil de engate das correntes de 14 mm.

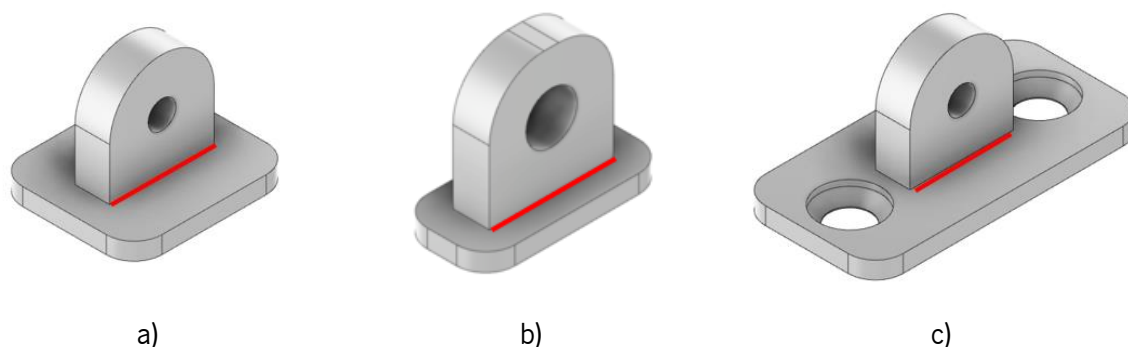


Figura 6-20 – Fixadores dos amortecedores para a porta de segurança, para o perfil de engate das correntes e para a cuba estanque, respetivamente em a), b) e c).

Finalizando, as máquinas ferramentas envolvidas nos processos identificados na manufatura dos pedais, das barras de transmissão e de todos os fixadores são:

- Máquina de corte a laser para o corte das chapas;
- Quinadora para a dobragem dos pedais;
- Centro de maquinagem CNC para a execução da furação do fixador do amortecedor que é aparafusado à cuba;
- Equipamento de soldadura MIG/MAG para a união dos perfis dimensionados.

## 6.2 Montagem e Acabamento

Após a finalização do fabrico dos componentes que compõem o sistema, segue-se com a sua montagem. Esta pode ser executada por meio de elementos de ligação fixos, móveis ou até por ligações rígidas, como a soldadura. Para além disso, o tratamento superficial dos aços estruturais selecionados para os componentes do sistema é um aspeto crucial na sua função uma vez que estes, durante a sua vida útil, estão sujeitos a diversos agentes agressivos, associados ao ramo da sua aplicação, que afetam a sua performance ao longo do tempo. Com o revestimento do metal, ganha-se a possibilidade de criar uma barreira protetora, possibilitando a proteção da estrutura contra estes agentes.

### 6.2.1 Elementos de fixação

Em primeiro lugar, com vista à fixação do aro de encaixe, dos suportes do aro de encaixe, dos fixadores das dobradiças das portas de segurança e dos fixadores dos amortecedores à cuba estanque, foram selecionados parafusos para betão da Hilti®. A vantagem destes elementos de fixação reside no facto de não ser necessário a utilização de buchas para se promover a sua instalação que, por sua vez, permite a sua remoção sem gerar danos na estrutura. Os parafusos selecionados foram os HSU3-C e HSU3-H. A diferença entre ambos reside no tipo de cabeça, no qual o "C" representa *countersunk head*, isto é, cabeça escareada e o "H" representa *hex head*, isto é, cabeça hexagonal. A definição dos tamanhos e das distâncias das fixações teve em conta os dados do catálogo do produto [73].

Com isto, para o aro de encaixe foram selecionados doze parafusos HSU3-C M8x65. A escolha do tipo de cabeça escareada reside no facto de ser necessário que o aro de posicionamento do contentor pouse sobre o aro de encaixe sem causar deformação na estrutura dos parafusos. Na Figura 6-21 pode-se visualizar os pontos de fixação do aro de encaixe.

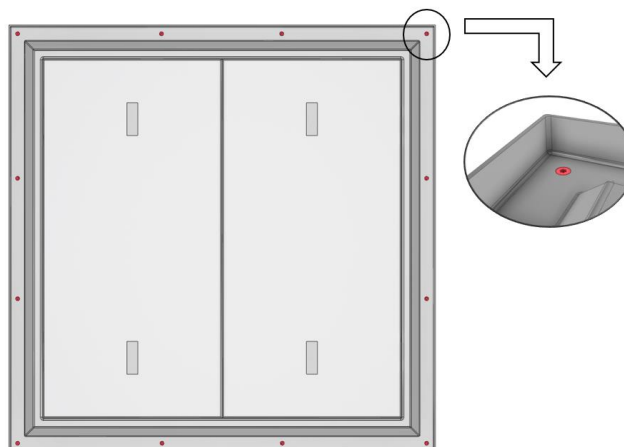


Figura 6-21 – Fixação do aro de encaixe à cuba estanque.

Por outro lado, no caso dos fixadores das dobradiças das portas de segurança e dos fixadores dos amortecedores, foram selecionados dois parafusos HSU3-C M8x65 para a sua montagem à cuba estanque. Em ambos os casos utilizaram-se parafusos de cabeça escareada pois estes permitem uma montagem de menor volume, sendo um fator crucial na montagem destes componentes. Na Figura 6-22 pode-se observar os elementos de fixação impostos.

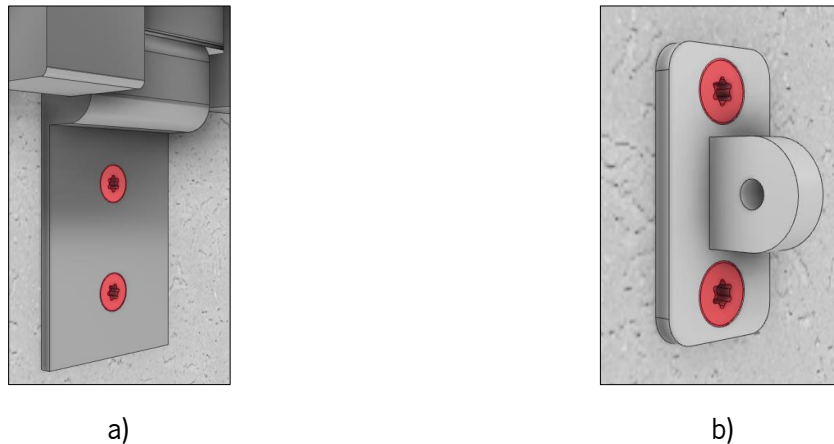


Figura 6-22 – Fixação dos fixadores das dobradiças das portas de segurança e dos amortecedores das portas de segurança à cuba estanque, respetivamente em a) e b).

De outro modo, de forma a fixar os suportes do aro de encaixe são utilizados seis parafusos HSU3-H M10x60, como ilustrado na Figura 6-23. Aqui, utilizam-se parafusos de cabeça hexagonal uma vez que existe espaço para a sua montagem e exige uma preparação de chapa mais simplista relativamente aos dos parafusos de cabeça escareada.

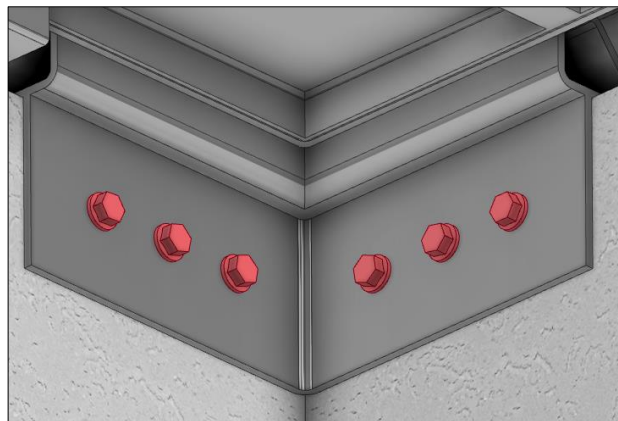


Figura 6-23 – Fixação dos suportes do aro de encaixe.

Em segundo lugar, para a montagem do marco de deposição à plataforma pedonal são empregues rebites DIN 7337 em aço inoxidável 316 de 4 mm de diâmetro [74]. De forma a efetuar a ligação da chapa, procede-se, primeiramente, com a furação das chapas a unir com um diâmetro de 4,1 mm e de seguida executa-se a montagem dos rebites. Estes permitem efetuar ligações de chapas até 6,5 mm de

espessura, o qual é suficiente uma vez que a espessura de ligação é de 6 mm. Na Figura 6-24 pode-se observar os rebites utilizados nestes componentes.

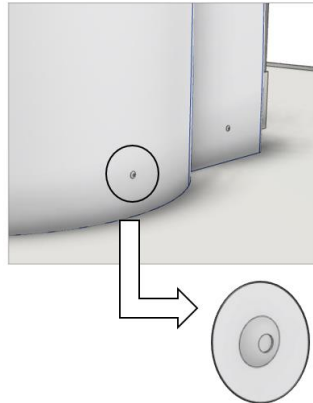


Figura 6-24 – Fixação da estrutura do marco de deposição à plataforma pedonal.

Por último, com vista ao funcionamento angular de abertura da tampa do contentor, dos alçapões do contentor e das portas de segurança, são utilizados pinos que limitam o seu movimento num eixo de rotação. No caso da tampa do contentor são utilizados pinos DIN 7 em aço inoxidável 316 com 5 mm de diâmetro e 28 mm de comprimento que unem a tampa à dobradiça da tampa por ação de uma operação denominada de *staking*, ilustrada na Figura 6-25 a), que consiste na deformação pontual da chapa enrolada que contem o pino com vista ao aprisionamento do mesmo [75,76]. Na Figura 6-25 b) pode-se visualizar o pino inserido na tampa e na dobradiça da tampa do contentor.

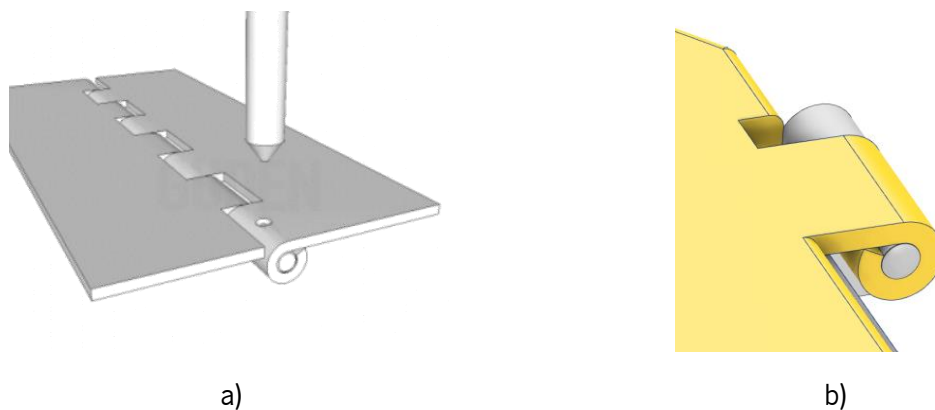


Figura 6-25 – Fixação da tampa do contentor.

No caso dos alçapões do contentor e das portas de segurança, foram utilizados pinos personalizados, como abordado no subcapítulo 6.1.8. Posto isto, para a sua fixação, são utilizadas porcas sextavadas DIN 934 que impedem o escapamento do pino pelas dobradiças [61]. No caso dos alçapões do contentor são utilizadas porcas M20x2. Já nas portas de segurança são utilizadas porcas M10x1.5. A Figura 6-26 ilustra as porcas sextavadas aplicadas na fixação dos pinos das dobradiças dos alçapões do contentor e das portas de segurança.



Figura 6-26 – Fixação dos pinos das dobradiças dos alçapões do contentor e das portas de segurança, respectivamente em a) e b).

## 6.2.2 Elementos de transmissão de movimento

Com vista à transmissão do movimento da porta de segurança, é necessário utilizar um amortecedor capaz de elevar a massa da porta até à sua posição de fecho. Para isso, através da Figura 6-27 e da Eq.(1), foi definido o valor de força necessário para que o amortecedor conseguisse elevar a porta e os seus constituintes tendo em conta o posicionamento dos seus fixadores.

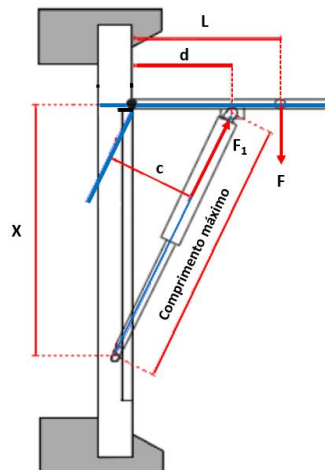


Figura 6-27 – Diagrama de esforços de uma montagem de um amortecedor adaptado [77].

$$F_1 = \frac{F \times L}{c} \times 1,06 \quad (1)$$

$F_1$ : Força de extensão a exercer pelo amortecedor

$F$ : Peso da porta de segurança e constituintes

$L$ : Distância do centro geométrico da porta ao eixo da dobradiça

$c$ : Distância entre eixo do amortecedor e eixo da dobradiça

Tendo em conta o que foi apresentado, na Tabela 6-13 está disposto o cálculo efetuado para a obtenção da força de extensão do amortecedor e a respetiva seleção do amortecedor, na qual o valor de

c foi considerado tendo em conta as dimensões dos amortecedores disponíveis nos fornecedores e a respetiva adaptabilidade aos componentes em que é montado.

Tabela 6-13 – Cálculo e seleção do amortecedor da porta de segurança.

<p><b>Força de extensão do amortecedor</b></p>	$F_1 = \frac{500 \times 406,75}{284} \times 1,06 \cong 759 \text{ N}$ <p>Logo: <math>F_1 = 800 \text{ N}</math></p>
<p><b>Seleção do amortecedor</b>  [78]</p>	<p>Stabilus LIFT-O-MAT® 556017_800N_K5_D5</p> <p><math>F_1 = 800 \text{ N}</math></p> <p>Curso = 400 mm</p>

Posto isto, a Figura 6-28 ilustra a montagem do amortecedor selecionado aos respetivos componentes.



Figura 6-28 – Amortecedor da porta de segurança montado.

Segundamente, para promover a abertura mecânica dos alçapões do contentor é necessário empregar os seguintes componentes: correntes, anéis de elevação elos de engate e um amortecedor de compressão.

Relativamente às correntes, foram selecionadas duas de características diferentes: uma para executar a ligação do tubo fixador da corrente até ao perfil de engate das correntes e outra para a ligação entre o mesmo perfil e os alçapões do contentor. Assim, foram selecionadas, respetivamente, uma corrente WOX 13-6 e WOX 7-6 do fabricante pewag® [79]. A corrente WOX 13-6 apresenta uma capacidade de carga testada de 4250 kg, sendo superior à carga máxima testada de 33 kN. Por outro lado, a corrente WOX 7-6 apresenta uma capacidade de carga de 1250 kg, sendo superior aos 8,25 kN testados sobre o perfil de engate.

De forma a se proceder à fixação das correntes é necessária a aplicação de elos de engate e de anéis de elevação. Posto isto, para a fixação da corrente WOX 7-6, foram seleccionados os elos de engate CWI 7-6 da pewag® e os anéis de elevação DSR M12 UP da Gradup®. Noutra perspetiva, para a fixação da corrente WOX 13-6, foram seleccionados os elos de engate CWI 13-6 e os anéis de elevação DSR M22 UP, respetivamente da pewag® e da Gradup® [80,81]. O conjunto de elementos seleccionados apresentam uma resistência superior à carga testada e encontram-se ilustrados na Figura 6-29.



Figura 6-29 – Subconjuntos das correntes, dos elos de ligação e dos anéis de elevação para a secção do perfil de engate das correntes/alçapão do contentor e tubo fixador da corrente/perfil de engate das correntes, respetivamente em a) e b).

O funcionamento do sistema de abertura e fecho dos alçapões é executado da seguinte forma:

- Durante a operação de despejo dos resíduos, enquanto o contentor se encontra suspenso, o gancho fixo no tubo fixador da corrente permanece na sua posição mais ascendente possível, promovendo a continuidade do fecho dos alçapões pela ação das correntes, como se pode observar na Figura 6-30 a);
- Quando o contentor se encontra sobre o camião de recolha, o gancho fixo ao tubo fixador da corrente é aliviado e este desloca-se à sua posição neutra, promovendo a abertura das portas, como ilustrado na Figura 6-30 b);

- Quando inserido na cuba, os alçapões mantêm-se fechados pelo contacto físico com o fundo da mesma, podendo o tubo fixador da corrente situar-se na sua posição neutra. Com isto, numa situação normal, o perfil de engate das correntes, não sendo elevado por ação das correntes, descende até à posição de abertura dos alçapões. Esta situação representa um cenário proibido uma vez que o perfil de engate das correntes iria estar submerso de resíduos à medida que se fosse enchendo o contentor, originando o bloqueio do sistema.

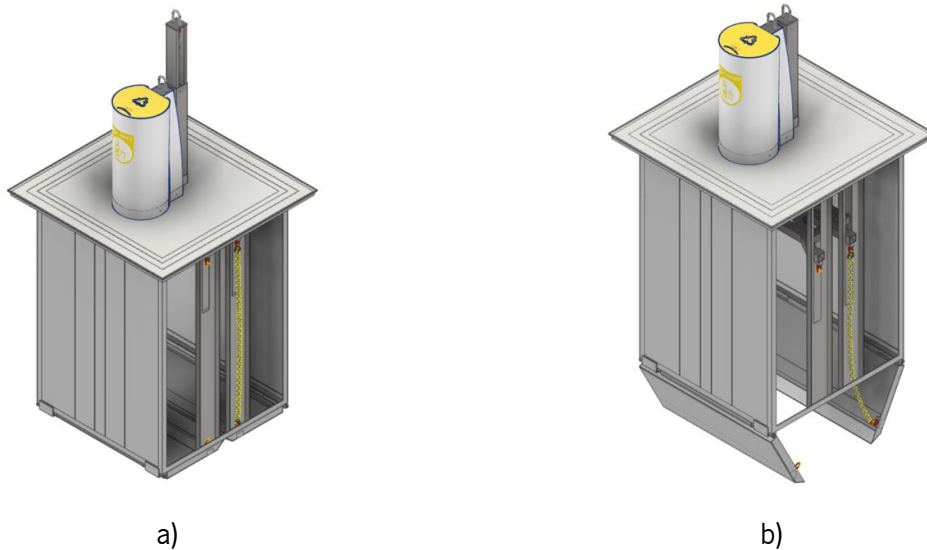
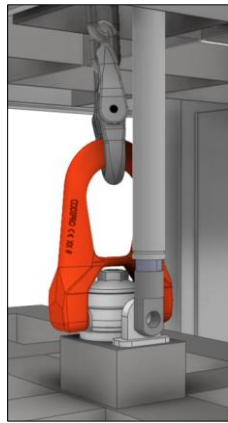


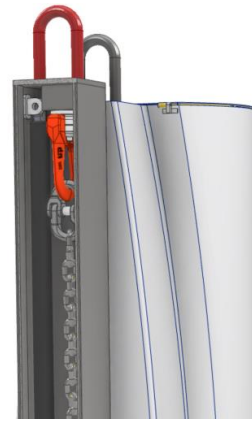
Figura 6-30 – Posicionamento relativo do tubo fixador da corrente e do perfil de engate das correntes com os alçapões fechados e abertos, respetivamente em a) e b).

De forma a combater o acontecimento mencionado no último ponto, foi selecionado um amortecedor de compressão com um curso idêntico ao percurso desenvolvido pelo perfil de engate das correntes na sua movimentação, com o intuito de elevar este subconjunto até à mesma posição em que este se encontra no momento em que o tubo fixador da corrente é elevado numa operação de descarga. Para isso, a força necessária de compressão no amortecedor deve ser superior ao peso do perfil e das correntes que se encontram acopladas a ele. Tendo em conta que o subconjunto identificado apresenta cerca de 1100 N de peso e que o amortecedor o suporta exatamente a 90° da sua superfície, foi selecionado um amortecedor Z 28-40 da Dictator® capaz de exercer 2000 N de força com um curso de 650 mm [82]. A Figura 6-31 ilustra o amortecedor aplicado ao sistema, inserido no tubo para passagem da corrente.





a)



b)

Figura 6-31 – Ponto de engate do amortecedor no perfil de engate das correntes e no tubo para passagem da corrente, respetivamente em a) e b)

Por último, de forma a promover o funcionamento da fechadura das portas de segurança é necessária a intervenção de uma mola de compressão. Para o caso, com base no espaço disponível, foi definida uma mola personalizada com 66 mm de comprimento e 15 mm de diâmetro externo capaz de impulsionar a fechadura pela sua guia. Assim, para um diâmetro de arame de 2 mm e para um número de 20 espiras ativas, obtém-se uma mola capaz de exercer 7 kgf [83]. Uma vez que a massa dos constituintes associados à mola é cerca de 550 g, o valor de força exercido pela mesma demonstra-se suficiente para transmitir o movimento da fechadura, mesmo tendo em conta o atrito entre as peças em movimento. Na Figura 6-32 pode-se visualizar a mola de compressão selecionada.

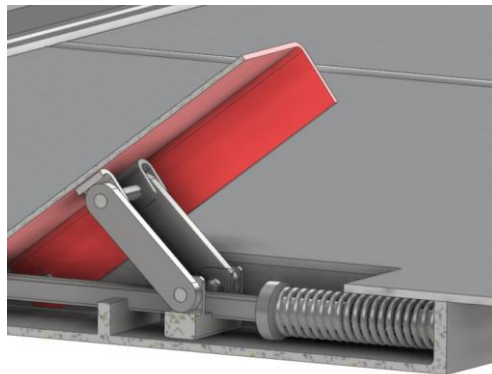


Figura 6-32 – Mola de compressão aplicada na fechadura da porta de segurança.

### 6.2.3 Soldadura

De forma idêntica ao que foi abordado no subcapítulo 6.1, o tipo de soldadura utilizada na construção soldada do contentor é do tipo MIG/MAG com a aplicação dos elétrodos SG1 com gás de proteção M21 e AlMg<sub>5</sub> com gás de proteção I1, respetivamente para os componentes em aço e em alumínio.

Em primeiro lugar, no marco de deposição, ocorre a soldadura das dobradiças da tampa do contentor à estrutura de deposição com posicionamento especificado, como se pode observar na Figura 6-33.

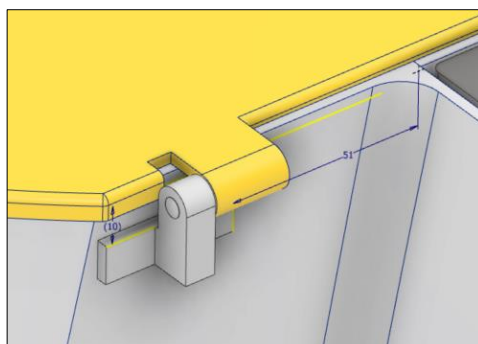


Figura 6-33 – Posicionamento da dobradiça da tampa relativamente à estrutura de deposição.

Relativamente à estrutura do contentor, a sua construção soldada ocorre de acordo com a sequência presente na Tabela 6-14.

Tabela 6-14 – Sequência de soldadura da estrutura do contentor.

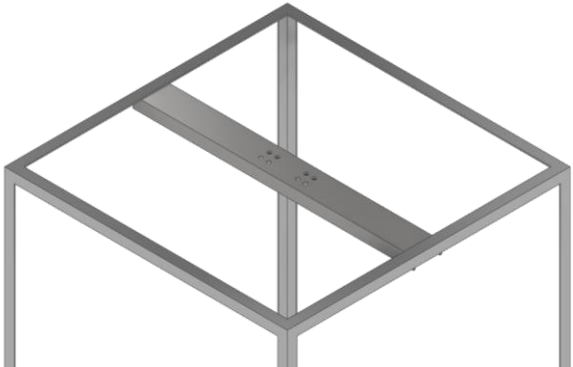
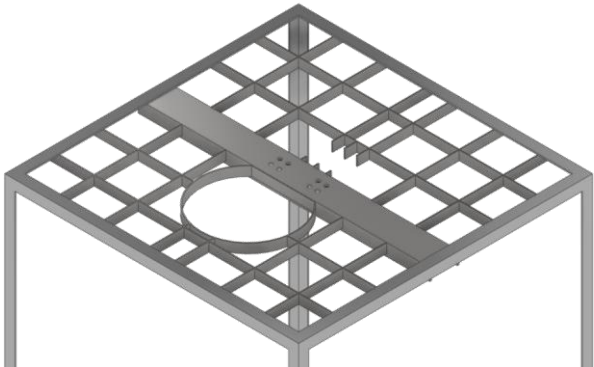
Nº	Operações
1	<p>Soldadura da barra U estrutural ao suporte do contentor. Esta situa-se no centro do suporte.</p> 
2	<p>Soldadura das réguas superiores à barra U estrutural e ao suporte do contentor.</p> 

Tabela 6-14 – Sequência de soldadura da estrutura do contentor (cont.).

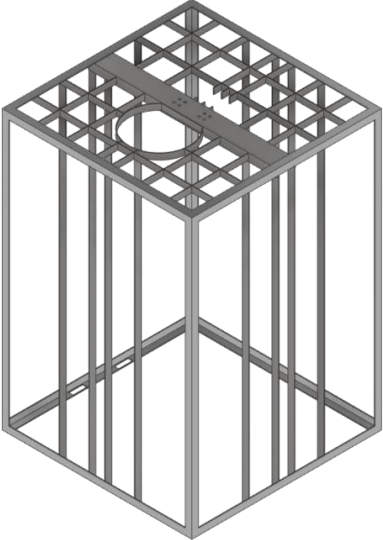
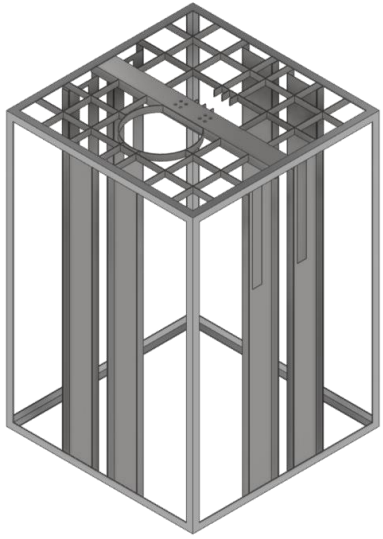
Nº	Operações
3	<p data-bbox="268 315 1394 461">Soldadura das réguas estruturais A ao suporte do contentor e às réguas superiores com alinhamento às últimas. As réguas estruturais B unem-se ao suporte do contentor e às faces laterais internas da barra U estrutural.</p> 
4	<p data-bbox="268 1077 1394 1162">Soldadura das chapas isoladoras das réguas e das chapas para passagem das correntes às réguas estruturais.</p> 

Tabela 6-14 – Sequência de soldadura da estrutura do contentor (cont.).

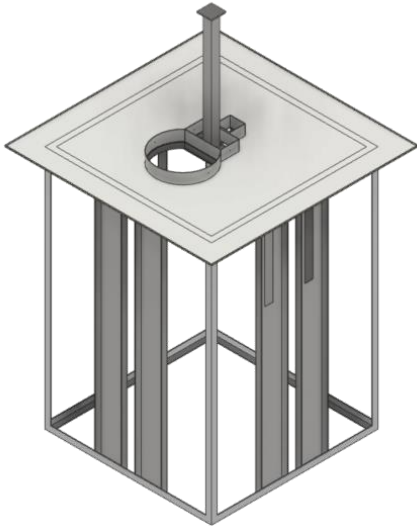
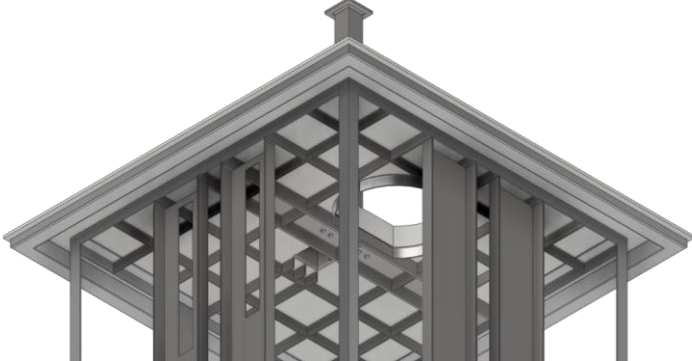
Nº	Operações
5	<p data-bbox="268 315 1394 461">Soldadura centrada da plataforma pedonal ao suporte do contentor. Previamente a esta operação deve-se adicionar o tubo de elevação uma vez que o acesso à parte inferior do furo na barra U estrutural é dificultado.</p> 
6	<p data-bbox="268 1077 1394 1111">Soldadura do aro de posicionamento, de forma centrada, à parte inferior da plataforma pedonal.</p> 

Tabela 6-14 – Sequência de soldadura da estrutura do contentor (cont.).

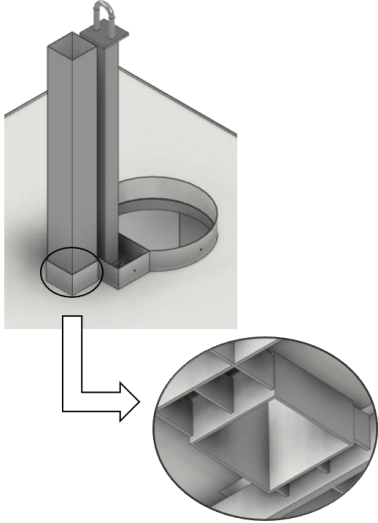
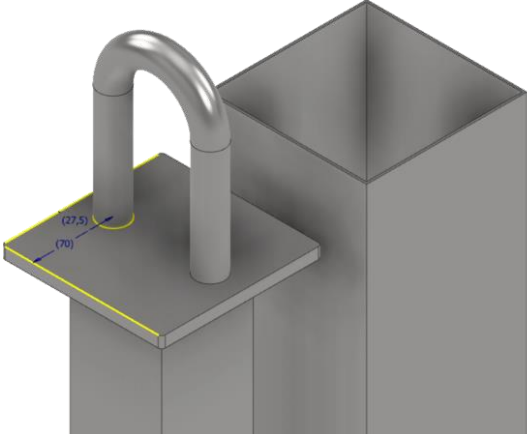
Nº	Operações
7	<p data-bbox="268 315 1402 360">Soldadura do tubo para passagem da corrente à plataforma pedonal e às régua superiores.</p> 
8	<p data-bbox="268 925 1402 969">Soldadura do gancho de elevação ao tubo de elevação.</p> 

Tabela 6-14 – Sequência de soldadura da estrutura do contentor (cont.).

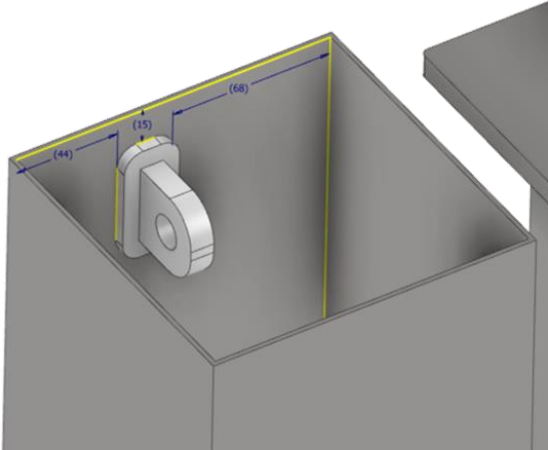
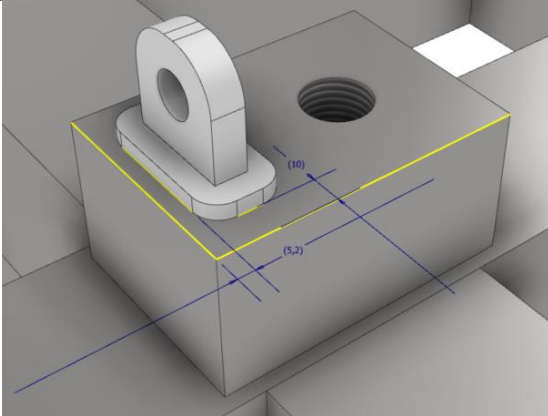

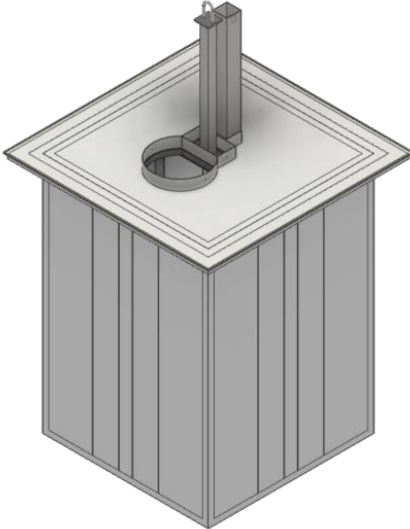
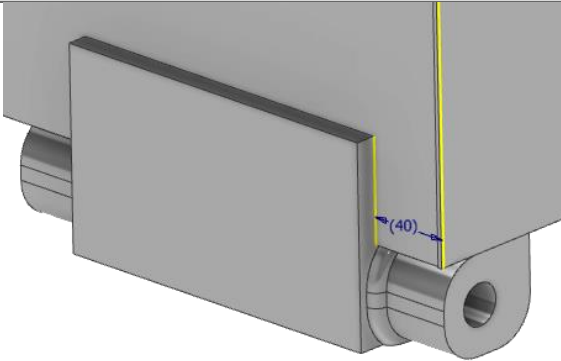
Nº	Operações
9	<p>Soldadura do fixador do amortecedor de compressão ao tubo para passagem da corrente.</p> 
10	<p>Soldadura do fixador do amortecedor de compressão ao perfil de engate das correntes.</p> 
11	<p>Adição do perfil de engate das correntes à estrutura e soldadura das chapas isoladoras dos resíduos nos limites do tubo quadrado.</p> 

Tabela 6-14 – Sequência de soldadura da estrutura do contentor (cont.).

Nº	Operações
12	<p data-bbox="268 315 1394 517">Soldadura das placas de revestimento ao suporte do contentor, às chapas isoladoras das réguas e às chapas para passagem das correntes. Previamente a esta operação é necessário montar as correntes e os anéis de levantamento situados nos blocos roscados da parte inferior do perfil de engate das correntes.</p> 
13	<p data-bbox="268 1133 1366 1167">Soldadura das dobradiças dos alçapões às placas de revestimento e ao suporte do contentor.</p> 

Por fim, na plataforma de segurança, ocorre a soldadura dos segmentos das dobradiças, das guias das fechaduras e do fixador do amortecedor da porta de segurança. Na Figura 6-34 pode-se observar o posicionamento relativo dos componentes abordados.

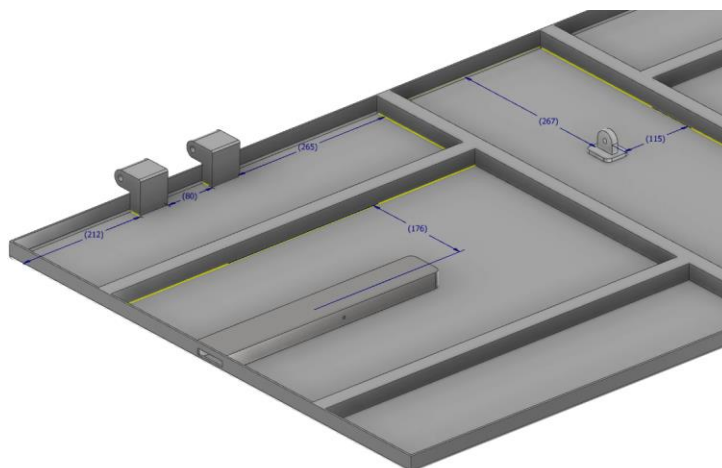


Figura 6-34 – Soldadura da guia da fechadura, dos segmentos da dobradiça e do fixador do amortecedor da porta de segurança.

#### 6.2.4 Galvanização

Com vista à finalização do produto, a operação de galvanização representa o passo final para a sua conclusão. A sua aplicação à superfície das estruturas desenvolvidas demonstra uma elevada importância uma vez que esta fornece uma elevada resistência à abrasão e às características agressivas do meio envolvente. Para além disso, este funciona como uma proteção catódica da superfície, isto é, no caso da existência de dano no revestimento do metal, a cobertura de zinco sacrifica-se com vista à proteção do metal contra o meio envolvente [84].

Neste caso em particular, o processo é a galvanização a quente, abordada no Anexo IV. Posto isto, esta operação deve ser, sempre que possível, posterior a operações de soldadura uma vez que esta funde o revestimento de zinco gerado pelo processo. Outro fator a ter em conta é o teor de silício no aço a revestir, uma vez que a presença deste sobre certas quantidades (na região de *Sandelin*) torna-se prejudicador da qualidade do revestimento, nomeadamente a nível da sua espessura [85]. Esta região, ilustrada na Figura 6-35, revela a gama de valores de silício a evitar aquando da seleção do material para construção galvanizada.

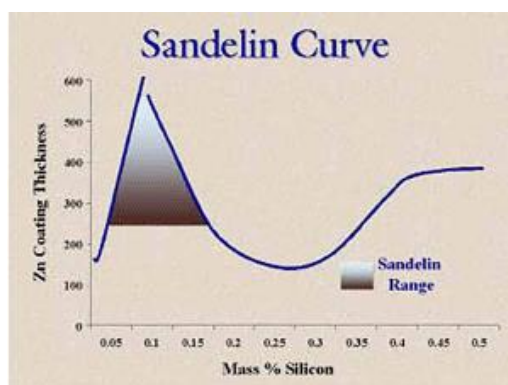


Figura 6-35 – Curva de *Sandelin* [85].



Relativamente à estrutura do contentor, o processo de galvanização ocorre em duas partes:

- A primeira consiste no revestimento da estrutura após a 9ª operação de soldadura presente na Tabela 6-14;
- A outra, consiste na galvanização separada do perfil de engate das correntes, das chapas isoladoras de resíduos, das placas de revestimento e das dobradiças dos alçapões do contentor para posterior soldadura à restante estrutura.

A razão por detrás desta separação, deve-se ao facto de se querer garantir que a deposição de zinco seja uniforme por toda a superfície, não podendo existir peças soltas em contacto uma vez que impedia a deposição de zinco nas faces em contacto. Assim, de acordo com a Tabela 6-14, os componentes soldados a partir da 10ª operação são galvanizados individualmente.

A necessidade de se executar a soldadura após galvanização exige cuidados no seu processamento, nomeadamente na forma como se aborda o material revestido. Para se promover à soldadura destes componentes, deve-se, primeiramente, realizar uma operação de retificação da zona a soldar com vista à remoção localizada do revestimento de zinco de ambas as peças. A não realização deste pré-processamento irá afetar a qualidade da solda pela libertação de fumo de zinco, derivado da sua queima ao longo do processo de soldadura que, por sua vez, afeta a visibilidade do trabalho e pela formação de salpicos derivado da fundição do revestimento de zinco [86]. Posto isto, após a soldadura das placas isoladoras de resíduos ao perfil de engate das correntes e das placas de revestimento e dobradiças dos alçapões do contentor à restante estrutura, procede-se com a reestruturação da cobertura de zinco com recurso a tinta de zinco [87].

Por outro lado, todas as peças individuais montadas por via de ligação aparafusada podem ser galvanizadas logo após o seu fabrico. De forma idêntica, a galvanização da estrutura das portas de segurança, isto é, a porta de segurança e os componentes a si soldados, executa-se após todas as operações de soldadura envolventes.

## 7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, encontram-se explicitadas as conclusões do trabalho realizado, bem como as tarefas a realizar no futuro do projeto.

### 7.1 Conclusões

O objetivo deste projeto foi assumido como o desenvolvimento de um sistema de ecopontos subterrâneos de recolha diferenciada capaz de corresponder às necessidades do mercado, tendo em conta os avanços tecnológicos no setor. Com isto, procurou-se desenvolver um produto com maior eficiência no seu funcionamento, cumprindo todos os requisitos pela empresa proponente.

A avaliação do sistema montado pela empresa proponente permitiu identificar as suas limitações e, por sua vez, as melhorias necessárias a executar. Assim, com vista à redução do tempo de recolha, definiu-se a tipologia do contentor como um de levantamento unificado com controlo remoto da abertura dos alçapões. Com isto conseguiu-se eliminar a necessidade de abertura manual da plataforma pedonal, correspondente a uma redução de 46% do tempo de recolha, uma vez que esta é extraída juntamente com o ecoponto durante a operação de descarga. Para além disso, foi projetado um sistema de engate de gancho duplo que permite que o sistema seja elevado por diferentes tipos de grua, com o mesmo tipo de eficiência, desde que estas sejam capazes de elevar cargas elevadas.

Por outro lado, as implementações realizadas para a otimização do tempo de recolha foram igualmente benéficas para a simplificação do processo de higienização do sistema. A introdução do sistema unificado permite que os contentores sejam higienizados num camião especializado para o efeito, onde a abertura controlada dos alçapões permitem que estes sejam lavados por fora e por dentro sem necessidade de utilização de pistolas de jato de água. No entanto estas não são totalmente dispensadas uma vez que ainda é necessário higienizar o interior da cuba, a parte superior da plataforma pedonal e o respetivo marco de deposição.

Por último, a necessidade de criação de uma plataforma de segurança comum a ambos os sistemas foi cumprida pela aplicação de fechaduras atuadas por pedais, na qual a sua abertura apenas é executada com a atuação de ambos os pedais presentes em cada porta. Assim, independentemente do sistema montado, existe a possibilidade de executar a sua abertura uma vez que apenas é necessária a atuação dos quatro pedais para desbloquear as fechaduras, o que é facilmente conseguido pelo pouso do fundo dos contentores sobre a plataforma de segurança.

## 7.2 Trabalhos futuros

Com vista à finalização do projeto, são ainda necessárias intervenções no seu desenvolvimento.

Posto isto, deve ser feito um estudo para a introdução de sensores no sistema, nomeadamente de enchimento com integração em *software*, com vista à melhoria da gestão de resíduos e de recursos das entidades responsáveis pela recolha dos mesmos.

Para além disso, devem ser desenvolvidos modelos de menores dimensões, como de 4 e 3 m<sup>3</sup> pela existência de uma procura superior sobre estes.

Por último, o sistema desenvolvido deve ser manufaturado para testagem e validação.

O projeto desenvolvido estará sempre sujeito a melhoria contínua, uma vez que após a sua utilização serão identificados os seus aspetos negativos, com vista à sua otimização.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] 3EcoAmbiente, 3 ECO Ambiente, (2021). <https://3ecoambiente.com/#footer> (accessed December 14, 2021).
- [2] Jerry A. Nathanson, solid-waste management | Definition, Methods, Importance, & Facts | Britannica, (2010). <https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management> (accessed May 25, 2021).
- [3] W. and R.W.W. Initiatives, History of the Garbage Man - Waste and Recycling Workers Week. <https://www.wasterecyclingworkersweek.org/history-of-the-garbage-man/> (accessed May 25, 2021).
- [4] Hintons, History of Recycling [Timeline] | Who & When Invented Recycling?, (2018). <https://www.hintonswaste.co.uk/news/history-of-recycling-timeline/> (accessed May 26, 2021).
- [5] T. Unlimited, The Remarkable Evolution Of Trash and All Its Dirty Secrets, (2016). <https://trashcansunlimited.com/blog/the-remarkable-evolution-of-trash-and-all-its-dirty-secrets/> (accessed May 26, 2021).
- [6] Fresh Start Waste, The History Of Bin Lorries & Garbage Trucks | Fresh Start Waste, (2017). <https://www.fswaste.co.uk/2017/10/history-waste-wagons/> (accessed May 25, 2021).
- [7] Walter Lewellen, Classic Refuse Trucks, CRT News Updat. (2010). <http://www.classicrefusetrucks.com/albums/LE/LE01.html> (accessed May 26, 2021).
- [8] Twyla Naythias, How have garbage trucks changed over time? - Quora, (2016). <https://www.quora.com/How-have-garbage-trucks-changed-over-time> (accessed May 26, 2021).
- [9] Auto-Zer, Maxon Barrel Snatcher. <https://auto-zer.com/page/maxon-barrel-snatcher/default.html> (accessed May 26, 2021).
- [10] D. Kaliampakos, A. Benardos, Underground solutions for waste management: Status and Perspectives, (2013) 58. [https://www.iswa.org/index.php?eID=tx\\_iswaknowledgebase\\_download&documentUid=3157](https://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=3157).
- [11] Molok, MolokClassic | Underground waste bin | Molok. <https://www.molok.com/molok-products/molokclassic> (accessed May 13, 2021).
- [12] Rita Neto, Reciclagem tem 20 anos. Hoje reciclamos 12 elefantes por hora – ECO, (2017). <https://eco.sapo.pt/2017/11/26/reciclagem-tem-20-anos-hoje-reciclamos-12-elefantes-por-hora/> (accessed May 26, 2021).

- [13] Sara Cifani, What Happens to Paper After it is Put into the Recycle Bin?, (2018). <https://www.dumpsters.com/blog/what-happens-to-garbage> (accessed May 26, 2021).
- [14] Bluestream, Nord Easy System - The best easy city containers, (2020). <https://bluestreamme.com/nord-easy-system-the-best-system-for-complete-sanitizing-of-waste-containers/> (accessed May 26, 2021).
- [15] M. ЯGoto, Global Waste on Pace to Triple by 2100, World Bank. (2013) 0–2. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2013/10/30/global-waste-on-pace-to-triple> (accessed May 12, 2021).
- [16] B. Brandon, Four Reasons Why You Should Consider Underground Waste Containers - Waste Advantage Magazine, WasteAdvantage Mag. (2015). <https://wasteadvantagemag.com/four-reasons-consider-underground-waste-containers/> (accessed May 12, 2021).
- [17] Almoverde, TIERSO 3.0 - Almoverde. <https://www.almoverde.pt/produtos/contentores/enterrados-semi-enterrados/semi-enterrados/tierso-3-0/> (accessed May 13, 2021).
- [18] Elkoplast, Containers for selective waste collection Recycling banks. [www.elkoplast.eu](http://www.elkoplast.eu) (accessed May 13, 2021).
- [19] Engels, Programa de logística.
- [20] WasteSolutions, Waste Solutions Underground Bins Systems, Waste Solut. 2016. (2020). <https://wastesolutions.ie/recycling-products/specialist-bins/underground-bins> (accessed May 13, 2021).
- [21] Urban DNA, BETÃO/METAL – Urban Dna, (2020). <http://www.urban-dna.pt/pt/marcos-3/contentores-semi-enterrados/betaometal/> (accessed May 13, 2021).
- [22] Formato Verde, Formato Verde | Formato Verde | Productos | Subterrâneos | Subterrâneo hidráulico (carga traseira). <https://www.formatoverde.com/pt-PT/soterrados/soterrado-hidraulico-carga-trasera.aspx> (accessed May 14, 2021).
- [23] M. Europa, E.V.O. Austral, PnP.
- [24] E. Fire, Underground Systems. <https://www.sulo.com/en/solutions/product-solutions/underground-systems/> (accessed May 17, 2021).
- [25] Sotkon, Sotkon -, (2020). <https://www.sotkon.com/pt/waste-systems/apto/> (accessed May 17, 2021).
- [26] Ameland Municipality, Underground Containers, (2014). [http://www.ameland.nl/afval/ondergrondse-containers\\_41489/](http://www.ameland.nl/afval/ondergrondse-containers_41489/).

- [27] Sotkon, Sotkon - The Evos Waste System | Sotkon, (2020). <https://www.sotkon.com/en/waste-systems/the-evos/> (accessed May 17, 2021).
- [28] Contenur, SCV, (2008) 1–5.
- [29] H&G, Underground container collection systems | H&G, (2021). <https://www.hg-systems.com/en/underground-container-collection-systems/> (accessed May 24, 2021).
- [30] Envac, Envac, (2021). <https://www.envacgroup.com/> (accessed May 18, 2021).
- [31] D. Hidalgo, J.L. Juaristi, J.M.M. Marroquín, F. Corona, Sustainable vacuum waste collection systems in areas of difficult access . Sustainable vacuum waste collection systems in areas of difficult access ., Tunn. Undergr. Sp. Technol. 81 (2017) 12. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.07.026>.
- [32] Waste Management World, Smaller & Cheaper Underground Vacuum Waste & Recycling Collection System from Envac | Waste Management World, (2014). <https://waste-management-world.com/a/smaller-cheaper-underground-vacuum-waste-recycling-collection-system-from-envac> (accessed May 18, 2021).
- [33] C. Analysis, T.O. Truck, B. Manual, T.I. Times, ENVAC AUTOMATED PNEUMATIC WASTE COLLECTION / RECYCLING SYSTEMS : Summary : Envac vs . Conven [ onal Waste Removal, (2016).
- [34] Envac, Movac – mobile vacuum system The third generation mobile waste system from Envac Quiet and efficient waste collection without, (2008).
- [35] Sotkon, SOTKON-APTO Underground container-Top Loading Single hook Palpeur - YouTube, (2020). [https://www.youtube.com/watch?v=E0HMU\\_ypKQI](https://www.youtube.com/watch?v=E0HMU_ypKQI) (accessed May 21, 2021).
- [36] M. S, Emptying a semi-buried garbage container in Aarhus - YouTube, (2014). <https://www.youtube.com/watch?v=5me77xZ0-jU> (accessed May 21, 2021).
- [37] Urban DNA, ONE HOOK – Urban Dna. <http://www.urban-dna.pt/en/systems/hook-lifting/one-hook/> (accessed May 21, 2021).
- [38] Elkoplast, Underground Containers - Elkoplast. <https://www.elkoplast.eu/underground-containers> (accessed May 21, 2021).
- [39] Sotkon, SOTKON - KONCEPT Underground Container 3m3 One Hook palpeur - YouTube, (2014). <https://www.youtube.com/watch?v=SUDW5AhaB6o> (accessed May 21, 2021).
- [40] Urban DNA, DOUBLE HOOK – Urban Dna. <http://www.urban-dna.pt/en/systems/hook-lifting/double-hook/> (accessed May 21, 2021).
- [41] A. Materieel, Underground Washing Container UWC:S 13:3 5 AW Materieel - YouTube, (2015).

- <https://www.youtube.com/watch?v=JVCJdXrBuKE> (accessed May 21, 2021).
- [42] Elkoplast, Van emptying Semi-underground Containers SemiQ - YouTube, (2020). [https://www.youtube.com/watch?v=\\_wGdQJkTUll](https://www.youtube.com/watch?v=_wGdQJkTUll) (accessed May 21, 2021).
- [43] Urban DNA, KINSHOFER HOOK – Urban Dna. <https://www.urban-dna.pt/en/systems/hook-lifting/kinshofer-hook/> (accessed May 24, 2021).
- [44] Villiger, SPEED-GRIPPER | Safety and efficiency in container emptying | Villiger Entsorgungssysteme AG, (2021). <https://www.villiger.com/en/products/above-ground-systems/above-floor-systems/speed-gripper-p106> (accessed May 24, 2021).
- [45] Sotkon, Sotkon. <https://sotkon.com/pt/waste-systems/koncept/> (accessed July 6, 2021).
- [46] Sotkon, Sotkon - Garbage Intake Columns | Sotkon. <https://sotkon.com/en/intake-columns/> (accessed July 7, 2021).
- [47] P. Portugal, O que é? - PAYT - Portugal. <https://www.payt-portugal.com/payt/payt-definicao> (accessed July 7, 2021).
- [48] Sotkon, SOTKON @ Brasil - YouTube, (2021). <https://www.youtube.com/watch?v=FRhaHn22IRo> (accessed July 9, 2021).
- [49] Nuno Vinagre, Recolha de ilhas.wmv - YouTube, (2012). <https://www.youtube.com/watch?v=xMlZgommDN4> (accessed July 9, 2021).
- [50] Tvbrasil, Depósitos subterrâneos de lixo são instalados no Centro do Rio - YouTube, (2012). <https://www.youtube.com/watch?v=qy3d2APmVvo> (accessed July 9, 2021).
- [51] Sotkon, SOTKON - SOTCARE services for cleaning and maintenance - YouTube, (2017). <https://www.youtube.com/watch?v=ANsS2g1Km4c> (accessed July 9, 2021).
- [52] Evar Bjarmason, Garbage truck in Amsterdam using a crane - YouTube, (2017). <https://www.youtube.com/watch?v=gOtySWQGLw> (accessed December 17, 2021).
- [53] M.J.E. Ferreira, Especificação Do Betão Segundo a Np En 206-1, (2007) 1–25.
- [54] MEADinfo, Material Properties of S355 Steel - An Overview, Online. (2015) 5–7. <https://www.meadinfo.org/2015/08/s355-steel-properties.html> (accessed July 26, 2021).
- [55] KMS, AW 5754, (2021) 6.
- [56] KMS, BARRAS QUADRADAS AW 6082, (2021).
- [57] N. Gilbert, Structural Steel - S235, S275, S355 Chemical Composition, Mechanical Properties and Common Applications, AZO Mater. 1 (2019) 1–5. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6022> (accessed October 7, 2021).
- [58] Grupo Ferpinta, Grupo Ferpinta, (2020). <http://www.ferpinta.pt/index.php?cat=52> (accessed

- September 10, 2021).
- [59] MatWeb, Ovako S355J2 S355J2(M) Steel, +AR.  
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=805261d90c9a4aee8ff3b08e02661175> (accessed September 10, 2021).
- [60] Aspen Fasteners, Metric DIN 933 Hexagon Head Cap Screws / Bolts Full Thread, 5.
- [61] Aspen Fasteners, Metric DIN 934 Hexagon Nuts, 4.
- [62] Aspen Fasteners, Metric DIN 125 Flat Washers, 4.
- [63] Np En 1993-1-8, Norma Portuguesa - Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço, Inst. Port. Da Qual. (2010) 146.
- [64] Autodesk, Section 7: Meshing | Inventor Nastran 2019 | Autodesk Knowledge Network, 2018.  
<https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-nastran/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/NINCAD-SelfTraining/files/GUID-2CB5E408-C795-41EE-9F83-B311BFD99FB0-htm.html> (accessed October 6, 2021).
- [65] J. Gomes, N. Dourado, L. Silva, Órgãos de Máquinas I, (2018).
- [66] Autodesk, Safety factor is not correctly reconciled in Autodesk Nastran In-CAD, (2018).  
<https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-nastran/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Safety-factor-is-not-correctly-reconciled-in-Autodesk-Nastran-In-CAD.html> (accessed November 3, 2021).
- [67] Matweb, Ovako S275JR SB1412 Steel, +AR.  
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c63e73e4a831418985cece9dd2607269&ckck=1> (accessed October 7, 2021).
- [68] Bonehamusa, Metric Pin DIN 1444, (2020) 9494.
- [69] Aspen Fasteners, Metric DIN 94 Split Pins ( Cotter Pins ), 6.
- [70] W. Lucas, Shielding gases for arc welding and cutting, Orig. Publ. Weld. Met. Fabr. (2001) 16–18. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/shielding-gases-for-arc-welding-and-cutting-may-2001> (accessed November 30, 2021).
- [71] Certilas, SG 1, (2021). <https://certilas.nl/en/product/sg-1> (accessed November 30, 2021).
- [72] Certilas, AIMg 5, (2021). <https://certilas.nl/en/product/almg-5> (accessed November 30, 2021).
- [73] HILTI, HUS-HR Screw anchor, (2021).
- [74] Aspen Fasteners, Metric DIN 7337 Open End Blind Rivets with Dome Head.
- [75] Aspen Fasteners, WA S H E F O Metric DIN 7 Parallel Dowel Pins.
- [76] Guden, Custom Slip Joint Hinges - Stake - Guden, (2021).



- <https://www.guden.com/customize/slip-joint-hinges/pin-retention/stake> (accessed December 11, 2021).
- [77] SGS, How to Calculate the Force Required for a Gas Strut / Help & Advice, (2021). <https://www.sgs-engineering.com/help-advice/how-to-calculate-the-force-required-for-a-gas-strut/> (accessed December 11, 2021).
- [78] Stabilus, Standard programme for gas springs and dampers, (2021).
- [79] pewag, WOX Chain inox, (2021). <https://www.pewag.com/shop/en/wox-chain-inox.html> (accessed December 12, 2021).
- [80] pewag, CWI Connex connecting link, (2021). <https://www.pewag.com/shop/en/cwi-connex-connecting-link.html> (accessed December 12, 2021).
- [81] Gradup, Double swivel ring, (2018).
- [82] Dictator, Pull Type Gas Springs, (2019).
- [83] Access Spring, Spring Calculator & Instant Quote - Quality Spring, Affordable Prices, (2021). <https://www.accessspring.com/spring-calculator.html> (accessed December 13, 2021).
- [84] A.G. Association, What is Hot-Dip Galvanizing (HDG)?, (2021). <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanized-steel-for-parking-structures/hot-dip-galvanizing> (accessed December 13, 2021).
- [85] Bernardo Duran, Silicon Content of Steel | American Galvanizers Association, (2012). <https://galvanizeit.org/knowledgebase/article/silicon-content-of-steel> (accessed December 13, 2021).
- [86] Rotocoat, Welding after hot-dip galvanising - Rotocoat, (2021). <https://rotocoat.com/hot-dip-galvanising/technical-information/welding-after-hot-dip-galvanising> (accessed December 16, 2021).
- [87] Rotocoat, Retouching and reconditioning, (2021). <https://rotocoat.com/hot-dip-galvanising/technical-information/retouching-and-reconditioning> (accessed December 13, 2021).
- [88] Autodesk, Basic Calculation of Bolted Connection | Inventor | Autodesk Knowledge Network, (2014). <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Inventor-Help/files/GUID-C92EEE54-5A24-436B-B809-88EB1A7737B1-htm.html> (accessed September 17, 2021).
- [89] Autodesk, Force input factor n | Inventor | Autodesk Knowledge Network, (2014). <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Inventor-Help/files/GUID-06D1EA74-4A3C-40AA-8A94-149645694122-htm.html> (accessed September 17, 2021).

- [90] Autodesk, 安全系数 | Inventor | Autodesk Knowledge Network, (2014).  
<https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Inventor-Help/files/GUID-42FECEEA-1F24-4470-AA60-5C358AA88A86-htm.html> (accessed September 17, 2021).
- [91] Autodesk, Allowable pressure in threads | Inventor | Autodesk Knowledge Network, (2014).  
<https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/Inventor/files/GUID-B24924A4-0B30-4B11-8A18-DA06C0804AF8-htm.html> (accessed September 17, 2021).
- [92] Autodesk, Friction factor in thread f1 | Inventor | Autodesk Knowledge Network, (2014).  
<https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Inventor-Help/files/GUID-BC1E0039-015D-4F5E-989B-7BAFAF03962B-htm.html> (accessed September 17, 2021).
- [93] J. Gomes, N. Dourado, Elementos de apoio OM, (2018).
- [94] Metalogalva, Galvanização galvanisation galvanizing, (2021) 36.
- [95] Galvaza, PROCESSO GALVANIZAÇÃO, (2020). <https://galvaza.pt/processo-galvanizacao/> (accessed December 23, 2021).

## ANEXO I – DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO APARAFUSADA ENTRE A TUBO DE ELEVAÇÃO E A BARRA U ESTRUTURAL

A conexão do tubo de elevação à barra U estrutural representa o principal elemento de ligação de todo o contentor, uma vez que esta é aquela que suporta todo o peso a que o contentor está sujeito. Assim, de modo a desenvolver um elo de ligação seguro, procedeu-se com o dimensionamento de uma ligação aparafusada capaz de sustentar os esforços a que está sujeita.

Em primeiro lugar, através do *software* Inventor®, elaborou-se uma estimativa do número e tipo de parafusos necessários para sustentar os seguintes esforços:

- 60 kN na direção axial, que representa o peso total do sistema em situação de carga máxima acrescido de aproximadamente 1000 kg de forma a garantir o sobredimensionamento da ligação;
- 10 kN na direção tangencial, que representa um valor totalmente arbitrado para segurança do sistema, uma vez que este nas operações de descarga pode estar sujeito a algum balanço dado o sistema de acoplamento implementado.

Para se proceder com o estudo foi necessário fornecer ao programa as propriedades mecânicas dos parafusos e respectivas porcas sextavadas a utilizar que, tendo em conta o tipo de esforços a que o sistema está sujeito, foram selecionados da classe métrica 8.8. Para além disso, foi necessário estabelecer valores para determinadas variáveis:

- O fator de aperto (**k**) que é implementado para reduzir o risco de separação dos materiais e é obtido a partir da Eq.(2), na qual (**ψ**) representa o fator adicional de aperto. Este fator pode variar entre 0,5 e 1,5 e neste caso selecionou-se o valor de 0,5, estabelecendo-se o valor em 1,5 [88].

$$k = 1 + \psi \tag{2}$$

- O fator de entrada de força (**n**) que é selecionado a partir da forma como a força atua na junta. Neste caso em particular toma o valor de 0,5 [89].
- O coeficiente de atrito da junta (**f**) que depende do material dos materiais que se encontram conectados. Nesta ligação os materiais das juntas são ambos em aço não lubrificado, logo o valor da variável é 0,8 [90].

- O coeficiente de segurança ( $k_s$ ) que é arbitrado pelo projetista e que neste estudo toma o valor de 5.
- A espessura da ligação ( $L$ ) que é composta pela espessura da junta de ligação associada à espessura das anilhas empregues. Foram consideradas duas anilhas de 3 mm de espessura que adicionando à espessura da junta de ligação dá origem ao valor de 23,5 mm. Por inexistência do aço NP EN 10025-2 S355 no *software*, utilizou-se a norma DIN equivalente (St52-3) para definir as propriedades da junta de ligação.
- A pressão permitida na rosca ( $p_s$ ) que para um parafuso de classe 8.8 em aço apresenta um valor igual a 150 MPa [91].
- O coeficiente de atrito na rosca ( $f_1$ ) que para um parafuso com acabamento galvanizado pode variar entre 0,13 e 0,18 [92]. Neste caso particular, selecionou-se o valor de 0,18 que, por sua vez, representa o pior cenário.
- O coeficiente de atrito na interface parafuso/junta e porca/junta ( $f_2$ ) que se rege pelo mesmo princípio do coeficiente de atrito na junta ( $f$ ). Tendo em conta que os parafusos e as porcas são manufacturados em aço e que são devidamente lubrificados no contacto com a junta, o valor do coeficiente é 0,16 [90].

A partir daqui, foi possível realizar diversas simulações nas quais se variaram o número de parafusos empregues, o tamanho da rosca e respetivo passo. Com isto, após algumas tentativas, obteve-se resultados positivos conforme ilustrado na Figura Anexo I-1.

Figura Anexo I-1 – Resultados obtidos a partir da introdução das variáveis abordadas no *software*.

Através da análise da Figura Anexo I-1, pode-se constatar que para oito parafusos M20x2.5, circundados a vermelho, de classe métrica 8.8 sujeitos às cargas solicitadas, o valor do coeficiente de segurança é de 5,3, delineado a azul. Por outro lado, delineado a verde, o binário de aperto sugerido para a ligação dimensionada é de cerca de 58,3 Nm.

De forma a avaliar os resultados obtidos no *software*, executaram-se cálculos de dimensionamento de ligações aparafusadas tendo em conta o tipo de parafusos identificados. Esta verificação permite identificar o coeficiente de segurança à separação da junta de ligação e também a fadiga à qual os parafusos estão sujeitos. Assim, com vista à obtenção da constante de rigidez da junta (**C**), calcularam-se as seguintes variáveis:

- Área de maior diâmetro do parafuso - Eq.(3);

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

- Espessura de ligação - Eq.(4);

$$L_G = \text{Espessura}_{junta} + \text{Espessura}_{anilhas} \quad (4)$$

- Comprimento da espiga do parafuso (**L**);
- Comprimento total da rosca do parafuso que, para este caso em particular em que o comprimento da espiga do parafuso é inferior a 125 mm e o diâmetro da rosca inferior ou igual a 48 mm, é calculado pela Eq.(5);

$$L_T = 2d + 6 \quad (5)$$

- Comprimento da zona lisa do parafuso - Eq.(6);

$$l_d = L - L_T \quad (6)$$

- Comprimento da zona roscada do parafuso sujeita a esforço - Eq.(7);

$$l_t = L_G - l_d \quad (7)$$

- Constante de rigidez do parafuso - Eq.(8);

$$k_b = \frac{A_d \times A_t \times E_{aço}}{A_d \times l_t + A_t \times l_d} \quad (8)$$

$A_t$ : Área resistente à tração

$E_{aço}$ : Módulo de elasticidade do aço

- Constante de rigidez dos membros na qual o cálculo baseia-se no método do cone de pressão, ilustrado na Figura Anexo I-2 que assume que as tensões induzidas na conexão são uniformes na zona de contorno do furo dos parafusos. Uma vez que os materiais dos membros são idênticos e que os parafusos são normalizados, a constante é obtida a partir da Eq.(9). As constantes **(A)** e **(B)** são dependentes do material dos membros [65].

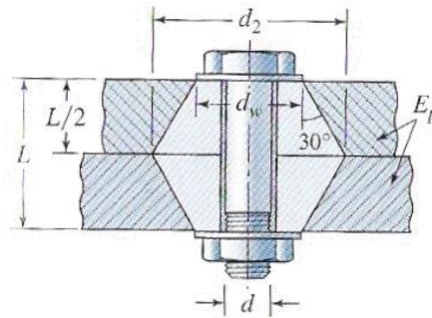


Figura Anexo I-2 – Ligação aparafusada.

$$k_m = E_{aço} \times d \times A \times e \frac{Bd}{L} \quad (9)$$

Após o desenvolvimento de estes cálculos, pode-se estabelecer o cálculo da constante da rigidez da junta de ligação através da Eq.(10). A Tabela Anexo I-1 ilustra a resolução das expressões representadas até à obtenção do valor da constante de rigidez da junta.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (10)$$

Tabela Anexo I-1 – Cálculo das variáveis identificadas.

<b>Área de maior diâmetro do parafuso</b>	$A_d = \frac{\pi \times 20^2}{4} = 314,2 \text{ mm}^2$
<b>Espessura da ligação</b>	$L_G = 17,5 + 6 = 23,5 \text{ mm}$
<b>Comprimento da espiga do parafuso</b>	$L = 50 \text{ mm}$
<b>Comprimento total da rosca do parafuso</b>	$L_T = 2 \times 20 + 6 = 46 \text{ mm}$
<b>Comprimento total da zona lisa do parafuso</b>	$l_d = 50 - 46 = 4 \text{ mm}$

<b>Comprimento da zona roscada do parafuso sujeita a esforço</b>	$l_t = 23,5 - 4 = 19,5 \text{ mm}$
<b>Constante de rigidez do parafuso</b>	$k_b = \frac{314,2 \times 245 \times 207000}{314,2 \times 19,5 + 245 \times 4} =$ $= 2242,14 \times 10^3 \text{ N/mm}$
<b><math>E_{\text{aço}} = 207 \times 10^3 \text{ MPa}</math></b> <b><math>A_t = 245 \text{ mm}^2</math> (d = 20 mm) [65]</b>	
<b>Constante de rigidez dos membros</b>	$k_m = 207000 \times 20 \times 0,78715 \times e^{\frac{0,62873 \times 20}{23,5}} =$ $= 5564,73 \times 10^3 \text{ N/mm}$
<b><math>A = 0,78715</math> [65]</b> <b><math>B = 0,62873</math> [65]</b>	
<b><math>L = 23.5 \text{ mm}</math> (De acordo com a Figura Anexo I-2)</b>	
<b>Constante de rigidez da junta</b>	$C = \frac{2242,14 \times 10^3}{2242,14 \times 10^3 + 5564,73 \times 10^3} \cong 0,287$

Com o valor da constante de rigidez da junta obtido, torna-se possível avaliar o coeficiente de segurança contra a separação dos membros ( $n_o$ ). Para isso basta definir a carga axial aplicada a cada parafuso ( $P$ ), calculada a partir da Eq.(11), e a pré-carga a aplicar aos parafusos ( $F_i$ ) segundo o binário de aperto sugerido pelo programa, calculada através da Eq.(12). O binário a aplicar aos parafusos depende de um coeficiente de binário que depende do acabamento superficial dos parafusos.

$$P = \frac{W}{n} \quad (11)$$

$W$ : Carga axial total

$n$ : Número de parafusos

$$T = k \times F_i \times d \quad (12)$$

$T$ : Binário de aperto a aplicar aos parafusos

$k$ : Coeficiente de binário

Com os resultados das expressões supramencionadas, pode-se finalmente calcular o coeficiente de segurança contra a separação dos membros ( $n_o$ ) através da Eq.(13). A Tabela Anexo I-2 ilustra os cálculos realizados até à obtenção do valor do coeficiente de segurança.

$$n_0 = \frac{F_i}{P \times (1 - C)} \quad (13)$$

Tabela Anexo I-2 – Cálculos com vista à obtenção do coeficiente de segurança contra a separação de membros.

<b>Carga axial aplicada a cada parafuso</b>	$P = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ kN}$
<b>Pré-carga a aplicar a cada parafuso</b>	$F_i = \frac{T}{k \times d} = \frac{58300}{0,2 \times 20} = 14575 \text{ N}$
<b>k = 0,2 [65]</b>	
<b>Coeficiente de segurança contra a separação de membros</b>	$n_0 = \frac{14575}{7500 \times (1 - 0,287)} \cong 2,73$

O coeficiente contra a separação dos membros obtido apresenta uma grande margem de segurança, garantindo a união da ligação desenvolvida. Este resultado demonstra que o binário de aperto empregue nos parafusos é viável para a carga axial que os parafusos estão sujeitos. A partir destes resultados é ainda possível definir a carga resultante nos parafusos e a carga resultante nos membros, que terá de ser negativa de forma a garantir uma ligação à compressão. Com esta verificação, os resultados das cargas são validados. As cargas mencionadas são calculadas, respetivamente, a partir das Eq.(14) e (15).

$$F_b = CP + F_i, \quad F_m < 0 \quad (14)$$

$$F_m = (1 - C)P - F_i, \quad F_m < 0 \quad (15)$$

Os resultados dos cálculos das cargas resultantes dos parafusos e membros podem ser consultados na Tabela Anexo I-3.

Tabela Anexo I-3 – Cálculos das cargas resultantes.

<b>Carga resultante nos parafusos</b>	$F_b = 0,287 \times 7500 + 14575 = 15727,5 \text{ N}$
<b>Carga resultante nos membros</b>	$F_m = (1 - 0,287) \times 7500 - 14575 = -9227,5 \text{ N}$



A última verificação a realizar relativamente à ligação aparafusada dimensionada é a sua resistência à fadiga, uma vez que esta está sujeita a cargas flutuantes. Para isso recorre-se ao diagrama de *Goodman*, ilustrado na Figura Anexo I-3.

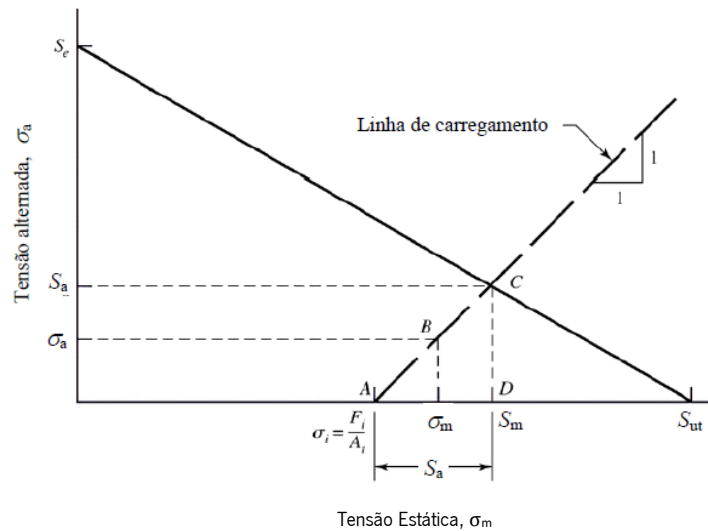


Figura Anexo I-3 – Diagrama de *Goodman* adaptado [93].

$S_e$ : Tensão limite de fadiga corrigida

$S_{ut}$ : Tensão de rutura

$\sigma_a$ : Tensão alternada instalada no parafuso

$\sigma_m$ : Tensão média instalada no parafuso

$\sigma$ : Tensão mínima

B: Ponto de funcionamento em segurança

C: Ponto de rutura (Dependente do critério de fadiga utilizado)

Tendo em conta que a ligação aparafusada deve ser dimensionada de forma a se situar no ponto de funcionamento em segurança, as seguintes expressões permitem obter os valores das tensões necessárias para a avaliação da mesma à fadiga:

- Tensão mínima - Eq.(16);

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_t} \quad (16)$$

- Tensão alternada - Eq.(17);

$$\sigma_a = \frac{CP}{2A_t} \quad (17)$$

- Tensão média - Eq.(18).

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i \quad (18)$$

O cálculo da tensão alternada permite identificar um dos componentes necessários para a obtenção do coeficiente de segurança à fadiga (**n**), faltando apenas o componente de fadiga (**S<sub>a</sub>**) que depende do critério de fadiga a considerar. Existem três critérios a atender:

- Critério de *Goodman*, no qual **S<sub>a</sub>** é dado pela Eq.(19);

$$S_a = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{S_{ut} + S_e} \quad (19)$$

- Critério de *Gerber*, onde **S<sub>a</sub>** é obtido a partir da Eq.(20);

$$S_a = \frac{1}{2S_e} [S_{ut}\sqrt{S_{ut}^2 + 4S_e(S_e + \sigma_i)} - S_{ut}^2 - 2\sigma_i S_e] \quad (20)$$

- Critério *ASME-elítico*, no qual **S<sub>a</sub>** é calculado através da Eq.(21).

$$S_a = \frac{S_e}{S_p^2 + S_e^2} (S_p \sqrt{S_p^2 + S_e^2 - \sigma_i^2} - \sigma_i S_e) \quad (21)$$

Posto isto, na Tabela Anexo I-4 encontram-se as resoluções dos cálculos efetuados através da atribuição de valores às variáveis das expressões supramencionadas.

Tabela Anexo I-4 – Cálculo dos critérios para teste à fadiga.

<b>Tensão mínima</b>	$\sigma_i = \frac{14575}{245} \cong 59,49 \text{ MPa}$
<b>Tensão alternada</b>	$\sigma_a = \frac{0,287 \times 7500}{2 \times 245} \cong 4,39 \text{ MPa}$
<b>Tensão média</b>	$\sigma_m = 4,39 + 59,49 = 63,88 \text{ MPa}$
<b>Critério de <i>Goodman</i></b>	$S_a = \frac{129 \times (830 - 59,49)}{830 + 129} \cong 103,65 \text{ MPa}$
<b>S<sub>e</sub> = 129 MPa (M20 ISO 8.8) [93]</b>	
<b>S<sub>ut</sub> = 830 MPa (M20 ISO 8.8) [93]</b>	

<b>Critério de Gerber</b>	$S_a = \frac{1}{2 \times 129} \times \left[ 830 \times \sqrt{830^2 + 4 \times 129 \times (129 + 59,49)} - 830^2 - 2 \times 59,49 \times 129 \right] \cong 122,78 \text{ MPa}$
<b>Critério ASME-elítico</b>	$S_a = \frac{129}{600^2 + 129^2} \times \left( 600 \times \sqrt{600^2 + 129^2 - 59,49^2} - 59,49 \times 129 \right) \cong 122,90 \text{ MPa}$
<b>S<sub>p</sub> = 600 MPa (M20 ISO 8.8) [93]</b>	

Finalmente, pode-se calcular o coeficiente de segurança à fadiga para os diferentes critérios abordados através da Eq.(22). Os resultados dos cálculos encontram-se representados na Tabela Anexo I-5.

$$n_f = \frac{S_a}{\sigma_a} \quad (22)$$

Tabela Anexo I-5 – Cálculos dos coeficientes de segurança à fadiga.

<b>Coeficiente de segurança segundo Goodman</b>	$n_f = \frac{103,65}{4,39} \cong 23,61$
<b>Coeficiente de segurança segundo Gerber</b>	$n_f = \frac{122,78}{4,39} \cong 27,97$
<b>Coeficiente de segurança segundo ASME-elítico</b>	$n_f = \frac{122,90}{4,39} \cong 28,00$

Os resultados presentes na Tabela Anexo I-5 demonstram resultados extremamente positivos no qual o critério de *Goodman* revela ser o mais pessimista, uma vez que é aquele que apresenta um coeficiente de segurança mais baixo que os restantes critérios. Assim, pode-se concluir que a ligação aparafusada dimensionada irá trabalhar em segurança perante as cargas cíclicas a que está sujeita.

# ANEXO II – SOLUÇÕES DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS COM PRÉ CARGA DOS PARAFUSOS

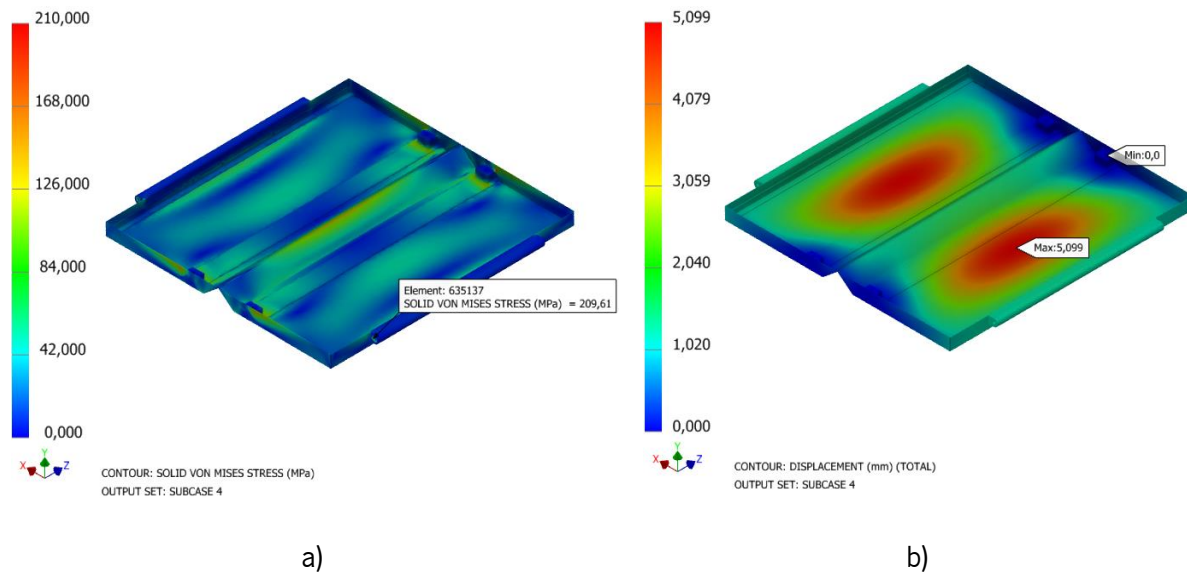


Figura Anexo II-1 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* e do deslocamento total, respetivamente em a) e b), para os alçapões do contentor.

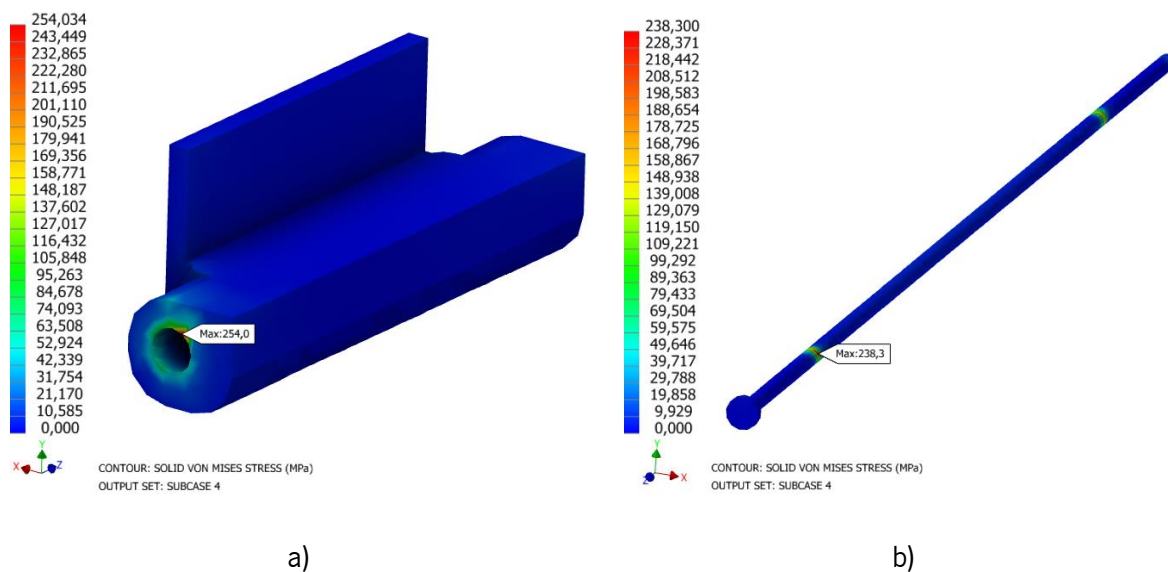


Figura Anexo II-2 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* para a dobradiça do alçapão e para o pino da dobradiça do alçapão, respetivamente em a) e b).

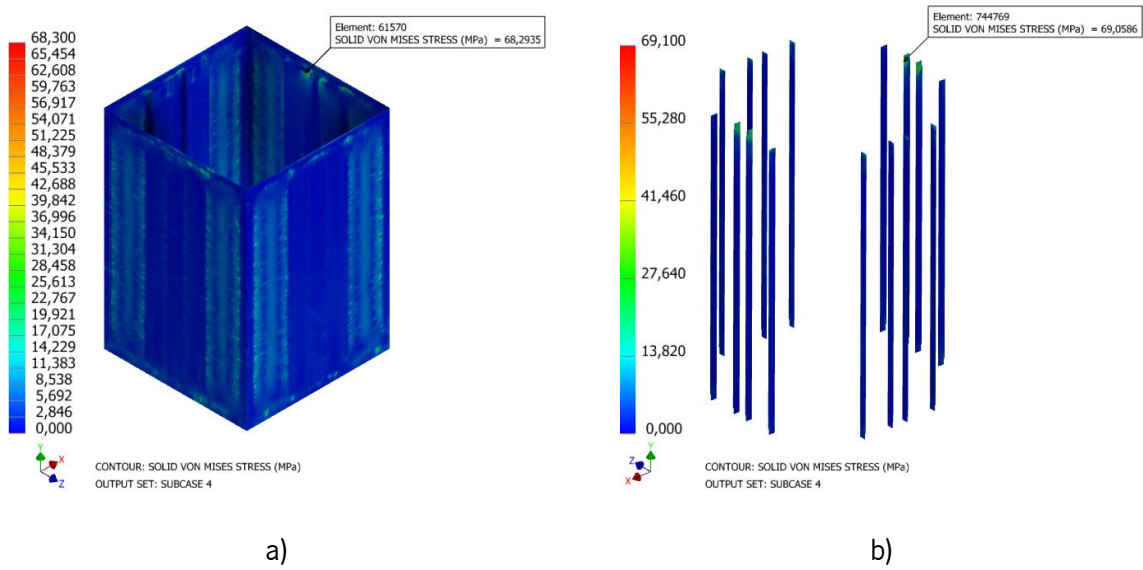


Figura Anexo II-3 – Soluções da tensão equivalente de *Von Mises* sobre as placas de revestimento, chapas para passagem das correntes e chapas isoladoras das régua em a); sobre as régua estruturais em b).



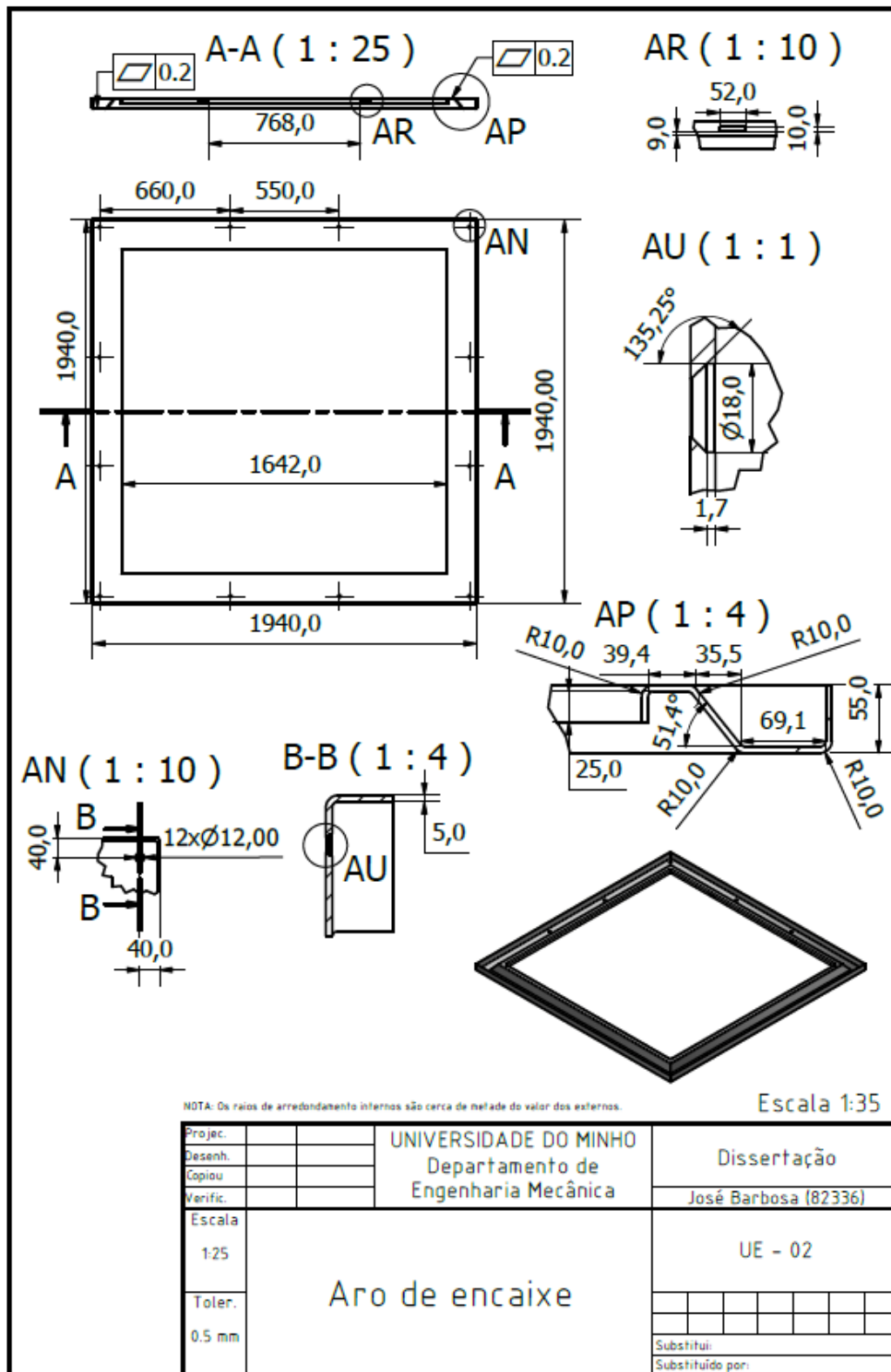


Figura Anexo III-2 – Desenho técnico do aro de encaixe.

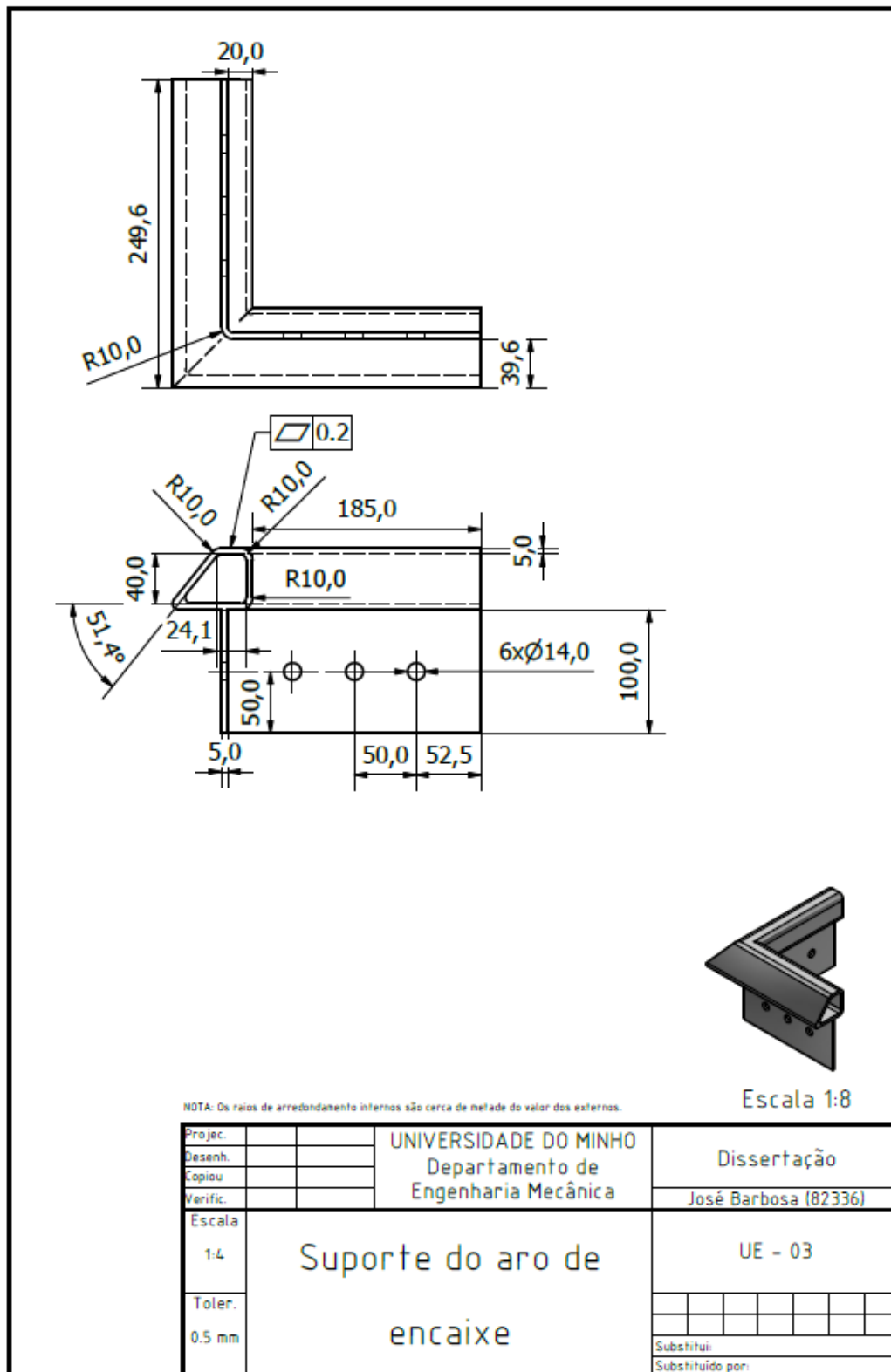


Figura Anexo III-3 – Desenho técnico do suporte do aro de encaixe.



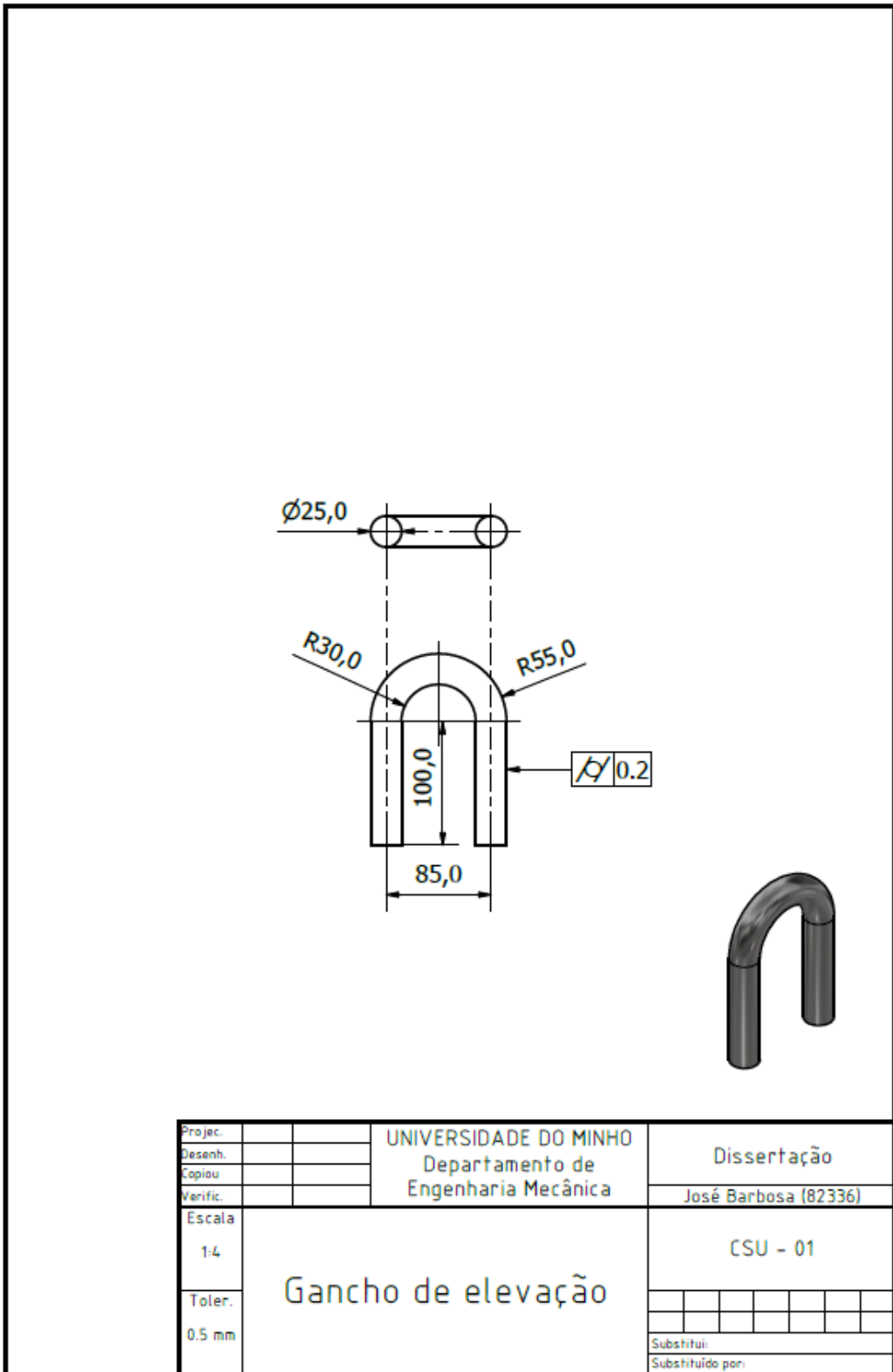


Figura Anexo III-4 – Desenho técnico do gancho de elevação.

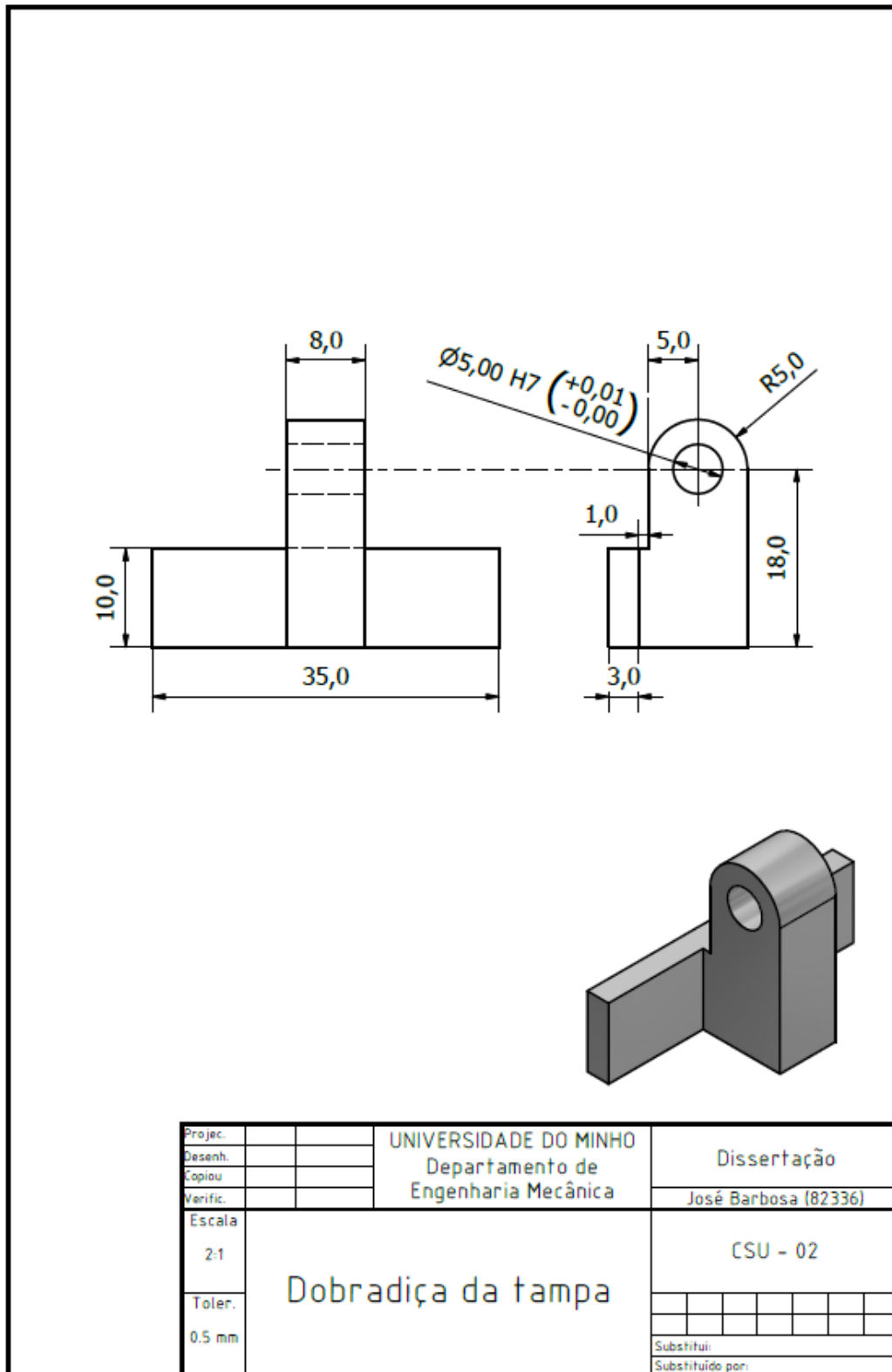


Figura Anexo III-5 – Desenho técnico da dobradiça da tampa.

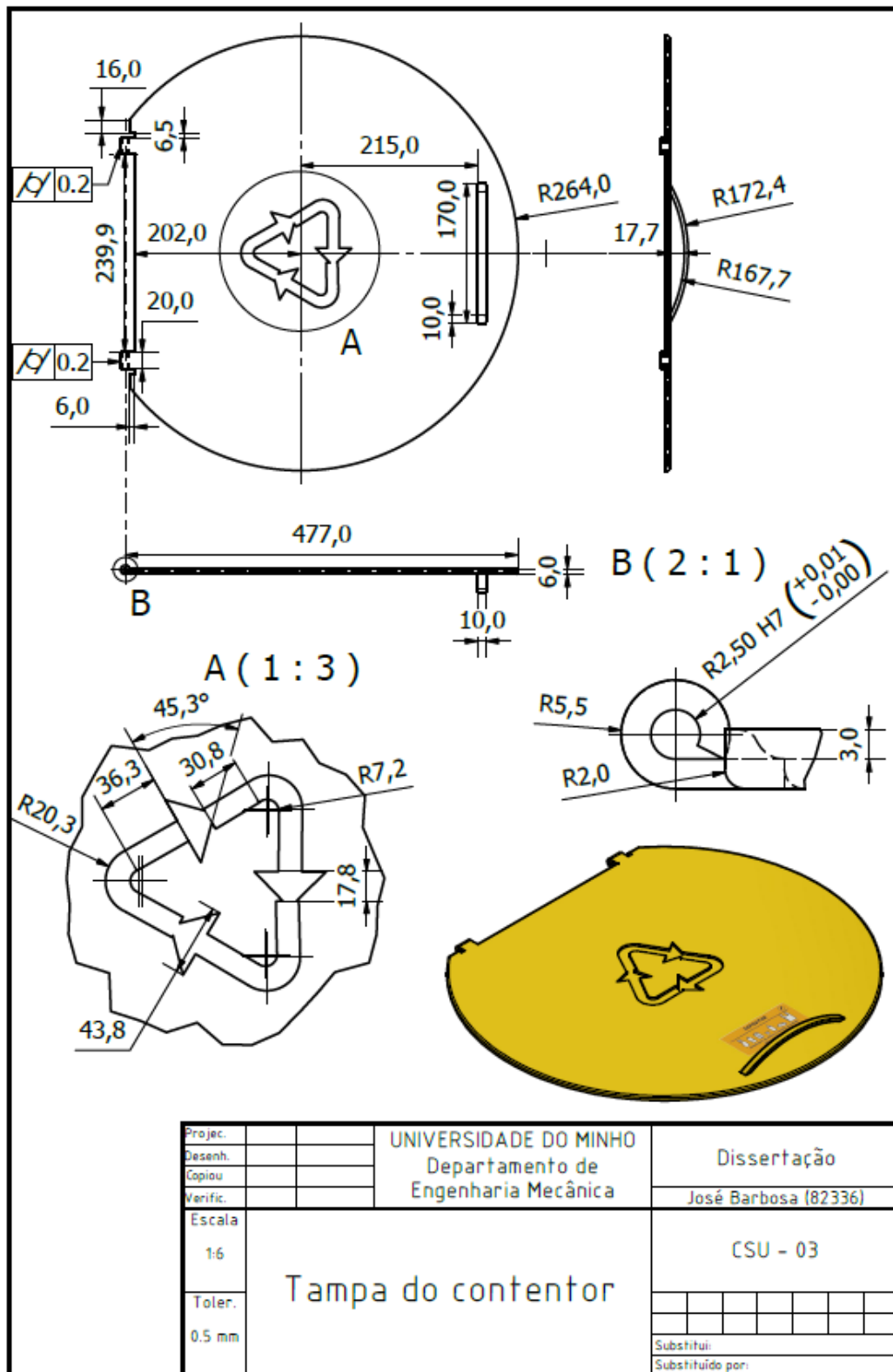


Figura Anexo III-6 – Desenho técnico da tampa do contentor.

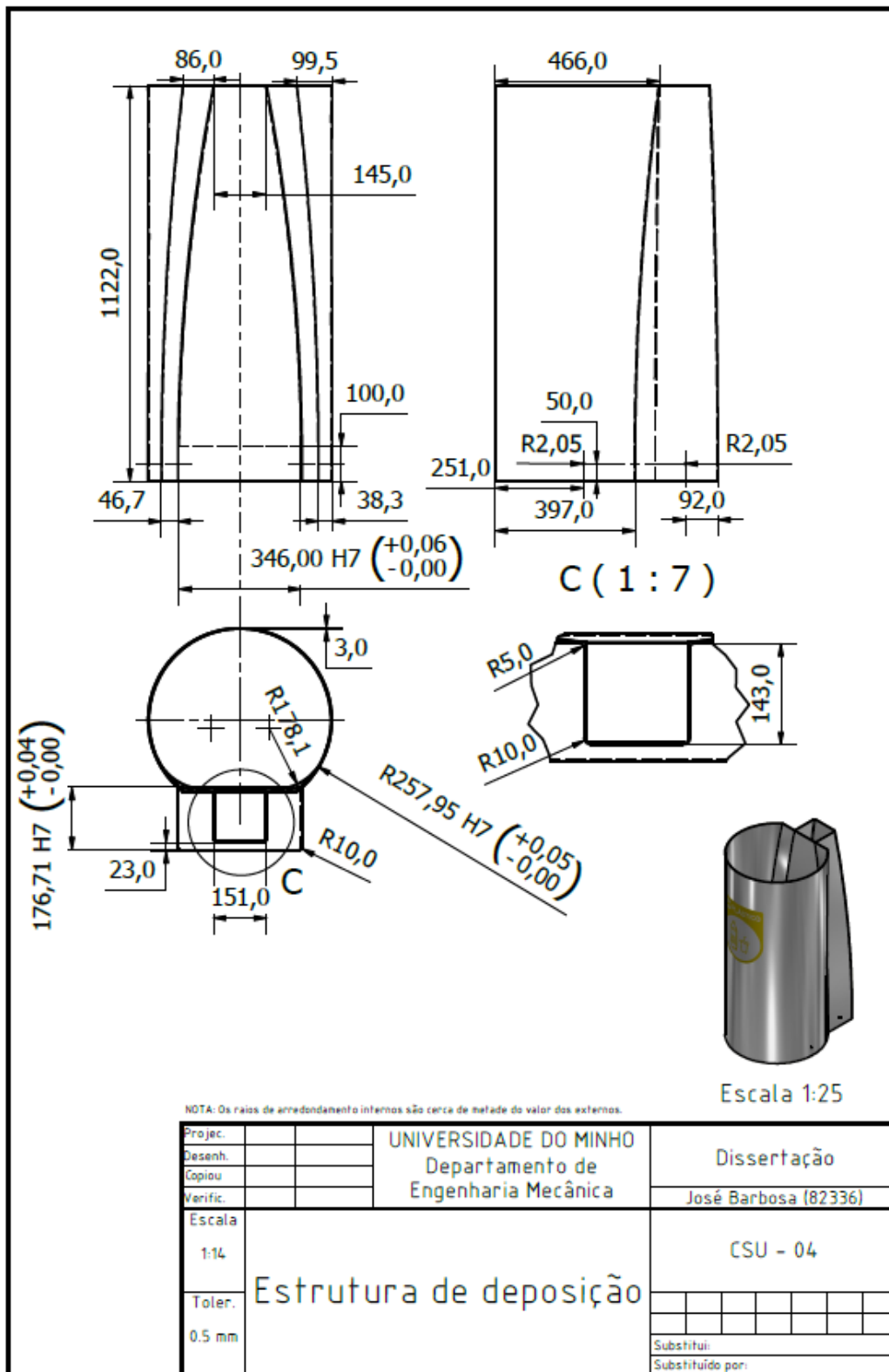


Figura Anexo III-7 – Desenho técnico da estrutura de deposição.

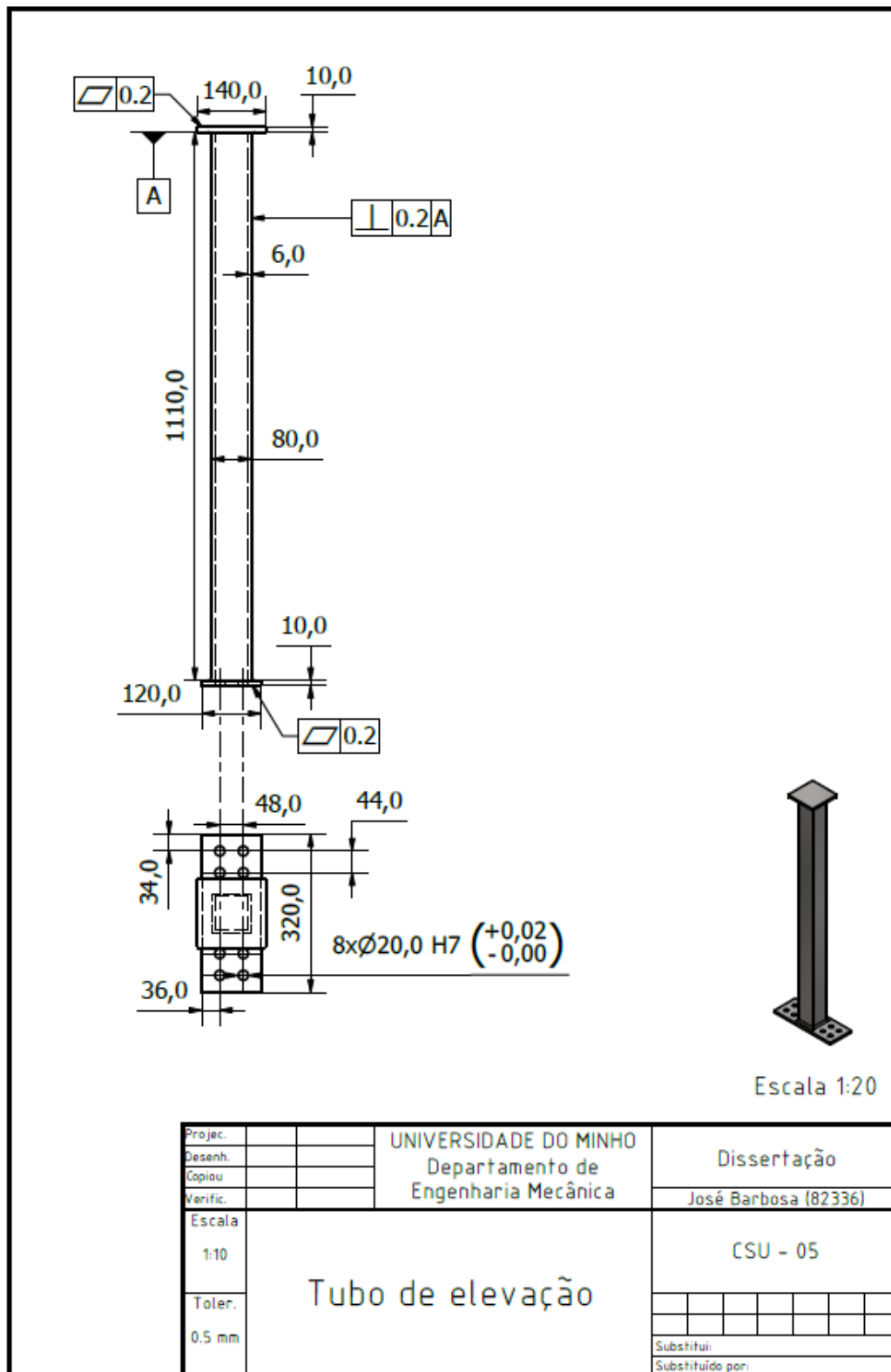


Figura Anexo III-8 – Desenho técnico do tubo de elevação.

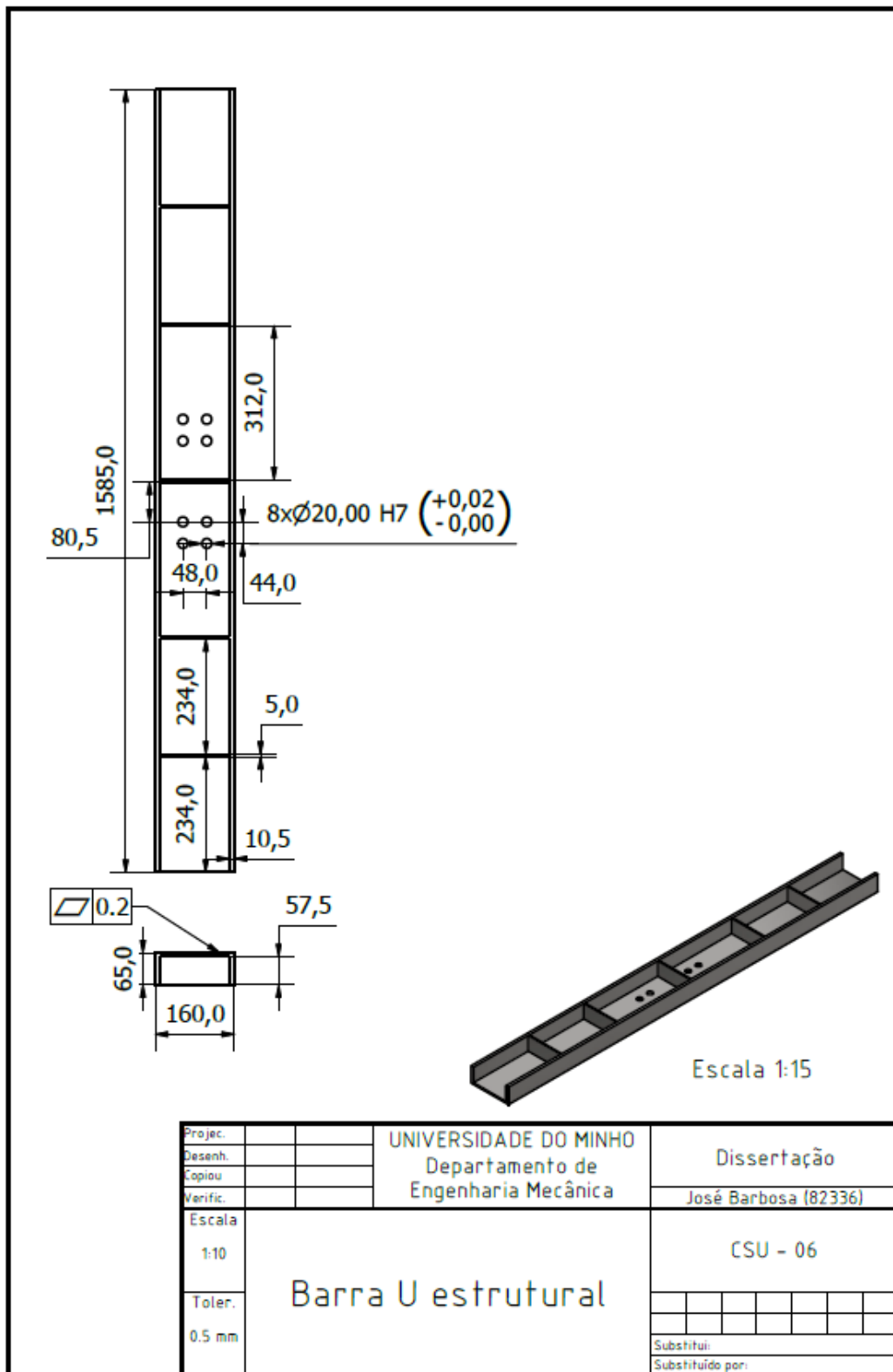


Figura anexo III-9 – Desenho técnico da barra U estrutural.

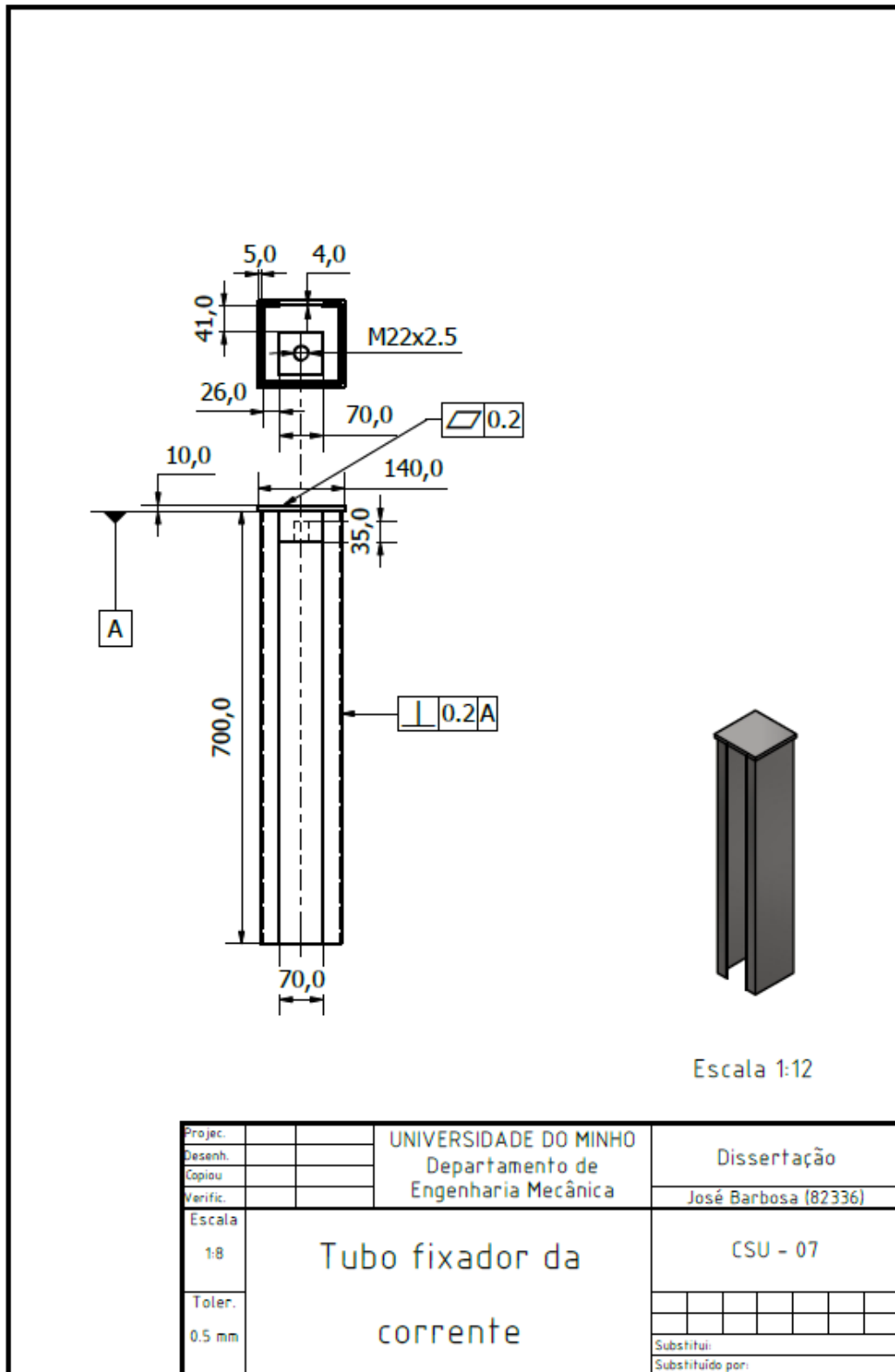


Figura Anexo III-10 – Desenho técnico do tubo fixador da corrente.

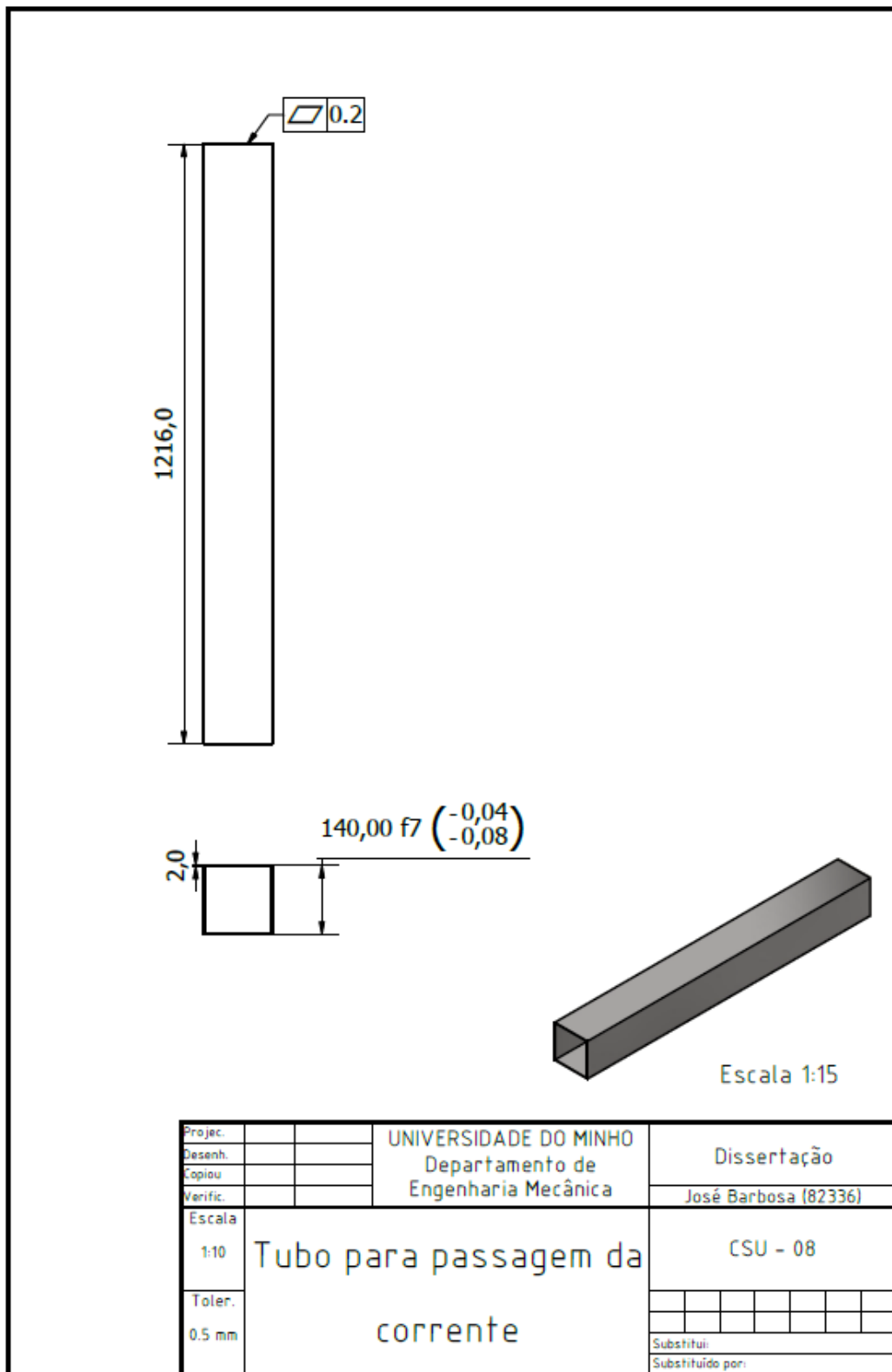


Figura Anexo III-11 – Desenho técnico do tubo para passagem da corrente.



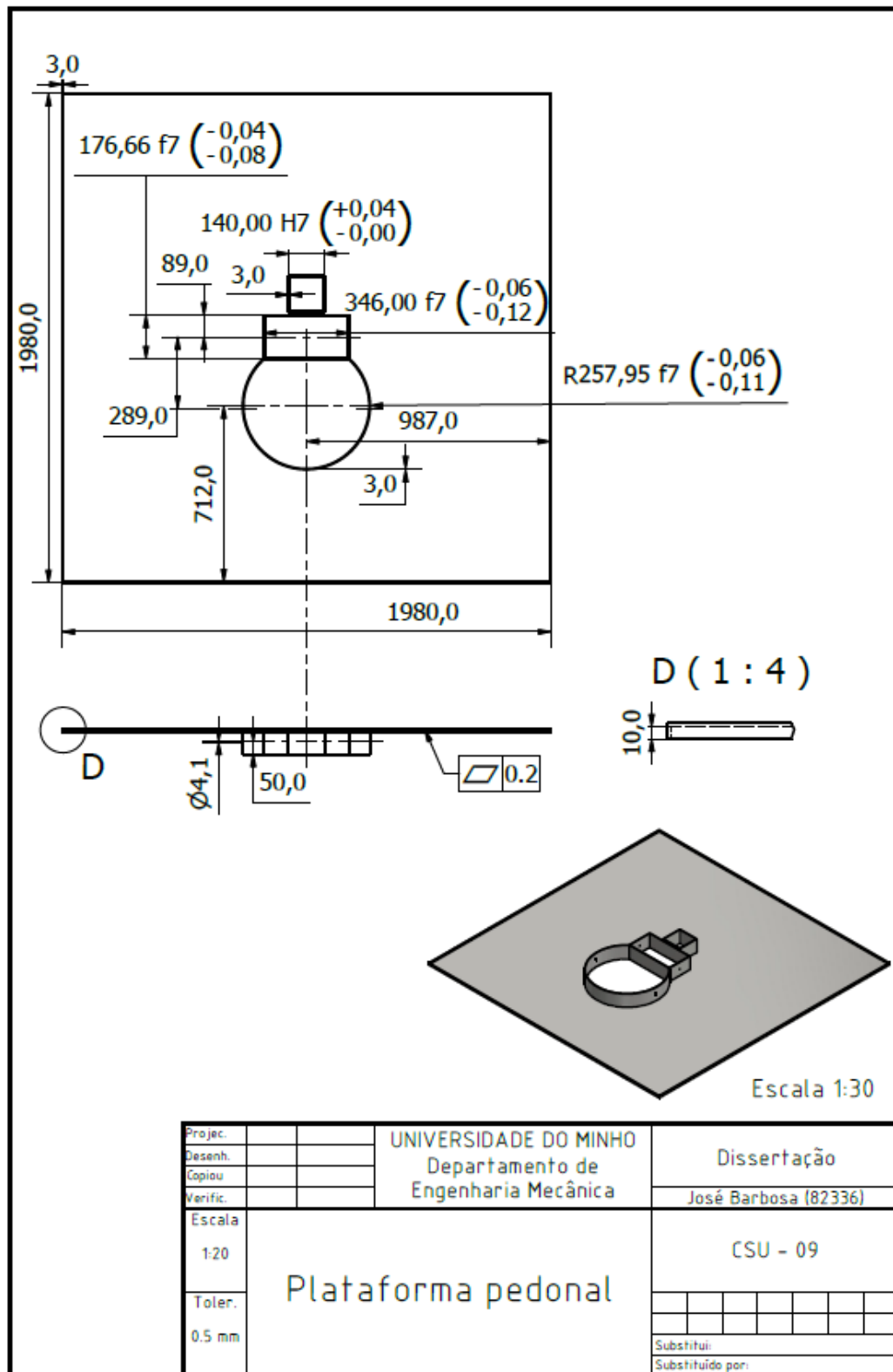


Figura Anexo III-12 – Desenho técnico da plataforma pedonal.



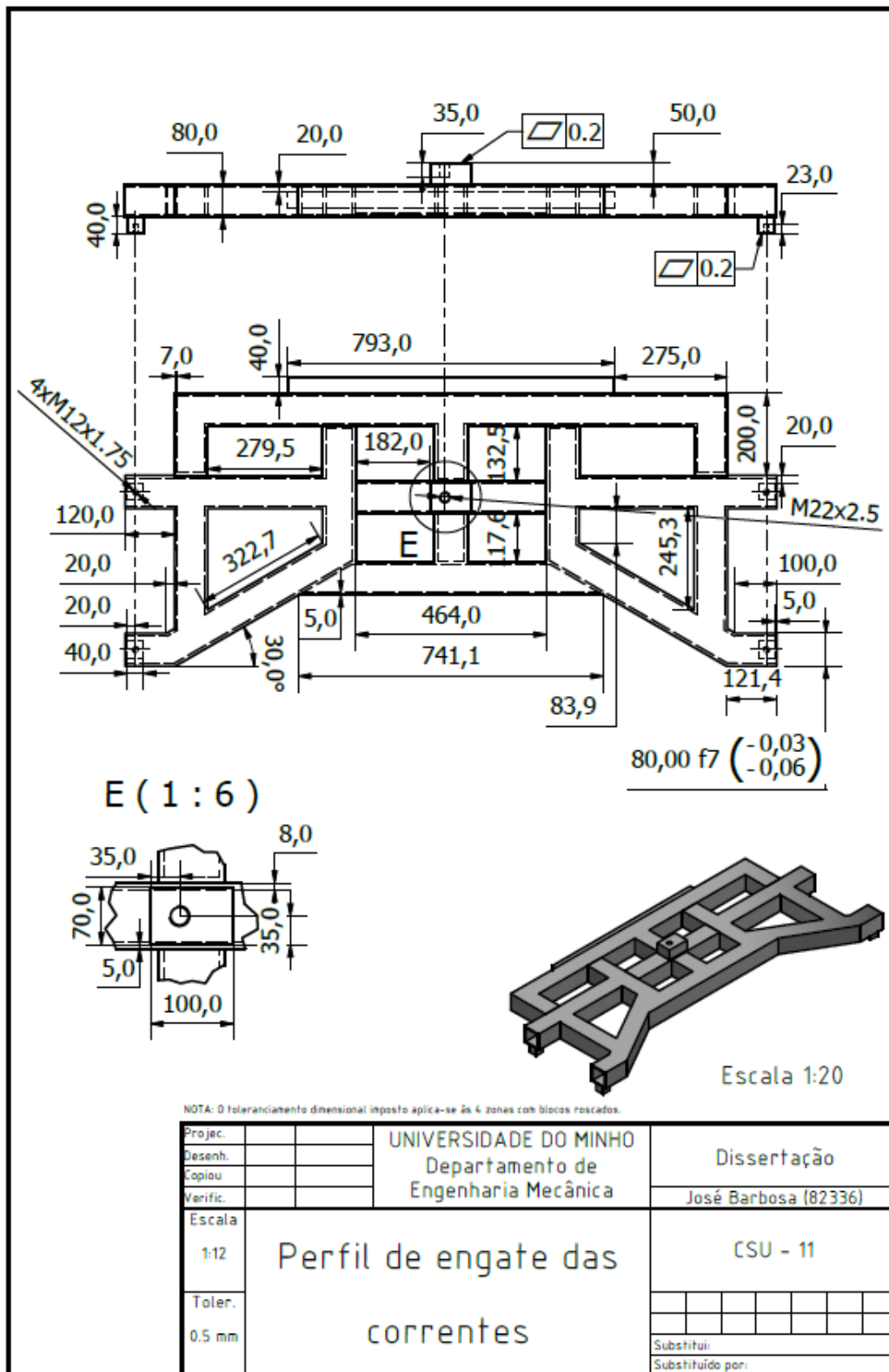


Figura Anexo III-14 – Desenho técnico do perfil de engate das correntes.

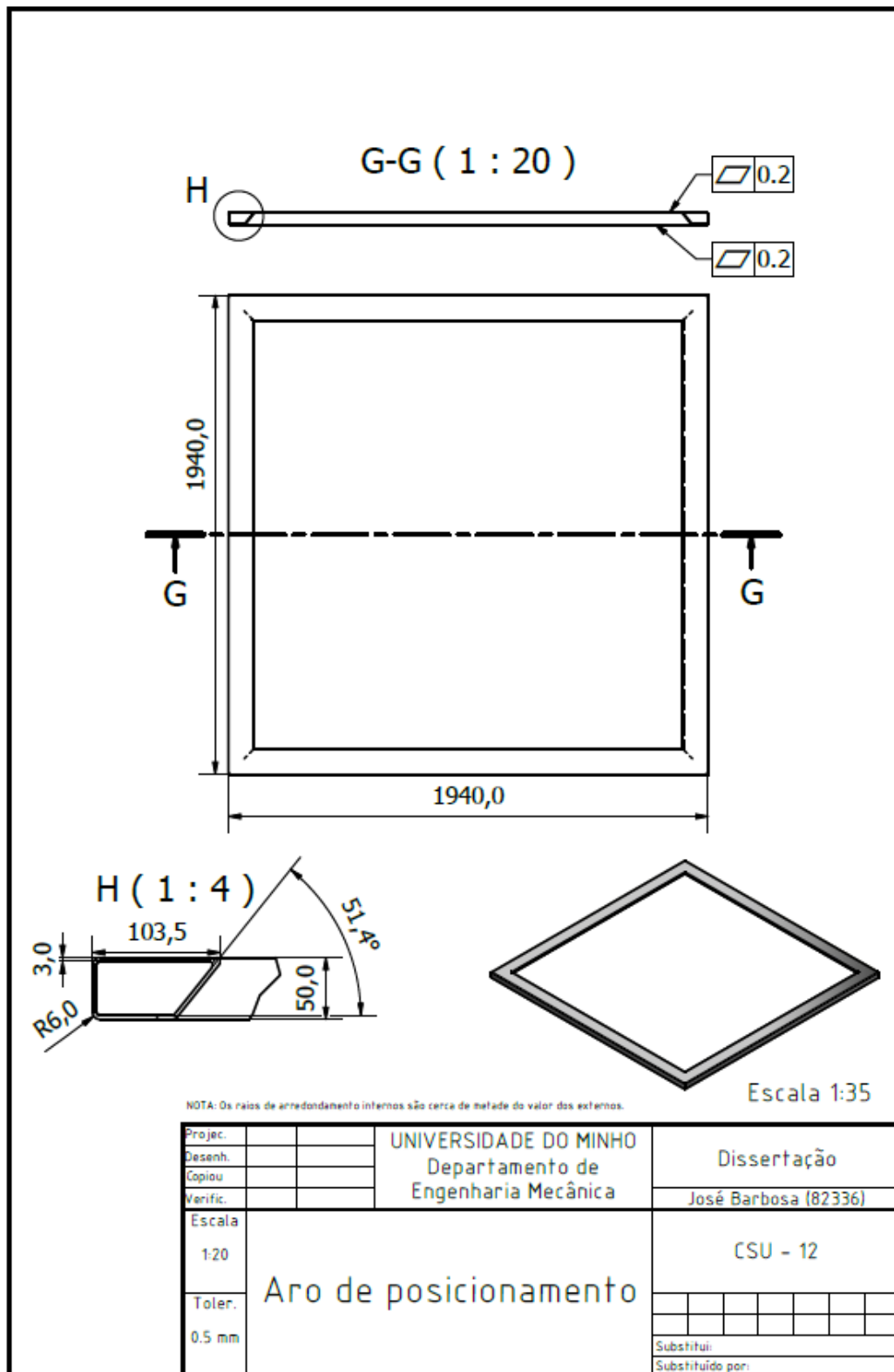


Figura Anexo III-15 – Desenho técnico do aro de posicionamento.

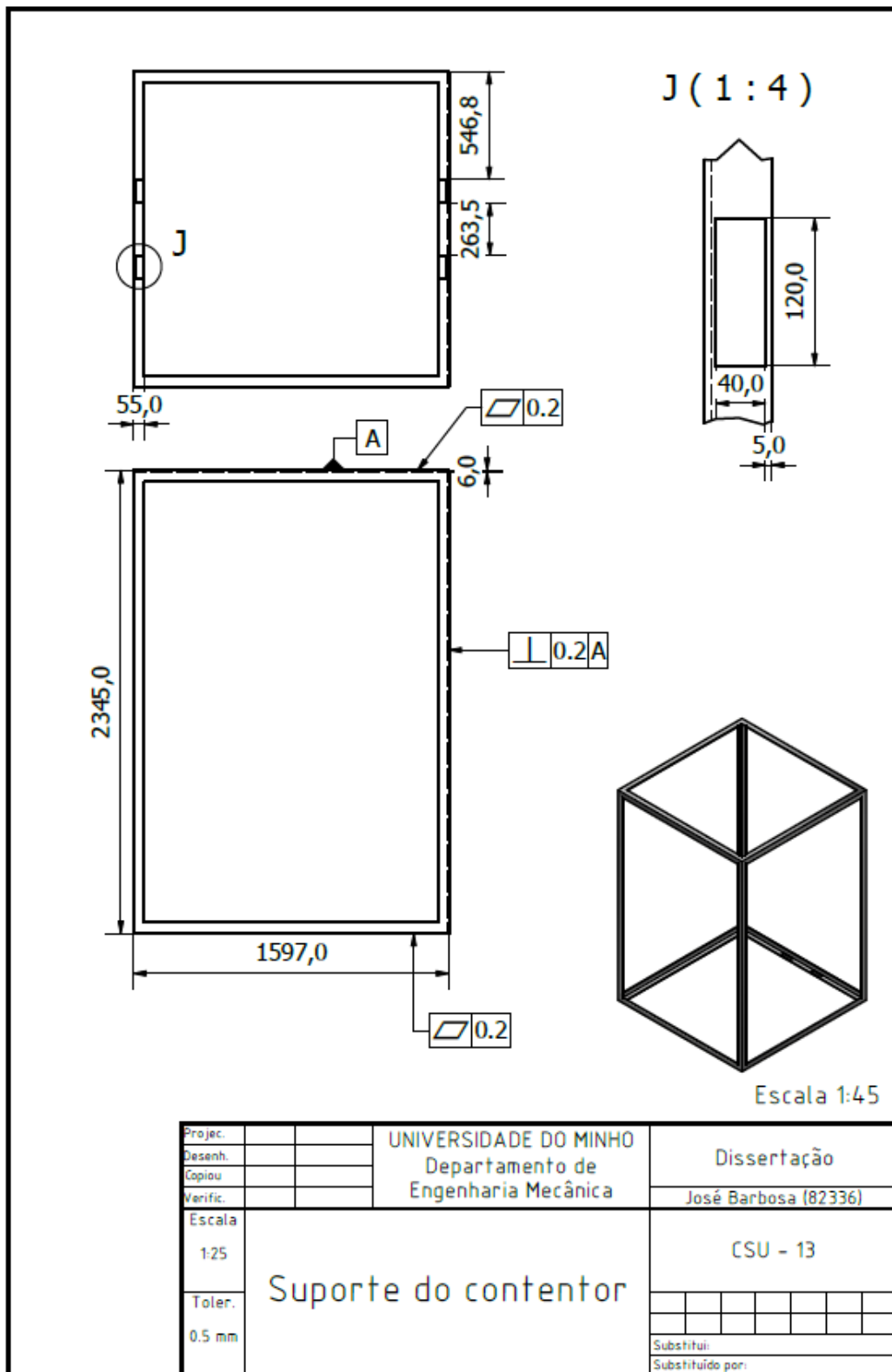


Figura Anexo III-16 – Desenho técnico do suporte do contentor.

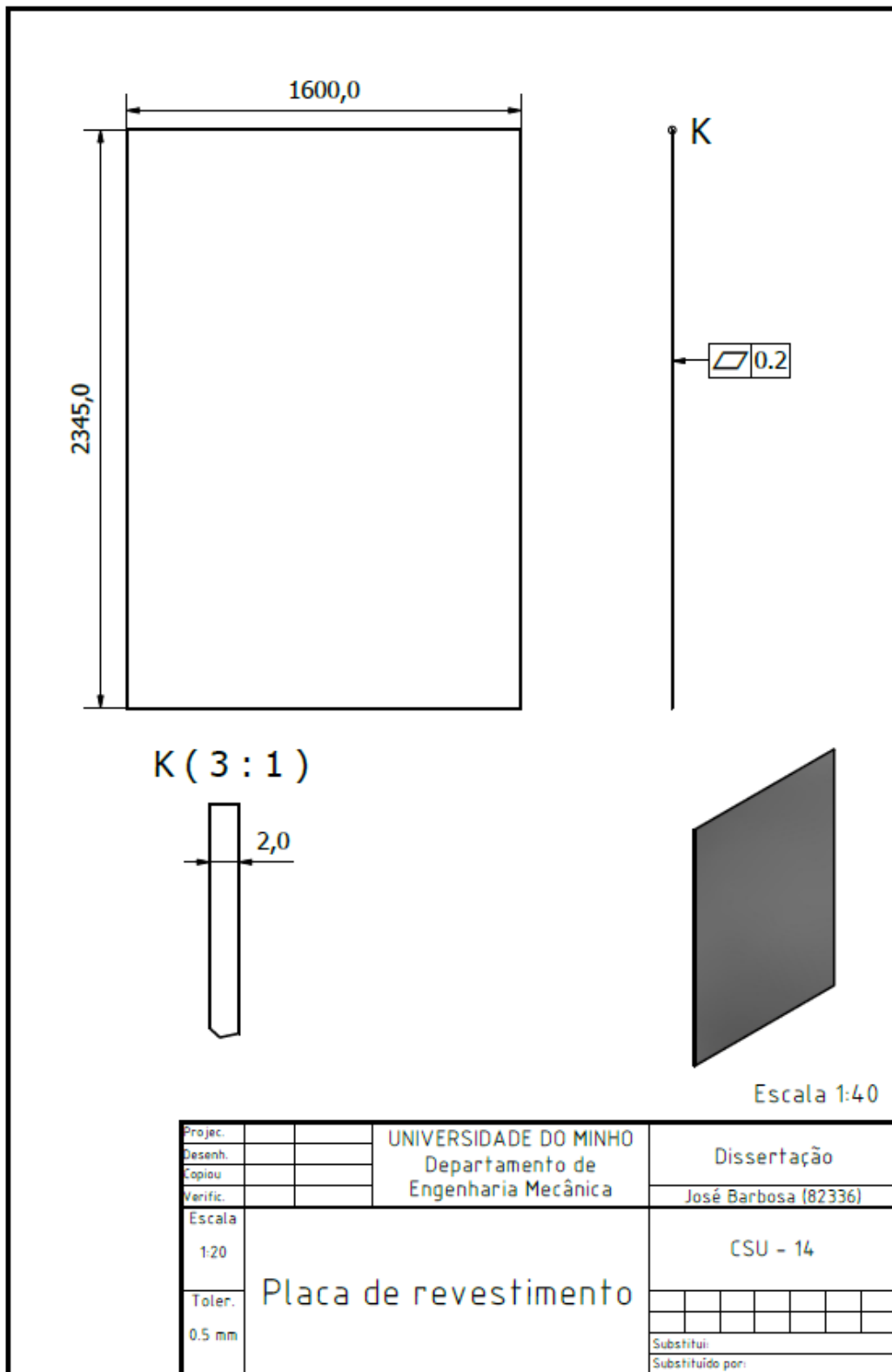


Figura Anexo III-17 – Desenho técnico da placa de revestimento.

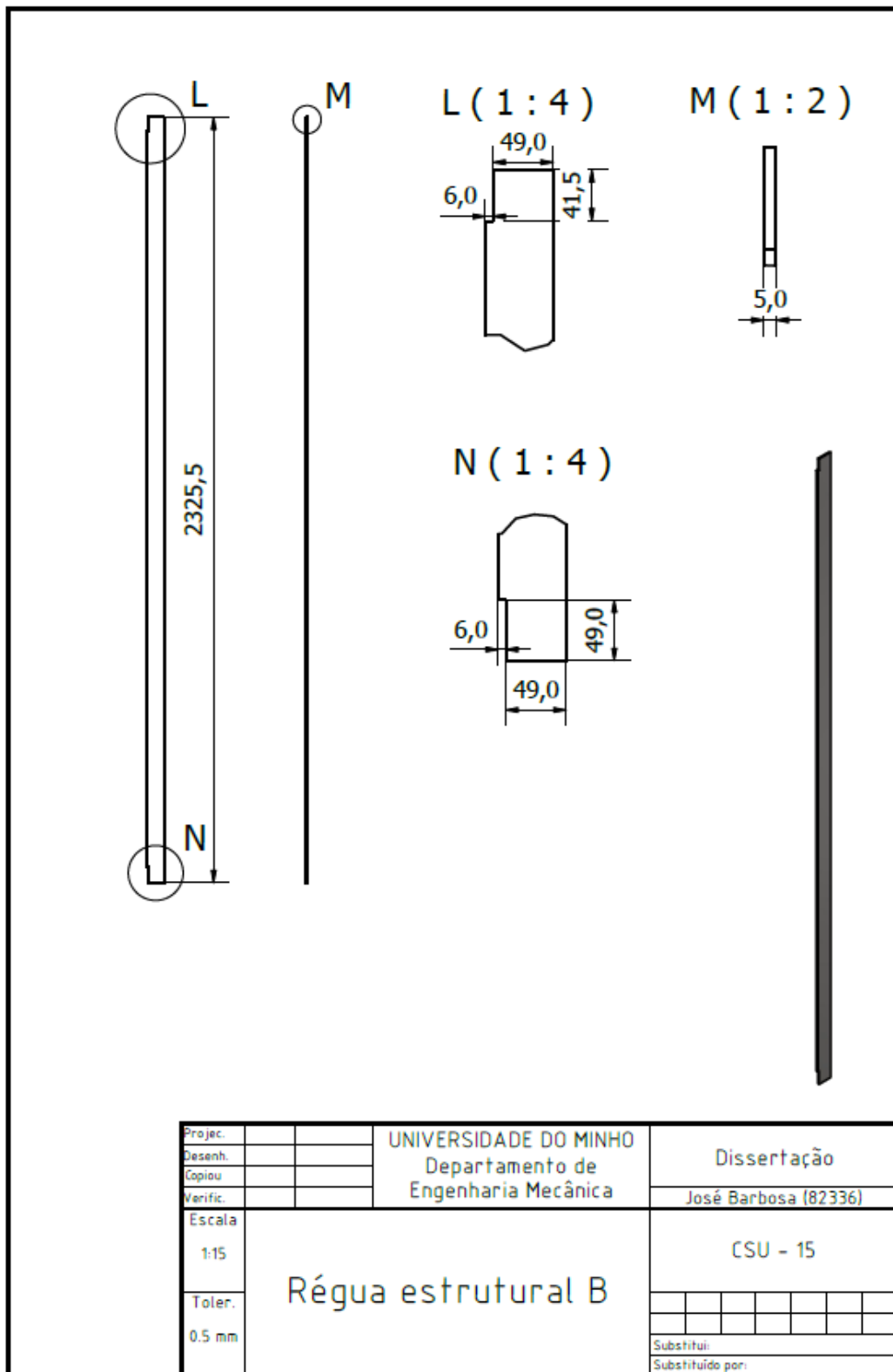


Figura Anexo III-18 – Desenho técnico da régua estrutural B.

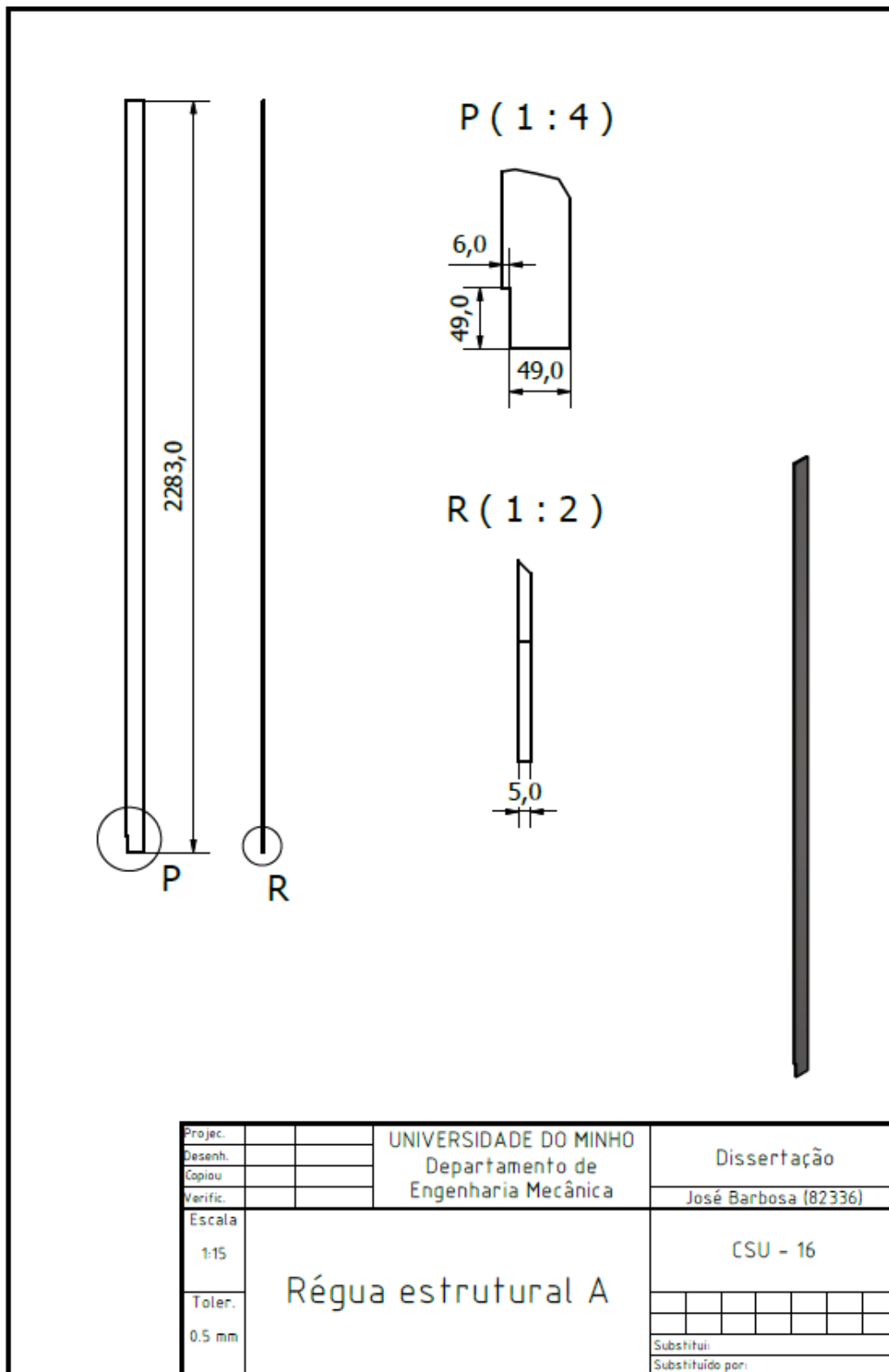


Figura Anexo III-19 – Desenho técnico da régua estrutural A.



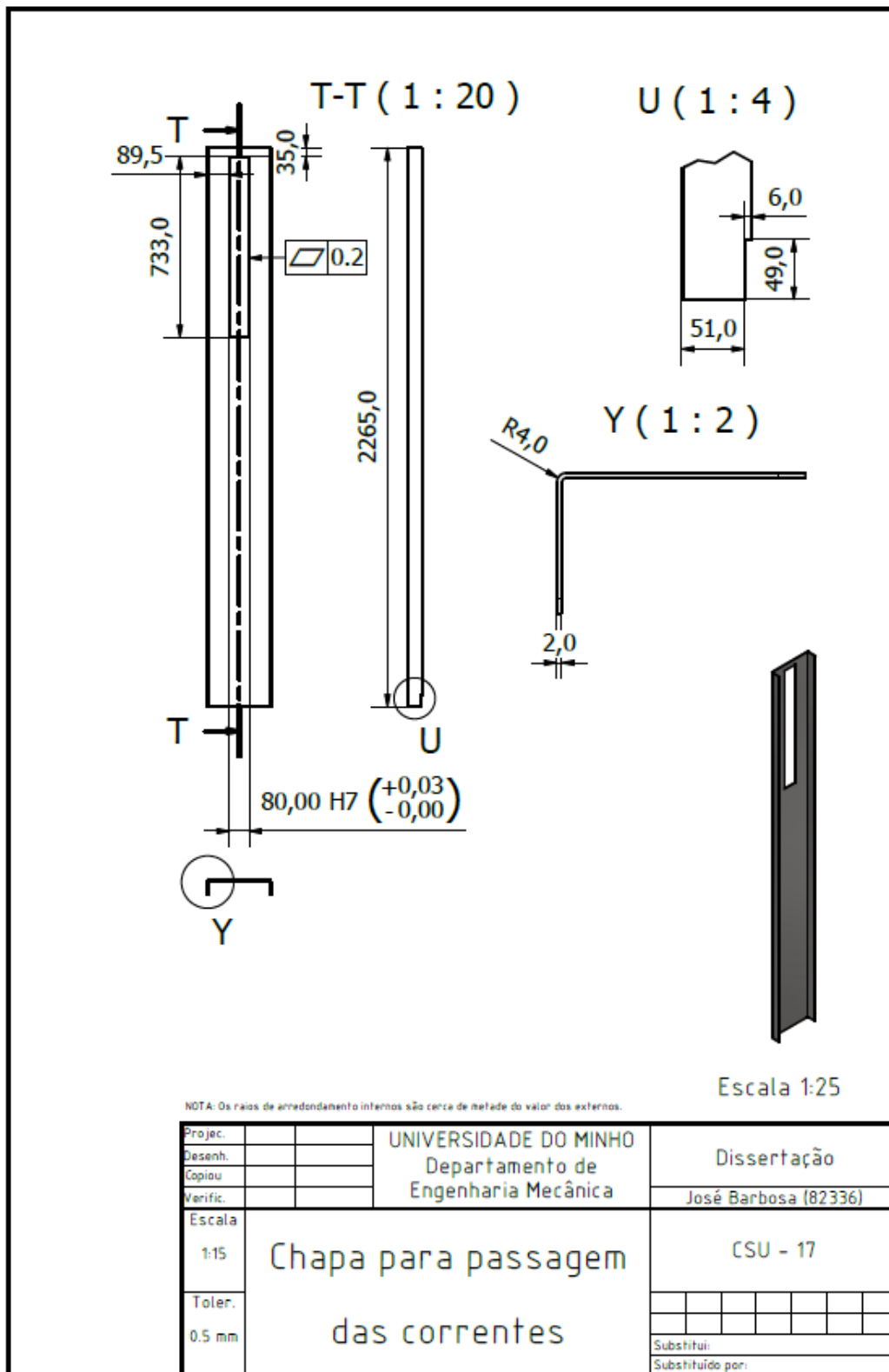


Figura Anexo III-20 – Desenho técnico da chapa para passagem das correntes.

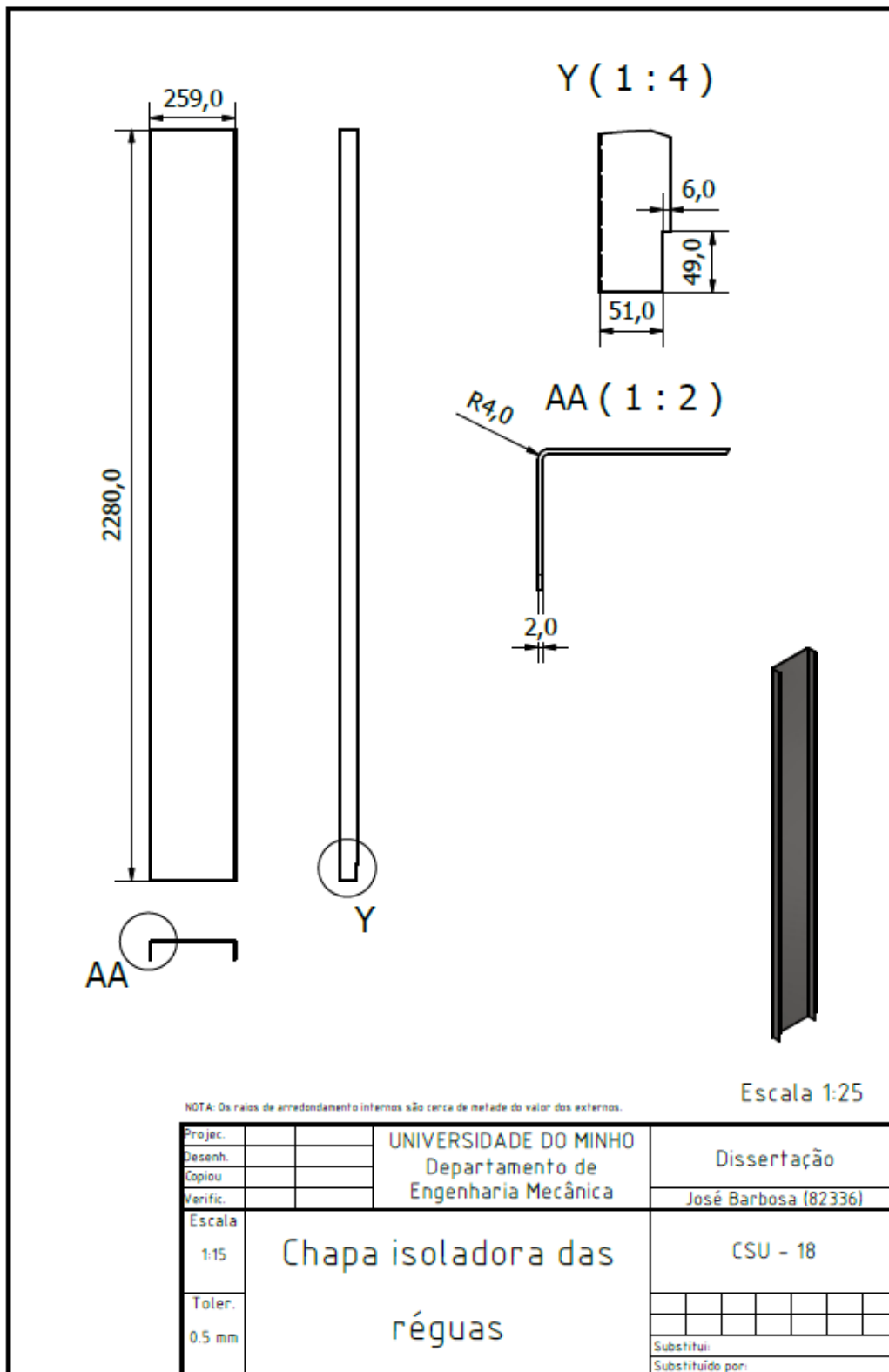


Figura Anexo III-21 – Desenho técnico da chapa isoladora das réguas.

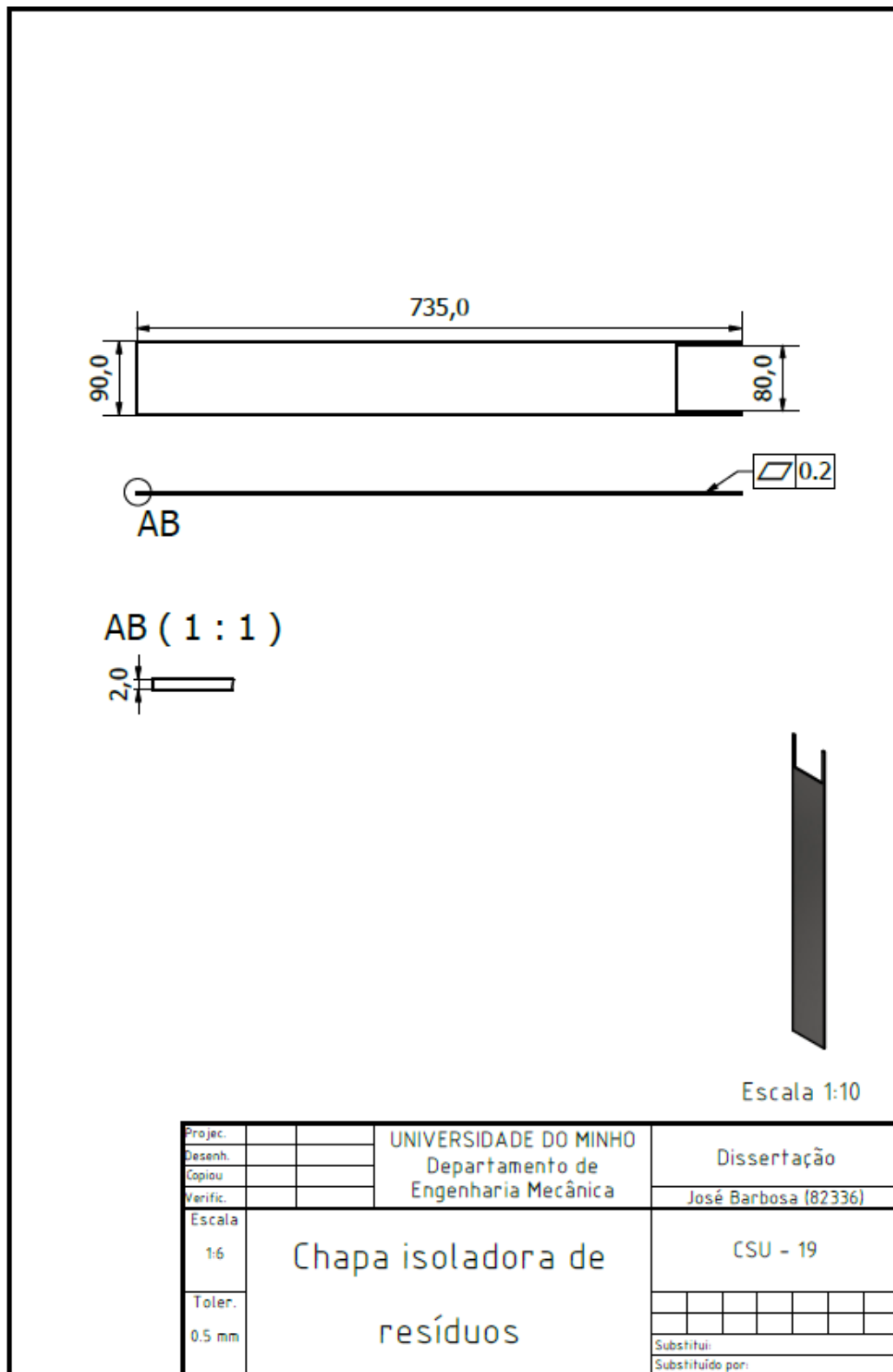


Figura Anexo III-22 – Desenho técnico da chapa isoladora de resíduos.

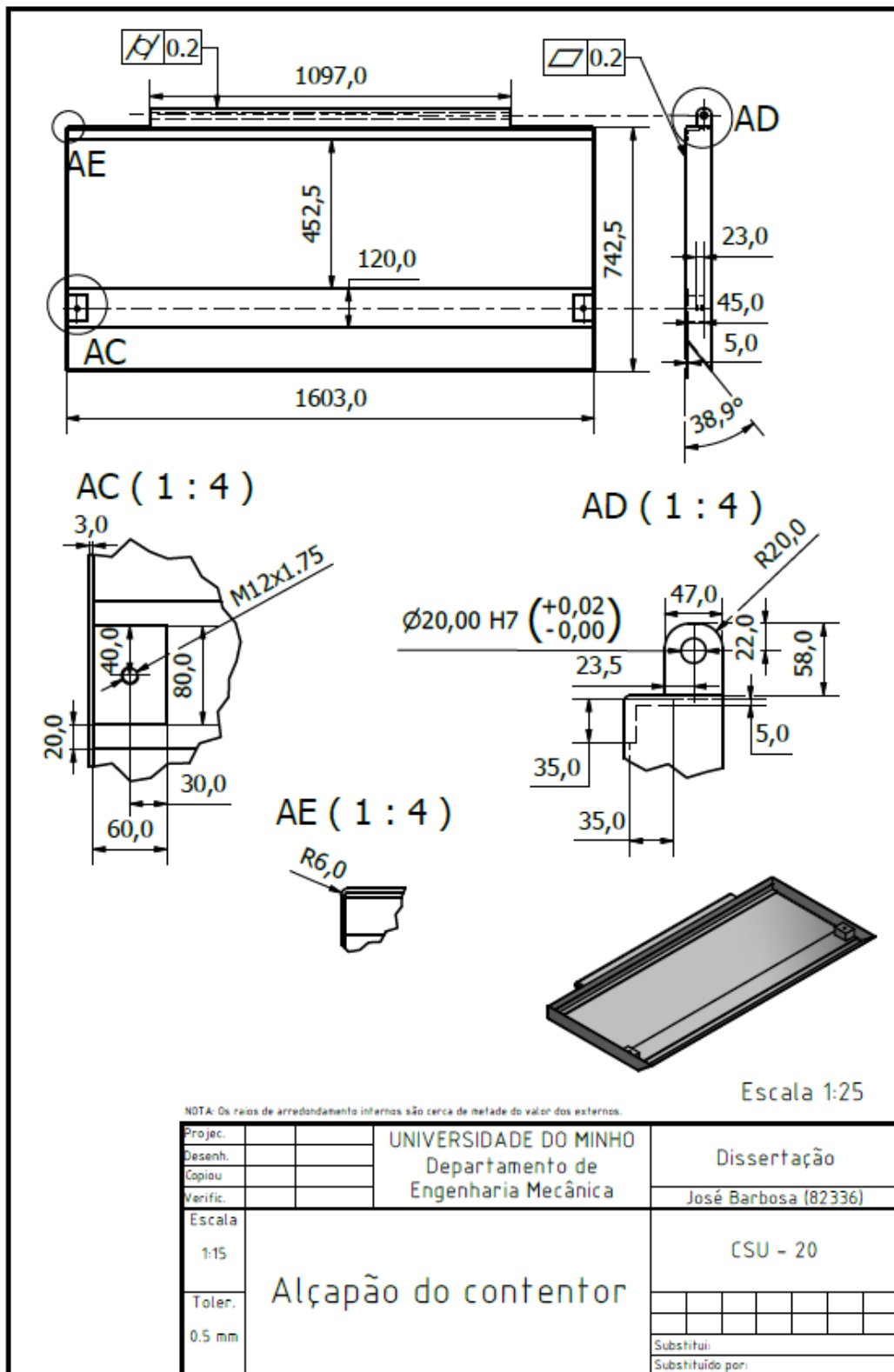


Figura Anexo III-23 – Desenho técnico do alçapão do contentor.

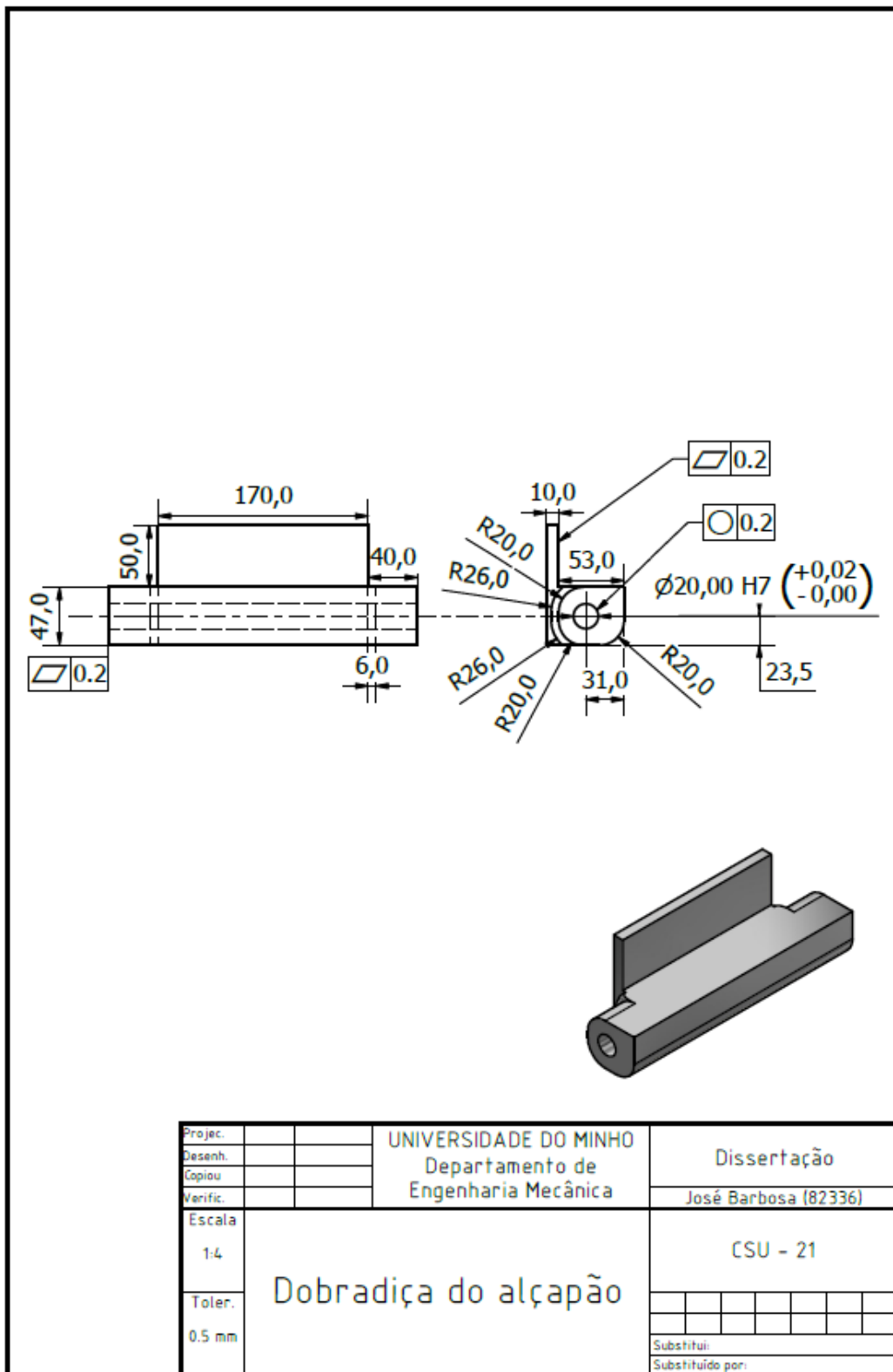


Figura Anexo III-24 – Desenho técnico da dobradiça do alçapão.

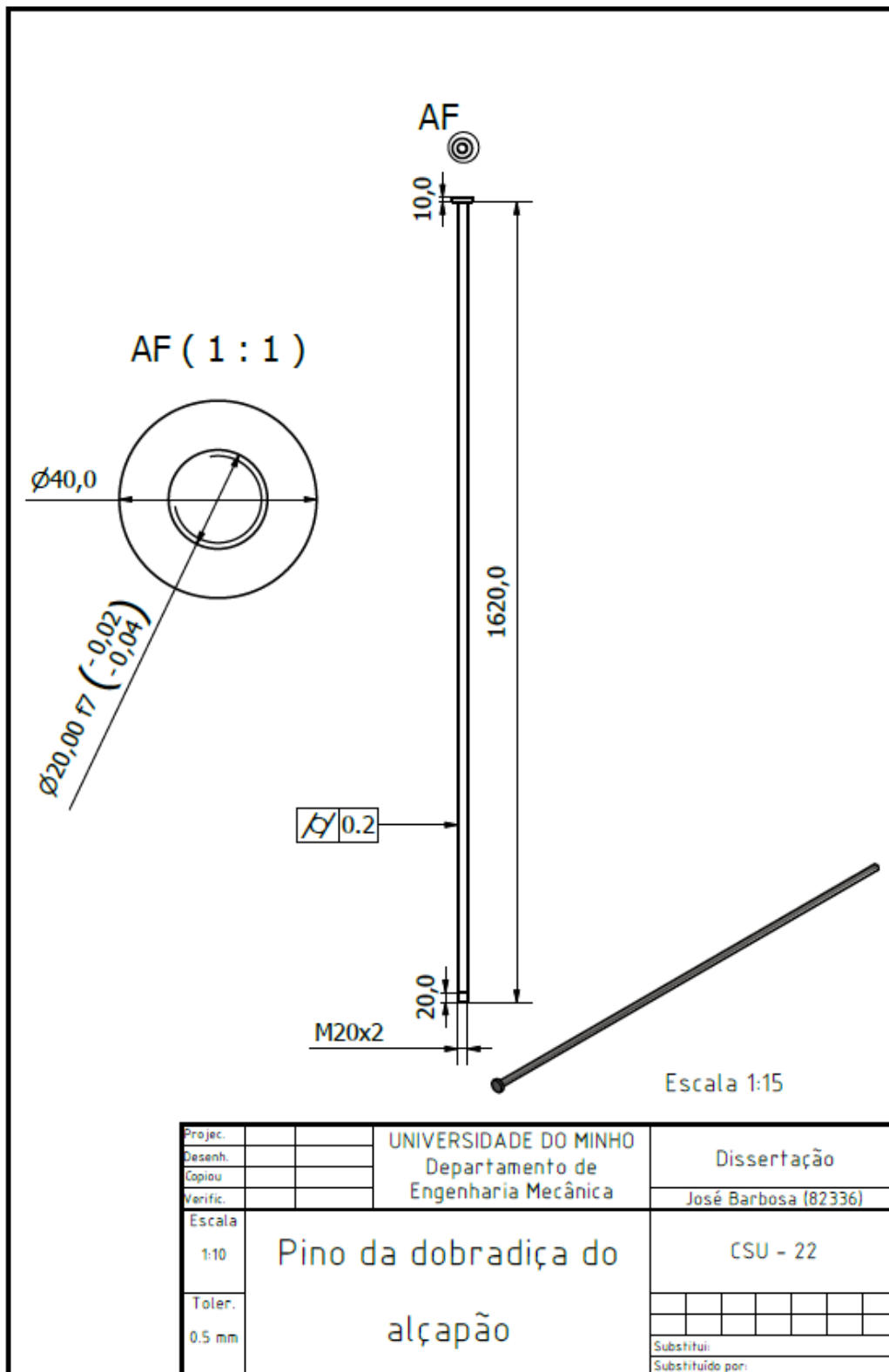


Figura Anexo III-25 – Desenho técnico do pino da dobradiça do alçapão.

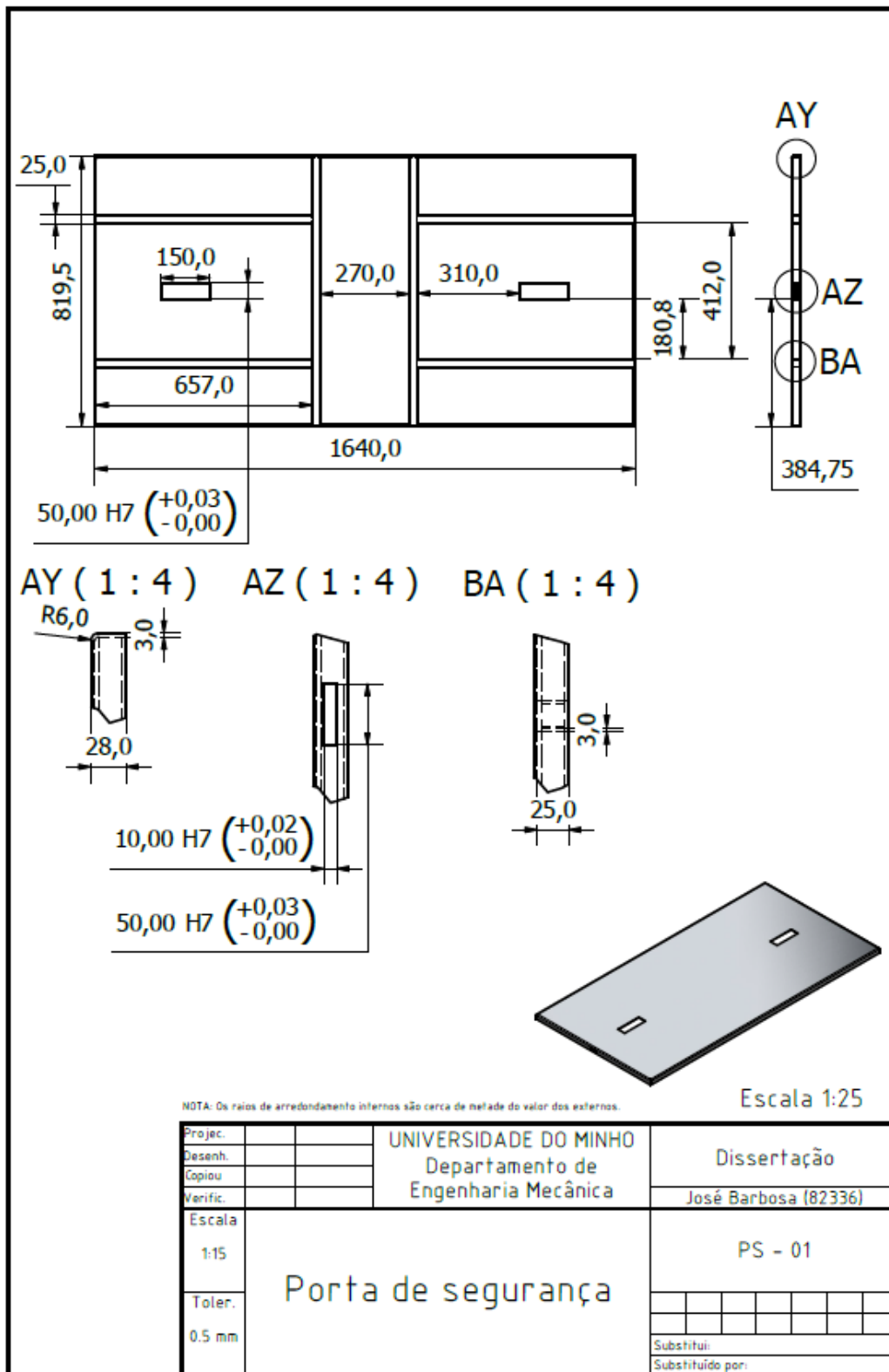


Figura Anexo III-26 – Desenho técnico da porta de segurança.

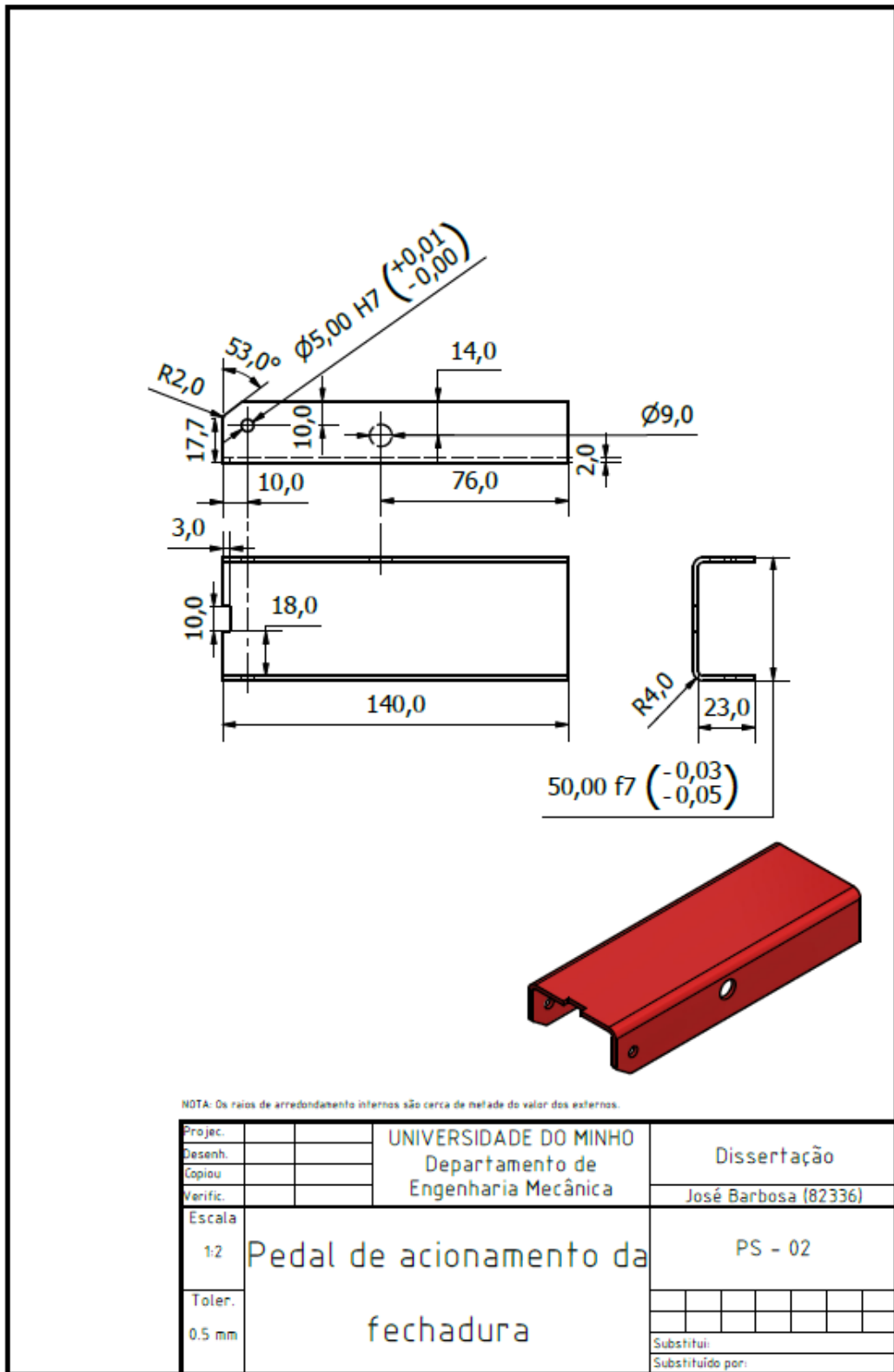


Figura Anexo III-27 – Desenho técnico do pedal de acionamento da fechadura.



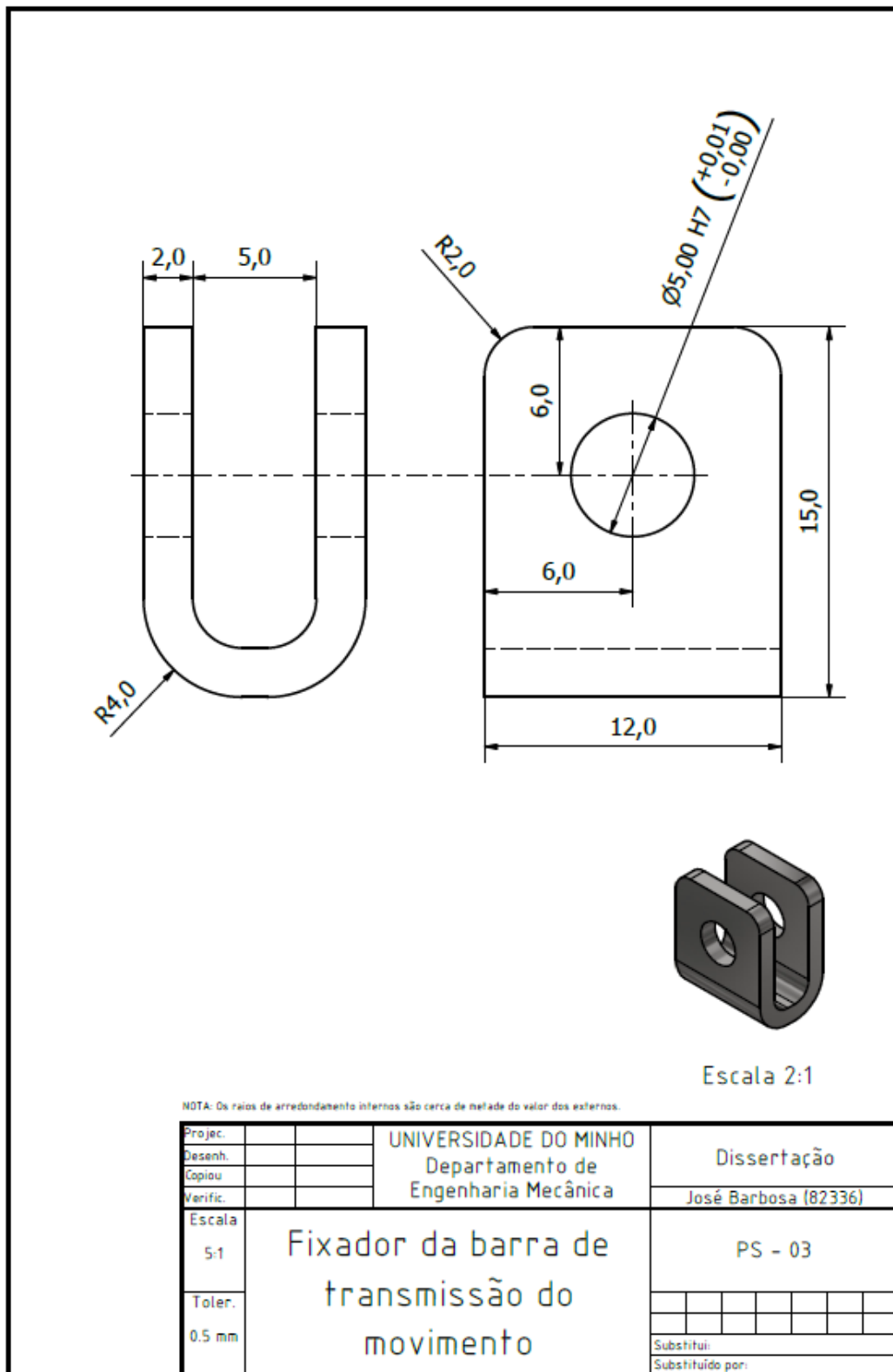


Figura Anexo III-28 – Desenho técnico do fixador da barra de transmissão do movimento.

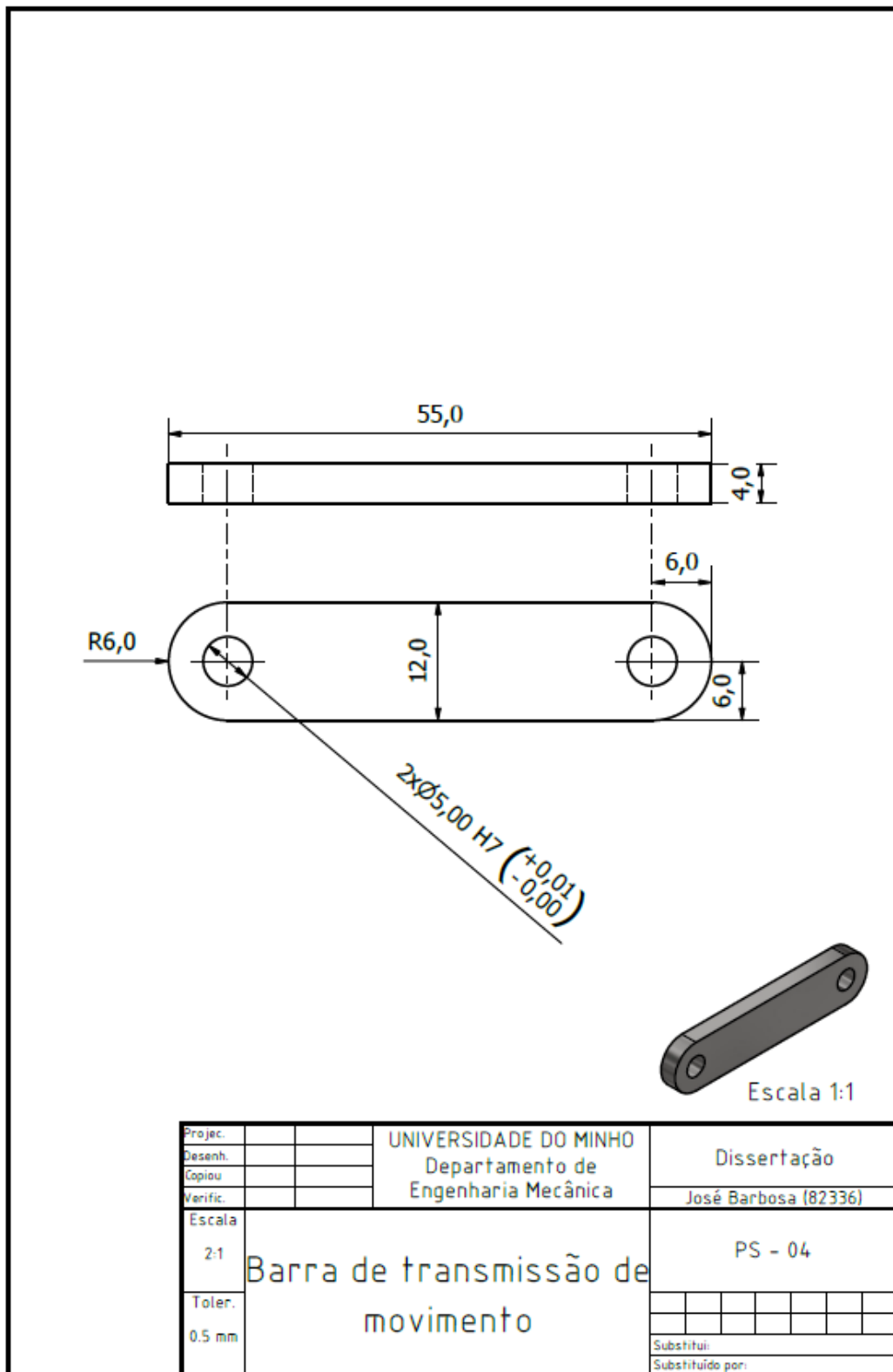


Figura Anexo III-29 – Desenho técnico da barra de transmissão de movimento.

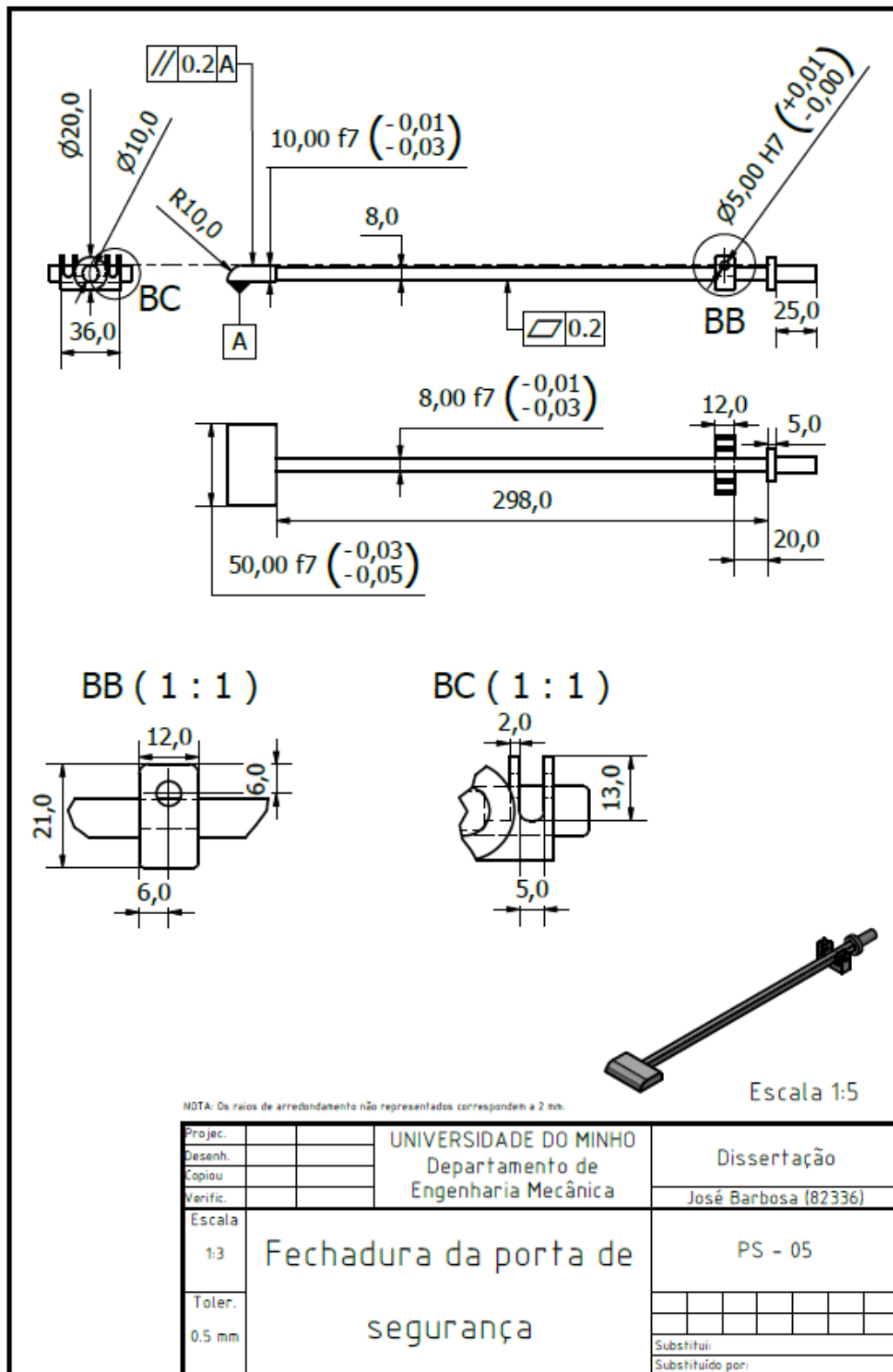


Figura Anexo III-30 – Desenho técnico da fechadura da porta de segurança.

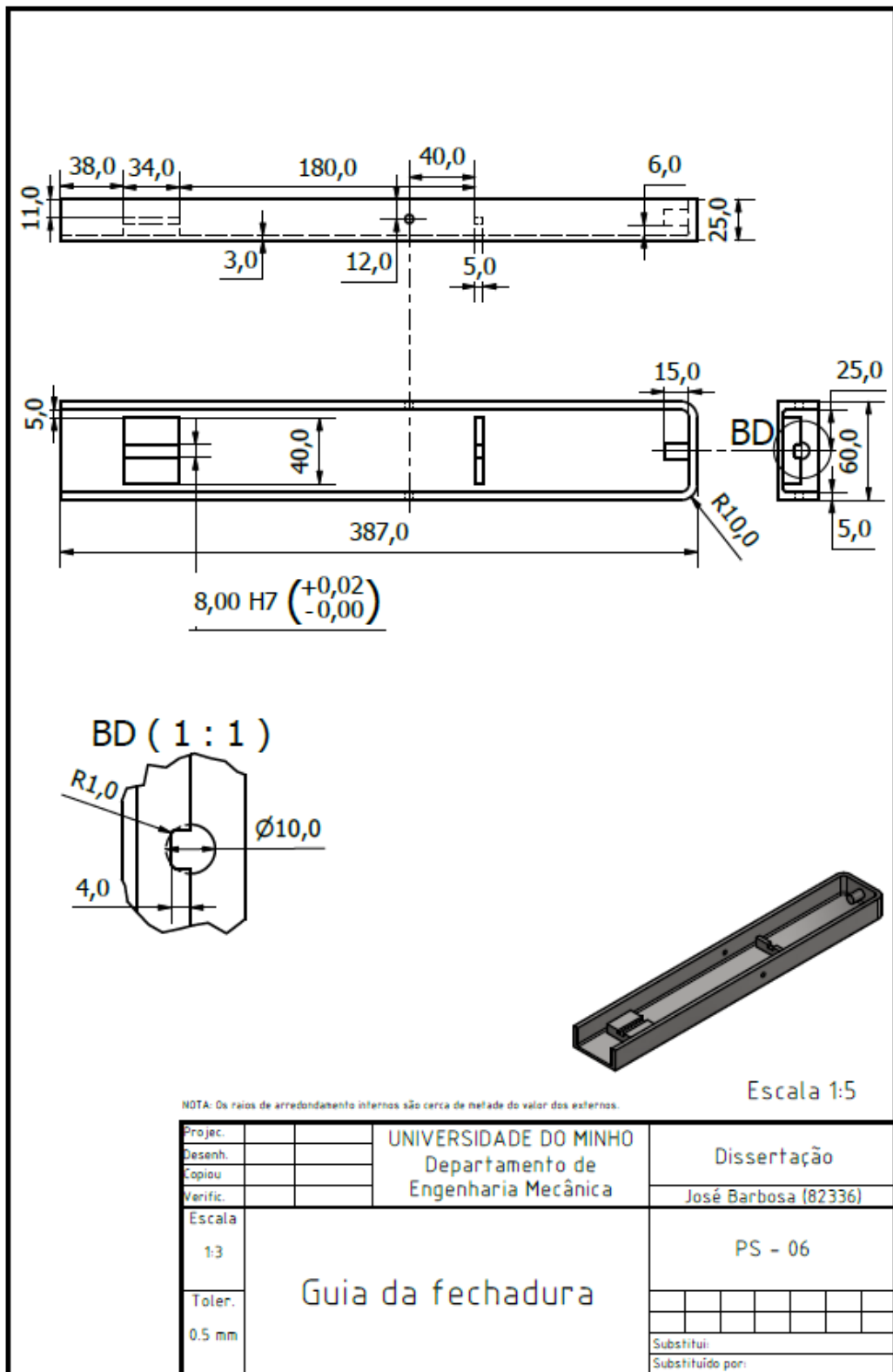


Figura Anexo III-31 – Desenho técnico da guia da fechadura.

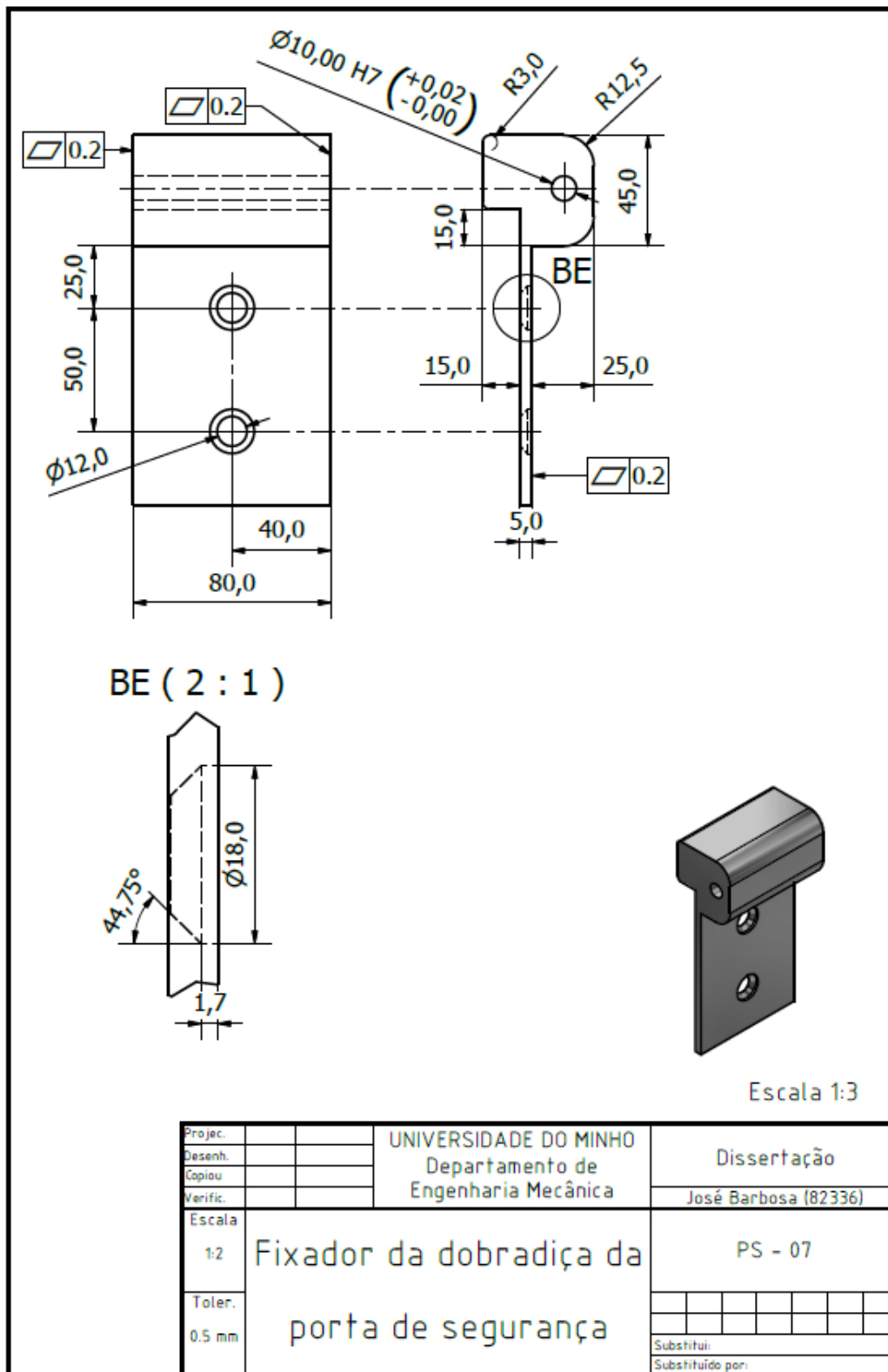


Figura Anexo III-32 – Desenho técnico do fixador da dobradiça da porta de segurança.

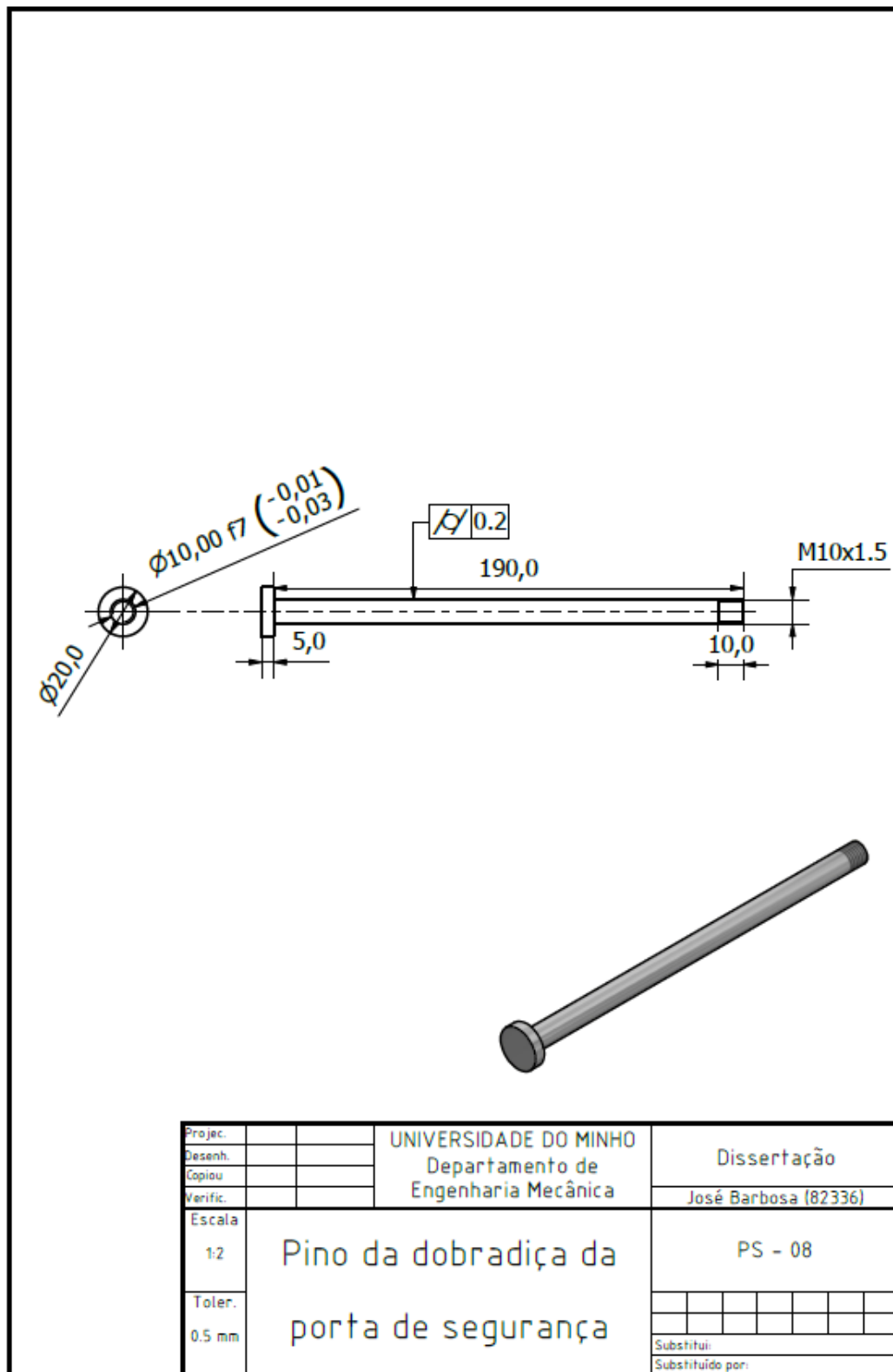


Figura Anexo III-33 – Desenho técnico do pino da dobradiça da porta de segurança.

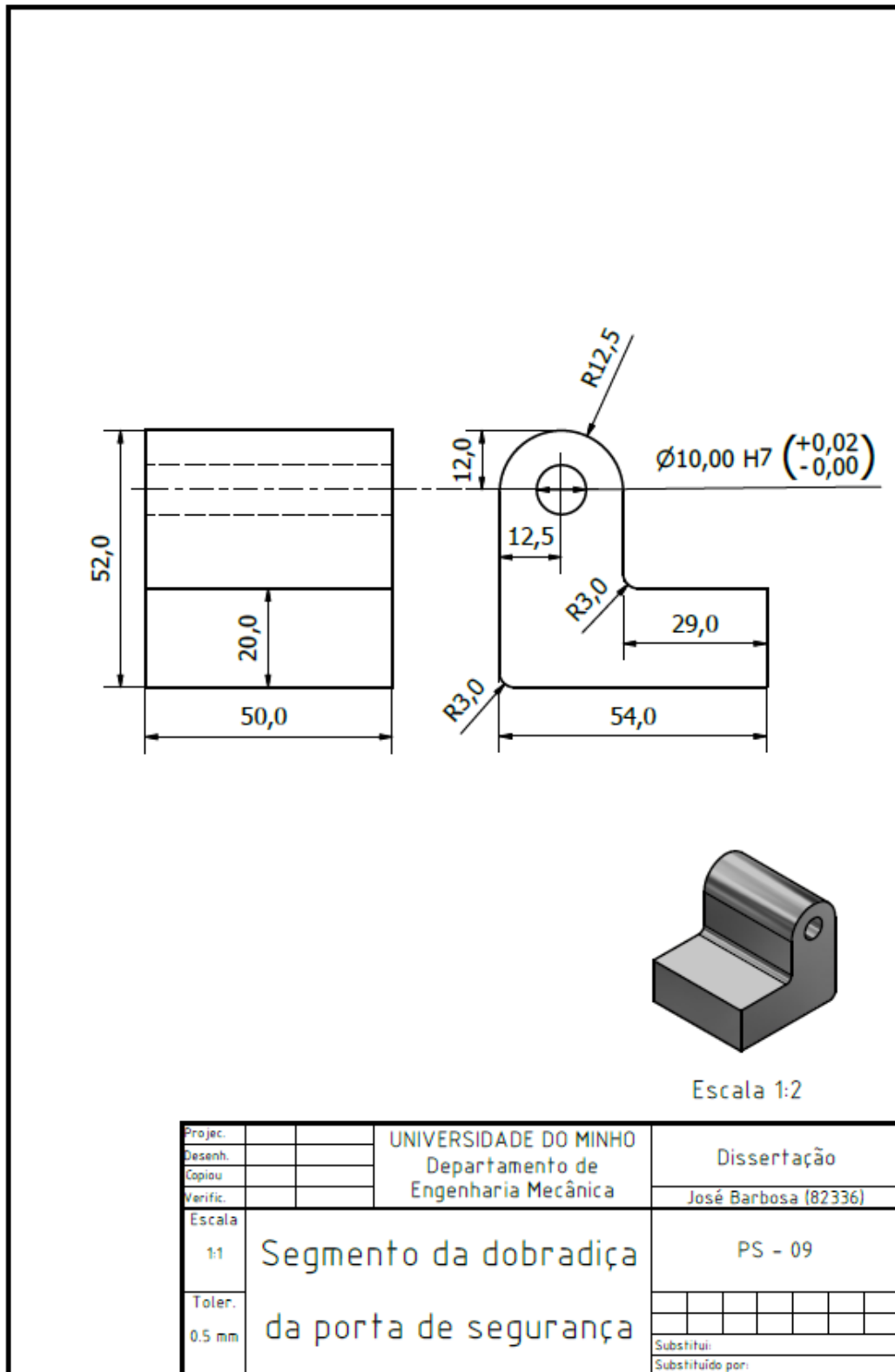


Figura Anexo III-34 – Desenho técnico do segmento da dobradiça da porta de segurança.

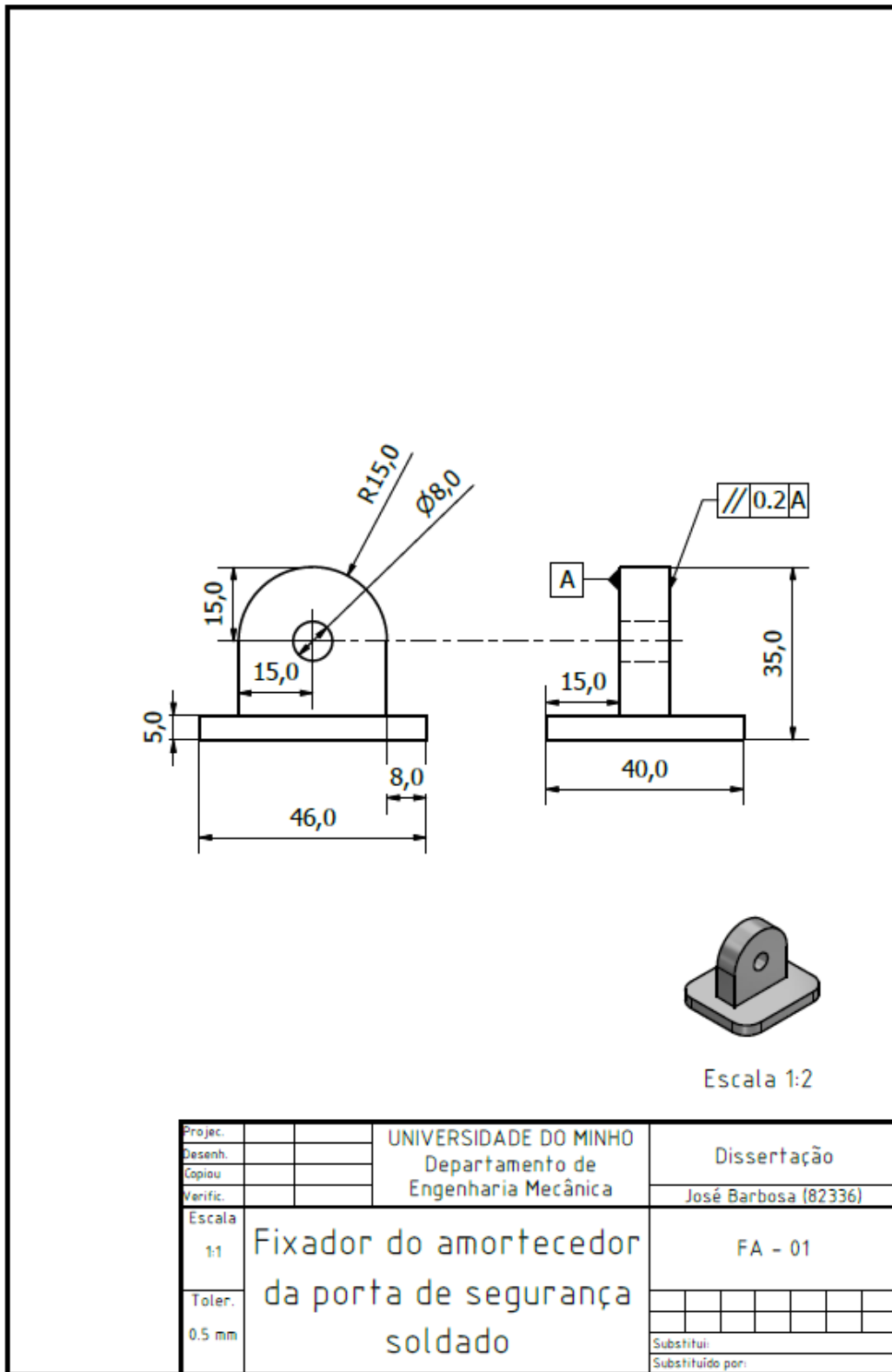


Figura Anexo III-35 – Desenho técnico do fixador do amortecedor da porta de segurança soldado.



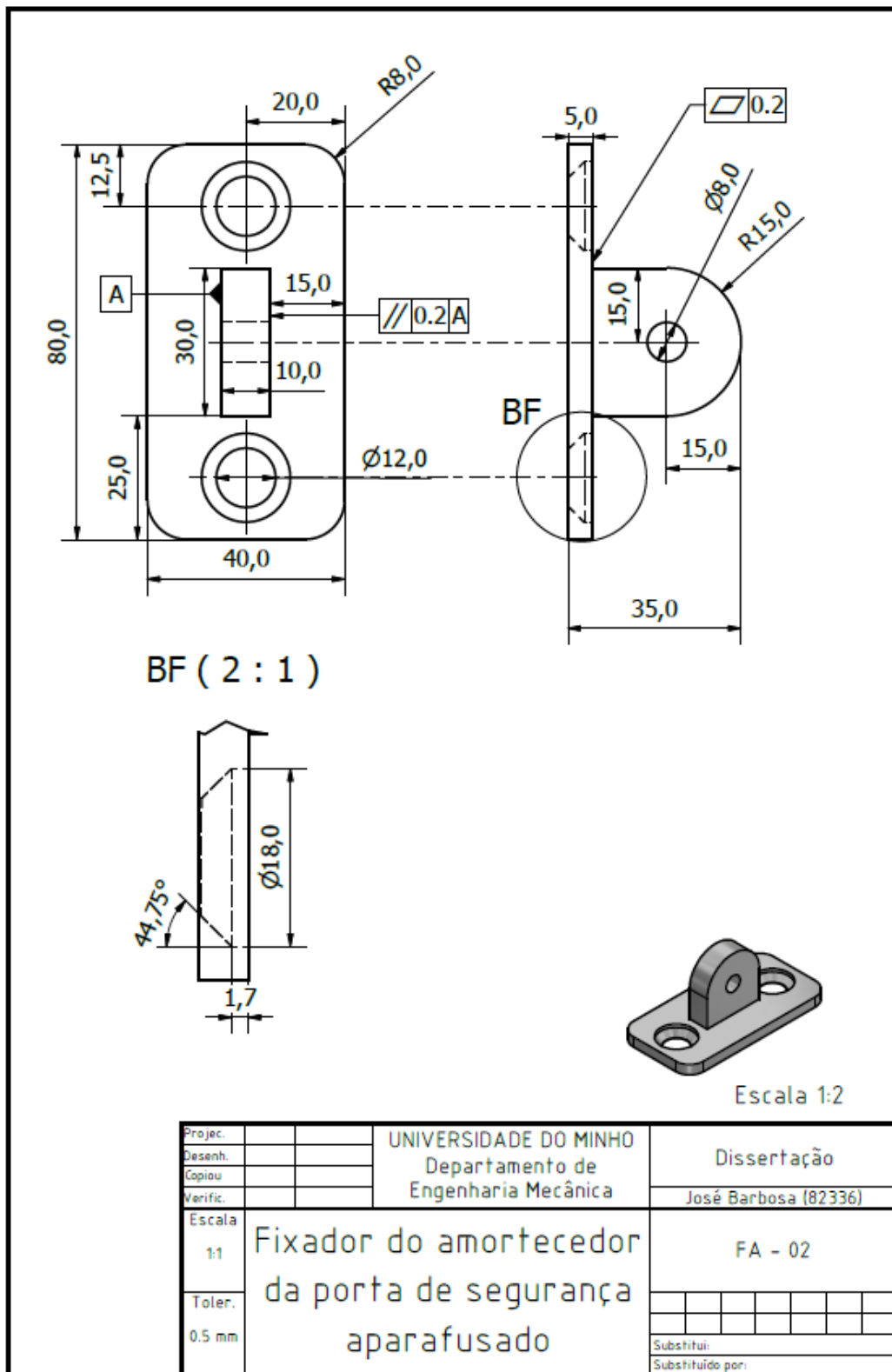


Figura Anexo III-36 – Desenho técnico do fixador do amortecedor da porta de segurança aparafusado.



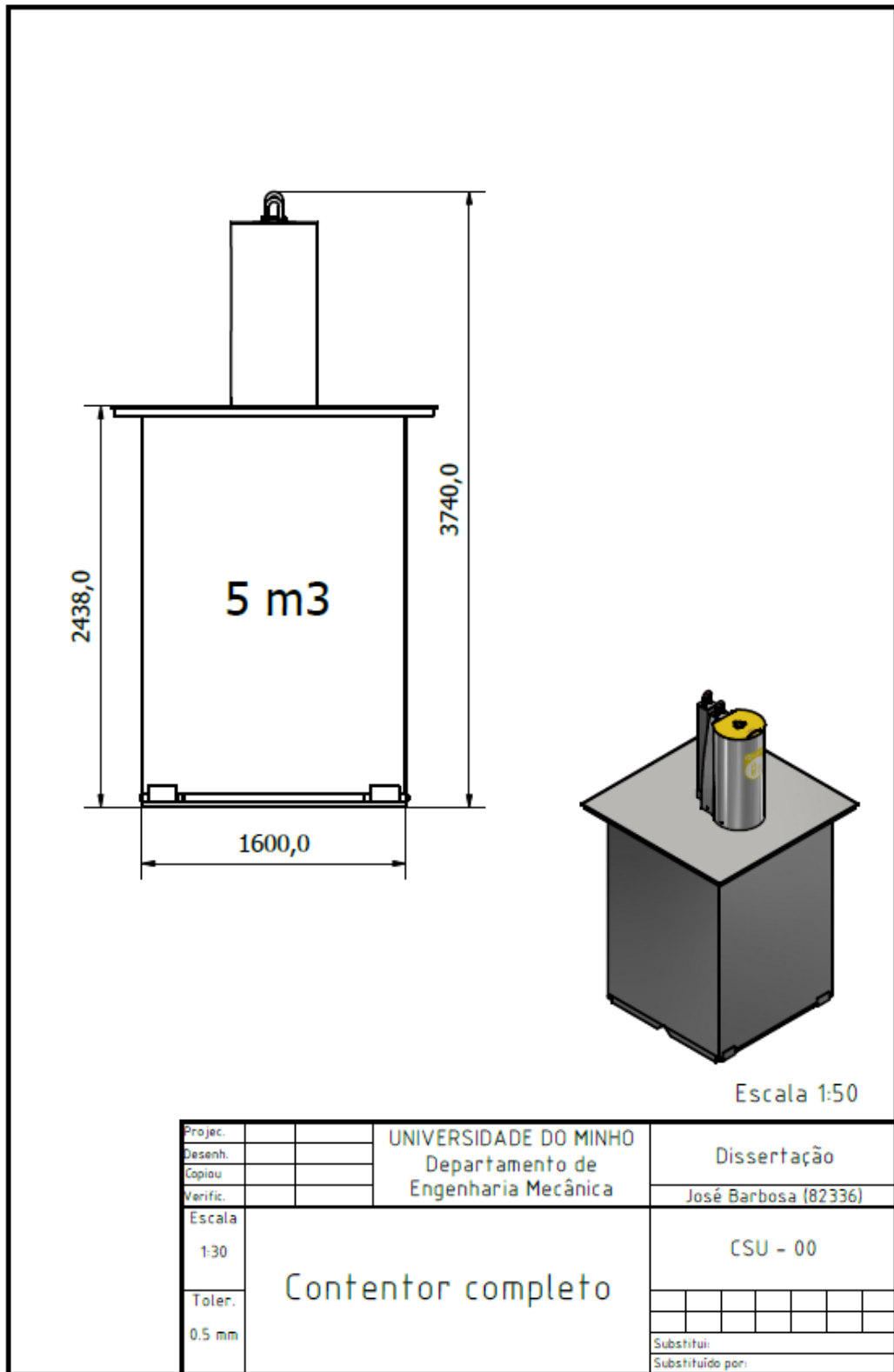


Figura Anexo III-38 – Desenho técnico do contentor completo.

## ANEXO IV – GALVANIZAÇÃO A QUENTE

A galvanização a quente consiste num processo de revestimento de aço através da deposição de zinco fundido na sua superfície. Esta divide-se essencialmente em três partes: a preparação da superfície metálica, a galvanização e a inspeção [84].

Previamente à realização destas etapas é necessário fixar o material a galvanizar. Para isso é utilizado fio de aço, o qual é responsável pela sustentação do componente durante as imersões nos variados banhos a que o componente a galvanizar está sujeito.

A preparação da superfície é uma parte essencial do processo de galvanização, pois esta afeta diretamente a qualidade do revestimento. Posto isto, esta é composta por cinco etapas: o desengorduramento, a decapagem ácida, a lavagem, a fluxagem e a secagem, como ilustrado na Figura Anexo IV-1.

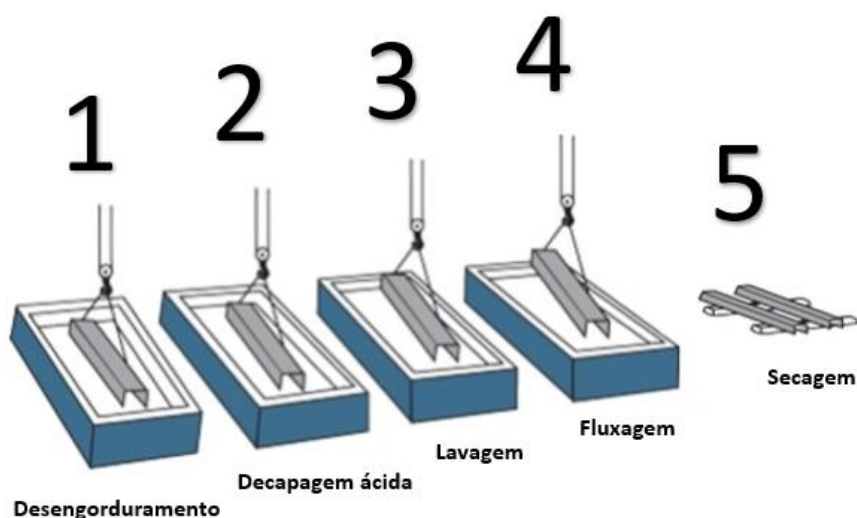


Figura Anexo IV-1 – Etapas de preparação da superfície.

Com o desengorduramento pretende-se a remoção de óleos ou massas que possam estar contidas na superfície. De seguida, na decapagem ácida o componente é mergulhado em ácido clorídrico para remoção de óxidos e possíveis detritos derivados dos seus processos de fabrico. Na lavagem, o componente é inserido em água para eliminar as impurezas dos banhos anteriores com vista à não contaminação do banho posterior. A seguir, com a fluxagem, pretende-se alcançar uma superfície livre de contaminantes e com propriedades favoráveis à interação com o zinco fundido na etapa de galvanização. Por último ocorre a etapa de secagem a cerca de 60° C.

Após a preparação da superfície metálica torna-se possível a galvanização do componente. Este processo consiste na imersão do componente num banho de zinco fundido numa gama de temperatura

de 440° C - 465° C, no qual se formam camadas intermetálicas Fe-Zn com um revestimento fino de zinco, fornecendo ao componente excelente características anticorrosivas frente aos fatores agressivos do ambiente.

Por último, deve ser executada uma inspeção da camada de zinco formada, na qual são verificados possíveis defeitos e é analisada a espessura do revestimento com vista ao cumprimento das especificações impostas [84,94,95].