



Conceção, projeto e desenvolvimento de um dispositivo de auxílio à alimentação de indivíduos com deficiência

Cláudia Maia Oliveira

UMinho | 2021

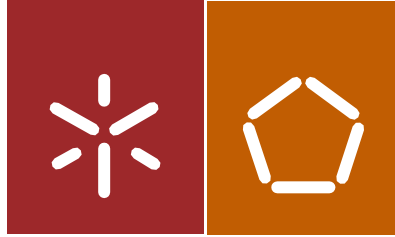


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cláudia Maia Oliveira

Conceção, projeto e desenvolvimento de um dispositivo de auxílio à alimentação de indivíduos com deficiência

março de 2021



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cláudia Maia Oliveira

**Conceção, projeto e desenvolvimento de um
dispositivo de auxílio à alimentação de
indivíduos com deficiência**

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Biomédica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eurico Augusto R. Seabra
Professora Luísa F. S. Ferreira da Silva

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.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

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

Agradecimentos

Não poderia concluir este trabalho sem expressar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que contribuíram para a sua realização.

Aos Professores Eurico Seabra e Luís Ferreira da Silva, meus orientadores, quero expressar o meu profundo agradecimento pela sua orientação e apoio constante.

Aos Javardos, em especial à Carlota, à Andreia e à Sara, obrigada por todos os momentos, por todo o apoio e por nunca desistirem de mim desde o primeiro dia.

Aos meus amigos de Paços, que me ajudaram nos momentos mais difíceis, em especial ao Ricardo e ao Edu. E ao Suadinho pela ajuda preciosa.

Aos meus avós, por todos os mimos quando estava em baixo e por acreditarem sempre em mim.

À minha irmã, pelo companheirismo e ajuda em tudo na vida, pelo espírito crítico e pela força em todos os momentos.

Por último, mas não menos importante, aos meus Pais, por todo o carinho e força que encontrei nos bons e maus momentos, a todos os sacrifícios que eles fizeram, sem os quais não teria sido possível chegar até aqui.

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 conducentes à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeito o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

A alimentação é uma atividade básica do dia-a-dia, mas existem pessoas que não se conseguem alimentar sozinhas, afetando a sua qualidade de vida, bem como a qualidade de vida dos que o rodeiam. Assim, com este projeto, pretende-se projetar e desenvolver um dispositivo de autoalimentação para estas pessoas.

Após o levantamento dos dispositivos já existentes, foi estabelecida uma metodologia onde se definiram os objetivos, funções e especificações. Posteriormente, definiu-se a solução final através de várias soluções alternativas, onde este dispositivo final incorporará algumas características funcionais dos dispositivos de autoalimentação existentes no mercado, bem como apresentará uma utilização mais simples e prática.

Por último, foram realizados testes de esforços e deformações a várias peças críticas, que verificam o bom funcionamento do dispositivo criado. De referir que todo o projeto foi realizado com o intuito de tornar o dispositivo desenvolvido o mais barato possível em comparação com os existentes no mercado, de forma a poder ser implementado em centros de dia, hospitais e casas particulares de modo economicamente viável.

Palavras-chave: Incapacidade física; Autoalimentação; Económico.

Abstract

Feeding is a basic daily activity, but there are people who cannot feed themselves, affecting their quality of life, as well the quality of life of those around them. So, the goal with this project is to design and develop a self-feeding device for these people.

After surveying the existing devices, a methodology was established where the objectives, functions and specifications were defined. Afterwards, the final solution was defined through several alternative solutions, where this final device will incorporate some functional characteristics of the existing self-feeding devices in the market, as well as present a simpler and more practical use.

Finally, stress and strain tests were performed on several critical parts, which verify the proper functioning of the final device. It should be noted that the whole project was carried out with the intention of making the developed device as inexpensive as possible compared to those on the market, so that it can be implemented in day-care centres, hospitals, and private homes in an economically viable way.

Keywords: Physical disability; Self-feeding; Economical

Índice

Agradecimentos	i
Declaração de Integridade	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice	vi
Índice de Figuras	ix
Glossário de Símbolos e Abreviaturas	xiii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	2
1.2. Motivação	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Estrutura da dissertação	4
2. Estado da arte	5
2.1. Dispositivo médico	5
2.2. Dispositivos elétricos	5
2.2.1. Dispositivos elétricos existentes no mercado	5
2.2.2. Dispositivos elétricos em fase de estudo	12
2.3. Dispositivos manuais	14
2.3.1. Dispositivos manuais semelhantes a elétricos existentes no mercado	14
2.3.2. Dispositivos manuais em fase de estudo	16
2.3.3. Dispositivos manuais tradicionais	18
2.4. Patentes	18
2.5. Comparação final	22
2.6. Dados Antropométricos	22
3. Projeto Conceptual	25
3.1. Objetivos/Requisitos	25
3.2. Funções	27
3.3. Especificações	29

3.4.	Proposta de solução	30
3.4.1.	Seleção do recipiente de comida	30
3.4.2.	Seleção do talher	33
3.4.3.	Seleção da rotatividade do recipiente de comida	34
3.4.4.	Seleção do movimento do braço robótico	36
3.4.5.	Seleção da interface do dispositivo	40
3.4.6.	Imobilização e regulação do dispositivo	41
3.5.	Materiais utilizados	43
3.6.	Dispositivo desenvolvido	44
4.	Projeto de Detalhe	45
4.1.	Análise cinemática da rotação do prato	45
4.2.	Análise cinemática do mecanismo de elevação em tesoura	45
4.3.	Análise cinemática do movimento do braço robótico	47
4.3.1.	Análise da posição	48
4.3.2.	Análise da velocidade	50
4.3.3.	Análise da aceleração	52
4.3.4.	Conclusão análise cinemática do movimento do braço robótico	54
4.4.	Cálculo de esforços e deformações	54
4.4.1.	Mecanismo de elevação em tesoura	54
4.4.2.	Barra 1 do mecanismo adaptado de Hoeckens.....	57
4.4.3.	Barra 5 do mecanismo adaptado de Hoeckens.....	58
4.4.4.	Encaixe Motor-Prato.....	60
4.5.	Descrição do dispositivo	61
5.	Análise de Custos dos Diferentes Componentes	65
6.	Conclusões e Trabalhos Futuros	67
	Referências	69
	Anexos.....	76
	Anexo A – Mapas Morfológicos	77
	Anexo B – Desenhos Técnicos.....	80
	Anexo C – Instruções de utilização	102

Índice de Figuras

Figura 1: Dispositivos elétricos: a) MySpoon (Adaptado de [8]); b) Beeson Feeder (Adaptado de [7]); c) Winsford Feeder (Adaptado de [7]); d) Handy 1 (Adaptado de [12]); e) MealTime Partner (Adaptado de [18]); f) Assistive Dining Device (Adaptado de [59]); g) Neater Eater (Adaptado de [16]); h) Mealbuddy (Adaptado de [8]); i) iEAT Robot (Adaptado de [17]); j) Chopsticks Robot (Adaptado de [22]); l) Bestic Arm (Adaptado de [58]); m) Obi Robot (Adaptado de [59]); n) KNRC Robot (Adaptado de [14]).	6
Figura 2: a) Meal Assistance Robot (Adaptado de [26]); b) Robotic Self-feeder (Adaptado de [10]); c) Multiple-user Intelligent Feeder (Adaptado de [25]); d) ICRAFT (Adaptado de [24]).	12
Figura 3: a) Neater Eater Manual; b) iEAT Light Grip e Power Grip (Adaptado de [17]).	14
Figura 4: a) Feeding Device (Adaptado de [28]); b) Feeding Mechanism. (Adaptado de [30]); c) Self-feeding System (Adaptado [27]).	16
Figura 5: a) Neater Eater Snacker (Adaptado de [16]); b) Two Handle-spoon (Adaptado de [33]); c) Finger Foods (Adaptado de [34]); d) Swedish HelpArm (Adaptado de [36]); e) Pulley Feeding System (adaptado de [35]).	18
Figura 6: a) US4162868: Invalid Feeding Device (Adaptado de [39]); b) US4522543: Device for Feeding Invalids (Adaptado de [37]); c) US4433950: Self-Feeding Apparatus (Adaptado de [40]).	19
Figura 7: US3885681: Feeding Device (Adaptado de [38]).	20
Figura 8: Principais dimensões antropométricas. (Adaptado de [41])	24
Figura 9: Fases de desenvolvimento do projeto.	25
Figura 10: Árvore de objetivos.	26
Figura 11: Diagrama de funções.	27
Figura 12: Solução 1.	30
Figura 13: Solução 2.	31
Figura 14: Solução 3.	31
Figura 15: a) Base extrudada, representada pela seta vermelha, no prato; b) Corte extrudado, representado pela seta vermelha, no copo; c) Peça que faz a ligação entre o copo e palhinha; d) 4 cortes extrudados na peça extra; e) 4 bases extrudadas na base do copo; f) Encaixe entre a peça e o copo; g) Encaixe entre a peça e a palhinha.	32
Figura 16: Solução final.	33
Figura 17: Solução 1 a) com trava de bloqueio retrátil ativa; b) com a trava de bloqueio solta.	33

Figura 18: Solução 2.....	34
Figura 19: Motor de passo.	35
Figura 20: a) eixo do motor de passo; b) Corte extrudado na parte inferior da peça de ligação; c) Bases extrudadas na parte inferior do prato; d) Cortes extrudados na parte superior da peça de ligação.	36
Figura 21: Trajetória natural da colher a vermelho (Adaptado de [49]).	37
Figura 22: Solução 1 (Adaptado de [50]).	38
Figura 23: Solução 2 (Adaptado de [57]).	38
Figura 24: Solução 3.....	39
Figura 25: Solução 4.....	39
Figura 26: a) Solução 1: interruptor de queixo (Adaptado de [62]); b) Solução 2: interruptor Sip N Puff (Adaptado de [63]); c) Solução 3: interruptor pal pad (Adaptado de [53]); d) Solução 4: interruptor de pé (Adaptado de [64]).	40
Figura 27: Primeira solução: a) mecanismo de elevação em tesoura; b) atuador hidráulico.	42
Figura 28: Segunda solução: a) mecanismo de elevação em tesoura; b) parafuso de transmissão.	42
Figura 29: Dispositivo final.	44
Figura 30: Altura máxima e mínima que o dispositivo consegue atingir.	47
Figura 31: Braço robótico com o mecanismo adaptado de Hoekens em solidworks.	47
Figura 32: a) primeira posição escolhida e b) segunda posição escolhida.....	48
Figura 33: Cadeia cinemática fechada.	50
Figura 34: Situação crítica de funcionamento para a) altura máxima e b) altura mínima.	55
Figura 35: Cargas e restrições aplicadas no mecanismo de elevação em tesoura: a) na altura máxima e b) na altura mínima de funcionamento.	55
Figura 36: Resultados obtidos da simulação para a primeira situação crítica para uma força aplicada de 245 N.....	56
Figura 37: Resultados obtidos da simulação para a segunda situação crítica para uma força aplicada de 245 N.....	57
Figura 38: Cargas e restrições aplicadas na barra de suporte do mecanismo de Hoekens.	57
Figura 39: Resultado obtido da simulação, para a deformação, para uma força aplicada de 15 N.	58
Figura 40: Resultado obtido da simulação, para as tensões máximas, para uma força aplicada de 15 N.....	58
Figura 41: Cargas e restrições aplicadas na barra do mecanismo de Hoekens que suporta a colher. ...	59
Figura 42: Resultado obtido da simulação, para as deformações máximas, para uma força aplicada de 5 N.....	59

Figura 43: Resultado obtido da simulação, para as tensões máximas, para uma carga aplicada de 5 N.	60
Figura 44: Cargas e restrições aplicadas na peça de encaixe entre o motor e prato.....	60
Figura 45: Resultado obtido da simulação, para a deformação, para uma força aplicada de 10 N.	61
Figura 46: Resultado obtido da simulação, para as tensões, para uma força aplicada de 10 N.	61
Figura 47: Vistas explodidas do dispositivo.	62
Figura 48: Vista explodida 1.	63
Figura 49: Vista explodida 2.	64

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Informação recolhida dos dispositivos Handy 1, MySpoon, Winsford Feeder e Beeson Feeder	9
Tabela 2 – Informação recolhida dos dispositivos MealBuddy, MealTime Partner, Assistive Dining e Neater Eater	10
Tabela 3 – Informação recolhida dos dispositivos Obi Robot, iEAT Robot, Bestic Arm, KNRC Robot e Chopsticks Robot	11
Tabela 4 – Informação recolhida dos dispositivos Meal Assistance Robot, Robotic self-feeder, Multiple-user Intelligent Feeder e ICRAFT	13
Tabela 5 – Informação recolhida dos dispositivos Neater Eater Manual, Neater Eater Light Grip e Neater Eater Power Grip	15
Tabela 6 – Informação recolhida dos dispositivos Self-feeding System, Mechanical Feeding, Feeding Mechanism e Feeding Device	17
Tabela 7 - Informação recolhida das quatro patentes existentes	21
Tabela 8 - Dados antropométricos da população portuguesa (adaptado de [41])	23
Tabela 9 - Importância relativa de funções	28
Tabela 10 - Ordenação de funções por importância relativa	28
Tabela 11 - Análise de valor das soluções da escolha do recipiente	32
Tabela 12 - Análise de valor das soluções do encaixe entre a colher e o dispositivo	34
Tabela 13 - Análise de valor das soluções do movimento do braço robótico	40
Tabela 14 - Análise de valor das soluções de interface	41
Tabela 15 - Análise do valor das soluções do mecanismo de elevação	43
Tabela 16 - Medidas das barras do mecanismo adaptado de Hoeckens	48
Tabela 17 - Lista dos componentes da vista explodida 1	63
Tabela 18 - Lista de componentes da vista explodida 2	64
Tabela 19 - Tabela de preços relativos dos componentes utilizados na proposta de solução	65

Glossário de Símbolos e Abreviaturas

<i>SÍMBOLO</i>	<i>UNIDADE SI</i>	<i>EQUAÇÃO</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
<i>a</i>	<i>m</i>	1;2	Comprimento barra a
<i>b</i>	<i>m</i>	1	Comprimento barra b
<i>d</i>	<i>m</i>	1;2	Comprimento barra c
<i>dm</i>	<i>m</i>	4;7	Diâmetro médio
<i>dn</i>	<i>m</i>	4	Diâmetro nominal
<i>F</i>	<i>N</i>	8;9;11;12	Força aplicada
<i>l</i>	<i>m</i>	5; 10; 11; 12	Passo real
<i>N</i>	-	3	Número de passos
<i>P</i>	-	4;5	Passo aparente
<i>P_L</i>	<i>N</i>	9;12	Força necessária para descer
<i>P_R</i>	<i>N</i>	8;11	Força necessária para subir
<i>r_d</i>	mm	37;38;39;40	-
<i>w₂</i>	<i>rad/s</i>	31;34;35;36;41;44;45; 46;47;48	Velocidade angular da manivela (barra AO)
<i>w₃</i>	<i>rad/s</i>	32;34;35;42;44;45;46; 47;49	Velocidade angular da barra BA
<i>w₄</i>	<i>rad/s</i>	33;34;36;44;45;46;47	Velocidade angular da barra BC
<i>x_P</i>	<i>m</i>	13;21	Coordenada do ponto P no eixo do x
<i>y_P</i>	<i>m</i>	14;22	Coordenada do ponto P no eixo do y
<i>α (1°)</i>	°	3	Ângulo de uma volta completa
<i>α (2°)</i>	°	15;16;18	Ângulo entre AP e BA
<i>α (3°)</i>	°	23;24;26	Ângulo entre AP e BA
<i>α₂</i>	<i>mm/s²</i>	48	Aceleração angular da

			manivela (barra AO)
α_3	mm/s^2	46;49	Aceleração angular da barra BA
α_4	mm/s^2	47	Aceleração angular da barra BC
$\beta (1^\circ)$	$^\circ$	3	Ângulo de passo
$\beta (2^\circ)$	$^\circ$	18;19;20	Ângulo entre AP e o eixo x
$\beta (3^\circ)$	$^\circ$	26;27;28	Ângulo entre AP e o eixo y
$\beta (4^\circ)$	$^\circ$	38	Ângulo predefinido para cálculo $d\theta_4$
$\gamma (1^\circ)$	$^\circ$	17;18	Ângulo entre BA e AA'
$\gamma (2^\circ)$	$^\circ$	25;26	Ângulo entre BA e AB'
$\gamma (3^\circ)$	$^\circ$	37	Ângulo predefinido para cálculo de θ_3
θ_d	$^\circ$	37;38;39	Ângulo entre a barra OC e a barra r_d
θ_1	$^\circ$	29	-
θ_2	$^\circ$	29;30;34;35;35;36;39; 40;43;44;45;46;47	Ângulo entre a barra OC e a barra AO
θ_3	$^\circ$	29;30;34;36;36;37;43; 44;45;47;47	Ângulo entre a barra OC e a barra BA
θ_4	$^\circ$	29;30;34;35;36;38;43; 44;45;46;47	Ângulo entre a barra OC e a barra BC
λ	$^\circ$	8;9;10	Ângulo da hélice do filete
μ	-	6;7	Coefficiente de atrito

1. Introdução

A presente dissertação enquadra-se no plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica da Universidade do Minho, com especialização em Biomecânica, no qual se pretende desenvolver um dispositivo de auxílio à alimentação para pessoas deficientes nos membros superiores.

Durante este capítulo serão expostos o enquadramento e motivação deste trabalho, assim como os seus objetivos. Por fim, será também apresentada a estrutura da dissertação.

1.1. Enquadramento

Os dispositivos de auxílio à alimentação surgem da dificuldade que algumas pessoas apresentam a beber ou a comer. Esta dificuldade provém, essencialmente, de 3 fatores [7-8][26], sendo o primeiro a ausência dos membros superiores, derivada da amputação destes ou de anomalia ao nascimento, o segundo é resultante de acidentes, como traumatismo craniano, AVC e ataxia cerebral, e por fim, o terceiro fator está relacionado com as doenças que afetam o movimento dos membros superiores. Estas doenças podem ser de 3 tipos [5]: lesões das partes do cérebro que controlam o movimento voluntário, provocando fraqueza ou paralisia dos músculos envolvidos em movimentos voluntários e reflexos exagerados, lesões dos gânglios basais, que provocam movimentos involuntários não intencionais ou reduzidos, e danos no cerebelo, que provocam a perda de coordenação. Alguns exemplos destas lesões são a paralisia cerebral, a esclerose múltipla, Parkinson, distrofia muscular, artrite reumatoide e doenças dos neurónios motores (esclerose lateral amiotrófica, esclerose lateral primária, pseudobulbar progressiva, atrofia muscular progressiva, paralisia bulbar progressiva e síndrome de pós-polimielite).

As estatísticas da Organização Mundial da Saúde [2,3] mostram que a população com deficiência representa cerca de 15% da população, isto é, aproximadamente 1,17 bilhões de pessoas no mundo [4], sendo que esta percentagem está com tendência a aumentar devido ao envelhecimento da população e ao aumento das doenças crónicas. Como o número de indivíduos com dificuldades em realizar as atividades do dia-a-dia está a aumentar, é cada vez mais difícil encontrar força de trabalho humano para cuidar deles. Assim, os dispositivos de auxílio à alimentação representam uma boa alternativa e são, cada vez mais, uma grande necessidade na nossa sociedade.

Os dispositivos de auxílio à alimentação podem ser implementados em vários locais, subdivididos em dois meios: casas particulares e instituições (centros de dia, hospitais e clínicas), sendo que se pode deslindar diferentes dificuldades nestes locais aquando da ausência destes dispositivos [6]. Deste modo, os indivíduos que estão em casas particulares são alimentados por familiares, sendo uma atividade stressante porque são perdidos momentos importantes de interação social. Já os indivíduos que se encontram em instituições demoram muito tempo a serem alimentados, pois o staff médico tem de se preocupar com muitas pessoas ao mesmo tempo. O staff médico, aquando da presença destes dispositivos, também reclamam do tempo de instalação excessivo, do difícil transporte e de uso e do facto de serem pouco confiáveis, inconvenientes, pouco atraentes e, principalmente, muito caros [7].

Estes dispositivos promovem um aumento da qualidade de vida ao utilizador, pois aumentam a sua independência e não interferem tanto com o seu comportamento social normal [6], [8]. Relativamente ao primeiro, os indivíduos passam a não depender de outrem para realizar uma atividade básica do dia-a-dia, comer e beber, e quanto ao segundo, os indivíduos que são alimentados por outras pessoas apresentam sentimentos de não serem iguais aos outros, desenvolvendo características anormais de comportamento social, sendo que estas características iriam cessar [1].

De referir que estes indivíduos podem apresentar muita ou pouca dificuldade em alimentar-se e daí resultam dois tipos de dispositivos de assistência à alimentação, os de tecnologia de gama baixa e os de gama alta, sendo que ao longo dos anos, estes dispositivos foram aprimorados/aperfeiçoados. Os primeiros representam os utensílios de auxílio, como as palhinhas, facas, garfos e colher especializadas, pratos/tigelas com bordas para diminuir o desperdício de alimentos aquando da alimentação, entre outros. Já dispositivos de gama alta são os dispositivos mecânicos, que podem ser elétricos ou manuais, isto é, apresentarem motor ou não, respetivamente.

No âmbito deste projeto, o estudo concentra-se nos dispositivos mecânicos, mais propriamente os elétricos.

1.2. Motivação

Existem diversos dispositivos de assistência a indivíduos com deficiência ao nível da manipulação, mas apresentam pouca variedade e têm todos elevados custos associados, pelo que nem todas as pessoas os conseguem adquirir.

Assim, este trabalho surge da necessidade de um estudo de conceção de um equipamento prático, adequado e principalmente de baixo custo, capaz de ser implementado em centros de dia, clínicas, hospitais, casas particulares e outros locais de interesse.

1.3. Objetivos

O grande objetivo deste projeto é o desenvolvimento de um dispositivo de autoalimentação capaz de ser implementado em centros de dia, hospitais, clínicas, casas particulares, entre outros. Assim, pretende-se que o dispositivo desenvolvido não apresente custos elevados

associados. Para se atingir este grande objetivo, realizar-se-á, em primeiro lugar, um levantamento de equipamentos e patentes existentes no mercado para que, de seguida, se desenvolva um projeto conceptual onde se deve seguir uma certa metodologia que, neste caso, passa pela definição de objetivos, funções e especificações.

Após a realização do projeto conceptual, de onde resulta o dispositivo final, é necessário realizar o projeto de detalhe, onde se fazem os testes de esforços e deformações, de forma a verificar se a solução final cumpre com os objetivos exigidos.

Por fim, apresentar-se-ão propostas de melhoria do respetivo dispositivo projetado e desenvolvido.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em introdução, estado da arte, desenvolvimento conceptual, projeto de detalhe, descrição do dispositivo, análise de custos e conclusão. O primeiro capítulo é um capítulo introdutório, no qual se contextualiza o tema da dissertação, referindo também a motivação para realizar este projeto e os objetivos deste.

No segundo capítulo, é realizada uma revisão bibliográfica, onde se apresentam estudos relativos aos dispositivos existentes no mercado e em fase de estudo, bem como o estudo dos dados antropométricos da população.

O terceiro capítulo corresponde ao desenvolvimento conceptual do projeto, onde é descrito todo o caminho percorrido desde o estabelecimento de requisitos até à apresentação da solução conceptual final.

No quarto capítulo é realizado o projeto de detalhe, onde se apresenta em detalhe o dimensionamento analítico dos sistemas de transmissão. Para além do dimensionamento analítico, é também apresentado um estudo das deformações e tensões de diferentes componentes considerados críticos através do *software Solidworks*. Por fim, descreve-se todos os componentes pertencentes ao dispositivo através de vistas explodidas.

O quinto capítulo corresponde à análise de custos de todos os componentes existentes no dispositivo e respetiva comparação com os preços dos dispositivos existentes no mercado.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho efetuado, bem como sugestões para um trabalho futuro.

2. Estado da arte

Neste capítulo é feita uma breve introdução de um dispositivo médico e é realizado o levantamento de todos os dispositivos de auxílio à alimentação existentes no mercado, assim como alguns em fase de estudo e dispositivos de alimentação que não são elétricos, mas que serviram de base ao desenvolvimento destes.

2.1. Dispositivo médico

Segundo o Decreto-Lei nº145/2009, um dispositivo médico caracteriza-se como “qualquer instrumento, aparelho, equipamento, *software*, material ou artigo utilizado isoladamente ou em combinação, incluindo o software destinado pelo seu fabricante a ser utilizado especificamente para fins de diagnóstico ou terapêuticos e que seja necessário para o bom funcionamento do dispositivo médico, cujo principal efeito pretendido no corpo humano não seja alcançado por meios farmacológicos, imunológicos ou metabólicos, embora a sua função possa ser apoiada por esses meios, destinado pelo fabricante a ser utilizado em seres humanos para fins de:

- i. Diagnóstico, prevenção, controlo, tratamento ou atenuação de uma doença;
- ii. Diagnóstico, controlo, tratamento, atenuação ou compensação de uma lesão ou de uma deficiência;
- iii. Estudo, substituição ou alteração da anatomia ou de um processo fisiológico;
- iv. Controlo da concepção.”

2.2. Dispositivos elétricos

Os dispositivos elétricos apresentam um motor elétrico que transforma energia elétrica em movimento mecânico. Nos subcapítulos seguintes são apresentados dois tipos de dispositivos elétricos, os que existem no mercado e os que se encontram em fase de estudo.

2.2.1. Dispositivos elétricos existentes no mercado

Os dispositivos elétricos, representados na Figura 1, são compostos pelo braço robótico com um tipo de talher, que pode ser uma colher ou uma colher e um garfo ou dois pauzinhos, e pela base, composta pelo copo – os que tiverem - e pelo prato/tigela, que por sua vez pode ser rotativo ou fixo [6 -20].

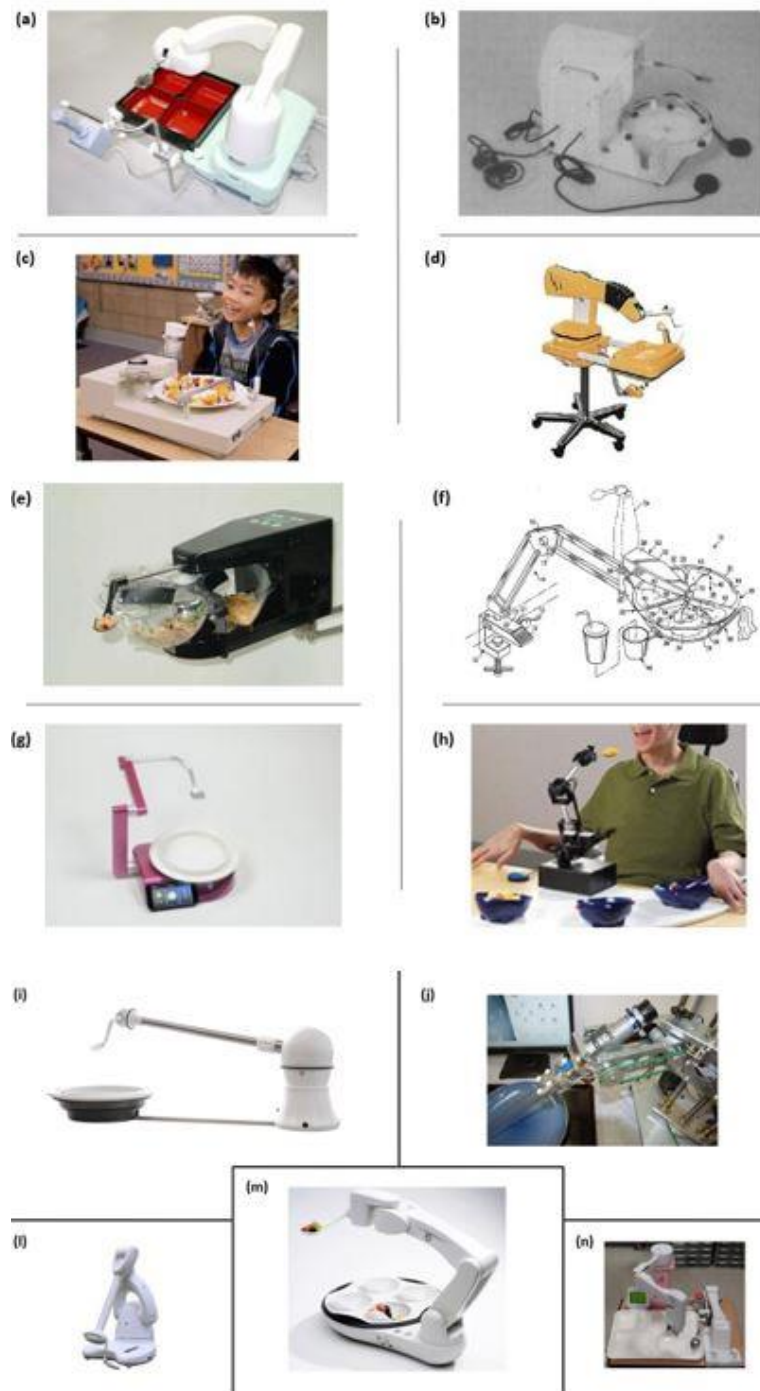


Figura 1: Dispositivos elétricos: **a)** *MySpoon* (Adaptado de [8]); **b)** *Beeson Feeder* (Adaptado de [7]); **c)** *Winsford Feeder* (Adaptado de [7]); **d)** *Handy 1* (Adaptado de [12]; **e)** *MealTime Partner* (Adaptado de [18]); **f)** *Assistive Dining Device* (Adaptado de [59]); **g)** *Neater Eater* (Adaptado de [16]); **h)** *Mealbuddy* (Adaptado de [8]); **i)** *iEAT Robot* (Adaptado de [17]); **j)** *Chopsticks Robot* (Adaptado de [22]); **k)** *Bestic Arm* (Adaptado de [58]); **m)** *Obi Robot* (Adaptado de [59]); **n)** *KNRC Robot* (Adaptado de [14]).

Todos estes dispositivos apresentam uma colher como tipo de talher, com exceção do *MySpoon*, que tem uma colher e um garfo, do *KNRC Robot* e do *Chopsticks Robot*, que possuem pauzinhos, e do *Winsford Feeder*, que para além da colher tem um empurrador mecânico para ajudar a encher a colher.

Os dispositivos que têm tigela são o *MealBuddy*, o *MealTime Partner* e o *Assistive Dining*

Device, sendo que os dois primeiros têm três tigelas e o último apresenta uma tigela subdividida em três seções, formando, assim, três mini tigelas côncavas dentro da tigela principal. Já os que apresentam prato são o *Handy 1*, o *KNRC Robot*, o *Obi Robot*, o *MySpoon*, o *Neater Eater*, o *iEAT Robot*, o *Bestic Arm* e o *Beeson Feeder*, sendo que o primeiro tem sete compartimentos, o segundo tem entre três a seis, o terceiro e quarto têm quatro e os últimos não apresentam compartimentos. Por fim, o *Chopsticks Robot* e o *Winsford Feeder* possuem prato sem compartimentos e uma tigela, usados separadamente, sendo que no último, quando se usa o prato, o dispositivo tem um empurrador mecânico para empurrar a comida para a colher, e quando se usa a tigela, esta tem uma pingadeira para não deixar vazar comida.

Relativamente à rotatividade da base (prato ou tigela), os que a têm rotativa são o *Winsford Feeder*, o *Beeson Feeder*, o *MealTime Partner*, o *Assistive Dining Device*, o *Neater Eater* e o *iEAT*, sendo que todos os outros apresentam uma base fixa, com exceção do *Bestic Arm*, que não apresenta informação neste ponto.

No que respeita aos modos de operação, o *Handy 1*, o *Winsford Feeder*, o *Beeson Feeder*, o *MealBuddy*, o *Neater Eater*, o *Obi Robot*, o *Bestic Arm* e o *Chopsticks Robot* têm apenas um, que é o automático, e o *iEAT Robot* e o *KNRC Robot* têm 2 modos de operação, que é o automático e o semiautomático. Já o *MySpoon*, o *MealTime Partner* e o *Assistive Dining Device* apresentam 3 modos de operação, onde no primeiro são o automático, o semiautomático e o manual, no segundo são os três automáticos, mas com uso diferente dos interruptores, associado à dificuldade de uso, e, por fim, no terceiro são um automático e dois semiautomáticos – em que num se utilizam dois interruptores, controlando a apresentação e seleção de comida, e no outro utiliza-se um interruptor, controlando-se apenas a seleção de alimentos.

No que concerne à interface destes dispositivos em específico, esta pode ser através de interruptores, através de *joysticks*, através de ponteira laser ou totalmente automática, isto é, no começo da alimentação inicia-se um programa que apenas finaliza quando o utilizador o desliga ou quando não houver comida. Desta forma, e com exceção do *MySpoon*, do *KNRC Robot* e do *Chopsticks Robot*, todos apresentam interruptores, sendo que o *iEAT Robot* pode também ser ativado através duma aplicação. Assim, o *KNRC Robot* apresenta dois *joysticks*, o *MySpoon* tem os dois tipos, interruptores e *joystick*, e o *Chopsticks Robot* possui uma ponteira laser.

Em relação ao tipo de fixação do dispositivo à mesa, chão ou a outro objeto, o *MealBuddy* possui as suas tigelas fixas a uma base de metal por ímanes, o *Neater Eater* e o *Assistive Dining Device* possuem grampos, o *MealTime Partner* possui grampos ou pernas e o *Handy 1* apresenta pernas giratórias, semelhantes às duma cadeira de escritório, sendo que estas podem girar e

mexer livremente até ser ativado um sistema de travagem nas suas rodas. Já os outros dispositivos apresentam uma fixação à mesa tipo borracha, com exceção do *Chopsticks Robot* que não apresenta informação neste ponto.

Por último, apenas dois dispositivos apresentam copo, que é o *Handy 1* e o *Winsford Feeder*, no entanto, o *MySpoon* e o *Assistive Dining Device* apresentam esta opção, na altura da compra, sendo que este último apresenta também uma opção de porta-guardanapos e de suporte de sanduíche aquando da compra do dispositivo.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 encontram-se todas as informações levantadas sobre estes dispositivos, incluindo informações sobre a massa, dimensões e graus de liberdade.

Tabela 1 – Informação recolhida dos dispositivos Handy 1, MySpoon, Winsford Feeder e Beeson Feeder

	Handy 1	MySpoon	Winsford Feeder	Beeson Feeder
Dimensões (C x L x A)	-	370 x 280 x 270 mm (ajustável em altura)	510 x 460 x 250 mm (ajustável em altura)	-
Massa	-	6 kg	8,2 kg	-
DOF (Braço + end-effector)	5 + 1	5 + 1	-	-
Modos de operação	1	3	1	1
Interface	1 interruptor (balanço)	1 interruptor (pressão) ou 1 <i>joystick</i> (queixo)	2 interruptores (balanço ou queixo)	2 interruptores (pneumáticos)
Tipo de recipiente	Prato	Prato	Prato ou tigela	Prato
Nº de compartimentos ou tigelas	7	4	Prato: empurrador mecânico Tigela: pingadeira	Sem compartimentos
Rotatividade do recipiente	N	N	S	S
Tipo de fixação	Pernas giratórias	Borracha	Borracha	Borracha
Tipo de talher	Colher	Colher + garfo	Colher	Colher
Apresenta copo	S	Apresenta opção porta copos	S	N

Tabela 2 – Informação recolhida dos dispositivos MealBuddy, MealTime Partner, Assistive Dining e Neater Eater

	MealBuddy	MealTime Partner Dining Device	Assistive Dining Device	Neater Eater
Dimensões (C x L x A)	510 x 510 mm (base) 305 mm (braço ajustável em altura)	-	-	-
Massa	7,8 kg	-	-	-
DOF (Braço + end-effector)	3	2	-	2
Modos de operação	1	3	3	1
Interface	1 interruptor (<i>Sip N Puff</i>)	0 a 3 interruptores	2 interruptores	1 interruptor (pressão leve)
Tipo de recipiente	Tigela	Tigela	Tigela	Prato
Nº de compartimentos ou tigelas	3	3 (transparentes)	3	-
Rotatividade do recipiente	N	S	S	S
Tipo de fixação	Tigelas fixas à base de metal por imanes	Pernas ou grampos	Grampos	Grampos dobráveis para fixar à mesa
Tipo de talher	Colher	Colher	Colher	Colher
Apresenta copo	N	N	S (com opção de porta guardanapos e suporte de sanduíche)	N

Tabela 3 – Informação recolhida dos dispositivos Obi Robot, iEAT Robot, Bestic Arm, KNRC Robot e Chopsticks Robot

	Obi Robot Dining Assistance	iEAT Robot	Bestic Arm	KNRC Robot	Chopsticks Robot
Dimensões (C x L x A)	300 x 430 x 150 mm	-	340 x 220 x 200 mm	347 x 508 x 305 mm	240 x 380 mm (robô horizontal)
Massa	3,4 kg	-	2 kg	4,7 kg	-
DOF (Braço + end-effector)	-	-	4	(2 + 4) + 1	5 + 2 (robô mais mecanismo de pauzinhos)
Modos de operação	1	2	1	2 e 2 configurações de braço	1
Interface	2 interruptores (pressão, <i>Sip N Puff</i> , travesseiro, micro de luz e <i>Pal Pad</i>)	1 interruptor ou através duma aplicação	1 interruptor	2 <i>joysticks</i>	Ponteira laser
Tipo de recipiente	Prato	Prato	Prato	Prato	Prato ou tigela
Nº de compartimentos ou tigelas	4	-	Sem compartimentos	3 a 6 (com 1 especial redondo para o arroz)	Sem compartimentos
Rotatividade do recipiente	N	S	-	N	N
Tipo de fixação	Borracha	Borracha	Borracha	Borracha	-
Tipo de talher	Colher	Colher	Colher	Pauzinhos	Mecanismo de pauzinhos
Apresenta copo	N	N	N	N	N

2.2.2. Dispositivos elétricos em fase de estudo

Os dispositivos, representados na Figura 2, são compostos pelo braço robótico e pela base, com prato/tigela e com possibilidade ou não de ter copo, e têm todos apenas um modo de operação, o automático. No entanto, o *Multiple-user feeder* é ligeiramente diferente dos outros três, visto que é um dispositivo adaptado para ser usado por quatro pessoas em simultâneo [10], [24-26].

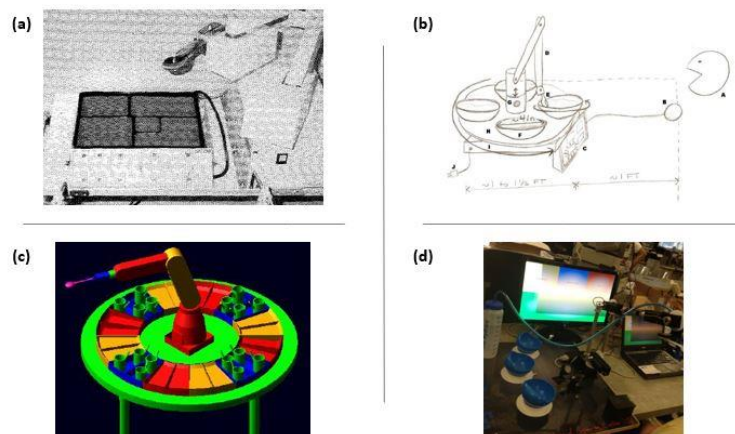


Figura 2: a) *Meal Assistance Robot* (Adaptado de [26]); b) *Robotic Self-feeder* (Adaptado de [10]); c) *Multiple-user Intelligent Feeder* (Adaptado de [25]); d) *ICRAFT* (Adaptado de [24]).

Os dispositivos com prato são o *Meal Assistance feeder*, com quatro compartimentos, e o *Multiple-user feeder*, que usa uma bandeja em arco com um prato que tem entre três a quatro compartimentos, sendo que ambos apresentam uma base fixa. Já os dispositivos com tigela são o *ICRAFT*, com número indefinido de tigelas e com uma base fixa, e o *Robotic self-feeder*, com quatro tigelas e uma base rotativa.

Relativamente ao tipo de talher, os primeiros dois dispositivos têm uma colher e um garfo e os últimos têm apenas uma colher. Quanto à existência de copo no dispositivo, apenas o *Multiple-user feeder* apresenta copo, mais especificamente quatro copos, um para cada utilizador, no entanto, o *ICRAFT* apresenta a possibilidade de ter copo através de um sistema *Hydrant*.

No que diz respeito à interface, o *Meal assistance robot* possui uma ponteira laser, o *ICRAFT* um sistema de rastreamento ocular e o *Multiple-user feeder* possui vários interruptores, que podem ser de queixo, cabeça, *sip N puff* ou de ombro. Já o *Robotic self-feeder* pode ter um interruptor indefinido ou uma manivela, sendo que a rotatividade das tigelas passa de automática para manual. Em relação ao tipo de fixação, o *Meal Assistance feeder* tem uma fixação em borracha, semelhante à maioria dos dispositivos do ponto anterior e o *ICRAFT* tem as tigelas fixas à mesa através de ventosas. Já o *Robotic self-feeder* e o *Multiple-user feeder* não apresentam informação relativamente ao tipo de fixação.

Na Tabela 4 encontram-se todas as informações levantadas sobre estes dispositivos,

incluindo informações sobre a massa, dimensões e graus de liberdade.

Tabela 4 – Informação recolhida dos dispositivos Meal Assistance Robot, Robotic self-feeder, Multiple-user Intelligent Feeder e ICRAFT

	Meal Assistance Robot	Robotic Self-Feeder	Multiple-user Intelligent Feeder	ICRAFT
Dimensões (C x L x A)	-	-	-	115 x 70 x 95 mm (robô)
Massa	-	-	31 kg (apenas robô, sem bandeja completa)	1,2 kg (robô)
DOF (Braço + end-effector)	4 + 1 (robô SCARA)	-	6	4
Modos de operação	1	1	1	1
Interface	Ponteira laser	1 interruptor ou manivela (parte de rodar as tigelas é manual)	Vários interruptores (queixo, cabeça, ombro ou <i>Sip N Puff</i>)	<i>Eye Tracking</i>
Tipo de recipiente	Prato	Tigela	Bandeja em forma de arco para prato	Tigela
Nº de compartimentos ou tigelas	4	4	3 a 4	As que se quiserem
Rotatividade do recipiente	N	S	N	N
Tipo de fixação	Borracha	-	Robô fixo no centro de uma mesa-redonda	Tigelas fixas numa mesa comum por ventosas
Tipo de talher	Colher + garfo	Colher	Colher ou colher + garfo	Colher
Apresenta copo	N	-	S (4 copos)	Sistema <i>Hydrant</i> (através de tubo)

2.3. Dispositivos manuais

Neste capítulo abordam-se vários tipos de dispositivos que não se enquadram no tipo de dispositivo que este projeto pretende estudar, que é um dispositivo de autoalimentação elétrico. Deste modo, neste capítulo abordam-se três tipos de dispositivos manuais, os que são semelhantes a elétricos, os que se encontram em fase de estudo e os dispositivos manuais na sua forma mais artesanal.

2.3.1. Dispositivos manuais semelhantes a elétricos existentes no mercado

Estes dispositivos manuais são semelhantes aos elétricos expostos no ponto anterior no que toca ao seu funcionamento, mas não apresentam motor, sendo este substituído pela mão do utilizador, dos quais tem-se o *Neater Eater Manual*, o *iEAT Light Grip* e o *iEAT Power Grip*, representados na Figura 3 [16,17], [31,32]. Todos estes dispositivos apresentam um prato sem compartimentos e uma colher como talher, sendo que o *Neater Eater Manual* pode ainda apresentar uma tigela para substituir o prato. A base destes dispositivos é manualmente rotativa, sendo que os últimos dois dispositivos têm como opção de compra a rotatividade automática da base.

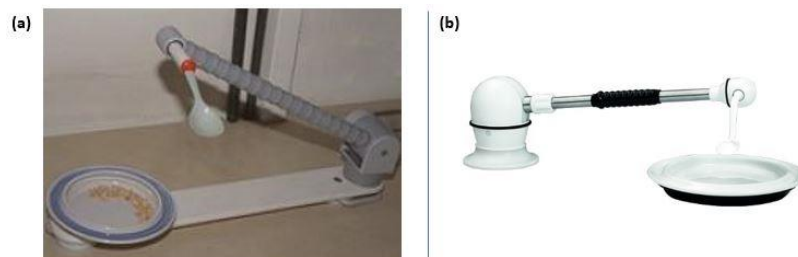


Figura 3: a) *Neater Eater Manual*; b) *iEAT Light Grip* e *Power Grip* (Adaptado de [17]).

Em relação aos dispositivos *iEAT*, ambos auxiliam e guiam a mão do utilizador enquanto este se alimenta, sendo que a grande diferença entre estes se centra na sua robustez, onde o *Power Grip*, ao possuir um mecanismo de absorção de choques, apresenta maior robustez do que o *Light Grip*. Já em relação ao *Neater Eater Manual*, este possui grampos como sistema de fixação e apresenta quatro versões. Enquanto na versão 1, o dispositivo apresenta um mecanismo de amortecimento na base do braço, na versão 2 apresenta um braço de extensão contrabalançado com uma posição da colher pré-definida. Ainda existe a versão 3 que é um dispositivo controlado por pedais e com um acionador remoto para rodar a base e, por último, a versão 4 que é um dispositivo com uma alça ajustável que permite que a colher seja operada com as mãos pousadas no colo do utilizador, possuindo também um acionador remoto para rodar a base.

Na Tabela 5 encontram-se todas as informações recolhidas, assim como informações sobre

as dimensões e outras considerações.

Tabela 5 – Informação recolhida dos dispositivos Neater Eater Manual, Neater Eater Light Grip e Neater Eater Power Grip

	Neater Eater Manual	Neater Eater Light Grip	Neater Eater Power Grip
Dimensões (C x L x A)	-	-	-
Massa	-	-	-
Modos de operação	4 versões do dispositivo	1	1
Tipo de recipiente	Prato ou tigela	Prato	Prato
Nº de compartimentos ou tigelas	Sem compartimentos	Sem compartimentos	Sem compartimentos
Rotatividade do recipiente	S (manual)	S (manual)	S (manual)
Tipo de fixação	Grampos	-	-
Tipo de talher	Colher	Colher	Colher
Apresenta copo	N	N	N
Manuseamento do dispositivo	<p>Versão 1: mecanismo de amortecimento na base do braço.</p> <p>Versão 2: braço de extensão contrabalançado, com posição pré-definida.</p> <p>Versão 3: controlado por pedais, tem controlo remoto para rodar a base.</p> <p>Versão 4: alça ajustável que permite que a colher seja operada com as mãos pousadas no colo. Tem acionador remoto que permite rodar a base.</p>	<p>Dispositivo que auxilia e guia a mão do utilizador enquanto este come, sendo que a força ascendente que o braço fornece bem como a sua área de manuseamento podem ser configuradas.</p>	<p>Dispositivo robusto com mecanismo de absorção de choques e com área de movimento limitada ajustada às preferências do utilizador. Requer menos controlo e coordenação por parte do utilizador, mantendo sempre a colher na horizontal.</p>

2.3.2. Dispositivos manuais em fase de estudo

Os dispositivos manuais que ainda se encontram em fase de estudo e, por isso, não foram ainda comercializados, encontram-se representados na Figura 4, com exceção do segundo, pois não existem imagens deste dispositivo [27-30]. Todos eles possuem pratos sem compartimentos e apresentam uma base fixa, com exceção do *Mechanical Feeding*, sendo também por isso o único dispositivo que apresenta uma interface com interruptor, para realizar a rotatividade do prato. De referir que todos estes dispositivos apresentam uma colher como tipo de talher e nenhum apresenta copo ou possibilidade de o vir a ter.

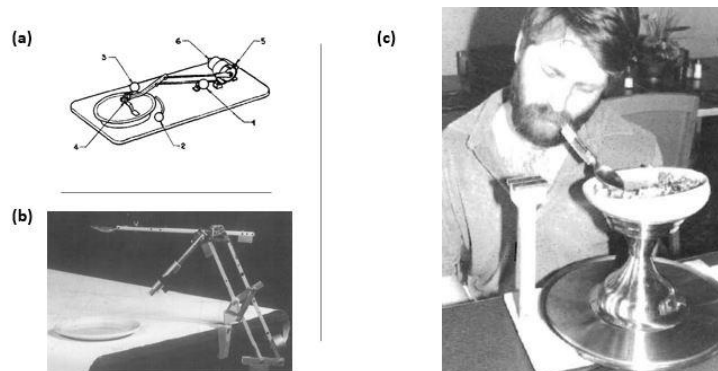


Figura 4: a) *Feeding Device* (Adaptado de [28]); b) *Feeding Mechanism*. (Adaptado de [30]); c) *Self-feeding System* (Adaptado [27]).

Relativamente aos modos de operação, o *Mechanical feeding aids* tem dois - o mecanismo em tesoura e o mecanismo alternativo de duas mãos – os outros três dispositivos têm apenas um modo de operação, sendo que o *Feeding mechanism* corresponde ao mecanismo de quatro barras. No que diz respeito ao tipo de fixação destes dispositivos, o *self-feeding system* não contém informação sobre este ponto, o *Feeding device* possui quatro ventosas que prendem o dispositivo à mesa e os outros dois dispositivos possuem grampos, sendo que o *Mechanical feeding aids* pode ainda ser fixo à mesa de forma permanente.

Na Tabela 6 encontram-se todas as informações recolhidas, assim como informações sobre as dimensões e outras considerações.

Tabela 6 – Informação recolhida dos dispositivos Self-feeding System, Mechanical Feeding, Feeding Mechanism e Feeding Device

	Self-feeding System	Mechanical Feeding	Feeding Mechanism	Feeding Device
Dimensões (C x L x A)	430 x 200 x 25 (base) 60 x 50 x 13 (bloco madeira da colher)	-	-	-
Massa	-	-	-	-
Modos de operação	1	2 (Mecanismo em tesoura e mecanismo alternativo de 2 mãos)	1 (Mecanismo de 4 barras)	1 (prato gira de forma automática e o movimento da colher é de forma manual)
Tipo de recipiente	Prato	Prato	Prato	Prato
Nº de compartimentos ou tigelas	Sem compartimentos	Sem compartimentos	Sem compartimentos	Sem compartimentos
Rotatividade do recipiente	N	N	N	S
Tipo de fixação	-	Grampos ou fixo à mesa	Grampos	4 ventosas prendem à mesa
Tipo de talher	Colher adaptada	Colher	Colher	Colher
Apresenta copo	N	N	N	N
Manuseamento do dispositivo	Base de madeira com passador vertical fixo (2 imanes montados num bloco em cima deles). Utilizador pega comida com a colher e depois move a colher para a posicionar melhor através dos imanes.	-	Existe isolamento de vibrações. Mecanismo de 4 barras: colher move-se horizontalmente e o dispositivo é articulado em torno de um eixo vertical.	Braço montado num amortecedor hidráulico carregado por mola. Quando o botão é pressionado, a colher é parcialmente libertada. Se o botão for pressionado ainda mais, a colher pega comida e fica nesta posição até ser libertado o botão e o amortecedor com mola faz com que a colher vá até à boca.

2.3.3. Dispositivos manuais tradicionais

Este tipo de dispositivo manual não apresenta qualquer semelhança no seu funcionamento com os dispositivos elétricos, sendo que a sua construção se baseia numa forma mais artesanal. Estes dispositivos, representados na Figura 5, serviram de base para o desenvolvimento dos dispositivos elétricos e manuais semelhantes a elétricos que se encontram atualmente no mercado, pois foram estes os primeiros dispositivos de autoalimentação a serem desenvolvidos.

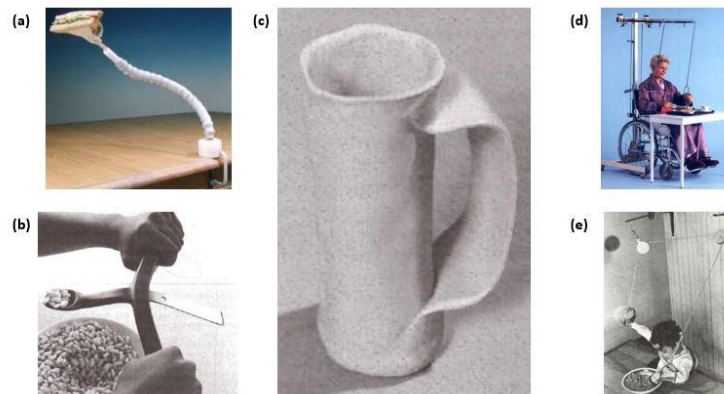


Figura 5: a) *Neater Eater Snacker* (Adaptado de [16]); b) *Two Handle-spoon* (Adaptado de [33]); c) *Finger Foods* (Adaptado de [34]); d) *Swedish HelpArm* (Adaptado de [36]); e) *Pulley Feeding System* (adaptado de [35]).

Nos pontos seguintes apresenta-se uma explicação de cada dispositivo:

- ***Neater Eater Snacker.*** consiste num braço longo que pode ser dobrado para a posição desejada, onde uma das suas extremidades se prende à mesa por grampos e a outra extremidade apresenta um suporte para sandes, pizzas e entre outros [16];
- ***Two Handle-spoon.*** consiste numa colher com duas alças protegidas com ventosas, sendo que também se pode acoplar um prato com plataforma [33];
- ***Finger Foods.*** consiste num cilindro de *polyform* fechado na base e aberto na parte superior, com uma alça anexada à mão mais capaz [34];
- ***Pulley Feeding System.*** consiste num sistema de duas polias presas a dois suportes de parede, onde a corda passa pelas polias e os apertos das mãos são atados nas extremidades [35];
- ***Swedish HelpArm.*** consiste num sling de contrapeso que suporta o braço, fornecendo assistência funcional e reeducação muscular [36].

2.4. Patentes

Neste ponto abordam-se as patentes encontradas relacionadas com dispositivos de auxílio à alimentação, sendo que três dos quatro são dispositivos elétricos, possuindo, por isso, um motor elétrico – US4522543: *Device for feeding invalids*, US4433950: *Self-feeding apparatus* e

US4162868: *Invalid feeding device* – e o último é um dispositivo manual – US3885681: *Feeding Device* [37-40]. Todos estes dispositivos possuem uma colher como tipo de talher e nenhum apresenta copo ou possibilidade de o ter.

No que concerne aos dispositivos elétricos, representados na Figura 6, os primeiros dois apresentam dois modos de operação, o automático e o semiautomático, e o último tem apenas um, o automático. Quanto à interface, o US4433950 e o US4162868 possuem dois interruptores, sendo que os do primeiro são de pressão e os do segundo são de queixo, e o US4522543 pode ter ou não uma alavanca, isto é, quando o dispositivo se encontra no modo automático, não tem alavanca, e quando o dispositivo se encontra no modo semiautomático, já tem alavanca, que pode ser movida pelas pernas, cabeça ou resto do corpo.

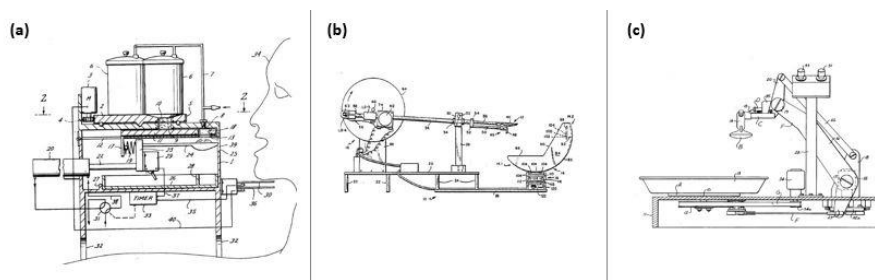


Figura 6: a) US4162868: *Invalid Feeding Device* (Adaptado de [39]); b) US4522543: *Device for Feeding Invalids* (Adaptado de [37]); c) US4433950: *Self-Feeding Apparatus* (Adaptado de [40]).

Relativamente à localização da comida no dispositivo, no US4522453 esta encontra-se dividida em três recipientes fechados – na forma de paralelepípedo - com uma abertura no seu fundo, já no US4162868 esta situa-se também dividida em três recipientes semiabertos – a parte debaixo é semelhante a um prato de sopa e este apresenta uma “parede” curva com profundidade num lado do prato – e, por último, o US4433950 possui um prato sem compartimentos. Quanto a rotatividade da base, os últimos dois dispositivos apresentam-na rotativa, sendo que o primeiro tem uma base deslizante, isto é, os recipientes deste dispositivo estão montados numa placa deslizante.

Em relação à fixação, o US4522543 apresenta uma fixação à mesa por borracha, o US4162868 possui umas pernas que ficam no chão e o US4433950 possui um suporte específico.

Finalmente, o dispositivo manual US3885681, representado na Figura 7, possui um prato sem compartimentos e uma base fixa, sendo que a fixação deste à mesa é tipo borracha. Relativamente à utilização deste dispositivo, o utilizador agarra o bocal, levantando o conjunto de suporte da colher do berço, e manipula a colher para que esta pegue comida. De seguida, cutuca o bocal para balançá-lo para fora do recesso e alinhar a alavanca com a extremidade adjacente da secção T, sendo que, por fim, procede à alimentação.

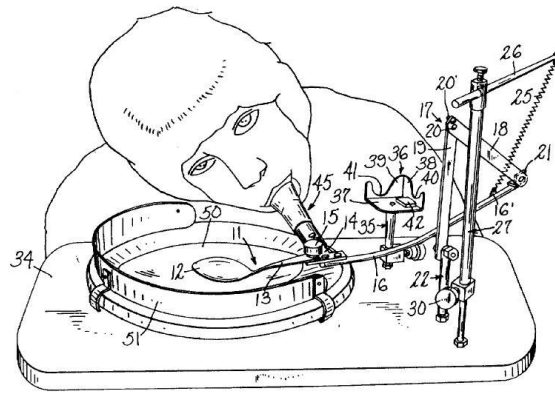


Figura 7: US3885681: *Feeding Device* (Adaptado de [38]).

Na Tabela 7 encontram-se todas as informações recolhidas sobre estas quatro patentes.

Tabela 7 - Informação recolhida das quatro patentes existentes

	US4522543 – Device for Feeding Invalids	US3885681 – Feeding Device	US4162868 – Invalid Feeding Device	US4433950 – Self-feeding Apparatus
Tipo de dispositivo	Elétrico	Manual	Elétrico	Elétrico
Modos de operação	2	1	1	2
Interface	Semiautomático: Alavanca Automático: Interruptores	-	2 interruptores (um de queixo e outro não especificado)	2 interruptores (pressão)
Tipo de recipiente	Recipiente específico	Prato (semelhante ao de sopa)	Recipiente específico	Prato
Nº de compartimentos ou tigelas	3	Sem compartimentos	3	Sem compartimentos
Rotatividade do recipiente	Placa deslizante (debaixo dos recipientes)	N	S	S
Tipo de fixação	Borracha	Borracha	Pernas	Suporte
Tipo de talher	Colher	Colher	Colher	Colher
Apresenta copo	N	N	N	N
Manuseamento do dispositivo	-	Utilizador agarra bocal, levantando o conjunto de suporte da colher do berço, e manipula a colher para que esta pegue comida. Quando a colher é carregada, o utilizador pouso o bocal no berço, soltando. De seguida, cutuca o bocal para balançá-lo para fora do recesso e para alinhar a alavanca e a extremidade adjacente da secção T. Por fim, procede à alimentação.	-	-

2.5. Comparação final

Após definidas todas as características dos dispositivos elétricos e manuais, consegue-se definir as mais importantes, que são o tipo de recipiente de comida e respetivo número ou compartimento, tipo de base, tipo de talher, tipo de interface e tipo de fixação. O primeiro requer a escolha entre prato e tigela, o segundo entre a rotatividade ou não da base onde se encontra o tipo de recipiente de comida e o terceiro a escolha entre colher, colher e garfo ou pauzinhos.

Atualmente, os dispositivos elétricos são os mais utilizados, fabricados e comercializados do que os manuais, sendo que estes últimos serviram de base ao desenvolvimento dos dispositivos de autoalimentação atuais. Os dispositivos elétricos são mais eficientes que os manuais e requerem também menos trabalho por parte do utilizador, pois apresentam apenas um modo de operação que é o automático.

Os dispositivos mais recentes são, por norma, os melhores, pois foram os últimos a serem desenvolvidos, com as últimas tecnologias, no entanto, são também os mais caros. Atualmente, o *Bestic Arm*, o *Obi Robot* e o *iEAT Robot* são os dispositivos mais recentes com o preço a rondar os 6000€ para cada dispositivo.

De seguida tem-se os dispositivos elétricos mais antigos, isto é, os primeiros a serem fabricados e comercializados e, por isso, a sua tecnologia não é tão boa como a dos dispositivos mais recentes, não sendo tão eficientes também. O *Handy 1*, o *Winsford Feeder*, o *KNRC Robot* e o *MySpoon* são os dispositivos mais antigos que ainda se encontram no mercado, sendo o preço a rondar os 2500€ para cada dispositivo com exceção do *Handy 1*. Este dispositivo apresenta um custo de aproximadamente 5000€, pois apresenta três bandejas removíveis, onde uma delas serve para a autoalimentação e as outras duas para estética, onde para mulheres é a maquilhagem e para homens é uma bandeja de barbear.

2.6. Dados Antropométricos

Aquando do desenvolvimento deste tipo de dispositivos para a utilização humana, é essencial estudar os dados antropométricos da população, sendo que a Tabela 8 apresenta os dados, em milímetros, referentes à população portuguesa adulta.

Tabela 8 - Dados antropométricos da população portuguesa (adaptado de [41])

<i>Dimensões Antropométricas</i>	<i>População masculina</i>			<i>População feminina</i>		
	5	50	95	5	50	95
1. Altura de pé	1595	1690	1815	1456	1565	1674
2. Altura dos olhos (rel. ao solo)	1463	1585	1707	1355	1465	1575
3. Altura do ombro (rel. ao solo)	1277	1395	1513	1181	1290	1399
4. Altura do cotovelo (rel. ao solo)	966	1050	1134	889	965	1041
5. Altura do punho (rel. ao solo)	664	735	806	619	685	751
6. Altura sentado (rel. ao assento)	818	920	1022	799	865	931
7. Distância olhos- assento	716	810	904	696	760	824
8. Distância ombro- assento	576	630	684	496	590	684
9. Distância cotovelo- assento	206	255	304	191	250	309
10. Espessura da coxa	134	180	226	124	165	206
11. Comprimento máximo da coxa	518	590	662	517	570	623
12. Distância coxa- popliteo	419	485	551	421	470	519
13. Altura do joelho (rel. ao solo)	459	525	591	434	480	526
14. Altura do popliteo (rel. ao solo)	347	400	453	327	365	403
15. Largura dos ombros (bideitoide)	426	475	524	379	445	511
16. Largura dos ombros (biacromial)	299	335	371	251	300	349
17. Largura das ancas	341	380	419	342	400	458
18. Espessura do peito (busto)	221	265	309	226	275	324
19. Espessura abdominal	204	260	316	201	260	319
20. Distância cotovelo-punho	320	350	380	292	320	348
21. Alcance funcional vertical de pé	1875	2030	2185	1719	1860	2001
22. Alcance funcional vertical sentado	1117	1250	1383	1071	1165	1259
23. Alcance funcional anterior	628	730	832	621	675	729
24. Altura lombar (rel. ao assento)	166	215	264	174	220	266

As medidas descritas na tabela anterior encontram-se numeradas tendo em conta todas as posições e alcances, tomando como referência as diretrizes das principais dimensões antropométricas representadas na Figura 8.

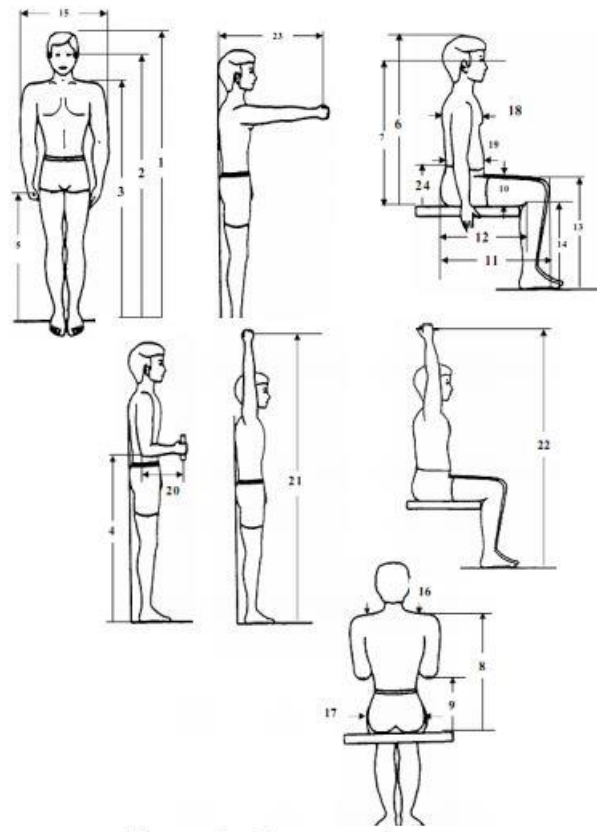


Figura 8: Principais dimensões antropométricas. (Adaptado de [41])

3. Projeto Conceptual

Aquando do desenvolvimento de um projeto é fundamental que este respeite as diferentes fases de construção, tais como, clarificação e estabelecimento de objetivos/requisitos, estabelecimento de funções, estabelecimento de especificações do dispositivo, criação de várias soluções alternativas, avaliação destas mesmas soluções e aperfeiçoamento dos detalhes. Na Figura 9, encontra-se representado um esquema que clarifica as diferentes fases do projeto anteriormente descritas [42-44].

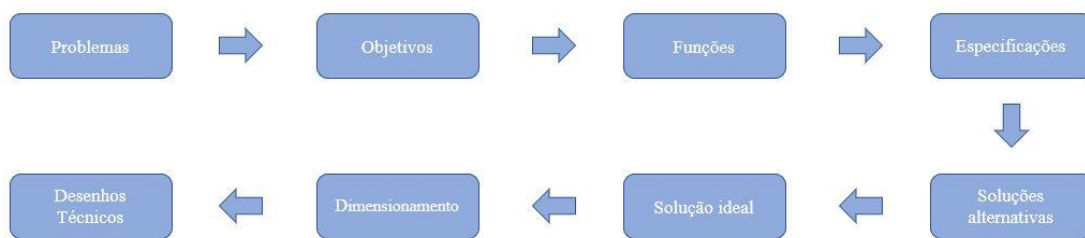


Figura 9: Fases de desenvolvimento do projeto.

3.1. Objetivos/Requisitos

De forma a evitar problemas no produto final com a má definição de objetivos/requisitos, é necessário fazer uma exposição clara dos objetivos e com um formato útil para o projetista. Um método que apresenta estas características é o da árvore de objetivos, visto que os permite realçar e mostrar, sob a forma de representação esquemática, como estes se relacionam entre si bem como estabelecer uma hierarquia entre eles, isto é, permite a divisão entre objetivos e subobjetivos. Esta hierarquia permite assim visualizar os meios necessários para a realização de um objetivo de nível hierárquico superior [42-44].

Posto isto, foram definidos os objetivos necessários a cumprir e os respetivos subobjetivos essenciais para a sua obtenção para o dispositivo em questão, encontrando-se representados sob a forma de diagrama na Figura 10. Conclui-se assim que, para que o projeto fosse de encontro ao desejado, os principais objetivos a considerar seriam a funcionalidade, a segurança, a praticidade, a produção, a atratividade e efeito terapêutico.

Analisando estes objetivos um a um, inferiu-se um conjunto de subobjetivos essenciais para o cumprimento dos objetivos principais:

- **Funcionalidade:** Este ponto engloba a ajustabilidade do braço robótico, relativa à posição inicial da colher e a autonomia do dispositivo, assim como o movimento da colher e a rotatividade do prato;

- **Segurança:** O dispositivo de auxílio à alimentação deverá ser estável e fiável, ter boa aderência à superfície (chão/mesa) e uma boa resistência mecânica;
- **Praticidade:** O dispositivo deverá ser fácil de limpar, de montar/desmontar, de se movimentar (fácil de arrumar e transportar) e também de manusear, com componentes simples;
- **Produção:** Este deverá ser de baixo custo e deverá ter processos de fabrico simples;
- **Atratividade:** Neste ponto engloba-se o conforto/ergonomia, baixos custos energéticos, baixo custo de aquisição e de manutenção, assim como a durabilidade do dispositivo, assegurada através dos materiais usados para o seu fabrico.
- **Efeito terapêutico:** Este ponto tem como objetivo permitir a maior independência do utilizador, aumento, conseqüentemente, a qualidade de vida deste.

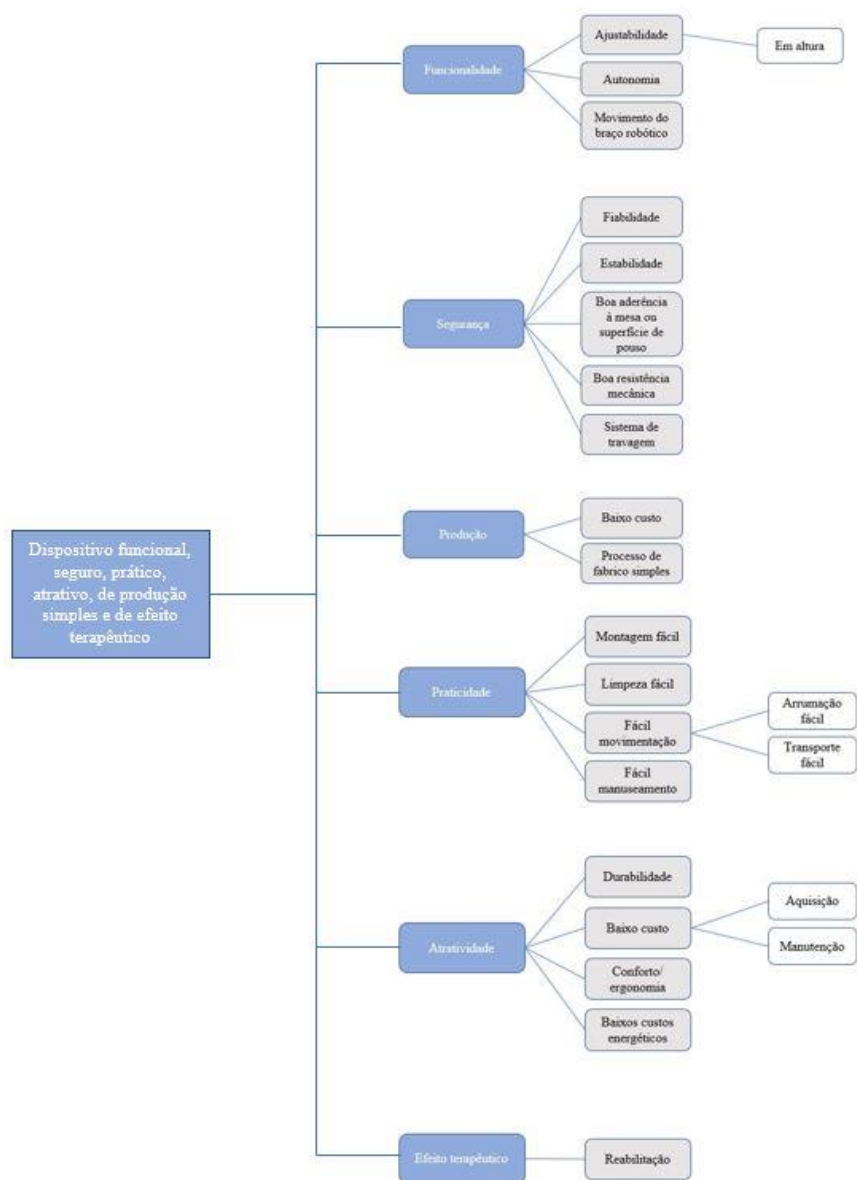


Figura 10: Árvore de objetivos.

3.2. Funções

Na realização de um projeto é fundamental estabelecer as funções que o dispositivo deve ser capaz de executar, de forma a clarificar, definir e orientar as tarefas de trabalho seguintes. Sabe-se que as funções essenciais serão aquelas que o dispositivo a ser concebido deverá satisfazer, independentemente dos componentes físicos que poderão ser usados, sendo assim o nível do problema definido pelo estabelecimento de um “limite” conceptual em torno do conjunto das funções pré-estabelecidas [42-44].

Em primeiro lugar, deve ser definida uma função global da forma mais ampla possível e interpretada como uma “caixa negra” que converge entradas e saídas e, posteriormente, essa função deverá ser dividida em subfunções, sendo estas de carácter mais específico, representadas por um diagrama de blocos. Estas subfunções estão ligadas e estabelecem uma relação entre si através de entradas e saídas, ou seja, ocorre um estreitamento posterior da função global. Para que a função global se concretize, todas as subfunções têm de ser executadas.

Assim, e uma vez que o projeto se foca na construção de um dispositivo que permita a autoalimentação de indivíduos com deficiência ao nível da manipulação e que, por conseguinte, não se conseguem alimentar sozinhos, a função global será definida como “alimentação assistida” sendo a sua entrada “indivíduo com deficiência ao nível da manipulação” e a saída “utilizador a autoalimentar-se”. Esta função encontra-se dividida em subfunções, que passam por, em primeiro lugar, seleccionar os parâmetros do dispositivo, assim como o movimento que este irá realizar, de seguida imobilizar a cadeira do utilizador e imobilizar o dispositivo e, no fim, realizar o programa de autoalimentação. A Figura 11 apresenta o diagrama de funções determinado para este projeto.

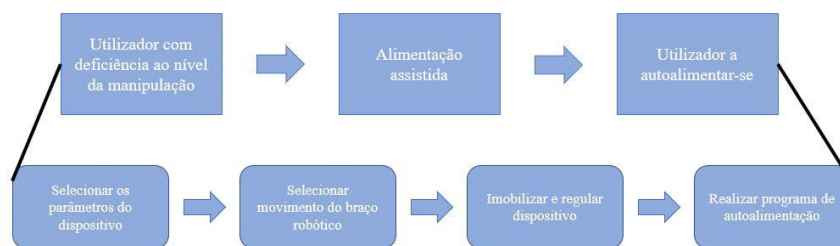


Figura 11: Diagrama de funções.

De forma a alcançar o estado final representado na Figura 11, que é o utilizador a autoalimentar-se, descrevem-se de seguida as principais subfunções:

- A. Seleccionar o tipo de recipiente de comida;

- B. Selecionar o tipo de talher;
- C. Selecionar se o recipiente de comida é rotativo;
- D. Selecionar mecanismo que replique o movimento do braço robótico;
- E. Selecionar a interface do dispositivo;
- F. Regular e imobilizar o dispositivo.

De modo a perceber a importância relativa das funções, procedeu-se à comparação de pares de funções. Nesta comparação de soluções atribuiu-se a classificação de 0, caso a função A manifestasse menor importância que a função B, a classificação de 1/2, caso as funções apresentassem a mesma importância, e a classificação de 1, caso a função A demonstrasse maior importância que a função B. Desta forma, apresenta-se a Tabela 9, que demonstra o resultado das comparações entre funções.

Tabela 9 - Importância relativa de funções

<i>Função</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>Total</i>
<i>A</i>	-	1	0	0	1	0	2
<i>B</i>	0	-	0	0	1/2	0	1/2
<i>C</i>	1	1	-	1/2	1	1/2	4
<i>D</i>	1	1	1/2	-	1	1/2	4
<i>E</i>	0	1/2	0	0	-	0	1/2
<i>F</i>	1	1	1/2	1/2	1	-	4

<i>Função</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E</i>
<i>Total</i>	4	4	4	2	1/2	1/2

0 – Menos importante; 1/2 Importância equivalente; 1 – Mais importante

De acordo com a Tabela 9, as funções relativas à seleção da rotatividade do prato (C), à seleção do movimento do braço robótico (D) e à regulação e imobilização do dispositivo (F) revelaram-se as funções mais importantes. Por outro lado, as funções relativas à seleção do tipo de talher (B) e à seleção da interface do dispositivo (E) mostraram ser as funções menos importantes. Desta forma, a Tabela 10 apresenta a ordenação das funções, no sentido da função de maior importância para a de menor importância.

Tabela 10 - Ordenação de funções por importância relativa

<i>Função</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E</i>
<i>Total</i>	4	4	4	2	1/2	1/2

3.3. Especificações

Muitas vezes os objetivos ou funções são considerados incorretamente como especificações de desempenho, pois estes destinam-se a fornecer indicações do que deverá ser alcançado ou realizado, mas não são estabelecidos dentro de limites precisos, sendo este fator proporcionado pelo método da especificação de desempenho. Este método é usado como um auxiliar de definição do problema, dando espaço de manobra ao projetista, para que este consiga alcançar uma solução satisfatória, definindo o desempenho necessário e não o produto desejado.

Assim sendo, um conjunto de requisitos engloba as especificações de desempenho do dispositivo, limitando assim a gama de soluções aceitáveis a ser consideradas. O estabelecimento de especificações deve ser um processo exato, ou seja, é inicialmente necessário definir limites ao “espaço de solução”, dentro do qual o projetista poderá trabalhar posteriormente e, com o decorrer do projeto, podem ser usadas na avaliação de soluções propostas [42-44].

Desta forma, as especificações estabelecidas para este dispositivo de auxílio à autoalimentação são:

1. O dispositivo não deverá ultrapassar a massa máxima de 20 kg, de modo a ser transportado facilmente;
2. Dispositivo deverá atingir a uma altura de 1 m, tendo em consideração os dados antropométricos da população;
3. Utilizador deverá ter mobilidade na cabeça para ir “buscar” a comida, não pode ter tremores e tem de ter pelo menos um dos membros superiores, para conseguir pressionar os interruptores;
4. Utilizador deverá posicionar-se frontalmente ao dispositivo;
5. Adaptabilidade ergonómica do dispositivo, com diferentes posições de ajuste em altura, de forma a poder ser utilizado por um vasto leque de pessoas;
6. Sistema de imobilização do dispositivo;
7. Borrachas de suporte antiderrapante na base do mecanismo de elevação, de modo a impedir o deslizamento do dispositivo aquando da alimentação;
8. Materiais utilizados resistentes, de modo a facilitarem a durabilidade do dispositivo;

3.4. Proposta de solução

Após definidas as funções do projeto, é necessário avaliar possíveis soluções para estas. Assim, no desenvolvimento de qualquer projeto é necessário considerar um conjunto de soluções alternativas para cada função e a sua respetiva análise de forma a perceber se estas não entram em conflito umas com as outras e se apresentam a melhor resposta ao problema em questão. Deste modo, nos próximos subcapítulos, encontram-se apresentadas as diferentes soluções, com a respetiva explicação e uma breve comparação entre as mesmas [42-44]. No anexo A, encontram-se os mapas morfológicos

3.4.1. Seleção do recipiente de comida

No desenvolvimento de soluções para este requisito apresentam-se dois grupos distintos, que têm em conta o formato do recipiente de comida, isto é, se o recipiente de comida é prato ou tigela. Deste modo, a primeira solução consiste numa tigela, como se pode verificar na Figura 12, sendo que com esta solução não é possível realizar a divisão de comida.

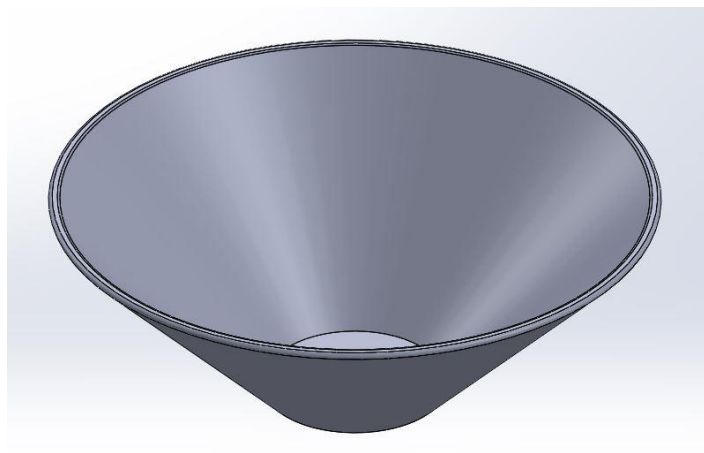


Figura 12: Solução 1.

A segunda solução ponderada corresponde ao prato com compartimentos, visto que esta divisão é importante, pois Portugal enquadra-se na dieta mediterrânea, quer isto dizer que a comida vem normalmente dividida, de acordo com a pirâmide alimentar. Desta forma, determinou-se a escolha de quatro compartimentos para o prato, como se pode verificar na Figura 13.

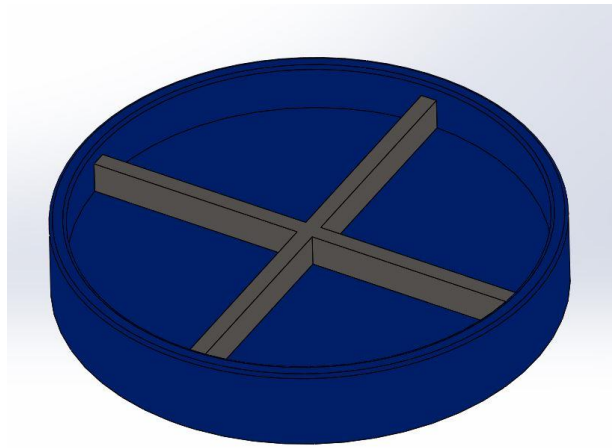


Figura 13: Solução 2.

Por fim, a terceira solução corresponde ao enquadramento de um copo com palhinha no prato, pois o utilizador poderá querer beber durante a alimentação. Assim, implementou-se o copo com palhinha num compartimento, como se pode observar na Figura 14.

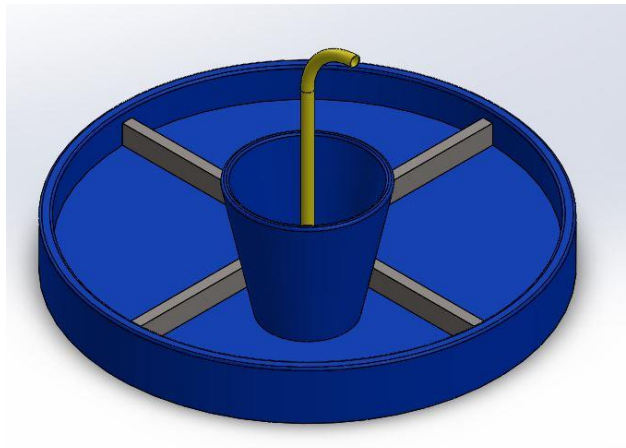


Figura 14: Solução 3.

Após o desenvolvimento das soluções, é necessário proceder à escolha da melhor solução, sendo que, para tornar a decisão mais clara, estabeleceram-se critérios de avaliação com diferentes valores de ponderação. Desta forma, a Tabela 11 mostra a avaliação obtida para as três soluções, permitindo assim selecionar a melhor solução, que é a terceira solução representada na Figura 14.

Tabela 11 - Análise de valor das soluções da escolha do recipiente

Critério	Peso Relativo	Solução 1		Solução 2		Solução 3	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Produção	0,2	5	1	4	0,8	4	0,8
Formato	0,4	2	0,8	4	1,6	5	2
Prático	0,4	2	0,4	4	1,6	5	2
TOTAL	1	2,2		4		4,8	

3.4.1.1. Encaixes

O copo e a palhinha deverão ser removíveis, para que se proceda à sua lavagem após a alimentação. Deste modo, foi preciso colocar dois encaixes, um entre o copo e a palhinha e outro entre o prato e o copo, sendo que no primeiro encaixe foi necessário adicionar uma peça extra que irá fazer a ligação entre a palhinha e o copo.

Os dois encaixes consistem em remontar parte de uma peça na outra através de cortes e bases extrudadas nas faces que vão ser opostas. A Figura 15 apresenta os cortes e bases extrudadas nos componentes, assim como a peça extra que faz a ligação do copo à palhinha.

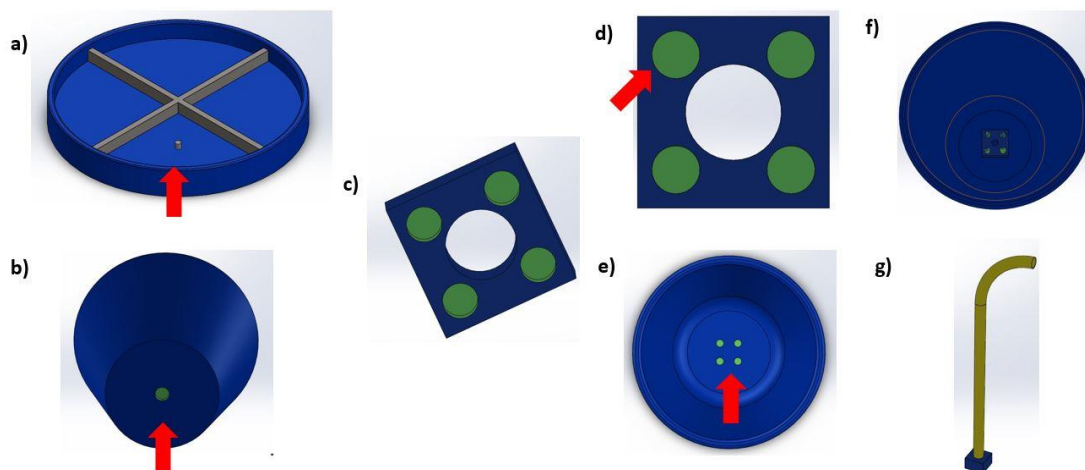


Figura 15: a) Base extrudada, representada pela seta vermelha, no prato; b) Corte extrudado, representado pela seta vermelha, no copo; c) Peça que faz a ligação entre o copo e palhinha; d) 4 cortes extrudados na peça extra; e) 4 bases extrudadas na base do copo; f) Encaixe entre a peça e o copo; g) Encaixe entre a peça e a palhinha.

3.4.2. Seleção do talher

Neste ponto é necessário proceder à escolha de dois tipos de solução, sendo que a primeira solução se refere à escolha do talher e a segunda solução corresponde à fixação do talher no dispositivo.

Em primeiro lugar, deverá ser selecionado o tipo de talher e, tendo em conta o estado de arte, apresentam-se três tipos: colher, pauzinhos e colher mais garfo. Neste caso, a colher, representada na Figura 16, foi a selecionada para o dispositivo, pois é um talher que consegue apanhar qualquer tipo de comida facilmente e também a sua forma côncava faz com que seja mais difícil o utilizador aleijar-se a comer.

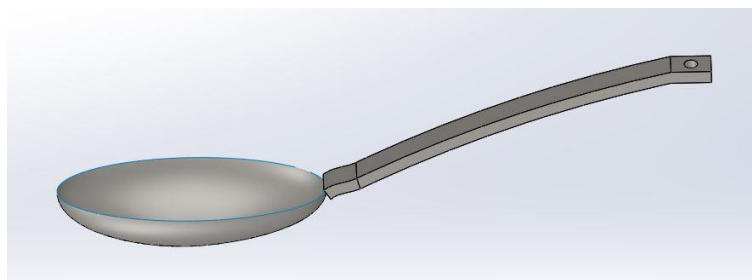


Figura 16: Solução final.

3.4.2.1. Tipo de fixação

Por fim, resta a escolha do tipo de fixação que a colher irá ter em relação ao dispositivo, sendo que esta deve ser facilmente removível para se proceder à sua lavagem aquando do uso do dispositivo. Deste modo, a primeira solução ponderada foi a fixação através de um pino de encaixe com trava de bloqueio retrátil, representado na Figura 17.

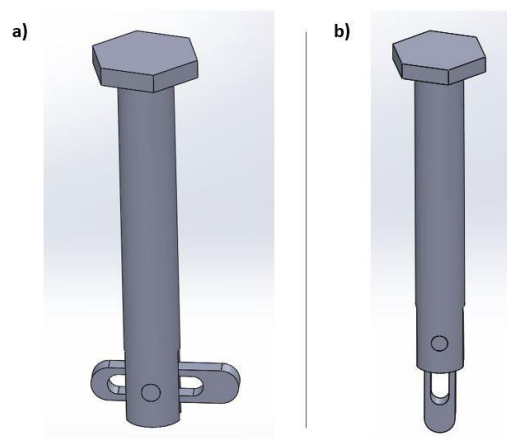


Figura 17: Solução 1 **a)** com trava de bloqueio retrátil ativa; **b)** com a trava de bloqueio solta.

A segunda solução ponderada foi a de um parafuso de orelhas, representado na Figura 18, onde o utilizador aperta e desaperta o parafuso de modo a colocar e retirar a colher do dispositivo.



Figura 18: Solução 2.

A Tabela 12 apresenta a análise das soluções descritas e, como se pode observar, a solução 2, parafuso de orelhas, foi o selecionado.

Tabela 12 - Análise de valor das soluções do encaixe entre a colher e o dispositivo

Critério	Peso Relativo	Solução 1		Solução 2	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Segurança	0,5	4	2	5	2,5
Prático	0,2	3	0,6	5	1
Desgaste	0,3	2	0,6	4	2,4
TOTAL	1		4,4		5,9

1 – Muito mau; 2 – mau; 3- mediano; 4 – bom; 5 – muito bom

3.4.3. Seleção da rotatividade do recipiente de comida

Neste subcapítulo, é necessário escolher entre a rotatividade ou não do prato, sendo que se decidiu pela rotatividade, pois, apesar de tornar a escolha do utilizador mais fácil, torna o movimento do talher mais simples, visto que este tem apenas de ir buscar comida a um ponto específico.

Para se proceder a esta rotatividade, é necessário escolher o tipo de motor, sendo que se pretende que o prato apresente um movimento desfasado, isto é, pretende-se que o prato gire 90º de cada vez de forma que o utilizador possa seleccionar o compartimento desejado, sendo que estes 90º correspondem ao número de compartimentos que o prato tem, que são quatro.

Os motores elétricos encontram-se divididos em três tipos através de classificações funcionais, tendo-se, portanto, os motores de engrenagem, os servomotores e os motores de passo. Para realizar este movimento, foi selecionado um motor de passo, pois estes rodam em malha aberta, isto é, podem desfasar sob programação adequada, que é o que se pretende aqui.

Os motores de passo são dispositivos de movimento intermitente e não fornecem rotação contínua como os outros motores, sendo também muito pequenos quando comparados com outros motores e apresentam baixa capacidade de torque motor, mas alto torque de retenção. A sua construção interna consiste num número de anéis magnéticos organizados em torno do rotor e do estator, sendo que é este número de anéis magnéticos que determina a resolução do motor, normalmente de 200 passos/revolução [61].

Deste modo, esta rotatividade pretendida vai ser executada por um motor de passo, representado na Figura 19, que é um motor que converte a energia elétrica, fornecida na forma de pulsos, em energia mecânica, na forma de incrementos no deslocamento angular. Estes motores podem ser ímãs permanentes sem escovas e de relutância variável ou motores híbridos.

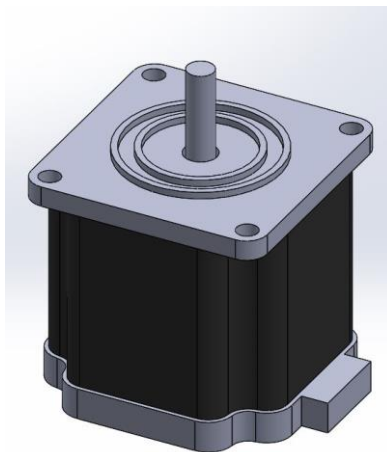


Figura 19: Motor de passo.

Os motores de passo apresentam mais vantagens do que desvantagens, sendo que algumas dessas vantagens são o baixo custo, a não necessidade de manutenção, a capacidade de realizar sequências de passos em ambos os sentidos de rotação, o reduzido tempo de paragem/arranque (resposta rápida), a velocidade constante e a vida útil longa. Por outro lado, a sua grande desvantagem corresponde às limitações de desempenho para algumas aplicações.

3.4.3.1. Encaixe

Tal como acontece com o copo e a palhinha, também o prato é removível e, por isso, foi necessário colocar um encaixe entre este e o motor, sendo que foi preciso adicionar uma peça

extra, que irá fazer a ligação entre estes. Os encaixes entre a peça e o motor e a peça e o prato consistem em remontar parte de uma peça noutra através de cortes e bases extrudadas nas faces que vão ser opostas, tal como os encaixes anteriores. A Figura 20 apresenta os cortes e bases extrudadas nos componentes.

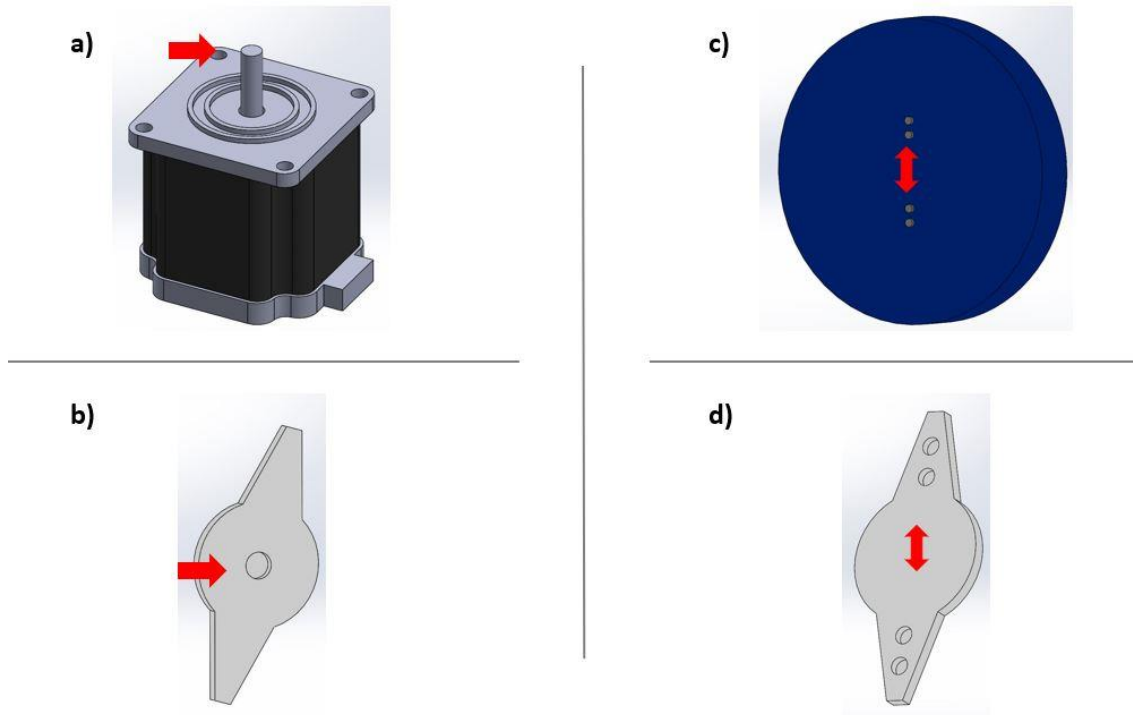


Figura 20: a) eixo do motor de passo; b) Corte extrudado na parte inferior da peça de ligação; c) Bases extrudadas na parte inferior do prato; d) Cortes extrudados na parte superior da peça de ligação.

3.4.4. Seleção do movimento do braço robótico

Neste ponto, procede-se à escolha do mecanismo que replicará a trajetória da colher aquando da alimentação normal. Esta trajetória natural da colher assemelha-se a um sino, como se pode verificar na Figura 21, e é realizada em dois planos de movimento principais, XY e XZ, sendo o primeiro o plano horizontal da mesa e o segundo o plano vertical correspondente ao plano sagital do tronco [49].

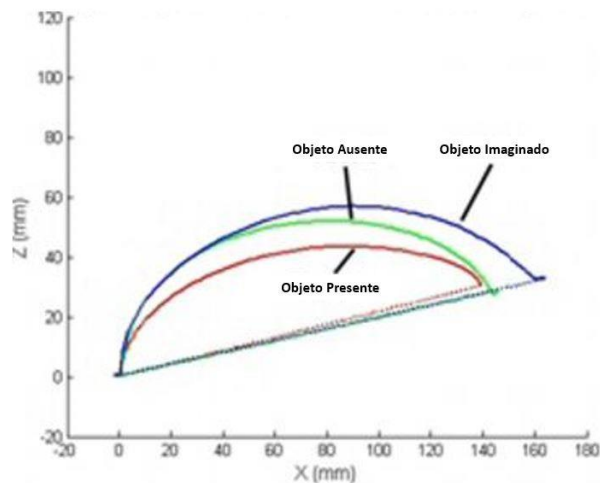


Figura 21: Trajetória natural da colher a vermelho (Adaptado de [49]).

Pretende-se que o movimento realizado pela colher seja contínuo e progressivo e, por isso, o mecanismo selecionado para replicar o movimento natural da colher deverá ter um motor. É também necessário que este mecanismo cumpra dois requisitos: deverá parar num ponto específico para que o utilizador se consiga alimentar e deverá apresentar uma trajetória cíclica, incorporando a boca do utilizador num dos seus pontos. Desta forma, o mecanismo ideal é um mecanismo de quatro barras, que se caracteriza por ser um quadrilátero articulado constituído por quatro corpos, sendo um fixo, um intermédio, um movido e um motor. Dentro dos mecanismos de quatro barras, pretende-se um mecanismo capaz de gerar uma trajetória retilínea, de modo a não virar a comida que se encontra na colher. Deste modo, o mecanismo gerador de trajetórias retilíneas é o ideal, pois descreve movimento alternativo ao longo de uma trajetória retilínea.

Assim, o primeiro mecanismo ponderado foi o mecanismo de *Watt*, que é um contra paralelogramo articulado, composto por duas manivelas, uma biela e uma barra fixa, sendo que é utilizado para transformar movimento retilíneo alternativo em movimento de rotação. Este realiza uma trajetória em forma de oito que até poderia satisfazer as condições impostas, tal como mostra a Figura 22, no entanto, este mecanismo apresenta dois problemas, que é a obstrução física na colocação da colher, devido à trajetória que este mecanismo tem, e o facto de a barra motora apresentar um movimento alternado, o que requer a mudança de rotação do motor.

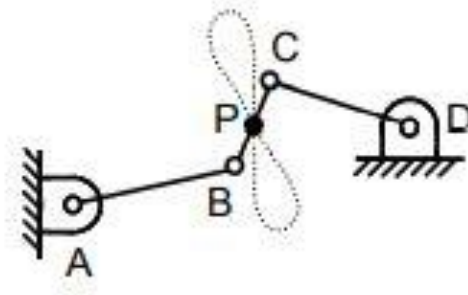


Figura 22: Solução 1 (Adaptado de [50]).

Seguidamente, foi ponderado o mecanismo de *Chebyshev*, que é um quadrilátero articulado duplamente oscilante e descreve uma trajetória em “meia de lua”, sendo, por isso, mais fácil para a colher se manter na horizontal, como se pode ver na Figura 23 [50]. Contudo, este mecanismo apresenta igualmente um problema na sua trajetória, isto é, é o ponto médio da barra central a descrever a trajetória, o que requer a mudança de rotação do motor, como no mecanismo anterior.

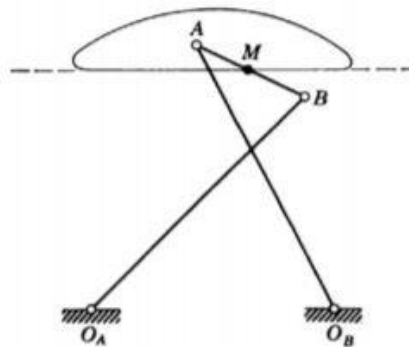


Figura 23: Solução 2 (Adaptado de [57]).

O terceiro mecanismo ponderado foi o mecanismo de *Hoeckens*, também designado como mecanismo *Lambda*, representado na Figura 24. Este mecanismo é outro gerador de trajetória retilínea, onde a primeira parte é uma linha reta e a segunda parte é uma curva de retorno rápido. Em comparação com o mecanismo anterior, este altera o ponto de acoplamento e, por isso, a manivela (barra a) consegue realizar um movimento de 360°, fazendo com que o mecanismo seja apenas acionado num sentido de rotação.

Este mecanismo apresenta três parâmetros independentes, sendo que para deslocar o ponto P, é necessário cumprir as seguintes relações entre barras [56]:

$$3d - a = 2b \tag{1}$$

$$1.55 \leq d \leq 3a \tag{2}$$

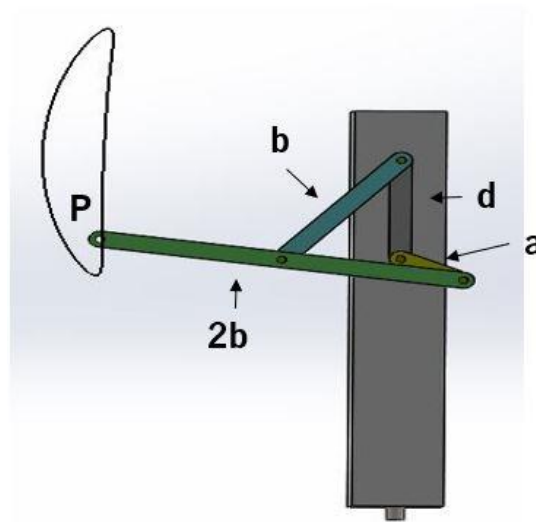


Figura 24: Solução 3.

O quarto mecanismo ponderado foi uma adaptação do mecanismo anterior, onde se subdividiu a barra representada a verde na Figura 24 em duas barras iguais, ficando o mecanismo com 3 barras iguais de comprimento b (balancim e as duas barras subdivididas), alterando-se também o ângulo entre estas duas barras de raso para reto, isto é, de 0° para 90° .

De referir que as relações entre barras são as mesmas que no mecanismo anterior e ambas as soluções apresentam uma trajetória semelhante, em forma de sino, que correspondem à trajetória natural da colher.

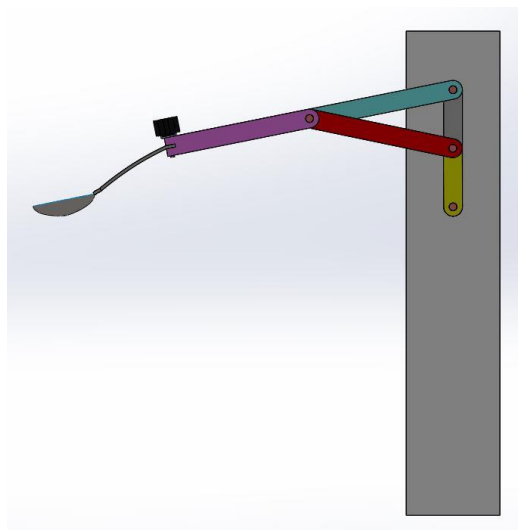


Figura 25: Solução 4.

A Tabela 13 apresenta a análise das soluções descritas e, como se pode observar, a solução 4, mecanismo adaptado de *Hoeckens*, foi a selecionada, pois trata-se de um mecanismo mais adequado para este sistema de autoalimentação.

Tabela 13 - Análise de valor das soluções do movimento do braço robótico

Critério	Peso Relativo	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Segurança	0,2	5	1	5	1	5	1	5	1
Produção	0,1	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Movimento de rotação	0,3	1	0,3	2	0,6	5	1,5	5	1,5
Trajatória	0,4	1	0,4	2	0,8	4	1,6	5	2
TOTAL	1	2,1		2,8		4,5		4,9	

1 – Muito mau; 2 – mau; 3- mediano; 4 – bom; 5 – muito bom

3.4.5. Seleção da interface do dispositivo

A interface do dispositivo corresponde aos comandos para o movimento da colher e a escolha do alimento, sendo que são vários os tipos de interface utilizados em dispositivos de autoalimentação, como ponteiros laser, interruptores, joysticks, interfaces de bio sinal e computadores *touch screen*. Os interruptores foram a interface escolhida, porque, para além de serem os mais simples de se utilizar, são os mais económicos.

No entanto, existem vários tipos de interruptores, como os de queixo, os *sip N puff*, os *pal pad*, os de pé, entre outros, como se pode observar na Figura 26.

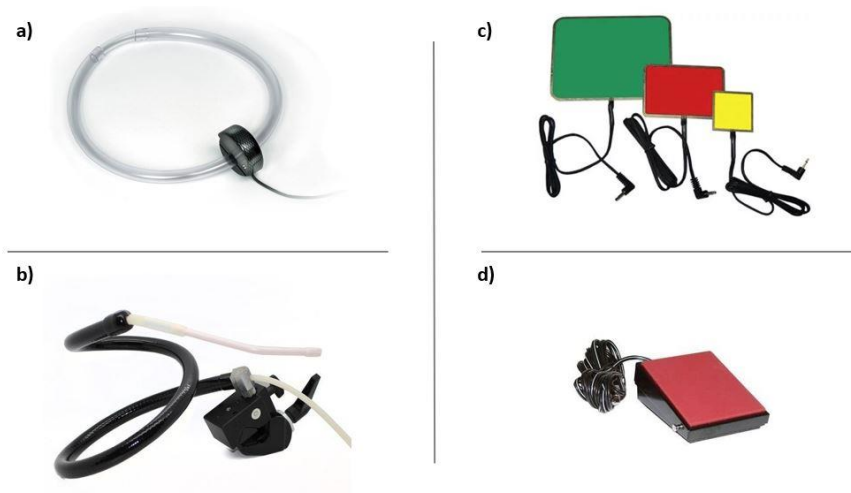


Figura 26: a) Solução 1: interruptor de queixo (Adaptado de [62]); b) Solução 2: interruptor *Sip N Puff* (Adaptado de [63]); c) Solução 3: interruptor *pal pad* (Adaptado de [53]); d) Solução 4: interruptor de pé (Adaptado de [64]).

A Tabela 14 apresenta a análise das soluções descritas e, como se pode observar, a solução 3, interruptor *pal pad*, foi a selecionada.

Tabela 14 - Análise de valor das soluções de interface

Critério	Peso Relativo	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Segurança	0,3	5	1,5	5	1,5	5	1,5	5	1,5
Custo	0,2	2	0,4	2	0,4	3	0,6	3	0,6
Prático	0,2	2	0,4	1	0,2	5	1	2	0,4
Confortável	0,1	1	0,1	2	0,2	5	0,5	2	0,2
Durabilidade	0,1	2	0,2	2	0,2	5	0,5	4	0,4
TOTAL	1	2,6		2,5		4,1		3,1	

1 – Muito mau; 2 – mau; 3- mediano; 4 – bom; 5 – muito bom

3.4.6. Imobilização e regulação do dispositivo

Este ponto corresponde à regularização do dispositivo em relação ao utilizador, esta acontece porque cada utilizador tem uma altura diferente, pelo que o dispositivo tem de apresentar um mecanismo que regularize esta altura, sendo que os ideias são os mecanismos de elevação. Existem quatro tipos destes mecanismos: a elevação da barra, a elevação reversa da barra, a elevação linear e a elevação em tesoura [54].

Relativamente ao primeiro mecanismo, elevação da barra, este consiste num mecanismo de quatro ou oito barras que usam movimento rotacional para girar um braço de forma a alcançar lugares altos. Já o segundo mecanismo, elevação reversa da barra, corresponde a uma variação do mecanismo anterior, utilizando dois mecanismos elevadores de barras em sentidos opostos, permitindo que este mecanismo levante objetos num movimento quase vertical e que apresente um alcance maior que o anterior. Em terceiro, tem-se o mecanismo de elevação linear, que utiliza o grau linear de movimento para se movimentar na vertical. Este mecanismo apresenta dois tipos de engrenagens, as de cremalheira, acionadas por um motor e as de pinhão, sendo ambas usadas para mover uma esteira linear na vertical.

Por último, tem-se o mecanismo em tesoura, normalmente fabricado em aço inoxidável, que apresenta, na sua forma mais simples, duas diagonais ligadas entre si – cada diagonal são duas

barras ligadas - e um atuador linear, que é um elemento que fornece a força para a elevação do mecanismo. Este atuador linear pode ser pneumático, hidráulico, por parafusos de transmissão ou por cremalheira e pinhão.

Todas as soluções ponderadas são mecanismos de elevação em tesoura, pois este mecanismo é mais robusto e estável do que os restantes, para além de ser ideal para deslocações verticais que exigem muita precisão.

Assim, na primeira solução ponderada, apresentada na Figura 27, seleccionou-se o atuador hidráulico. Ao utilizar um atuador hidráulico, o mecanismo será simples, com apenas quatro barras.

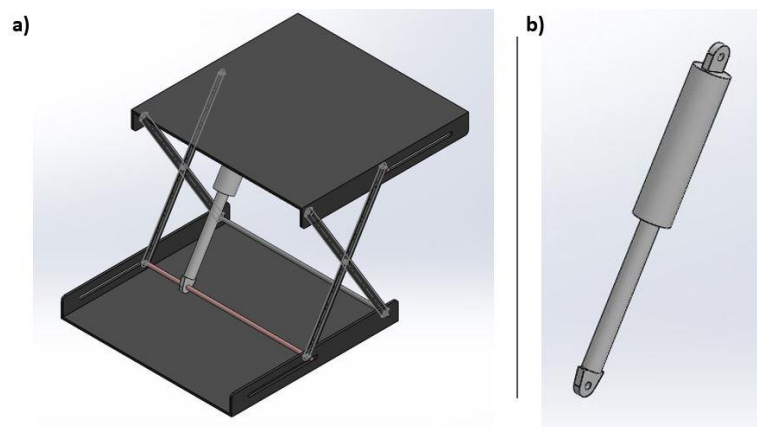


Figura 27: Primeira solução: **a)** mecanismo de elevação em tesoura; **b)** atuador hidráulico.

A segunda solução ponderada, apresentada na Figura 28, envolve a utilização de um parafuso de transmissão que, para além de movimentar o mecanismo de elevação em tesoura através de movimento linear, também é possível controlar e regular de forma simples esta elevação em altura.

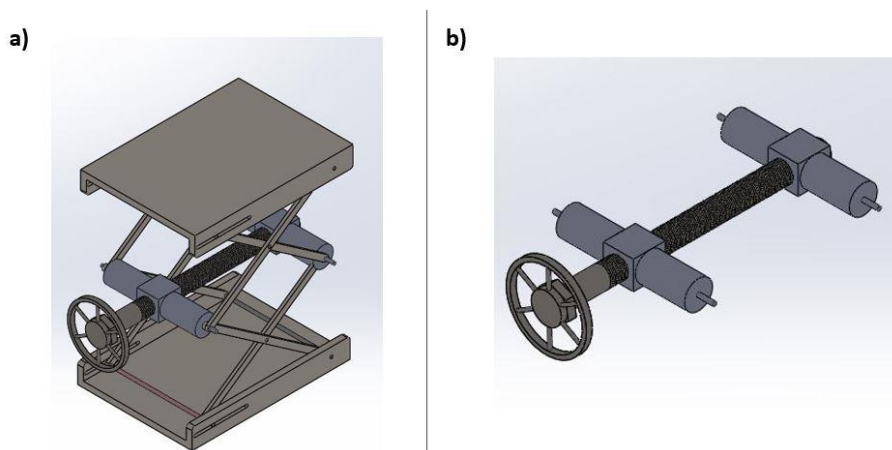


Figura 28: Segunda solução: **a)** mecanismo de elevação em tesoura; **b)** parafuso de transmissão.

A Tabela 15 apresenta a análise das soluções descritas e, como se pode observar, a solução 2, mecanismo com parafuso de transmissão, foi a seleccionada.

Tabela 15 - Análise do valor das soluções do mecanismo de elevação

Critério	Peso Relativo	Solução 1		Solução 2	
		Pontuação	Valor	Pontuação	Valor
Segurança	0,3	5	1,5	5	1,5
Prático no ajuste em altura	0,4	4	1,6	5	2
Desgaste	0,2	3	0,6	3	0,6
Produção	0,1	4	0,4	4	0,4
TOTAL	1		4,1		4,5

1 – Muito mau; 2 – mau; 3- mediano; 4 – bom; 5 – muito bom

3.5. Materiais utilizados

Neste capítulo abordam-se os materiais utilizados nos componentes e as razões para o seu uso.

Em primeiro lugar, tem-se o prato, o copo, a palhinha e a colher, que se pretende que não se deteriorem facilmente, pois estes componentes devem ser lavados a cada uso do dispositivo. De referir também que este material não deverá magoar o utilizador, sendo bastante confortável. Desta forma, existem vários materiais para estes componentes, desde cerâmicas a plásticos, mas o melhor é o silicone, pois apresenta elevada resistência, leveza, não magoa o utilizador, principalmente no que concerne à colher e à palhinha, e é mais económico e higiénico do que os restantes [47].

Seguidamente, tem-se as duas peças extra que fazem as ligações entre o copo e a palhinha e entre o motor de passo e o prato, sendo que o material ideal para estas é o plástico, visto ser um material económico e resistente. O plástico selecionado foi polipropileno (PP), pois é um plástico inquebrável e rígido, bastante utilizado neste tipo de componentes [66].

Posteriormente, tem-se o material utilizado para os dois mecanismos selecionados, o mecanismo adaptado de *Hoekens* e o mecanismo de elevação em tesoura, que é o AISI 316L aço inoxidável, com exceção do parafuso de transmissão e peça de encaixe, que contém a porca deste, cujo material é o AISI 303 aço. O AISI 316L é uma das formas mais comuns de aço

inoxidável, sendo um material fácil de desinfetar, fácil de limpar e que aguenta lavagens repetidas, com baixo custo de manutenção e com uma vida útil longa [48].

Por último, tem-se a base do dispositivo que pode ser de qualquer material, sendo que se optou pela madeira. Esta escolha prende-se com a minha naturalidade, Paços de Ferreira, sendo que se pretende celebrar esta terra. Assim, optou-se pelo carvalho, que é uma madeira que se limpa facilmente, visto que esta parte do dispositivo está mais sujeita a ficar com os restos de comida e bebida.

3.6. Dispositivo desenvolvido

Os modelos concebidos no subcapítulo anterior permitiram gerar diferentes modelos, através de variadas combinações. Deste modo, a Figura 29 apresenta o dispositivo final desenvolvido.

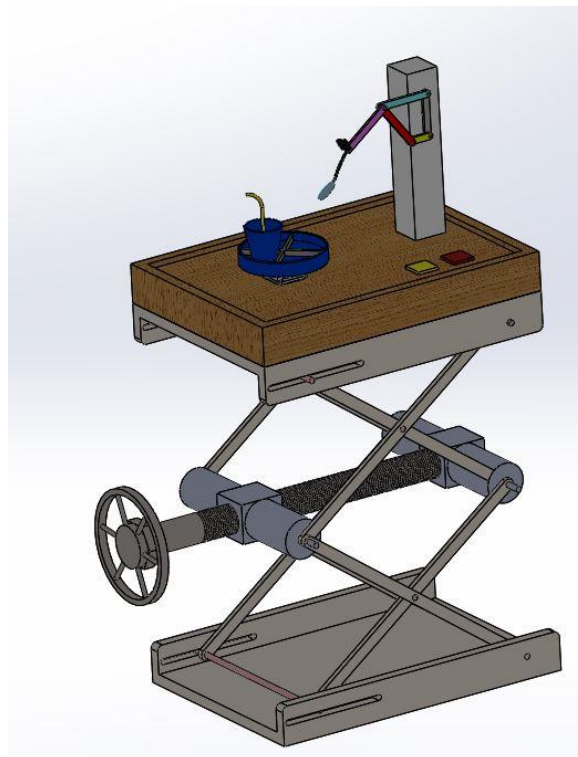


Figura 29: Dispositivo final.

4. Projeto de Detalhe

Este capítulo trata da análise cinemática que permite avaliar e validar o dispositivo proposto, através da análise do mecanismo proposto para o movimento da colher, do mecanismo proposto para a elevação do dispositivo e do mecanismo para a rotação do prato através do *software SolidWorks Motion*. Este é um *software* que permite realizar a análise cinemática de sistemas mecânicos e determinar o desempenho geral do sistema de alimentação. Para além da análise cinemática, procede-se à validação de alguns componentes sujeitos a situações críticas através da capacidade de simulação do *software SolidWorks*.

4.1. Análise cinemática da rotação do prato

Neste ponto, é necessário definir o tipo de motor de passo que se irá adotar. O prato apresenta quatro compartimentos, onde um deles contém apenas o copo com palhinha para o utilizador poder beber. Deste modo, tal como foi referido no subcapítulo 3.4.3., a rotação do prato será faseada em 90° e com parâmetro consegue-se determinar o número de passos que o motor irá apresentar através da equação (3), que vai ser de 4 passos.

$$\frac{\alpha}{\beta} = N = \frac{360^\circ}{90^\circ} \quad (3)$$

4.2. Análise cinemática do mecanismo de elevação em tesoura

O sistema de transmissão deste mecanismo é composto pelo parafuso de transmissão, que apresenta a função de elevar o mecanismo, ao transformar movimento rotativo em movimento retilíneo. Este componente apresenta uma normalização DIN, ou seja, a rosca é trapezoidal e apresenta um ângulo de filete de 30° [45,46], [51].

Em primeiro lugar, procede-se à escolha do parafuso para, de seguida, se realizarem os cálculos relativos à força necessária para fazer subir e descer o mecanismo. Assim, o parafuso selecionado foi o TR50 x 8, sendo que através das equações (4) e (5), sabe-se que o diâmetro médio é de 46 mm e o passo real é de 4 mm.

$$dm = dn - \frac{P}{2} \quad (4)$$

$$l = \frac{P}{2} \quad (5)$$

Seguidamente, verificou-se que o coeficiente de atrito entre a porca e o parafuso, ambos de

aço inoxidável, é de 0,20 e cumpre os seguintes requisitos:

$$0,15 \leq \mu \leq 0,25 \quad (6)$$

$$\pi dm \mu > 1 \quad (7)$$

A equação (7) refere-se à condição de auto imobilização, isto é, quando esta condição se verifica, a carga não provoca o desaperto do parafuso sem ser necessário aplicar força exterior.

Tendo em consideração a especificação 2 do ponto 3.3., a massa máxima do dispositivo deverá ser de 20 kg, pelo que se exagerou neste ponto ao atribuir uma força atuante de 245 N, que corresponde a aproximadamente a 25 kg. Deste modo, já se encontram reunidas todas as variáveis necessárias para efetuar o cálculo da força de aperto e desaperto, isto é, da força necessária para que o mecanismo suba ou desça, respetivamente.

$$P_R = \frac{F(\sin \lambda + \mu \cos \lambda)}{\cos \lambda - \mu \sin \lambda} \quad (8)$$

$$P_L = \frac{F(\mu \cos \lambda - \sin \lambda)}{\cos \lambda + \mu \sin \lambda} \quad (9)$$

Sabendo a equação (10), conseguem-se retirar duas equações mais simples do que as (8) e (9):

$$\tan \lambda = \frac{l}{\pi dm} \quad (10)$$

$$P_R = \frac{F \left(\frac{l}{\pi dm} + \mu \right)}{l - \frac{\mu l}{\pi dm}} \quad (11)$$

$$P_L = \frac{F \left(\mu - \frac{l}{\pi dm} \right)}{l + \frac{\mu l}{\pi dm}} \quad (12)$$

Assim, verificou-se que a força para fazer subir o mecanismo é de 14 N e força para o descer é de 10,5 N.

Para finalizar, e através do *software solidworks*, é ainda possível determinar a altura máxima e mínima que o dispositivo pode atingir. A altura mínima é de aproximadamente 657 mm e a máxima é de aproximadamente 1211 mm, tal como se verifica na Figura 30.

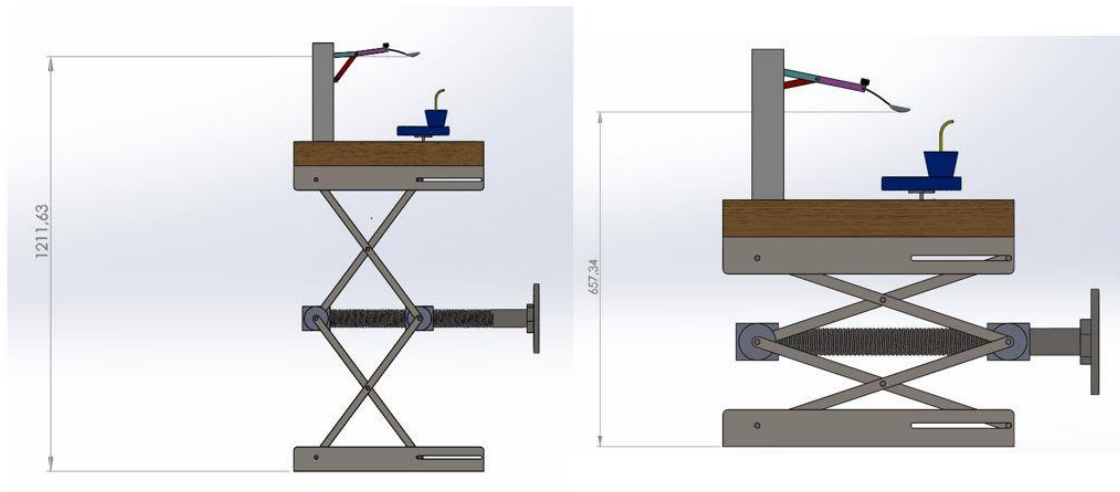


Figura 30: Altura máxima e mínima que o dispositivo consegue atingir.

4.3. Análise cinemática do movimento do braço robótico

Para se proceder ao dimensionamento do braço robótico, é necessário identificar primeiro a barra motora do mecanismo, que é a manivela, sendo que se encontra representada a amarelo na Figura 31.

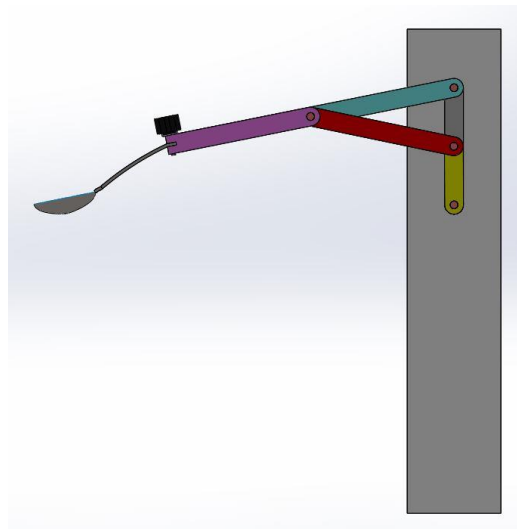


Figura 31: Braço robótico com o mecanismo adaptado de *Hoeckens* em *solidworks*.

De seguida, foram seleccionadas duas posições distintas para o mecanismo, onde a primeira representa a posição na qual o utilizador se desloca até ao dispositivo para comer, onde o ângulo entre a manivela (barra amarela) e a barra fixa (barra cinzenta) é de 90° , e a segunda corresponde à posição na qual a colher se encontra no prato a apanhar a comida, onde o ângulo entre a manivela e a barra fixa é de 180° . Assim, na Figura 32 encontram-se as análises geométricas para estas duas posições, assumindo que o referencial cartesiano se encontra fixo no ponto O e com as direções positivas de OC e OP.

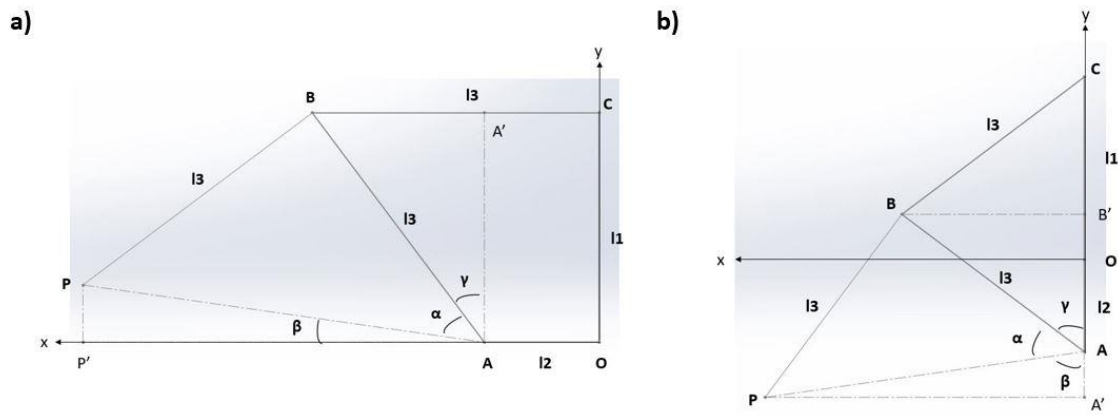


Figura 32: a) primeira posição escolhida e b) segunda posição escolhida.

Tendo em conta as equações (1) e (2) apresentadas no subcapítulo 3.4.4., as medidas das barras do mecanismo encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Medidas das barras do mecanismo adaptado de *Hoeckens*

Barra	Geometria	Incógnita	Medida (mm)
Barra 1 (cinzento)	OC	l1 e r1	75
Barra 2 (amarelo)	AO	l2 e r2	37,5
Barra 3 (Azul)	BC	l3 e r4	93,75
Barra 4 (vermelho)	BA	l3 e r3	93,75
Barra 5 (roxo)	BP	l3	93,75

4.3.1. Análise da posição

Quanto à primeira posição selecionada, representada na Figura 32 a), o mecanismo apresenta ângulos retos nos pontos O, C, B e A' dos triângulos ΔAOC , ΔBCO , ΔPBA e $\Delta BA'A$ respetivamente.

De modo a calcular a posição cartesiana do ponto P, que é onde se encontra montada a colher, tem-se a equação (13) para a coordenada do eixo dos x e a equação (14) para a coordenada do eixo dos y.

$$x_P = AO + AP' \quad (13)$$

$$y_P = PP' \quad (14)$$

Aplicando-se a lei dos senos, consegue-se chegar às medidas das barras AP' e PP' e, conseqüentemente, calcular a posição cartesiana do ponto P, como se pode verificar através das seguintes equações:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{BP}{BA} = \tan^{-1} \frac{l_3}{l_3} = 45^\circ \quad (15)$$

$$AP = \frac{BA}{\cos \alpha} = \frac{l3}{\cos \alpha} = 132,58 \text{ mm} \quad (16)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{AA'}{BA} = \cos^{-1} \frac{l1}{l3} = 36,87^\circ \quad (17)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha - \gamma = 8,13^\circ \quad (18)$$

$$AP' = AP \times \cos \beta = 131,24 \text{ mm} \quad (19)$$

$$PP' = AP \times \sin \beta = 18,75 \text{ mm} \quad (20)$$

Assim, as coordenadas do ponto P para o eixo dos x é de 168,74 mm e para o eixo dos y é de 18,75 mm.

Relativamente à segunda posição escolhida, representada na Figura 32 b), o mecanismo apresenta apenas um ângulo reto no ponto B do triângulo ΔPBA .

De forma a calcular a posição cartesiana do ponto P, tem-se a equação (21) para o eixo dos x e a equação (22) para o eixo do y.

$$x_P = PA' \quad (21)$$

$$y_P = -(AO + AA') \quad (22)$$

Novamente, aplicando-se a lei dos senos, consegue-se chegar às medidas das barras PA' e AA' e, conseqüentemente, calcular a posição cartesiana do ponto P, como se pode verificar nas equações seguintes:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{BP}{BA} = \tan^{-1} \frac{l3}{l3} = 45^\circ \quad (23)$$

$$AP = \frac{BA}{\cos \alpha} = \frac{l3}{\cos \alpha} = 132,58 \text{ mm} \quad (24)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{B'A}{BA} = \cos^{-1} \frac{\frac{l1 + l2}{2}}{l3} = 53,13^\circ \quad (25)$$

$$\beta = 180^\circ - \gamma - \alpha = 81,87^\circ \quad (26)$$

$$A'P = AP \times \sin \beta = 131,25 \text{ mm} \quad (27)$$

$$AA' = AP \times \cos \beta = 18,75 \text{ mm} \quad (28)$$

Assim, as coordenadas do ponto P para o eixo dos x é de 131,25 mm e para o eixo dos y é de -56,25 mm.

4.3.2. Análise da velocidade

Para se proceder ao cálculo da velocidade no ponto P para as duas posições selecionadas, foi necessário definir a velocidade angular que a manivela apresenta, sendo que se definiu que o w_2 é de 30 rad/s, onde o intervalo de tempo é de 12 s.

De seguida, optou-se por dividir a análise de velocidade em duas partes, onde na primeira se retira a velocidade do ponto A num circuito cinemático fechado para as duas posições através do método de notação complexa [67], e na segunda parte se retira a velocidade do ponto P através da velocidade calculada para o ponto A. A Figura 33 ilustra a cadeia cinemática fechada.

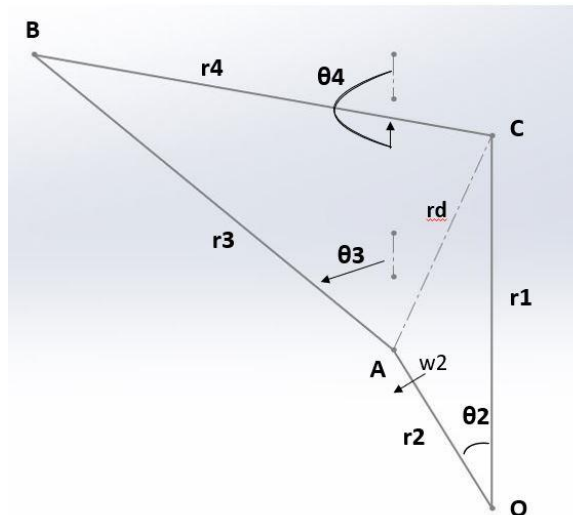


Figura 33: Cadeia cinemática fechada.

Desta forma, a cadeia cinemática é dada pela equação (29):

$$r_1 i e^{i\theta_1} + r_2 i e^{i\theta_2} + r_3 i e^{i\theta_3} + r_4 i e^{i\theta_4} = 0 \quad (29)$$

Como os valores de r_1 , r_2 , r_3 , r_4 e θ_1 não variam com o tempo, consegue-se derivar a equação anterior em ordem ao tempo, ficando:

$$r_2 i \frac{d\theta_2}{dt} e^{i\theta_2} + r_3 i \frac{d\theta_3}{dt} e^{i\theta_3} + r_4 i \frac{d\theta_4}{dt} e^{i\theta_4} = 0 \quad (30)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = w_2 \quad (31)$$

$$\frac{d\theta_3}{dt} = w_3 \quad (32)$$

$$\frac{d\theta_4}{dt} = w_4 \quad (33)$$

Utilizando a fórmula de Euler em conjunto com as equações (31), (32) e (33), a equação anterior pode ser rescrita como:

$$r_2 i w_2 (\cos \theta_2 + i \sin \theta_2) + r_3 i w_3 (\cos \theta_3 + i \sin \theta_3) + r_4 i w_4 (\cos \theta_4 + i \sin \theta_4) = 0 \quad (34)$$

Por fim, retirando as partes imaginária e real, resulta um sistema de duas equações com duas incógnitas, w_3 e w_4 :

$$w_3 = \frac{r_2 w_2 \sin(\theta_2 - \theta_4)}{r_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (35)$$

$$w_4 = \frac{r_2 w_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (36)$$

Os ângulos θ_3 e θ_4 podem ser obtidos através da análise de posição do mecanismo, donde resulta:

$$\theta_3 = \gamma + \theta_d \mp \cos^{-1} \frac{r_d^2 + r_3^2 - r_4^2}{2 \times r_d r_3} \quad (37)$$

$$\theta_4 = \beta + \theta_d \pm \cos^{-1} \frac{r_d^2 + r_4^2 - r_3^2}{2 \times r_d r_4} \quad (38)$$

As duas novas incógnitas, θ_d e r_d , podem ser calculadas através das seguintes equações:

$$\theta_d = \sin^{-1} \left(\frac{r_2}{r_d} \times \sin \theta_2 \right) \quad (39)$$

$$r_d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2 \quad (40)$$

Finalizando a primeira parte do cálculo das velocidades angulares, passa-se para o cálculo da velocidade do ponto A e do ponto P:

$$V_A = w_2 \times \overline{AO} \quad (41)$$

$$V_P = V_A + w_3 \times \overline{AP} \quad (42)$$

Desta forma, calculam-se as incógnitas θ_d , r_d , θ_3 , θ_4 e r_d^2 para a primeira posição selecionada, onde $\theta_2 = 90^\circ$, assim como as velocidades angulares das barras BA e BC e as velocidades do ponto A e P:

- $r_d^2 = 7031,25 \text{ mm}^2$
- $r_d = 83,85 \text{ mm}$
- $\theta_d = 26,57^\circ$

- $\theta_3 = 0^\circ - 26,57^\circ + 63,43^\circ = 36,86^\circ$
- $\theta_4 = 180^\circ + 26,57^\circ + 63,43^\circ = 270^\circ$
- $w_3 = 0 \text{ rad/s}$
- $w_4 = -12 \text{ rad/s}$
- $V_A = 1125 \text{ mm/s}$
- $V_P = 1125 \text{ mm/s}$

Por último, calculam-se as mesmas incógnitas para a segunda posição, onde $\theta_2 = 180^\circ$, assim como as velocidades angulares e velocidades dos pontos A e P:

- $r_d^2 = 12656,25 \text{ mm}^2$
- $r_d = 112,5 \text{ mm}$
- $\theta_d = 0^\circ$
- $\theta_3 = 0^\circ + 0^\circ + 53,13^\circ = 53,13^\circ$
- $\theta_4 = 180^\circ + 0^\circ - 53,13^\circ = 126,87^\circ$
- $w_3 = 10 \text{ rad/s}$
- $w_4 = 10 \text{ rad/s}$
- $V_A = 1125 \text{ mm/s}$
- $V_P = 2450,8 \text{ mm/s}$

Assim, concluiu-se que o ponto P apresenta uma velocidade de 1125 mm/s quando o mecanismo se encontra na primeira posição selecionada, isto é, a barra fixa e a manivela possuem um ângulo reto entre si, e apresenta uma velocidade superior, de 2450,8 mm/s, quando o mecanismo se encontra na segunda posição selecionada, ou seja, quando a barra fixa e a manivela são paralelas.

4.3.3. Análise da aceleração

Para realizar a análise da aceleração no ponto P, para as duas posições selecionadas, foi necessário também dividir esta análise em duas partes, onde na primeira se retira a aceleração do ponto A num circuito cinemático fechado, representado na Figura 33, através da notação complexa polar e, na segunda parte, se retira a aceleração do ponto P através da aceleração calculada do ponto A [68]. Analogamente ao ponto anterior, a velocidade angular da manivela é de 30 rad/s.

Desta forma, a cadeia cinemática é dada pela equação (43):

$$r_1 e^{i\theta_1} + r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} + r_4 e^{i\theta_4} = 0 \quad (43)$$

Para se obter a aceleração das barras, é necessário derivar a equação (43) duas vezes em ordem ao tempo, sendo que os valores de r_1 , r_2 , r_3 , r_4 e θ_1 não variam com o tempo. Assim, a

primeira derivada da equação anterior é:

$$r_2 i w_2 e^{i\theta_2} + r_3 i w_3 e^{i\theta_3} + r_4 i w_4 e^{i\theta_4} = 0 \quad (44)$$

Utilizando a fórmula de Euler na última equação, separando as partes real e imaginária e resolvendo o sistema resultante em ordem às duas incógnitas w_3 e w_4 , obtém-se as equações (35) e (36). Por fim, deriva-se a segunda vez a equação (43) em ordem ao tempo e obtém-se a equação seguinte:

$$r_2 i^2 w_2^2 e^{i\theta_2} + r_3 i \alpha_3 e^{i\theta_3} + r_3 i^2 w_3^2 e^{i\theta_3} + r_4 i \alpha_4 e^{i\theta_4} + r_4 i^2 w_4^2 e^{i\theta_4} = 0 \quad (45)$$

Utilizando novamente a fórmula de Euler, separando as partes real e imaginária e resolver o sistema resultante com as duas incógnitas α_3 e α_4 , resulta:

$$\alpha_3 = \frac{r_2 w_2^2 \cos(\theta_2 - \theta_4) + r_3 w_3^2 \cos(\theta_3 - \theta_4) + r_4 w_4^2}{r_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (46)$$

$$\alpha_4 = \frac{r_2 w_2^2 \cos(\theta_2 - \theta_3) + r_4 w_4^2 \cos(\theta_3 - \theta_4) + r_3 w_3^2}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (47)$$

De realçar que, de forma análoga ao ponto anterior das velocidades, os ângulos θ_3 e θ_4 podem ser obtidos através da análise da posição do mecanismo, donde resultam as equações (37) e (38) e onde as incógnitas θ_d e r_d podem ser calculadas através das equações (39) e (40).

Finalizada a primeira parte do cálculo das acelerações angulares, pode-se calcular a aceleração do ponto A e do ponto P através das equações seguintes:

$$A_A = (\alpha_2 \times \overline{AO}) - (w_2^2 \times \overline{AO}) \quad (48)$$

$$A_p = A_A + (\alpha_3 \times \overline{AP}) - (w_3^2 \times \overline{AP}) \quad (49)$$

Assim, para a primeira posição selecionada, onde $\theta_2 = 90^\circ$, e com as várias incógnitas calculadas no ponto 4.3.2. para a primeira posição, tem-se os seguintes resultados:

- $\alpha_3 = 269,97 \text{ mm/s}^2$
- $\alpha_4 = -161,94 \text{ mm/s}^2$
- $A_A = -33656,25 \text{ mm/s}^2$
- $A_p = 2136,37 \text{ mm/s}^2$

Já para a segunda posição selecionada, onde $\theta_2 = 180^\circ$, e também com as várias incógnitas calculadas no ponto 4.3.2. para a segunda posição, tem-se os seguintes resultados:

- $\alpha_3 = 358,28 \text{ mm/s}^2$
- $\alpha_4 = -91,67 \text{ mm/s}^2$
- $A_A = -33656,25 \text{ mm/s}^2$
- $A_p = 27102,51 \text{ mm/s}^2$

Deste modo, conclui-se que o ponto P apresenta uma aceleração de 2136,37 mm/s² quando o mecanismo se encontra na primeira posição selecionada e apresenta uma aceleração maior, de 27102,51 mm/s², quando o mecanismo se encontra na segunda posição selecionada.

4.3.4. Conclusão análise cinemática do movimento do braço robótico

Neste subcapítulo, conclui-se sobre os valores das posições, velocidades e acelerações para as duas posições selecionadas previamente. Assim, relativamente à posição, confirma-se, através do *software Solidworks*, que as coordenadas cartesianas calculadas para as duas posições escolhidas coincidem com os valores dados por esse *software*.

No que concerne aos valores da velocidade e aceleração para a primeira posição selecionada, quando $\theta_2 = 90^\circ$, verifica-se que estes são um pouco altos para o suposto, mas não afeta o funcionamento do dispositivo, isto é, como o utilizador deve esperar que o mecanismo pare a colher diretamente à sua frente antes de proceder à alimentação, a velocidade da colher aquando da chegada à zona não interfere com o utilizador.

Por fim, os valores da velocidade e aceleração obtidos para a segunda posição selecionada, quando $\theta_2 = 180^\circ$, são muito elevados para o pretendido, isto é, verifica-se uma velocidade e aceleração demasiado altas quando a colher se encontra no prato a recolher comida. Desta forma, conclui-se que o dispositivo, ao apanhar comida, poderá não conseguir fazê-lo da melhor forma, virando comida para cima do dispositivo e do utilizador. Para colmatar esta desvantagem, deverá usar-se uma velocidade angular da manivela menor, fazendo com que o mecanismo do braço seja mais lento, mas mais eficaz.

4.4. Cálculo de esforços e deformações

Neste subcapítulo recorre-se às capacidades de simulação do *software Solidworks*. Em primeiro lugar, constrói-se o modelo 3D do componente que se pretende dimensionar e, de seguida, define-se a situação crítica com as respetivas cargas atuantes e o comprimento de malha a utilizar durante a simulação, sendo obtido, no fim, os resultados dos esforços e deformações sofridas pelo componente.

4.4.1. Mecanismo de elevação em tesoura

O mecanismo de elevação em tesoura apresenta um papel fundamental no suporte da base

do dispositivo e, conseqüentemente, de todos os componentes e da comida e bebida. Assim, foi essencial realizar a análise de elementos finitos de forma a estudar as deformações e as tensões existentes no mecanismo, quando este se encontra em situação crítica.

Em primeiro lugar, foi necessário definir as situações críticas de funcionamento, sendo que esta corresponde à situação no qual o mecanismo se encontra na máxima e mínima extensão, como se pode verificar na Figura 34.

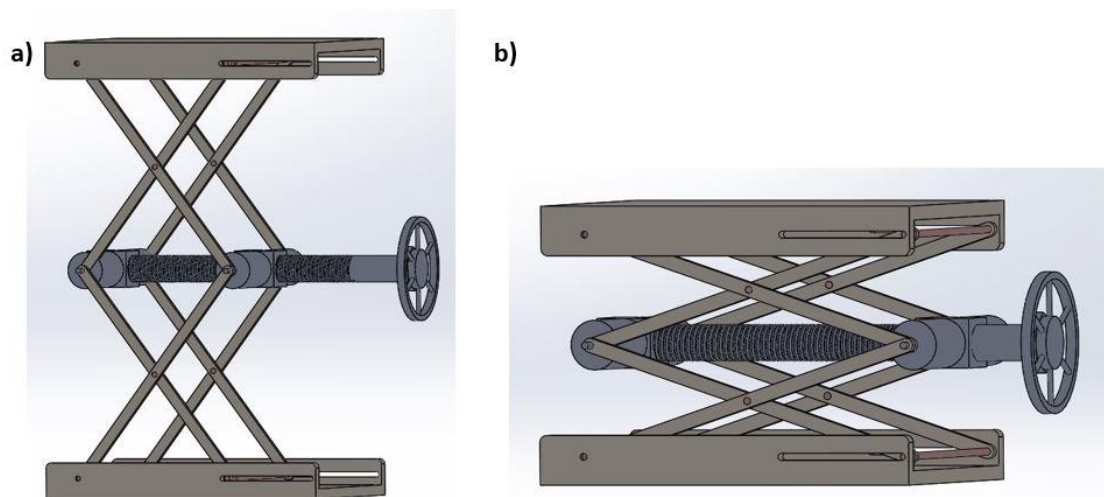


Figura 34: Situação crítica de funcionamento para **a)** altura máxima e **b)** altura mínima.

Posto isto, recorreu-se ao *software Solidworks* para se realizar este estudo, sendo que a Figura 35 apresenta as cargas/forças atuantes nos componentes, ilustradas pelas setas roxas, e as restrições de movimento, ilustradas pelas setas verdes.

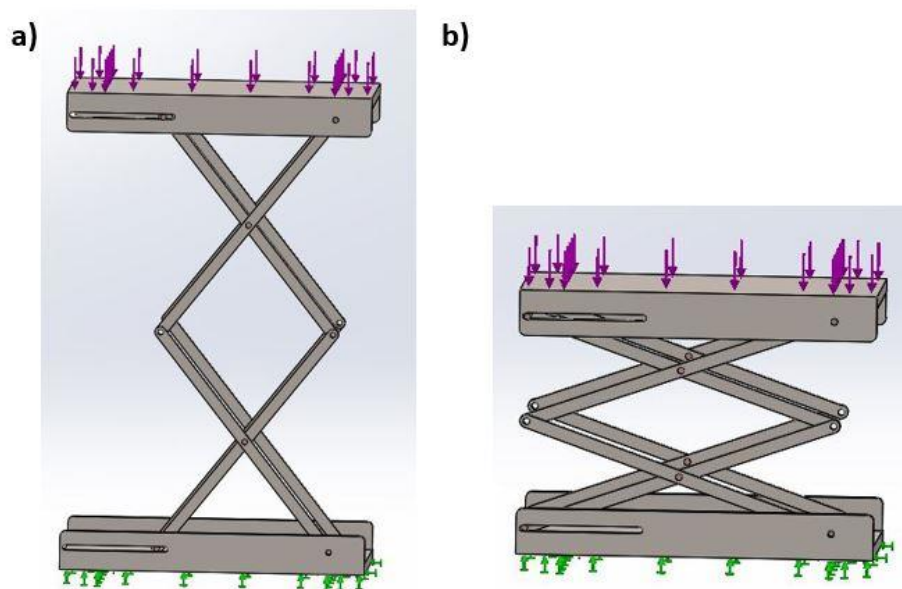


Figura 35: Cargas e restrições aplicadas no mecanismo de elevação em tesoura: **a)** na altura máxima e **b)** na altura mínima de funcionamento.

Seguidamente, foi definido o valor da força atuante, sendo que, por uma questão de

segurança, se decidiu exagerar no valor das forças aplicadas. Tendo em consideração a primeira especificação pré-definida no ponto 3.3., a massa máxima do dispositivo deverá ser de 20 kg, no entanto, optou-se por se exagerar atribuindo uma força atuante de 245 N, que corresponde a aproximadamente 25 kg. De referir que o mecanismo é todo composto pelo material AISI 316L aço inoxidável ($S_y = 485 \text{ MPa}$).

A Figura 36 apresenta os resultados obtidos da simulação para a situação crítica da altura máxima de funcionamento. De acordo com esta simulação, em termos de deformação, a máxima deformação prevista é de 4 mm e ocorre numa extremidade da base superior do mecanismo. Por outro lado, no que concerne às tensões máximas, estas não ultrapassam o valor de 1,6 MPa e ocorrem no mecanismo todo.

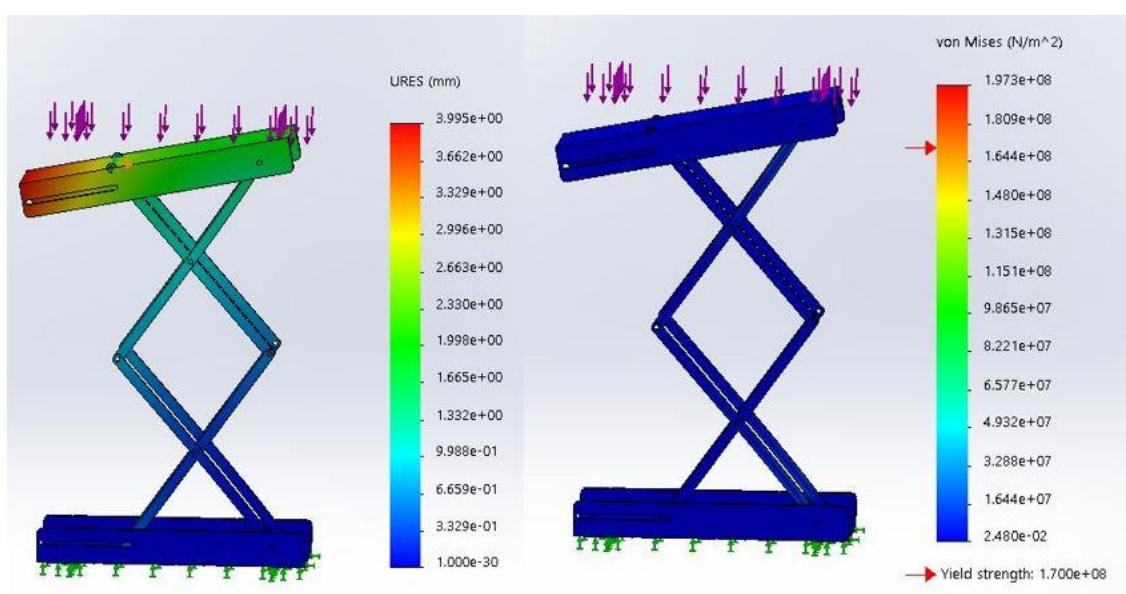


Figura 36: Resultados obtidos da simulação para a primeira situação crítica para uma força aplicada de 245 N.

Tendo em conta os resultados obtidos, verificou-se que as deformações registadas não são desprezáveis, mas também não afetam o funcionamento do dispositivo, pois não ultrapassam os 5mm. No que toca às tensões máximas, esta apresenta um valor bastante inferior à tensão de cedência do material, demonstrando que os componentes estão aptos a suportar as cargas à qual estão sujeitos.

Por último, a Figura 37 apresenta os resultados obtidos da simulação para a situação crítica da altura mínima de funcionamento. De acordo com estes resultados, a máxima deformação prevista é de 2 mm e ocorre, também, na extremidade da base superior do mecanismo. Por outro lado, no que toca às tensões máximas, estas não ultrapassam os 1,6 MPa e ocorrem também no mecanismo todo.

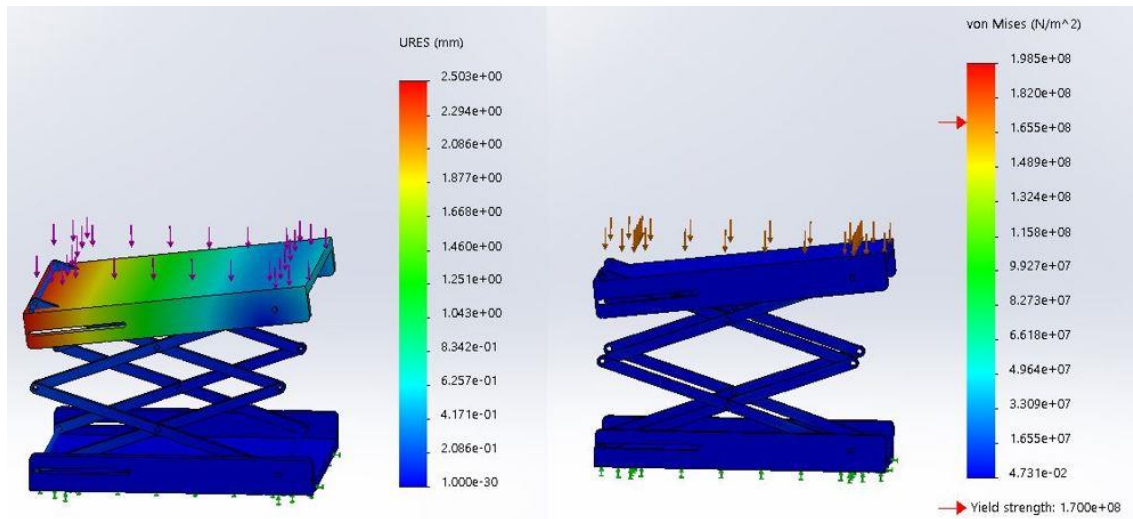


Figura 37: Resultados obtidos da simulação para a segunda situação crítica para uma força aplicada de 245 N.

Tendo em conta os resultados obtidos, verificou-se que os componentes estão aptos para suportar as cargas à qual se encontram sujeitos e, igual à situação crítica anterior, as deformações não são desprezáveis, mas não afetam o funcionamento do mecanismo.

4.4.2. Barra 1 do mecanismo adaptado de *Hoeckens*

No mecanismo adaptado de Hoeckens, a barra 1, representada a cinzento na Figura 31, é a barra que suporta todo o mecanismo e, por isso, encontra-se sujeita a situações críticas. Desta forma, realizou-se uma análise de elementos finitos de modo a estudar as deformações e tensões existentes neste componente, sendo que a Figura 38 apresenta as cargas/forças atuantes no componente, ilustradas pelas setas roxas, e as restrições de movimento, ilustradas pelas setas verdes.

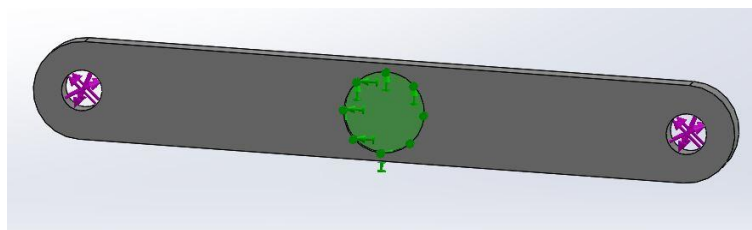


Figura 38: Cargas e restrições aplicadas na barra de suporte do mecanismo de Hoeckens.

De seguida, foi preciso definir o valor da força atuante, sendo que se decidiu exagerar este valor, por questões de segurança. Assim, atribuiu-se uma força de 15 N, que corresponde à massa exagerada das barras 2, 3, 4 e 5, do parafuso de orelhas e da colher cheia com comida, equivalendo a uma massa exagerada de 1,5 kg. De realçar que o material da barra selecionado foi o aço inoxidável AISI 316L ($S_y = 485 \text{ MPa}$).

A Figura 39 apresenta os resultados obtidos da simulação realizada para a deformação,

onde se prevê que a deformação máxima ocorra nos furos da barra com um valor de 0,000005 mm. Deste modo, verificou-se que as deformações são desprezáveis.

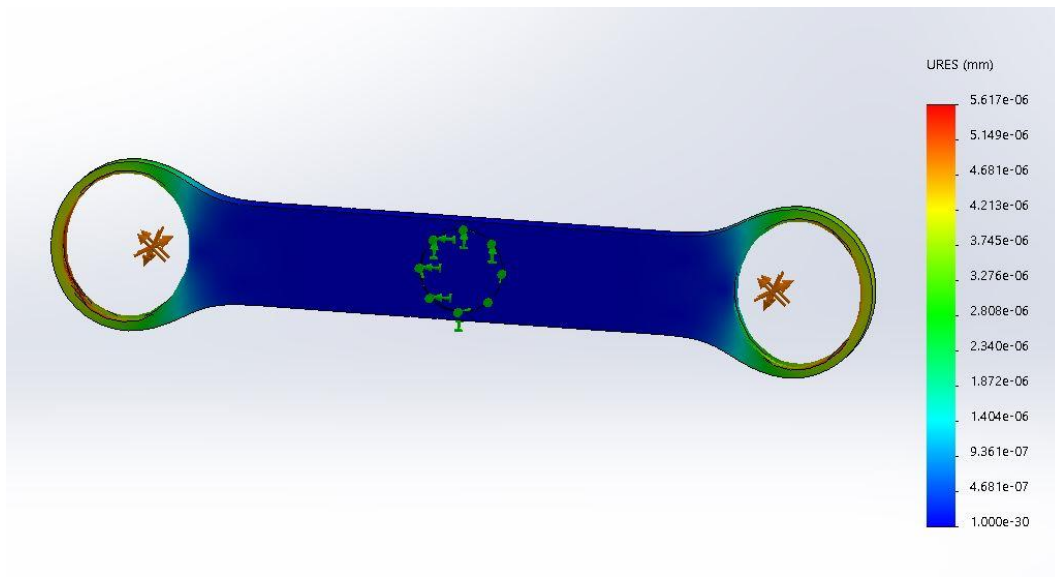


Figura 39: Resultado obtido da simulação, para a deformação, para uma força aplicada de 15 N.

Por outro lado, a Figura 40 apresenta os resultados obtidos da simulação para as tensões máximas, sendo que estas apresentam um valor máximo de 0,43 MPa, sendo bastante inferior à tensão de cedência do material utilizado ($S_y = 485 \text{ MPa}$), demonstrando que a barra é capaz de suportar a carga à qual se encontra sujeita.

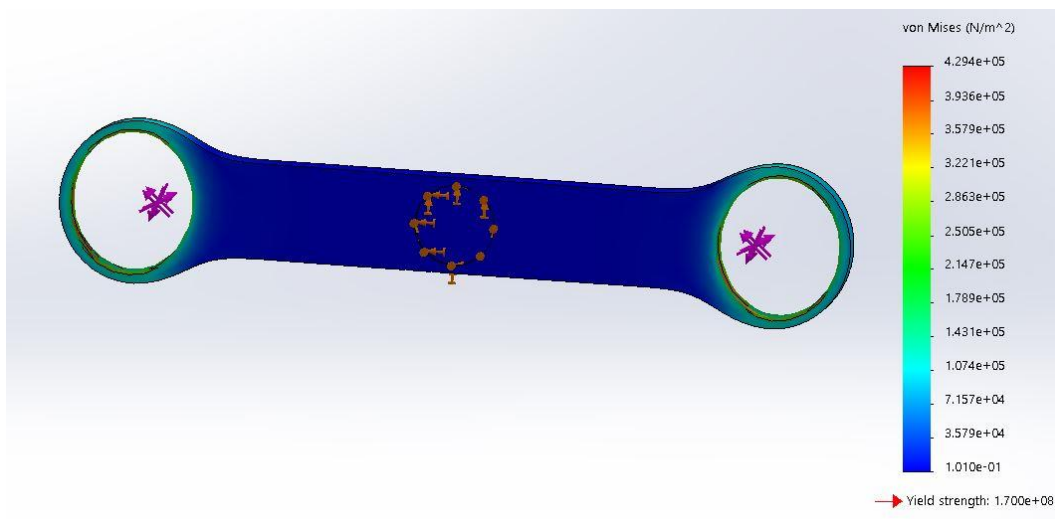


Figura 40: Resultado obtido da simulação, para as tensões máximas, para uma força aplicada de 15 N.

4.4.3. Barra 5 do mecanismo adaptado de *Hoeckens*

A barra 5 do mecanismo adaptado de *Hoeckens*, representada a roxo na Figura 31, serve de suporte à colher, pelo que também se encontra sujeita a situações críticas. Deste modo, realizou-se uma análise de elementos finitos de modo a estudar as deformações e tensões

existentes neste componente, sendo que a Figura 41 apresenta as cargas/forças atuantes no componente, ilustradas pelas setas roxas, e as restrições de movimento, ilustradas pelas setas verdes.

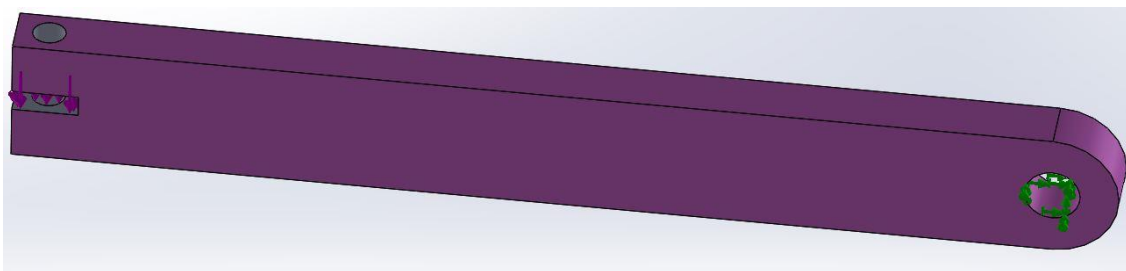


Figura 41: Cargas e restrições aplicadas na barra do mecanismo de *Hoekens* que suporta a colher.

De seguida, foi definido o valor da força atuante, sendo que, por uma questão de segurança, se decidiu exagerar no valor da força aplicada. Assim, atribuiu-se uma força de 5 N, que corresponde à massa exagerada da colher com comida, equivalendo a aproximadamente 500 g. De realçar que o material selecionado para este componente foi o aço inoxidável AISI 316L ($S_y = 485 \text{ MPa}$).

A Figura 42 apresenta os resultados obtidos da simulação realizada para a deformação, onde se prevê que a deformação máxima ocorra na extremidade da barra que suporta a colher com um valor de 0,01 mm. Assim, considerou-se as deformações desprezáveis, pois encontram-se na casa dos centésimos de milímetros.

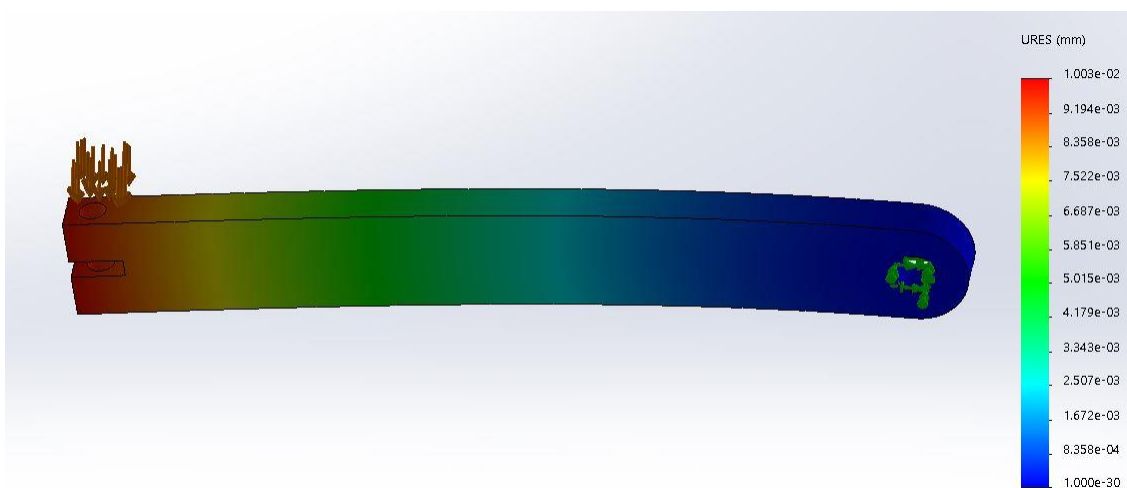


Figura 42: Resultado obtido da simulação, para as deformações máximas, para uma força aplicada de 5 N.

Por outro lado, a Figura 43 apresenta os resultados obtidos da simulação para as tensões máximas, onde estas apresentam um valor máximo de 4,97 MPa na extremidade contrária à colher, sendo bastante inferior à tensão de cedência do material utilizado ($S_y = 485 \text{ MPa}$), demonstrando assim que o componente é capaz de suportar as cargas à qual se encontra sujeito.

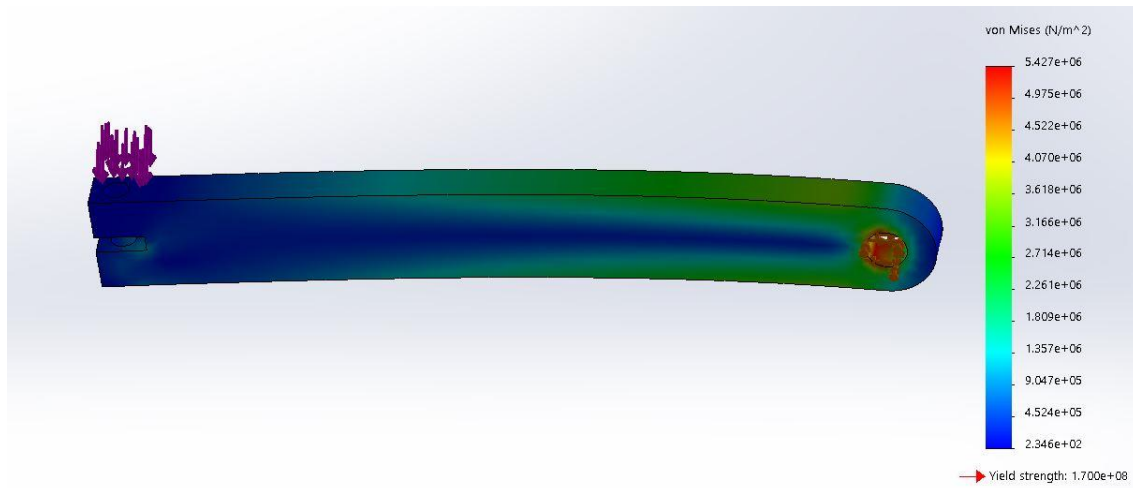


Figura 43: Resultado obtido da simulação, para as tensões máximas, para uma carga aplicada de 5 N.

4.4.4. Encaixe Motor-Prato

A peça de encaixe entre o motor e o prato apresenta um papel fundamental no suporte do prato e, conseqüentemente, do copo, da peça da palhinha, da palhinha e da comida e bebida. Desta forma, foi necessário realizar uma análise de elementos finitos de modo a estudar as deformações e as tensões existentes na peça, quando esta se encontra em situação crítica.

Assim, recorreu-se novamente ao *software Solidworks* para se realizar o estudo descrito, sendo que a Figura 44 apresenta as cargas/forças atuantes na peça, ilustradas pelas setas roxas, e as restrições de movimento, ilustradas pelas setas verdes.

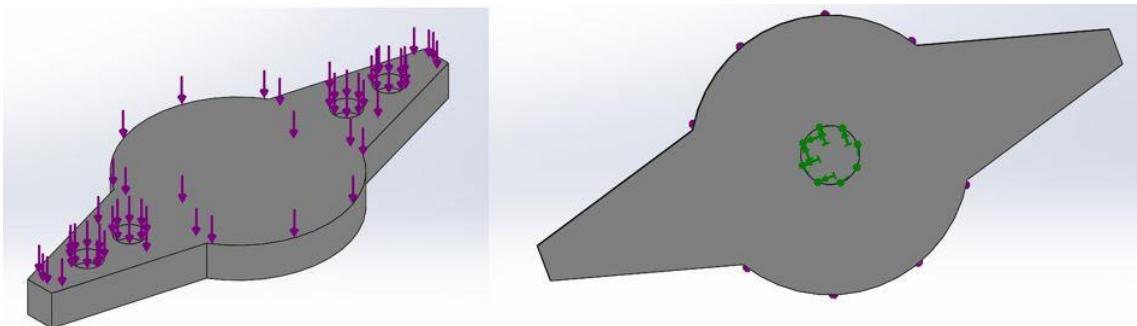


Figura 44: Cargas e restrições aplicadas na peça de encaixe entre o motor e prato.

De seguida, foi definido o valor da força atuante na parte superior da peça de encaixe, sendo que, por uma questão de segurança, se decidiu exagerar nos valores das forças aplicadas. Desta forma, atribuiu-se uma força de 10 N, que corresponde à massa exagerada do suporte do prato com comida, copo com bebida, palhinha e peça de encaixe entre copo e palhinha, que equivale a, aproximadamente, 1020 g, sendo que a massa destes componentes todos ronda as 780 g. De realçar que o material da peça de encaixe selecionado foi o polipropileno ($S_y =$

27,6 MPa).

A Figura 45 apresenta os resultados obtidos da simulação realizada para a deformação, onde se prevê que a deformação máxima ocorra nas extremidades da peça de encaixe com o valor de 0,006 mm. Assim, verificou-se que as deformações registadas apresentam valores na casa dos milésimos de milímetros e, por isso, podem ser consideradas desprezáveis.

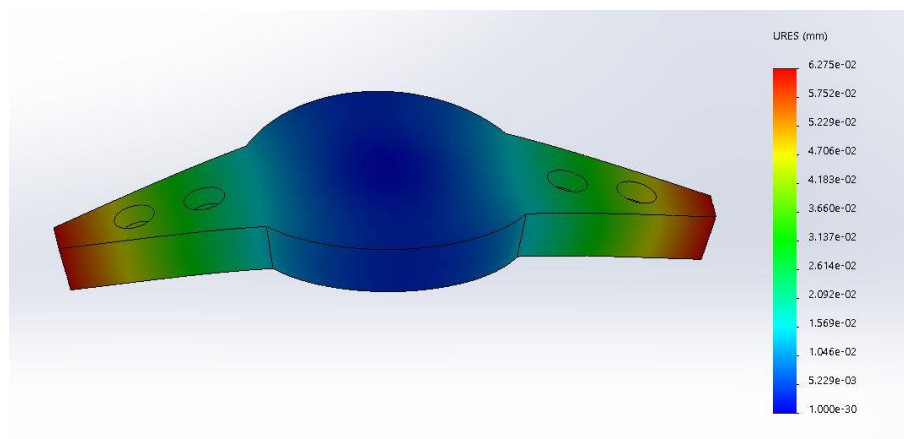


Figura 45: Resultado obtido da simulação, para a deformação, para uma força aplicada de 10 N.

Por outro lado, a Figura 46 apresenta os resultados obtidos da simulação para as tensões máximas, onde estas apresentam um valor máximo de 0,79 MPa, sendo bastante inferior à tensão de cedência do material utilizado, demonstrando assim que a peça de encaixe é capaz de suportar as cargas à qual está sujeita.

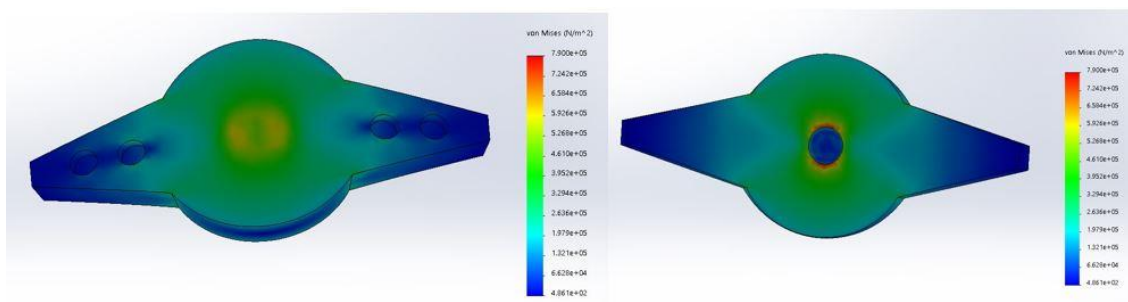


Figura 46: Resultado obtido da simulação, para as tensões, para uma força aplicada de 10 N.

4.5. Descrição do dispositivo

Neste capítulo apresenta-se de forma detalhada os componentes que formam o dispositivo desenvolvido. Assim, de forma a clarificar a visualização dos componentes e respetiva identificação, procedeu-se à elaboração de vistas explodidas do conjunto. Devido à complexidade do dispositivo foi necessário subdividir o dispositivo em duas vistas, representadas na Figura 47.

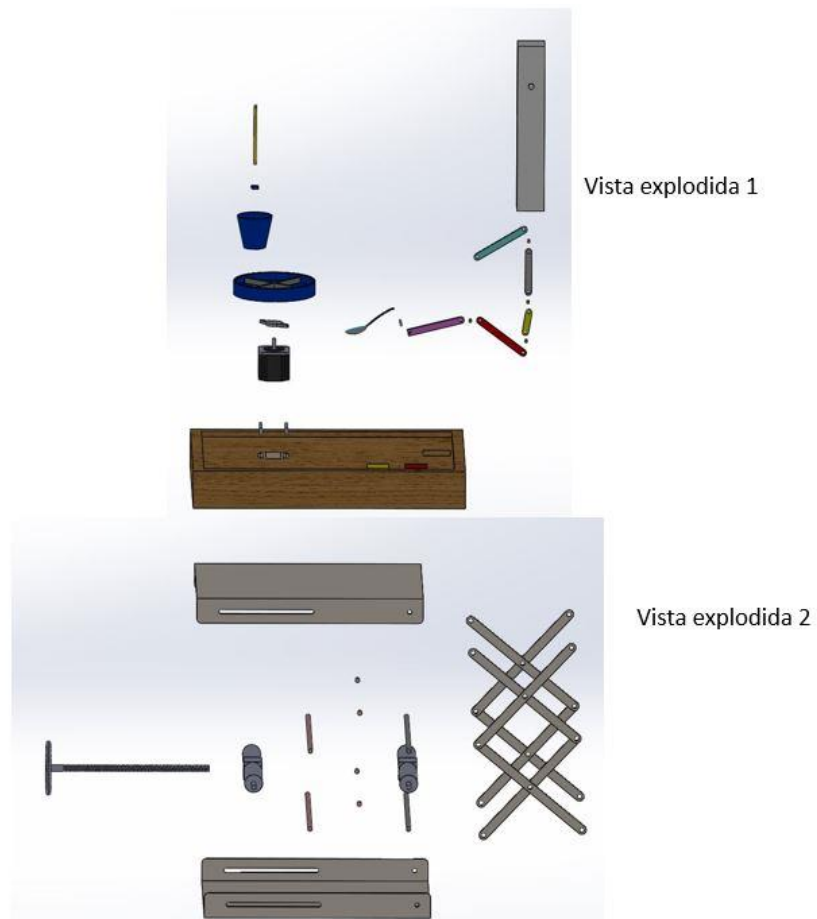


Figura 47: Vistas explodidas do dispositivo.

A vista explodida 1 (Figura 48), apresenta a base do dispositivo, o mecanismo de movimento da colher, bem como todos os componentes envolventes à alimentação do utilizador. Por outro lado, a vista explodida 2 (Figura 49) apresenta os componentes pertencentes ao mecanismo de elevação em tesoura. Associada a cada vista, encontra-se a lista de componentes, sendo que a coluna denominada “Referência” das Tabelas 17 e 18 refere-se à identificação dos desenhos técnicos presentes no anexo B.

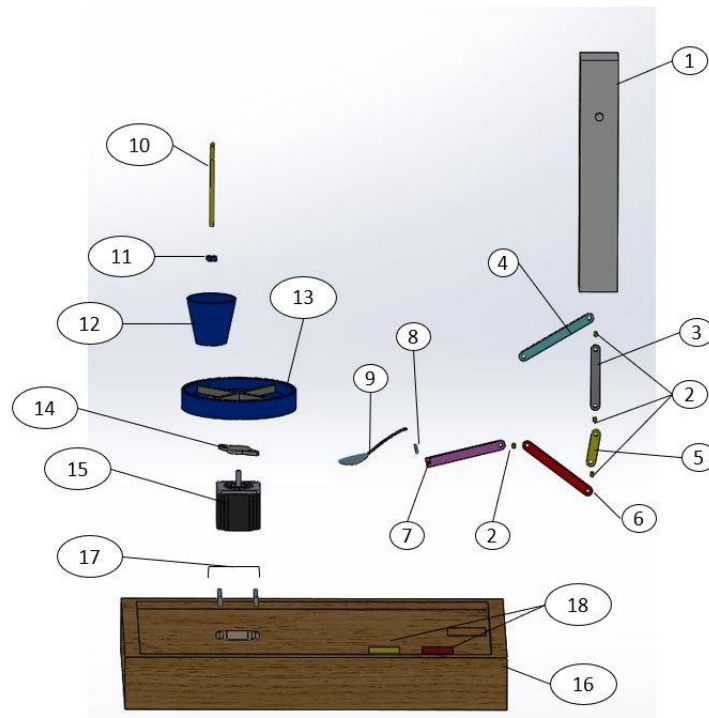


Figura 48: Vista explodida 1.

Tabela 17 - Lista dos componentes da vista explodida 1

Número	Referência	Componente	Quant.	Material
1	E14	Braço robótico	1	AISI 316L
2	E20	Pinos de ligação do mecanismo adaptado de <i>Hoeckens</i>	4	AISI 316L
3	E15	Barra 1 do mecanismo adaptado de <i>Hoeckens</i>	1	AISI 316L
4	E17	Barra 3 do mecanismo adaptado de <i>Hoeckens</i>	1	AISI 316L
5	E16	Barra 2 do mecanismo adaptado de <i>Hoeckens</i>	1	AISI 316L
6	E18	Barra 4 do mecanismo adaptado de <i>Hoeckens</i>	1	AISI 316L
7	E19	Barra 5 do mecanismo adaptado de <i>Hoeckens</i>	1	AISI 316L
8	-	Parafuso de orelhas	1	-
9	E21	Colher	1	Silicone
10	E01	Palhinha	1	Silicone
11	E03	Peça de ligação entre palhinha e copo	1	PP
12	E04	Copo	1	Silicone
13	E05	Prato	1	Silicone
14	E02	Peça de encaixe entre motor e prato	1	PP
15	E07	Motor de passo	1	-
16	E06	Base do dispositivo	1	Carvalho
17	-	Parafuso M5 x 10 (ISO 4162)	4	-
18	-	Interruptor <i>pal pad</i>	2	-

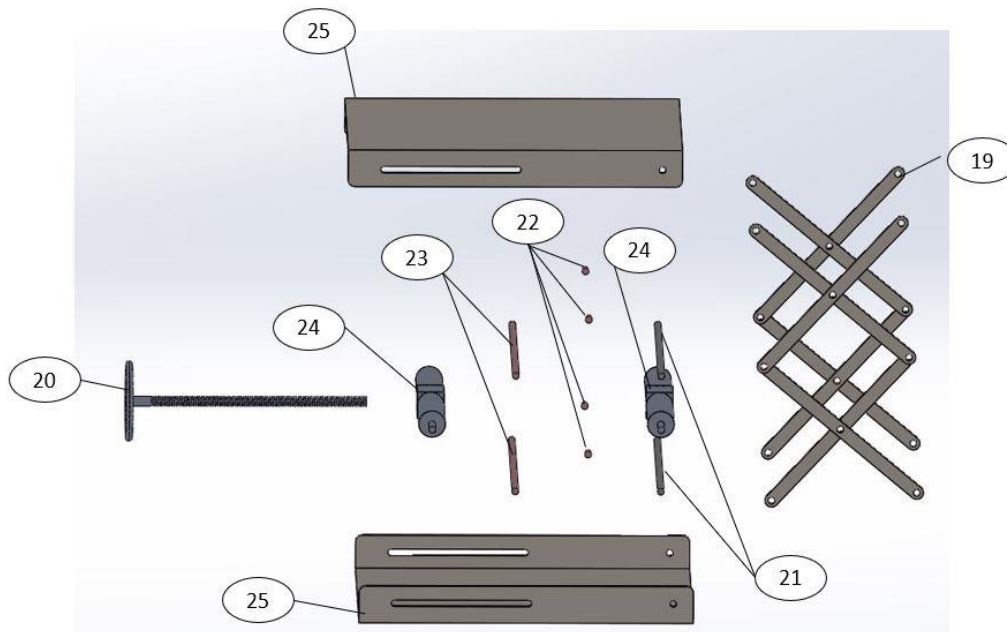


Figura 49: Vista explodida 2.

Tabela 18 - Lista de componentes da vista explodida 2

Número	Referência	Componente	Quant.	Material
19	E09	Barra do mecanismo de elevação em tesoura	8	AISI 316L
20	E12_A E12_B	Parafuso de transmissão	1	AISI 303
21	E10	Pinos de apoio	2	AISI 316L
22	E11	Pinos de ligação do mecanismo de elevação em tesoura	4	AISI 316L
23	E10	Rodas	2	AISI 316L
24	E13	Peça de ligação do parafuso	2	AISI 303
25	E08	Base do mecanismo de elevação em tesoura	2	AISI 316L

5. Análise de Custos dos Diferentes Componentes

O objetivo deste projeto é criar um dispositivo de autoalimentação que não seja tão caro como os existentes no mercado, de forma a ser facilmente comprado e implementado nos centros de dia, casas particulares e entre outros. Deste modo, realizou-se uma pequena análise de custos dos diversos componentes do dispositivo (Tabela 19).

Tabela 19 - Tabela de preços relativos dos componentes utilizados na proposta de solução

<i>Peça</i>	<i>Material / tipo</i>	<i>Nº de peças / elementos</i>	<i>Preço por peça (€)</i>	<i>Descrição do preço</i>
Prato	Silicone	1	16,99	-
Palhinha	Silicone	1	0,96	-
Copo	Silicone	1	9,99	-
Colher	Silicone	1	6,99	-
Peça da palhinha	PP	1	0,11	Adaptado para 30g
Encaixe entre motor e prato	PP	1	0,25	Adaptado para 70g
Interruptores	<i>Pal pad</i>	2	36,97	-
Base	Carvalho (madeira)	-	15	Adaptado para 0,5 m ²
Parafusos	M5 Aço inoxidável 304	4	0,13	Adaptado para 4 parafusos e para comprimento de 12 mm
Parafuso de orelhas	M3 Aço inoxidável 304	1	-	-
Parafuso de transmissão	TR50 x 8	1	-	-

<i>Peça</i>	<i>Material / tipo</i>	<i>Nº de peças / elementos</i>	<i>Preço por peça (€)</i>	<i>Descrição do preço</i>
Elevação em tesoura	Aço inoxidável	4 barras retangulares	8	Adaptado para 450 x 20 x 5 mm
		4 varões	5	Adaptado para 400mm comprimento e 10mm de espessura
		4 varões extra (pinos)	2	Adaptado para 15 mm de comprimento e 10 mm de espessura
		2 Bases retangulares	30	Adaptado para 1000 x 400 x 6 mm
Mecanismo do movimento da colher	Aço inoxidável	5 barra	4	Adaptado para 150 x 12 x 6 mm
		4 varões (pinos)	2	Adaptado para 10 mm de comprimento de 5 mm de espessura
		1 barra quadrangular	3	Adaptado para 320 mm de comprimento e 50 mm de espessura

Tendo em conta a tabela anterior, verifica-se que o custo total dos materiais para este dispositivo será de aproximadamente 200€, sendo que este valor aumentará quando da construção do protótipo. Após o desenvolvimento deste protótipo, o dispositivo vai ser produzido por um fabricante, adicionando-se assim o custo de desenvolvimento e o custo de mão de obra.

Atualmente, o dispositivo mais barato no mercado é o *Winsford Feeder*, com o preço de 2271€. Assim, e levando em consideração o baixo custo de aquisição dos materiais, pode-se inferir que o preço final do dispositivo não será tão elevado como o preço dos dispositivos já existentes no mercado, isto é, mesmo que o fabricante aumente o custo de desenvolvimento e de mão de obra, o preço do dispositivo vai sempre diminuir com a produção em série deste dispositivo.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

A dissertação teve como objetivo principal estudar a conceção e desenvolvimento de um dispositivo de autoalimentação, sendo que este projeto surge da necessidade de implementar um dispositivo mais prático, adequado e principalmente mais barato que os dispositivos existentes em centros de dia, casas particulares e outros locais de interesse.

Em primeiro lugar, realizou-se uma vasta pesquisa, de forma a adquirir conhecimento sobre os dispositivos de autoalimentação, para, de seguida, se definirem os objetivos do projeto através da elaboração de uma árvore de objetivos, que permitiu simplificar e delinear os passos seguintes, sendo que foi também necessário complementar esta árvore de objetivos com o estabelecimento de especificações do projeto.

Após o trabalho anteriormente referido, encetou-se na fase mais criativa do projeto, a conceção de soluções. Como se desenvolveram algumas soluções, foi necessário compará-las, de forma a selecionar a melhor, culminando num dispositivo capaz de satisfazer os objetivos e especificações pré-estabelecidas.

Depois de desenvolver o dispositivo de autoalimentação e verificar o cumprimento dos objetivos e especificações, procedeu-se ao dimensionamento de algumas zonas críticas, sendo que para esta etapa recorreu-se ao *software Solidworks Simulation*. Aqui, realizaram-se simulações de deformação e tensão máxima, sendo que os resultados obtidos foram satisfatórios, pois os componentes testados apresentaram valores de deformação baixos e valores de tensões inferiores às tensões de cedência do material.

Por fim, realizou-se uma breve análise sobre o custo dos materiais para o desenvolvimento deste dispositivo, sendo que se pode inferir que o preço final deste novo dispositivo será muito inferior aos preços praticados atualmente, tendo em conta este custo final dos materiais utilizados.

Conclui-se assim que esta dissertação foi um sucesso em todos os níveis, pois o projeto cumpre os objetivos definidos inicialmente.

De referir ainda que em todos os projetos bem conseguidos, podem ser implementadas melhorias. Neste sentido, sugerem-se as propostas seguintes para um trabalho futuro:

- Melhorar o dispositivo a nível estético;
- Fazer estudo da rentabilidade e necessidade deste tipo de dispositivos para crianças, de forma a ser implementado em casas particulares e em creches. O desenvolvimento de um sistema de autoalimentação incorporado numa cadeira de comer para crianças,

aliviaria os pais e auxiliares de educação, sendo que os primeiros ficariam mais descansados a comer e para os segundos tornar-se-ia mais fácil cuidar e alimentar todas as crianças que dispõem ao seu cuidado.

Referências

- [1] Ott, Fred; Readman, Tim; Backman, Catherine. "Mealtimes of the Institutionalized Elderly: A literature review". New York University, Dezembro 1990.
- [2] Sítio da *World Health Organization* com o endereço em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs352/en/> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]
- [3] S. Hartley, V. Ilagan, R. Madden, A. Officer, A. Posarac, K. Seelman, T. Shakespeare, S. Sipos, and M. Swanson, "World Report on Disability", World Health Organization, Malta, 2011.
- [4] *World Meter* com endereço em: <https://www.worldometers.info/pt/> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]
- [5] Sítio do tipo de doenças de movimento com endereço em: <https://www.msmanuals.com/pt-pt/casa/dist%C3%BArbios-cerebrais,-da-medula-espinal-e-dos-nervos/doen%C3%A7as-do-movimento/considera%C3%A7%C3%B5es-gerais-sobre-doen%C3%A7as-do-movimento> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]
- [6] Soyama, Ryoji; Ishii, Sumio; Fukase, Azuma. "8 Selectable operating interfaces of the Meal-assistance device "My Spoon". *Advances in Rehabilitation Robotics*, Agosto 2006.
- [7] Hermann, Richard P.; Phalangas, Anna C.; Mahoney, Richard M.; Alexander, Micheal A. "Powered Feeding Devices: An Evaluation of 3 Models". *Arch Phys Med Rehabil*, Vol 80, Outubro 1999.
- [8] Naotunna, Isira; Perera, Chamika Janith; Sandurawan, Chameera; Gopura, R. A. R. C.; Lalitharatne, Thilina Dulantha. "Meal Assistance Robots: A review on Current Status, Challenges and Future Direction". 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Meijo University, Nagoya, Japão, Dezembro 2015.
- [9] Hillman, Michael. "2 Rehabilitation Robotics from Past to Present – A Historical perspective".

Advances in Rehabilitation Robotics, Agosto 2006.

[10] Ericksen, Cynthia; Jensen, Mallory; Sachs, Monica; Thomas, Monica. “Robotic Self-feeder for children with cerebral palsy”. Dept. of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Outubro 2009.

[11] Topping, Michael J.; Smith, Jane K. “The development of Handy 1: A Robotic system to assist the severely disable”. Centre of Rehabilitation Robotics, Straffordshire University, UK, 1998.

[12] O’Connell, Stephanie; Topping, Mike. “A user’s perspective on the Handy 1 system”. International Conference on Rehabilitation Robotics, Stanford, California, 1999.

[13] Topping, Mike. “An overview of the development of Handy 1, a rehabilitation robot to assist the severely disable”. Journal of Intelligent and Robotic Systems. Holanda, 2002.

[14] Song, Won-Kyung; Song, Won-Jin; Kim, Yale; Kim, Jongbae. “Usability test of KNRC Self-feeding robot”. International Conference on Rehabilitation Robotics. Seattle, USA. Junho 2013.

[15] Song, Won-Kyung; Kim, Jongbae; An, Kwang-Ok; Lee, In-Ho; Song, Won-Jin; Lee, Bum-Suk. “New dual-arm assistive robot for self-feeding”. National Rehabilitation Center, Seoul, Coreia.

[16] Sítio do *Neater Eater* com o endereço em www.neater.co.uk [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]

[17] Sítio do *iEAT* com o endereço em <https://www.assistive-innovations.com/> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]

[18] Sítio do *MealTime Partner Dining Device* com o endereço em www.mealtimepartners.com/ [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]

[19] Hiu, Jillian; Yale, Patrick; Farmer, Kevin; Black, Jeremy. “Adaptative Eating Device”. Faculty of the College of Engineering, California Polytechnic State University. Junho 2013.

[20] Yamazaki, Akira. “Autonomous foods handling by Chopsticks for Meal Assistance Robot”. Tokai University, Japão. 2012.

- [21] Yamazaki, Akira; Masuda, Ryosuke. “Various foods handling movement of Chopsticks-equipped meal assistant robot and their evaluation”. Tokai University, Japão.
- [22] Koshizaki, Tomoki; Masuda, Ryosuke. “Control of a Meal Assistance Robot capable of using Chopsticks”. Tokay University, Japão. 2010.
- [23] Krovi, Venkat; Feehery, Paul; Heinrichs, Travis; Ternus, John; Kumar, Vijay. “Design and Virtual prototyping of a head controlled feeder”. Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Pennsylvania.
- [24] Lopes, Pedro; Lavoie, Ryan; Faldu, Rishi; Aquino, Nick; Barron, Jason; Kante, Mohamed; Magfory, Basel. “ICRAFT – Eye controlled robotic feeding arm technology”. Pennsylvania State University, USA.
- [25] Pourmohammadali, Homeyra; Kofman, Jonathan; Khajepour, Amir. “Design of a multiple-user intelligent feeding robot for elderly and disable people”. University of Waterloo, Canada.
- [26] Ishii, Sumio; Tanaka, Shinji; Hiramatsu, Fumiaki. “Meal Assistance Robot for severely handicapped people”. SECOM Co., Ltd, Japão.
- [27] Yuen, Hon Keung. “Self-feeding system for an adult with head injury and severe ataxia”. The American Journal of Occupational Therapy, vol. 47, n°5, Maio 1993.
- [28] Rife, S.; Kennedy, E. “A feeding device”. Monash University, 1969.
- [29] Broadhurst, M. J.; Stammers, C. W. “Mechanical feeding aids for patients with ataxia: design considerations”. Journal Biomedical Engineering, vol. 12, Maio 1990.
- [30] Broadhurst, M.; Stammers, C. W. “A feeding mechanism for Parkinson’s disease patients”. Journal Biomedical Engineering, Julho 2009.
- [31] Sítio do *Neater Eater* Manual com o endereço em: <https://www.mobilityhq.com.au/neater-eater-manual> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]
- [32] Sítio do *iEAT* Manual com o endereço em: <https://at-aust.org/items/12679> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]

-
- [33] Shaw, Greg; Wright, Christine. "A two-handle spoon: an aid for independent eating". American Journal of Occupational Therapy, 1982.
- [34] Wiener, Melanie Morrison. "Brief or New: Feeding device for finger foods". The American Journal of Occupational Therapy.
- [35] Gmitter, Nancy W.; Richards, Lois H. "Pulley feeding-system". University of Texas, Setembro 1973.
- [36] KINGSMAN, "Catálogo de produtos".
- [37] Robinson, Eric. "Device for feeding invalids". United States Patent 4522543, Junho 1985.
- [38] Mancino, Pasquale M. "Feeding Device". United States Patent 3885681, Maio 1975.
- [39] Stapleton, Patrick; Browne, Hubbard P.; Weatherholt, D. "Invalid Feeding device". United States Patent 4162868, Junho 1979.
- [40] Hanger, James E.; Walker, Charles T. "Self-feeding apparatus and method". United States Patent 4433950, Fevereiro 1984.
- [41] Lima, Rosa Maria Matos Fernandes. "Adaptação ergonômica e antropométrica de calçado para pessoas com necessidades especiais: um estudo de caso". Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2012.
- [42] Cross, N. - Engineering Design Methods: Strategies for Product Design. John Wiley & Sons LTD, Chichester, 2nd Edition, 1994.
- [43] Pahl, G., Beitz, W. - Engineering Design: A Systematic Approach. Ed. Ken Wallace, 2nd Edition, Springer, London, 2001.
- [44] Cohen, L. - Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You. Addison-Wesley PublishingComp., Engineering Process Improvement Series, 1995.
- [45] Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G. - Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill, 7th Edition, 2003.
- [46] Ugural, A. C. - Mechanical Design: An Integrated Approach. McGraw-Hill, 1st Edition, 2004.

- [47] Site do plástico e silicone com endereço em: <https://www.injecaoedepasticos.com.br/diferencas-entre-plastico-e-silicone/> [Consultado em: 27 de janeiro de 2021 Janeiro de 2021]
- [48] Site do aço inoxidável 304 e 316 com endereço em: <https://www.estevesalvescarvalho.pt/artigo/aco-inoxidavel-304-e-316-o-que-sao-/26/15> [Consultado em: 30 de Janeiro de 2021]
- [49] Wisneski, Kimberly J.; Johnson, Michelle J. “Quantifying kinematics of purposeful movements to real, imagined, or absent functional objects: Implications for modelling trajectories for robot-assisted ADL tasks”. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Março 2007.
- [50] Flores Paulo, Claro J. C. Pimenta, “Cinemática de Mecanismos – 2. Análise Descritiva de Mecanismos”, 2005, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães.
- [51] Mott, R. L. – *Machine Elements in Mechanical Design*. Ed. C. E. Merrill, 1985.
- [52] Lu, Shengnan; Zlatanov, Dimiter; Ding, Xilun; Molfino, Rezia. “A new family of deployable mechanisms based on the Hoekens linkage”. *Journal Mechanism and Machine Theory*, Elsevier, Novembro 2013.
- [53] Site dos interruptores *pal pad* com endereço em: <https://www.adaptivation.com/product-page/pal-pads> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]
- [54] Site dos mecanismos de elevação com endereço em: <https://surreyroboticsinnovationlab.ca/lifting-mechanisms/> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]
- [55] Site da postura correta com endereço em: <https://blogpilates.com.br/musculos-erectores-da-coluna/> [Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]
- [56] Adauto, Carlos. “Diseño estructural de mecanismos de un exoesqueleto para adultos intrahospitalarios com úlcera por decúbito en hospitales del Minsa, Junín - 2019” *Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad*

Continental, Huancayo, 2020.

[57] Demasi, Djalma. “Modelagem dinâmica e de controle de um mecanismo de 3 graus de liberdade para aplicação em um robô hexápode” Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica, Rio de Janeiro, 2012.

[58] Lindborg, Ann-Louise; Solis, Jorge. “Design approach of a robotic assistive eating device with a multi-grip and camera for frail elderly’s independent life”. IEEE, ICRA2017.

[59] Sítio do *Obi Robot* com endereço em: https://www.ncmedical.com/item_3403.html
[Consultado em: 27 de Janeiro de 2021]

[60] Frische, Eric A. “Assistive Dining Device, System and Method”. United States Patent 5282711, Fevereiro 1994.

[61] Norton, Robert L. “Fundamentos da Cinemática”, Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos: bookman, pag 48 – 111.

[62] Sítio dos interruptores de queixo com endereço em: <http://www.inclusive.co.uk/chin-switch-p5306> [Consultado em: 31 de Janeiro de 2021]

[63] Sítio dos interruptores *Sip N Puff* com endereço em: <https://gettecla.com/products/ablenet-sip-and-puff-switch> [Consultado em: 31 de Janeiro de 2021]

[64] Sítio dos interruptores de pé com endereço em: <https://www.amazon.com/Philmore-LKG-Momentary-Foot-Switch/dp/B004GIIYK0> [Consultado em: 31 de Janeiro de 2021]

[65] Sítio do motor de passo com endereço em: <https://www.electrofun.pt/motores-e-bobinas/motor-passo-nema23-19nm-28a> [Consultado em: 31 de Janeiro de 2021]

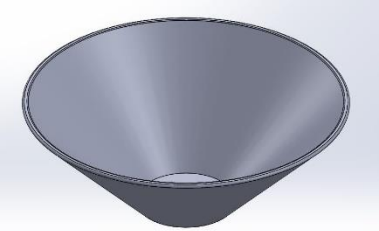

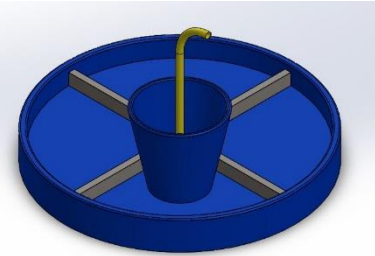
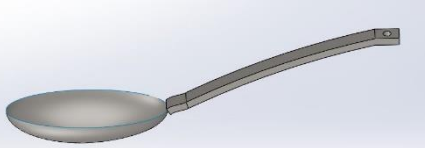


[66] Sítio dos mais polímeros com endereço em: <http://www.maispolimeros.com.br/2018/10/15/tipos-de-plastico-2/> [Consultado em: 30 de Janeiro de 2021]

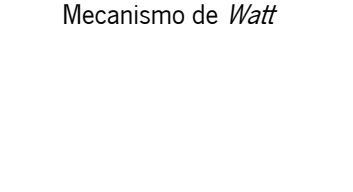
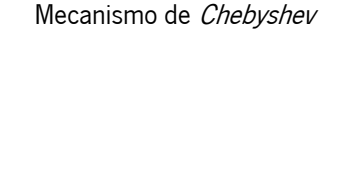
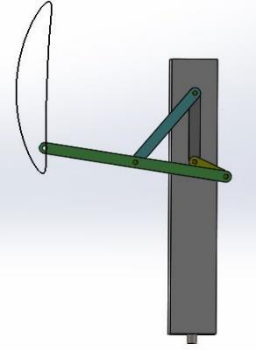



[67] Flores Paulo, Claro J. C. Pimenta, “Cinemática de Mecanismos – 4. Análise de Velocidades”, 2005, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães.

- [68] Flores Paulo, Claro J. C. Pimenta, “Cinemática de Mecanismos – 5. Análise de Acelerações”, 2005, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães.

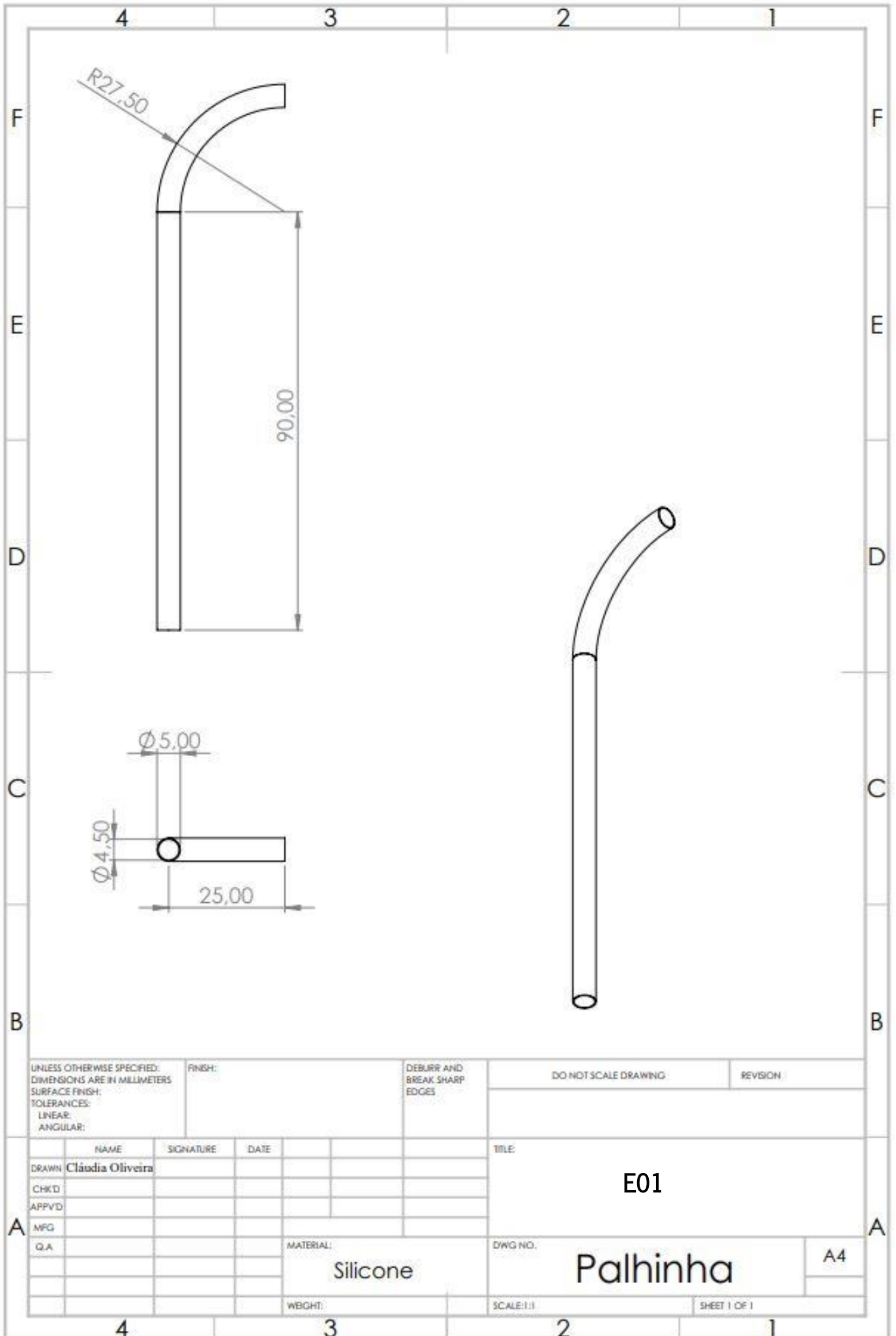
Anexos

Anexo A – Mapas Morfológicos

Função	Solução			
Tipo de recipiente				-
Tipo talher		Garfo	Pauzinhos	-
Tipo de encaixe da colher com o dispositivo			-	-

Função	Solução			
Tipo de movimento do braço robótico	<p>Mecanismo de <i>Watt</i></p> 	<p>Mecanismo de <i>Chebyshev</i></p> 		
Interface				
Mecanismo de elevação			-	-

Anexo B – Desenhos Técnicos



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudia Oliveira		
CHK'D			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

TITLE:
E01

MATERIAL:

Silicone

DWG NO.

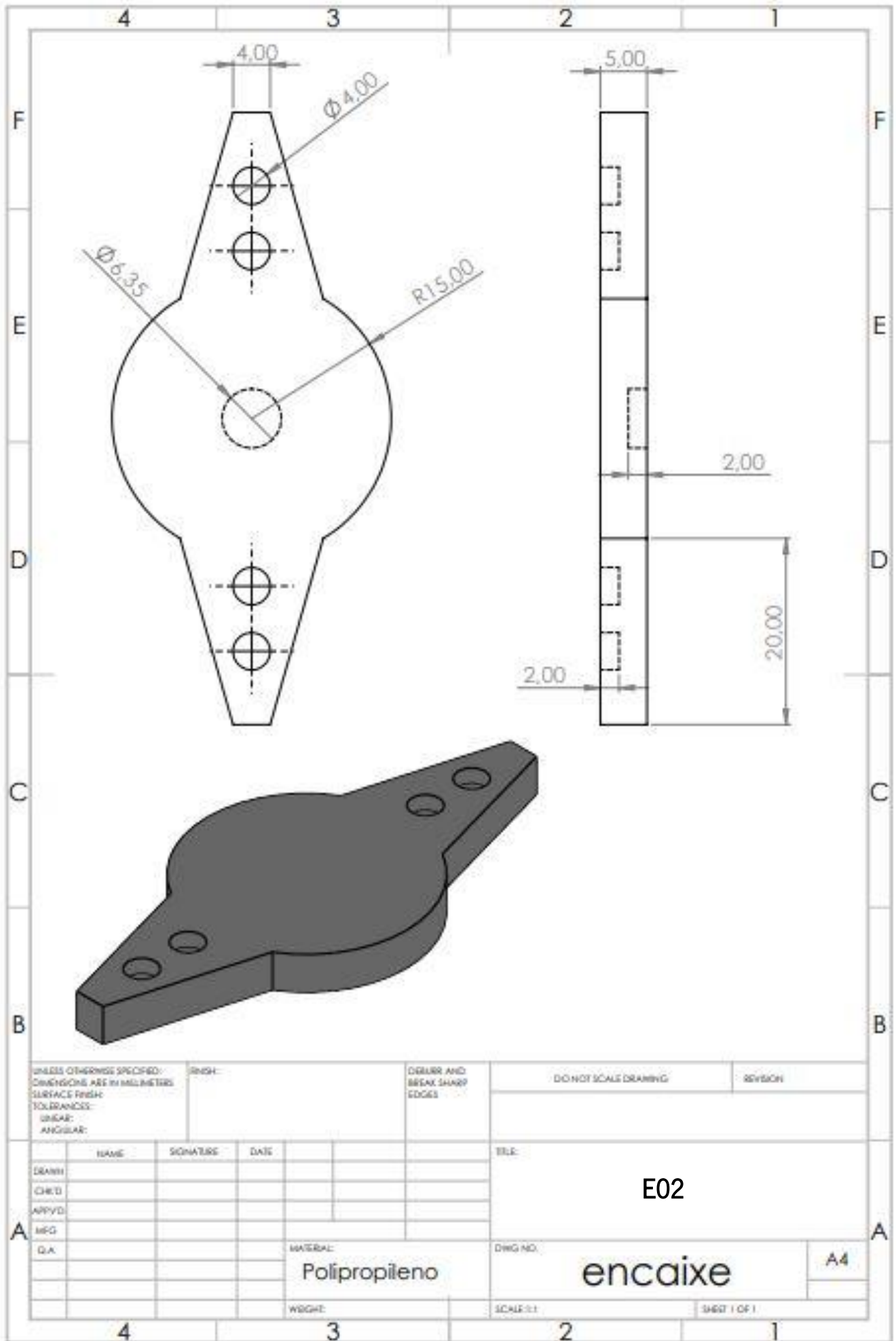
Palhinha

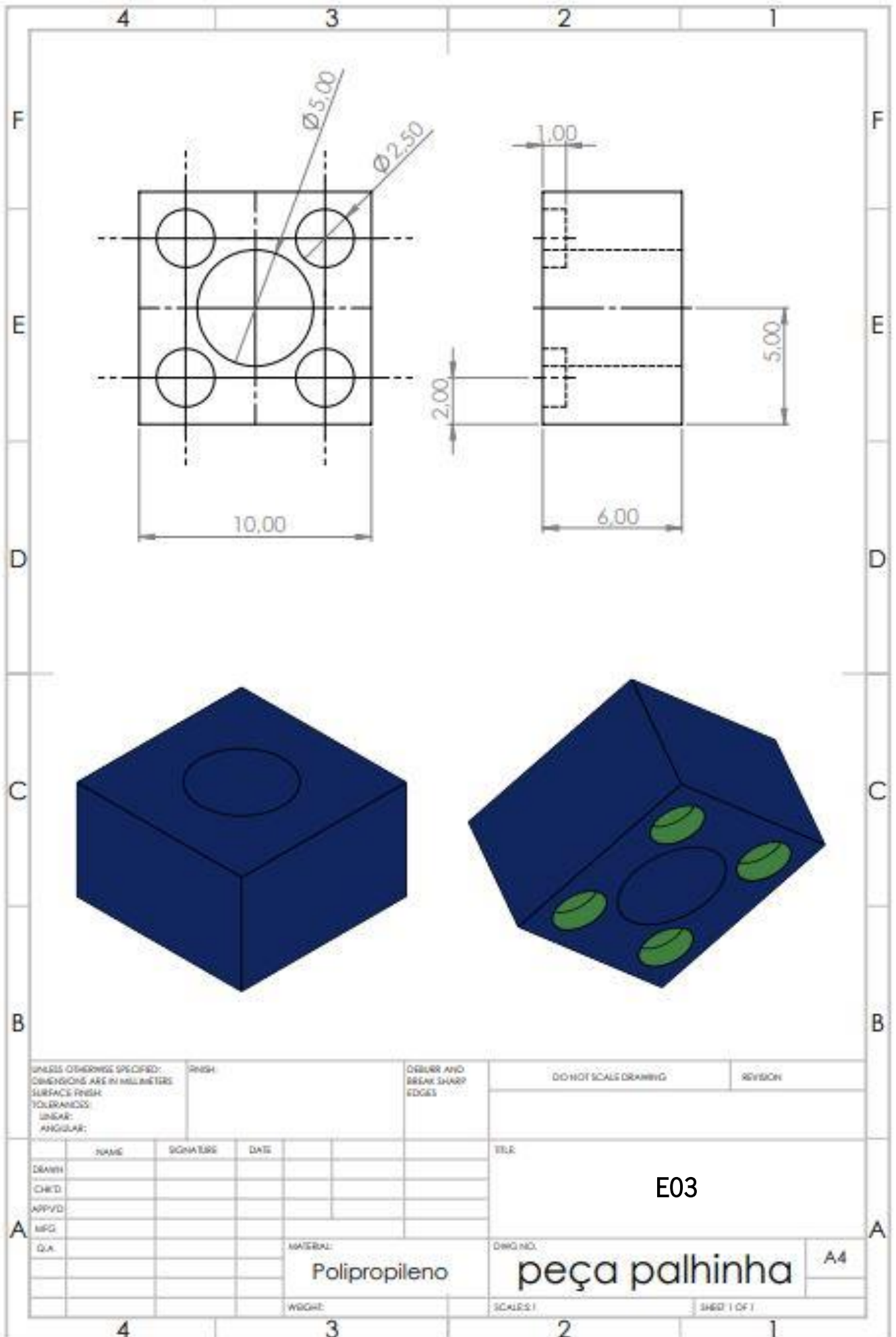
A4

WGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 UNLESS:
 ANGULAR:

FINISH:

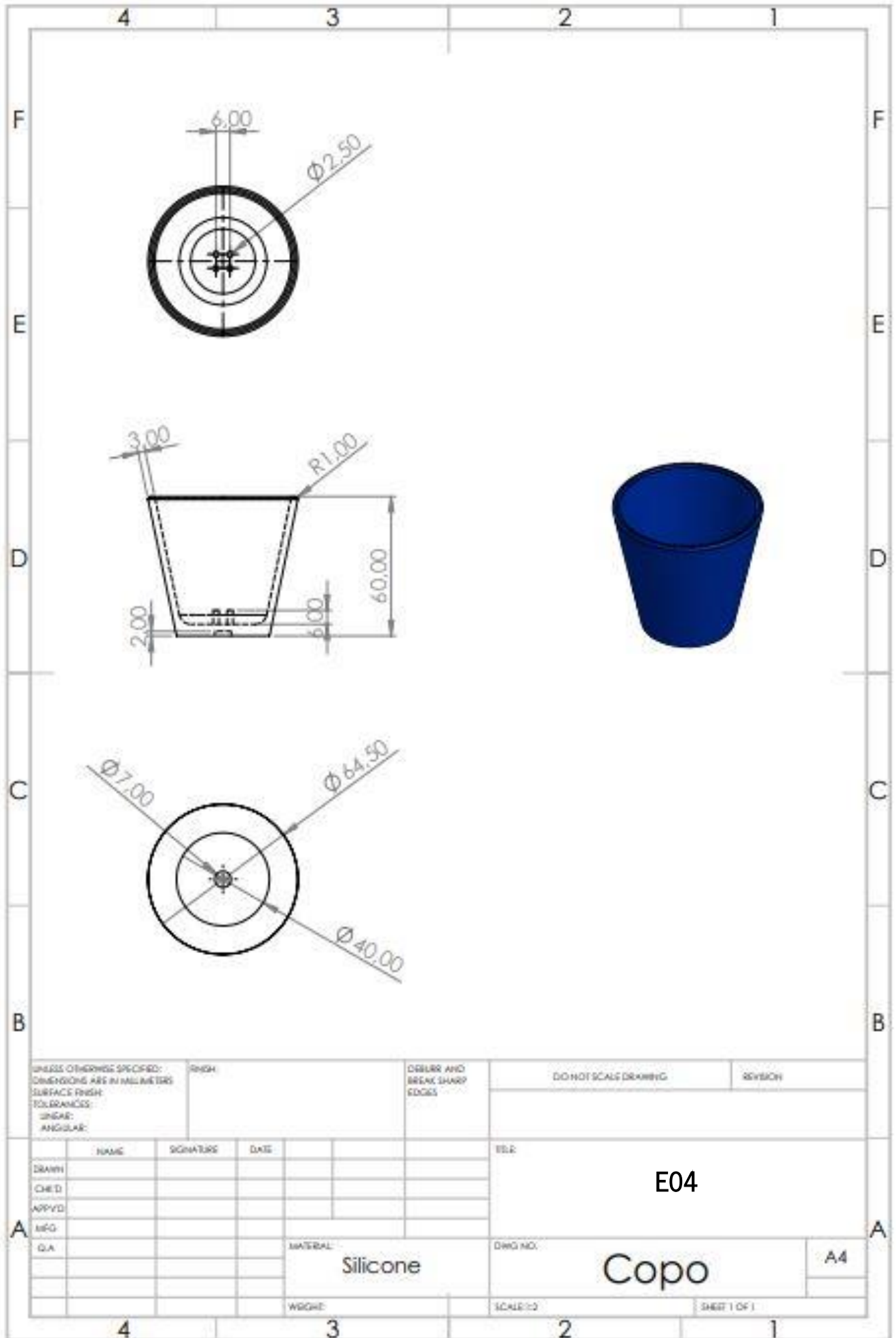
DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

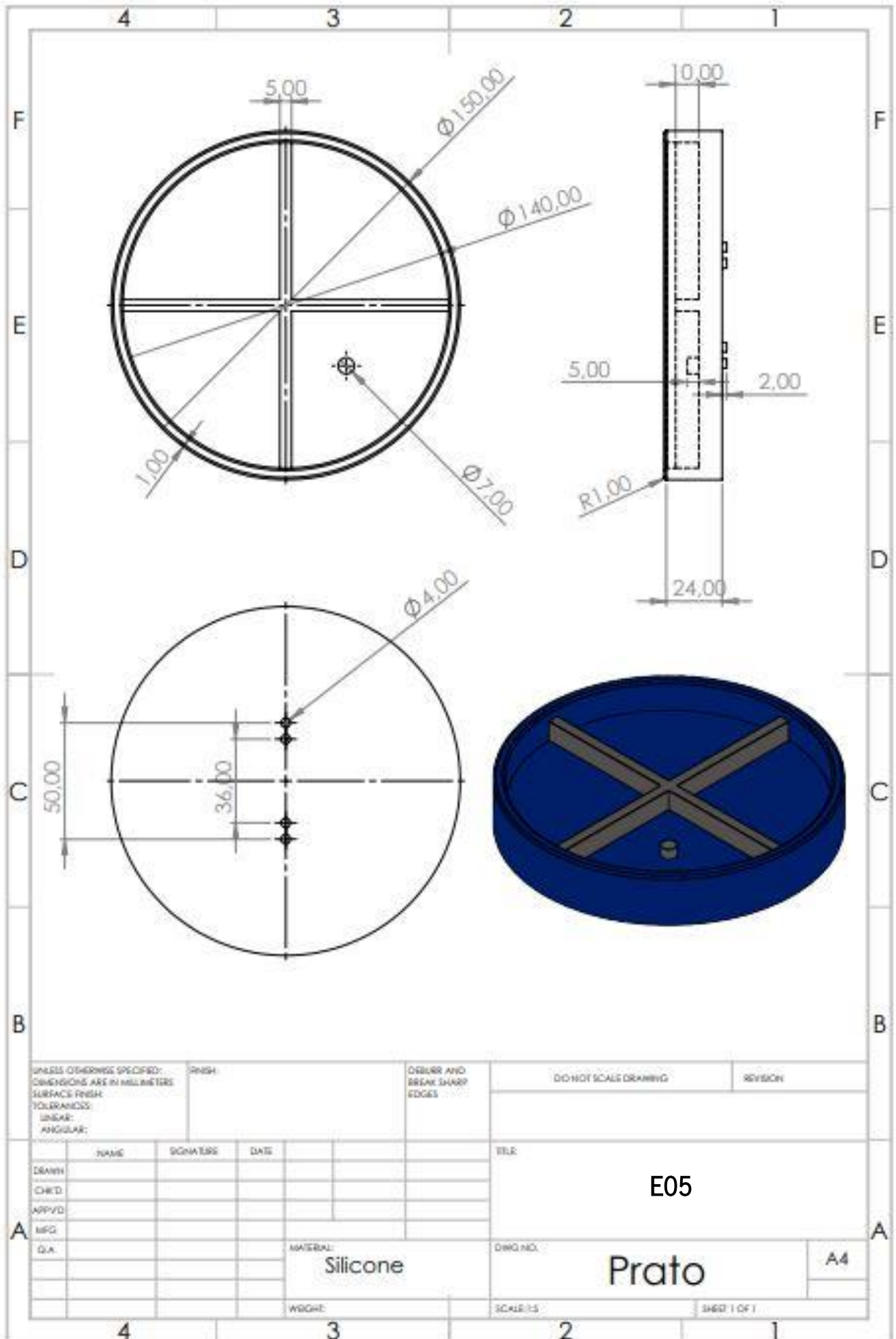
	NAME	SIGNATURE	DATE		TEL:
DRWN					E03
CHKD					
APPVD					
MFG					
QA					
MATERIAL:				DRWG NO.	
Polipropileno				peça palhinha	
WEIGHT:				SCALE: 1	
				SHEET 1 OF 1	

A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE	
DRAWN					E04	
CHEK						
APPYD						
MFG					DWG NO.	
QA				MATERIAL: Silicone	Copo	
				WEIGHT:	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1

A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBLUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHKD					
APPVD					
MFG					
QA					

TEL:

E05

MATERIAL:
 Silicone

DWG NO.:

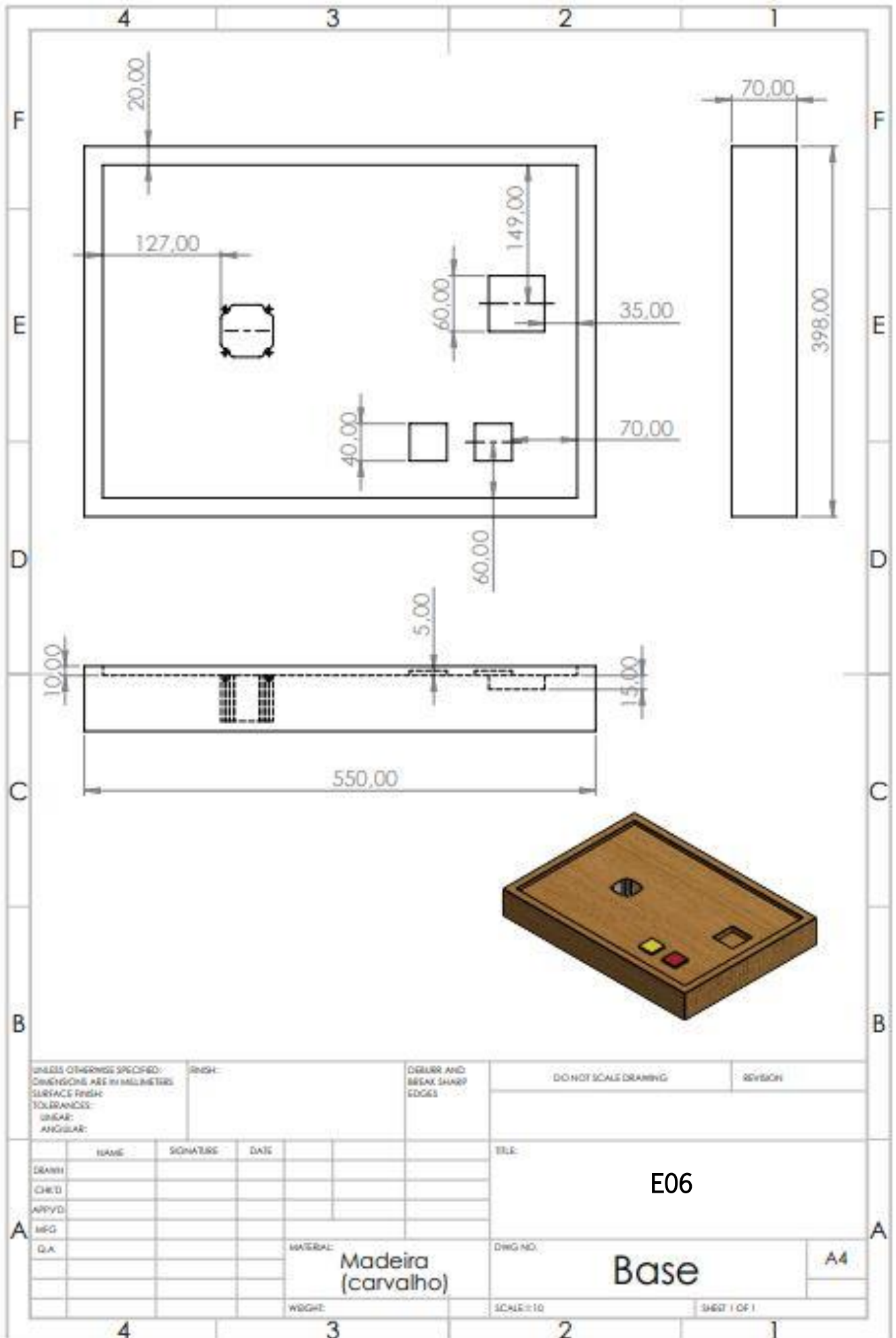
Prato

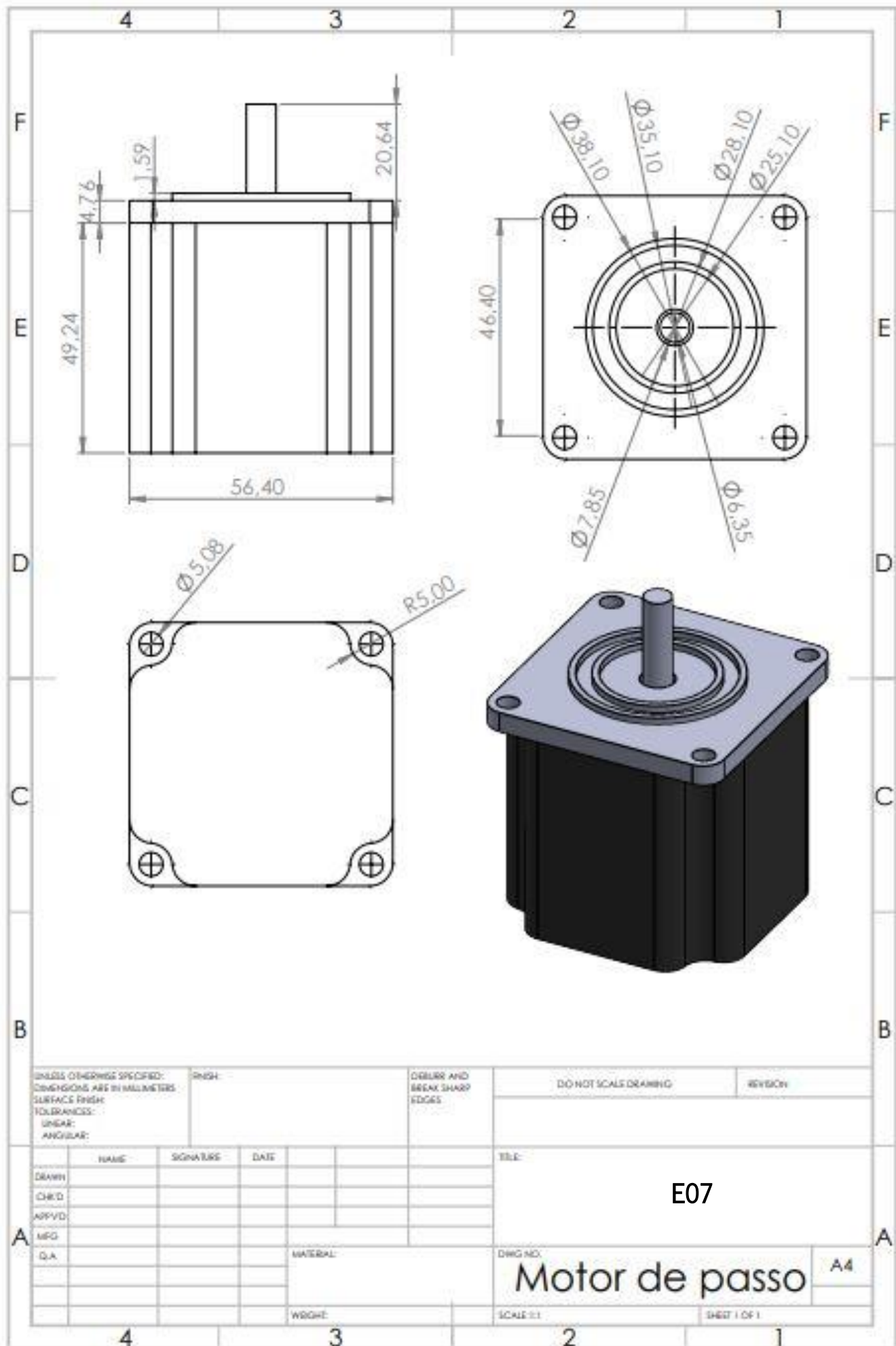
A4

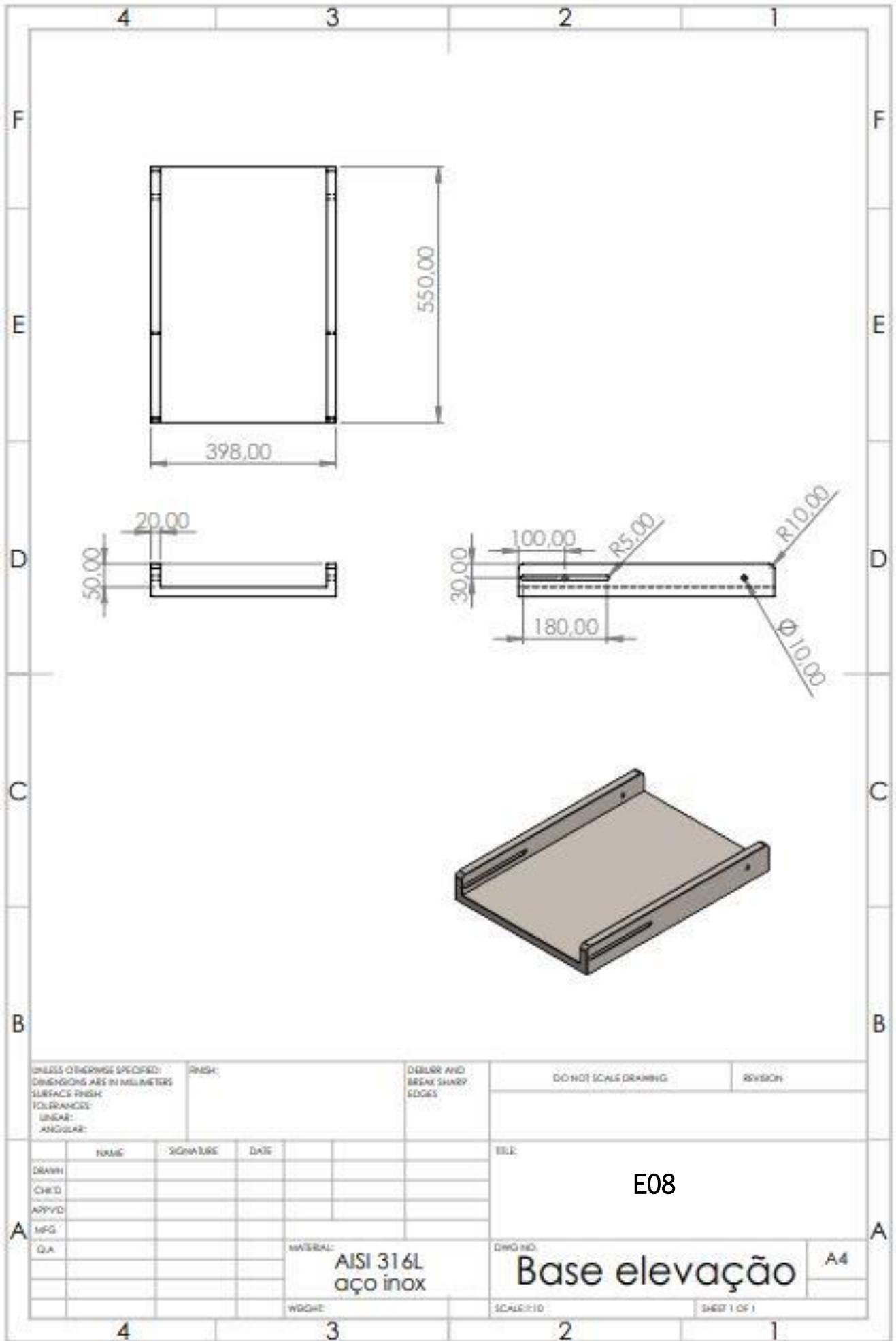
WEIGHT:

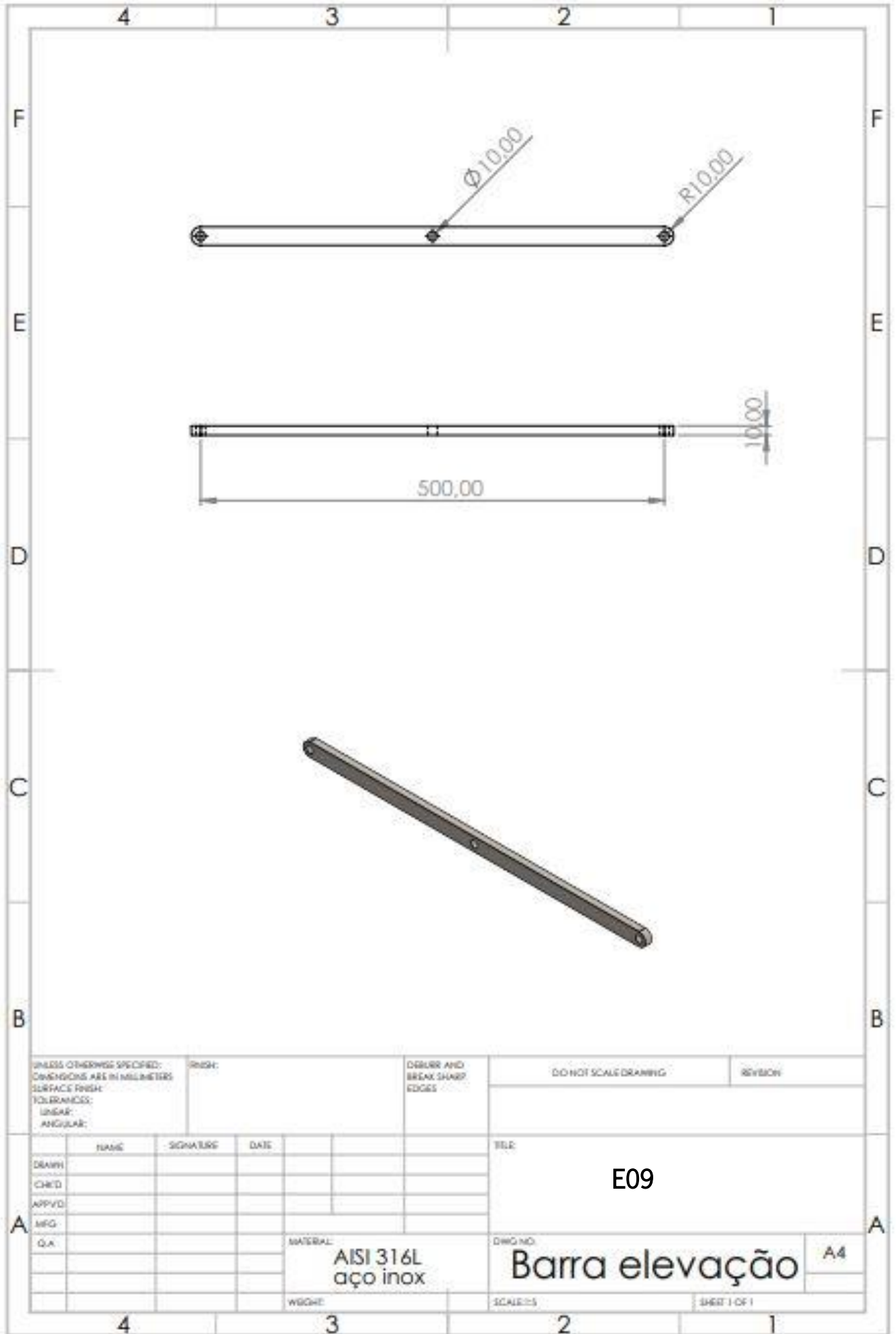
SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FRESH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DESIGN					
CHECK					
APPROV.					
MFG.					
Q.A.					

TITLE

E09

MATERIAL:
AISI 316L
aço inox

DWG NO

Barra elevação

A4

WGT:

SCALE: 1:5

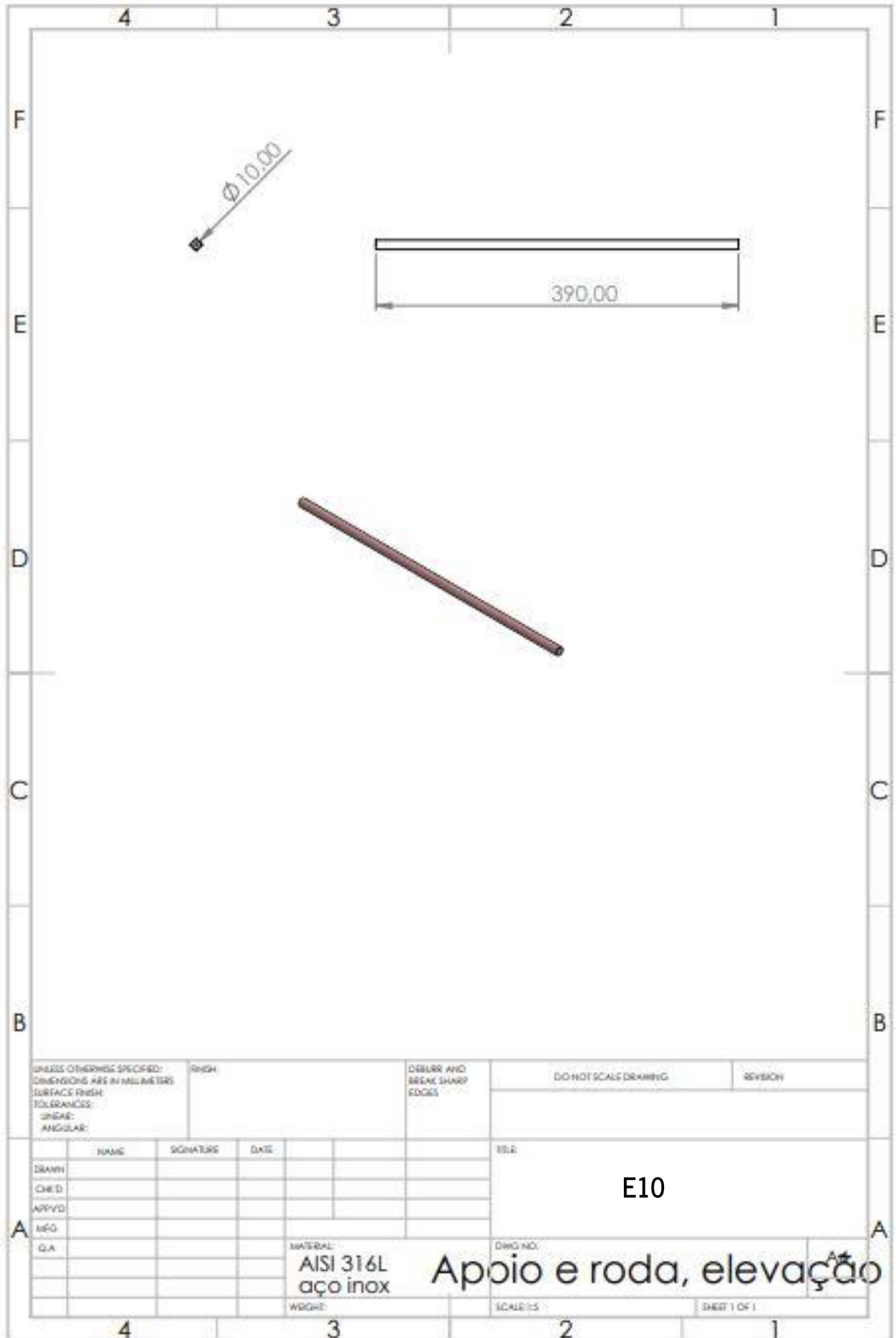
SHEET 1 OF 1

4

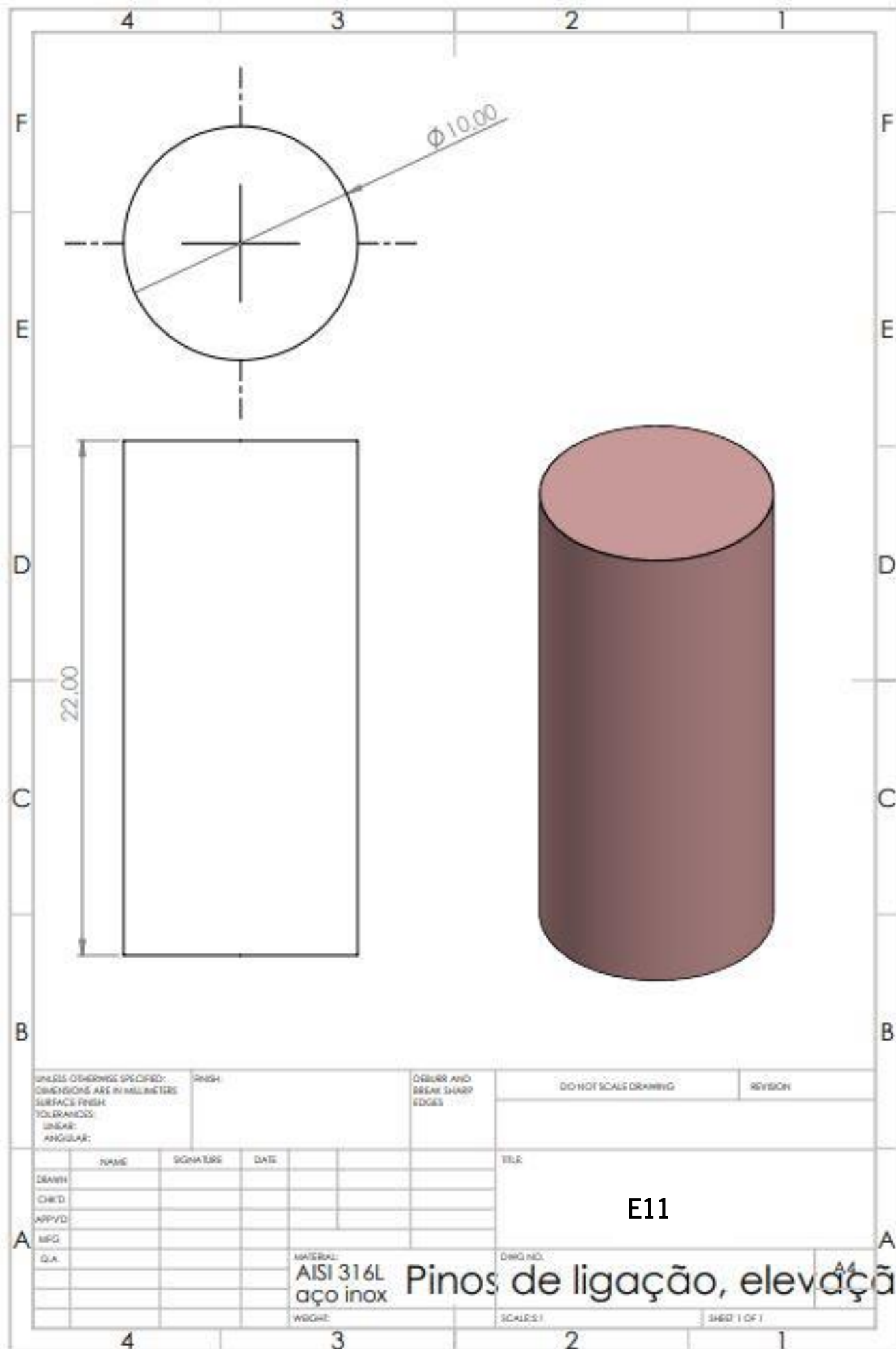
3

2

1

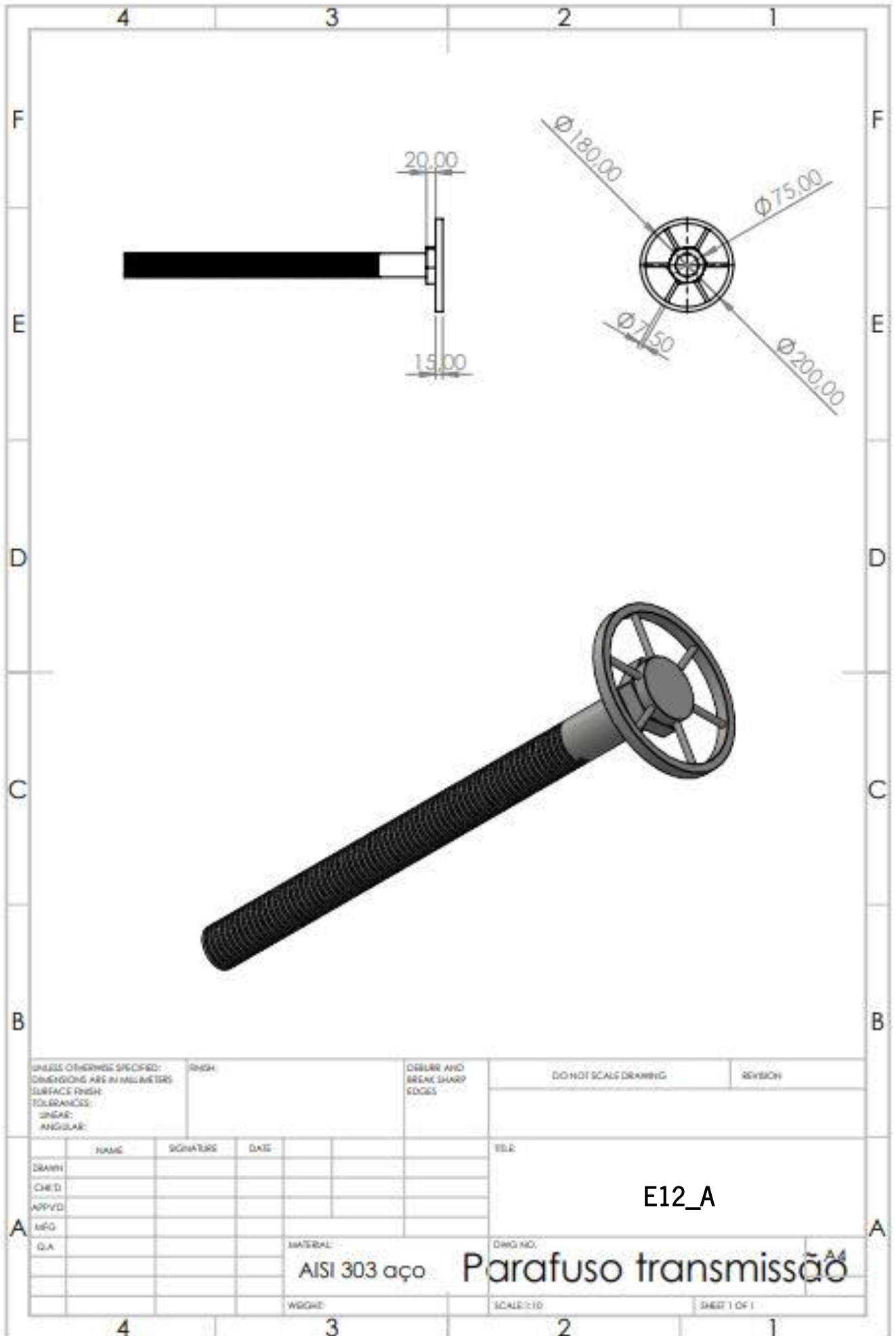


DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES:		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION:	
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS									
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE			
DRAWN						E10			
CHECKED									
APPROVED									
MFG									
D.A									
MATERIAL:		AISI 316L		DWG NO.:		Apoio e roda, elevação			
		aço inox							
WEIGHT:				SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE			
DRAWN			E11			
CHKD.						
APPVD.						
MFG.						
QA.						
MATERIAL: AISI 316L aço inox			DWG. NO.	44		
WORK:			SCALE:	SHEET 1 OF 1		

Pinos de ligação, elevação



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

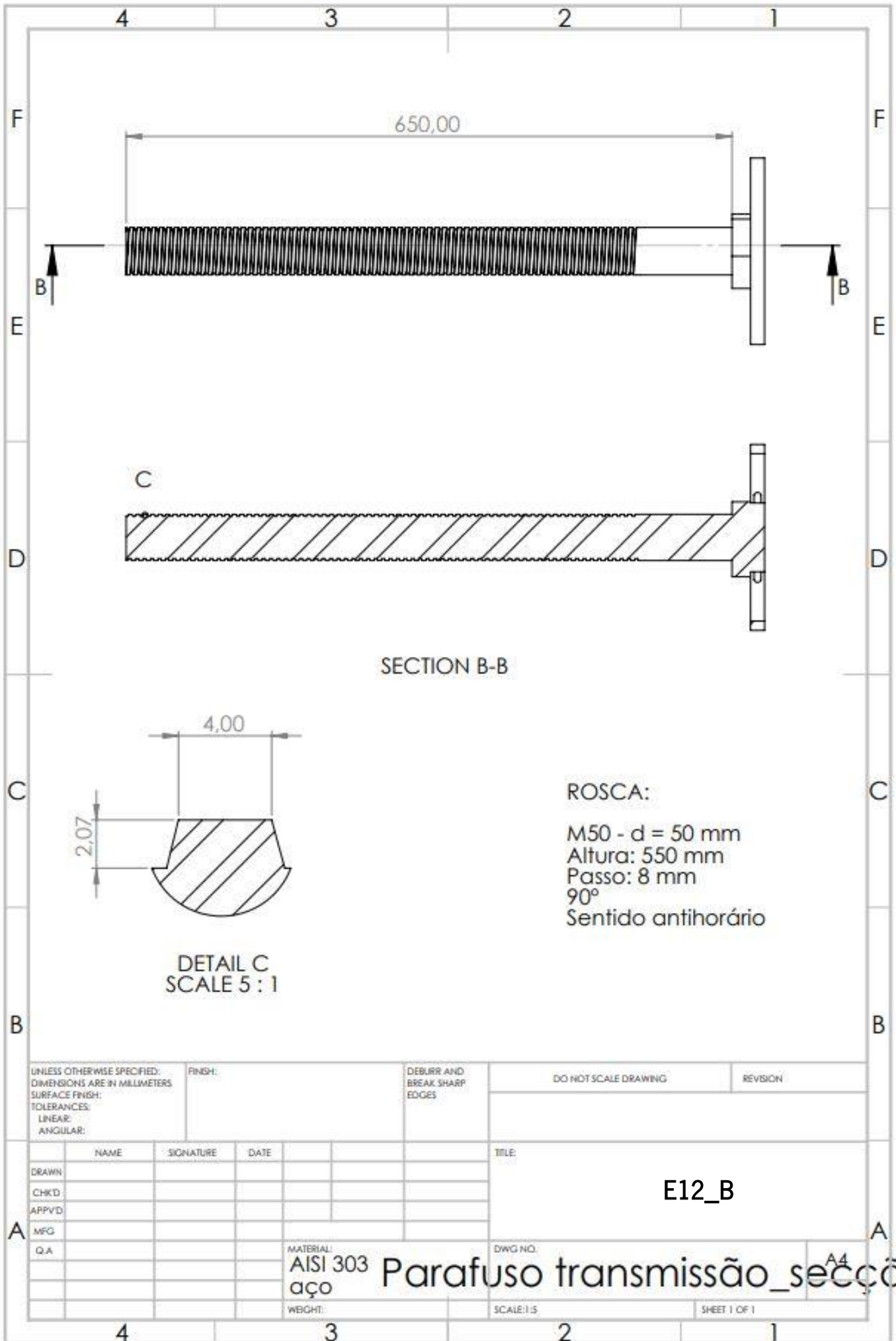
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		TEL:
DRAWN					
CHEK					
APPROV					
ENG					

E12_A

MATERIAL: AISI 303 aço			DWG NO: Parafuso transmissão	
WGT:			SCALE: 1:10	
			SHEET 1 OF 1	



SECTION B-B

DETAIL C
SCALE 5 : 1

ROSCA:
 M50 - d = 50 mm
 Altura: 550 mm
 Passo: 8 mm
 90°
 Sentido antihorário

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:
DRAWN							E12_B
CHKD							
APPVD							
MFG							
Q.A							

MATERIAL:
 AISI 303
 aço

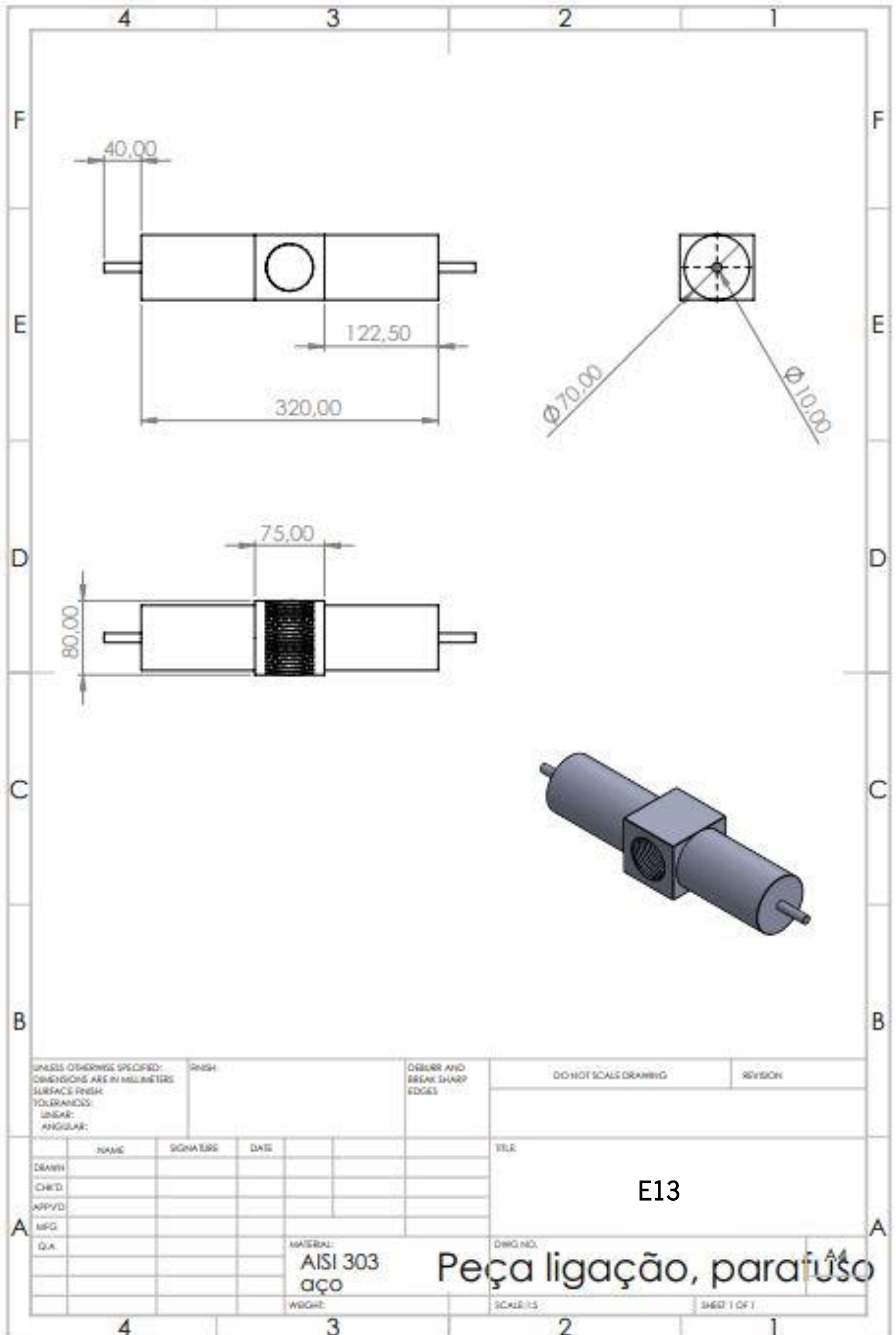
DWG NO.

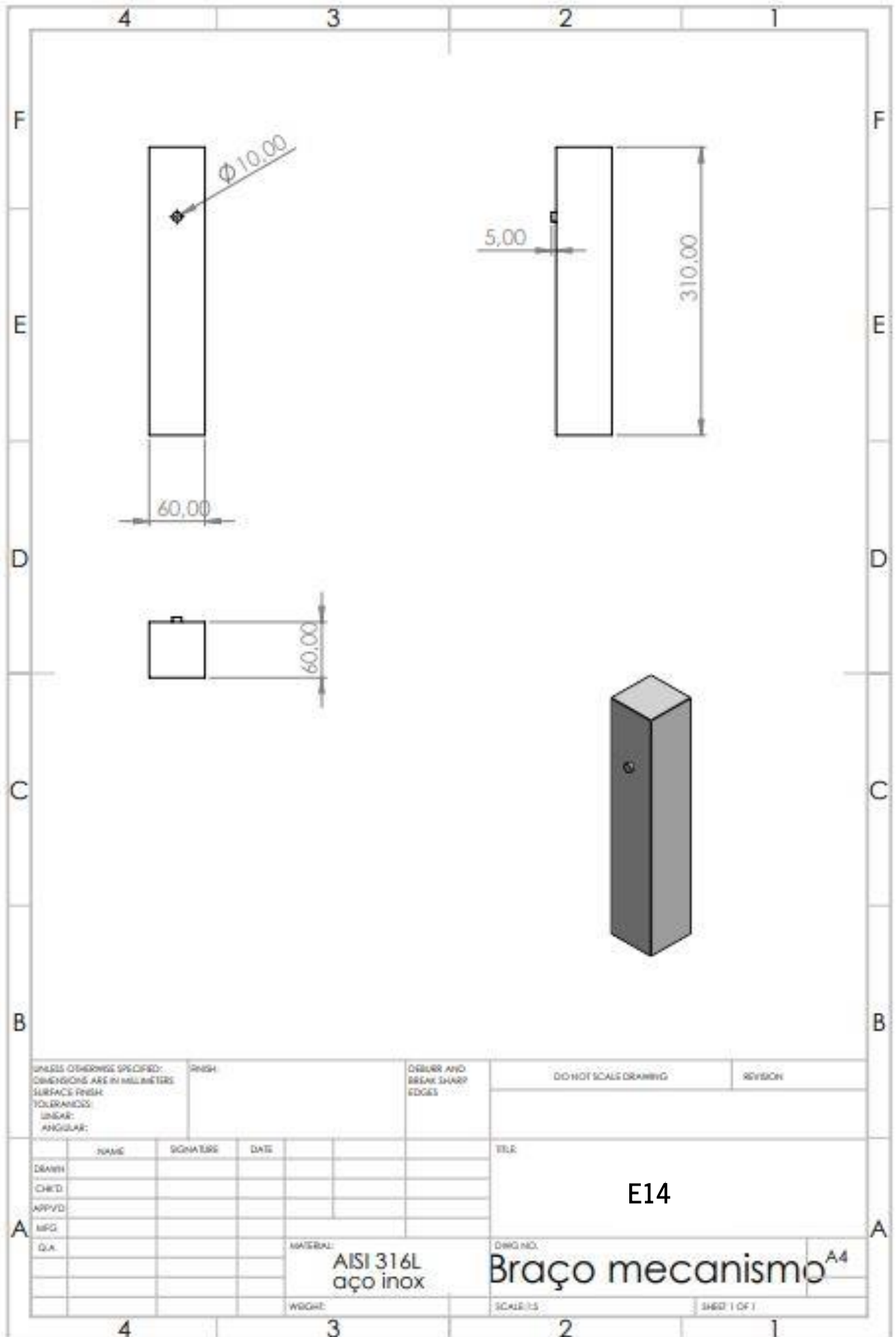
Parafuso transmissão_seccã

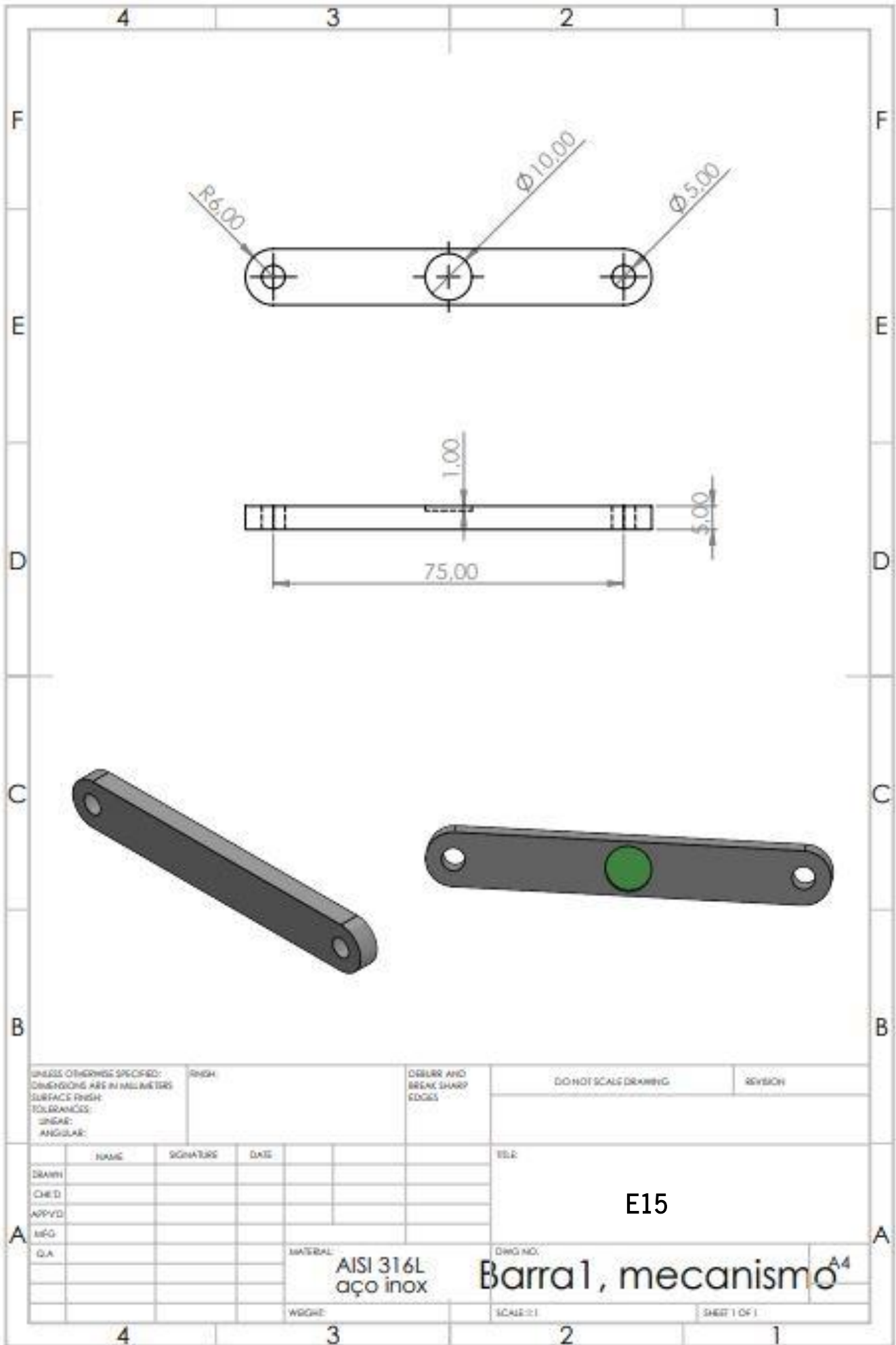
WEIGHT:

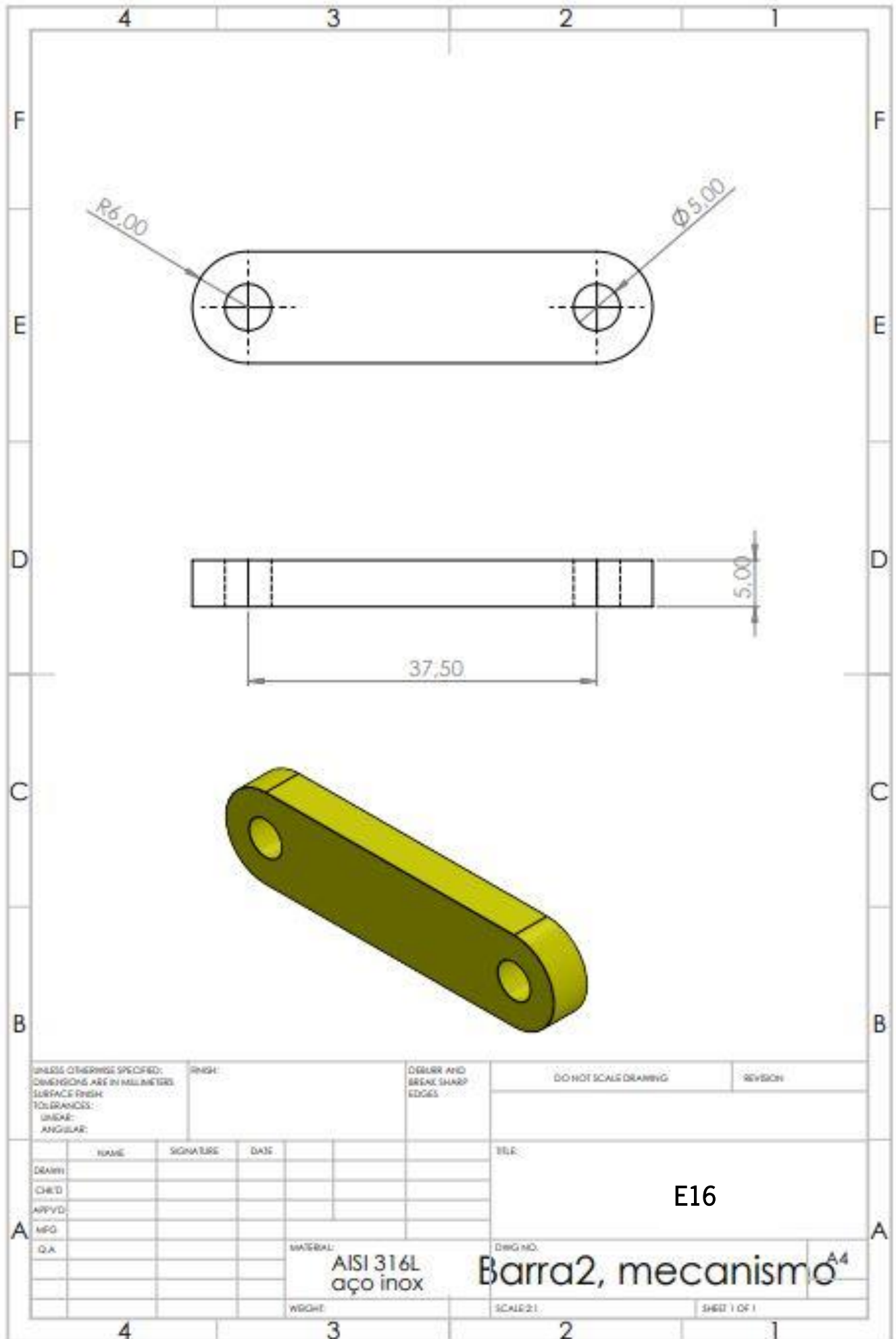
SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1

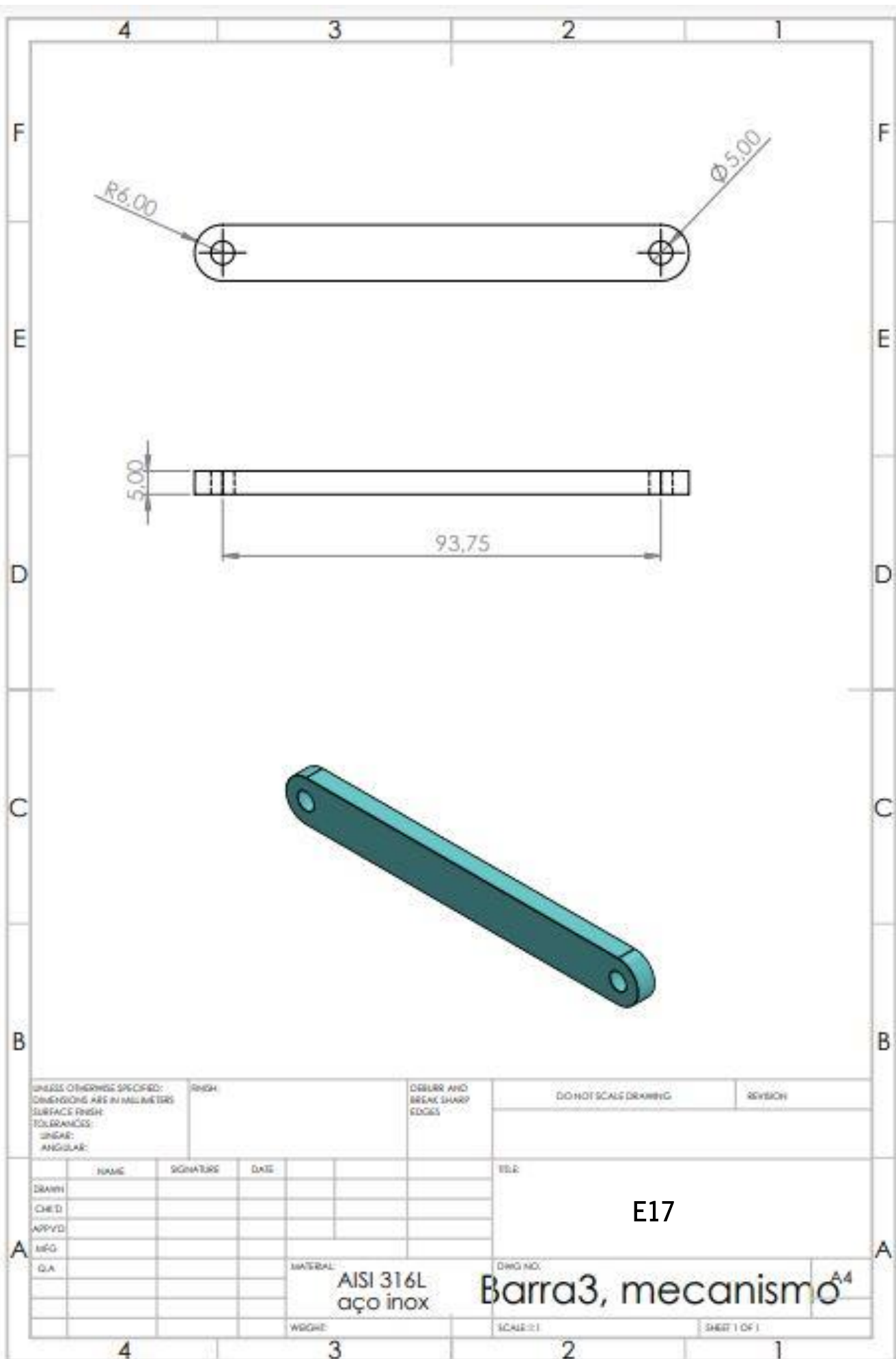








UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES: UNDAE- ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME	SIGNATURE	DATE				<p style="text-align: center;">E16</p>			
DRAWN									
CHEK'D									
APP'VD:									
MFG									
Q.A.						MATERIAL:		DRWG NO.:	
						AISI 316L aço inox		Barra2, mecanismo ^{A4}	
						WEIGHT:		SCALE: 2:1	
								SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 ANGULAR:
 ANGULAR:

FINISH

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHEK					
APPYD					
MFG					
QA					

TITLE

E17

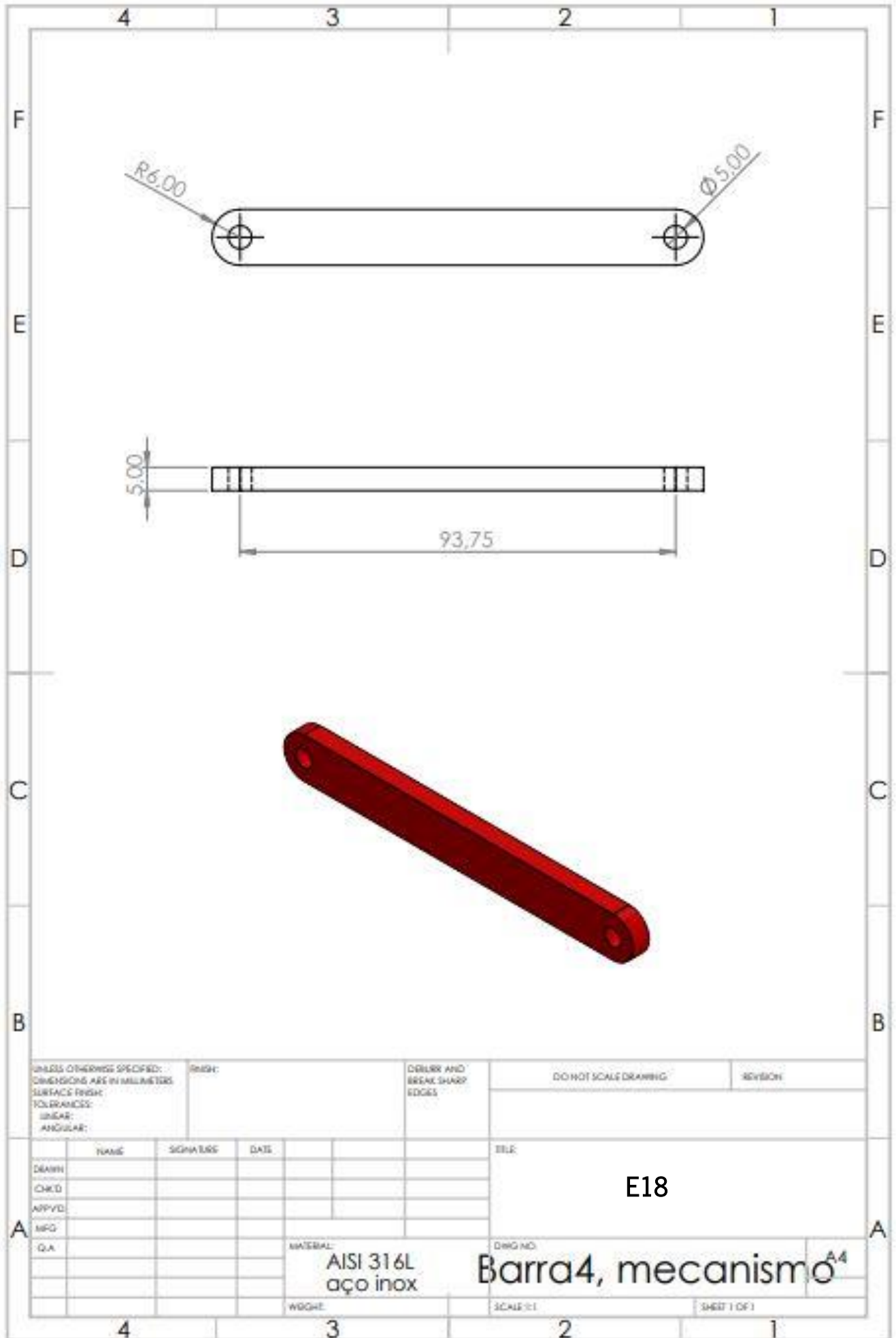
MATERIAL:
 AISI 316L
 aço inox

DWG NO.
 Barra3, mecanismo^{A4}

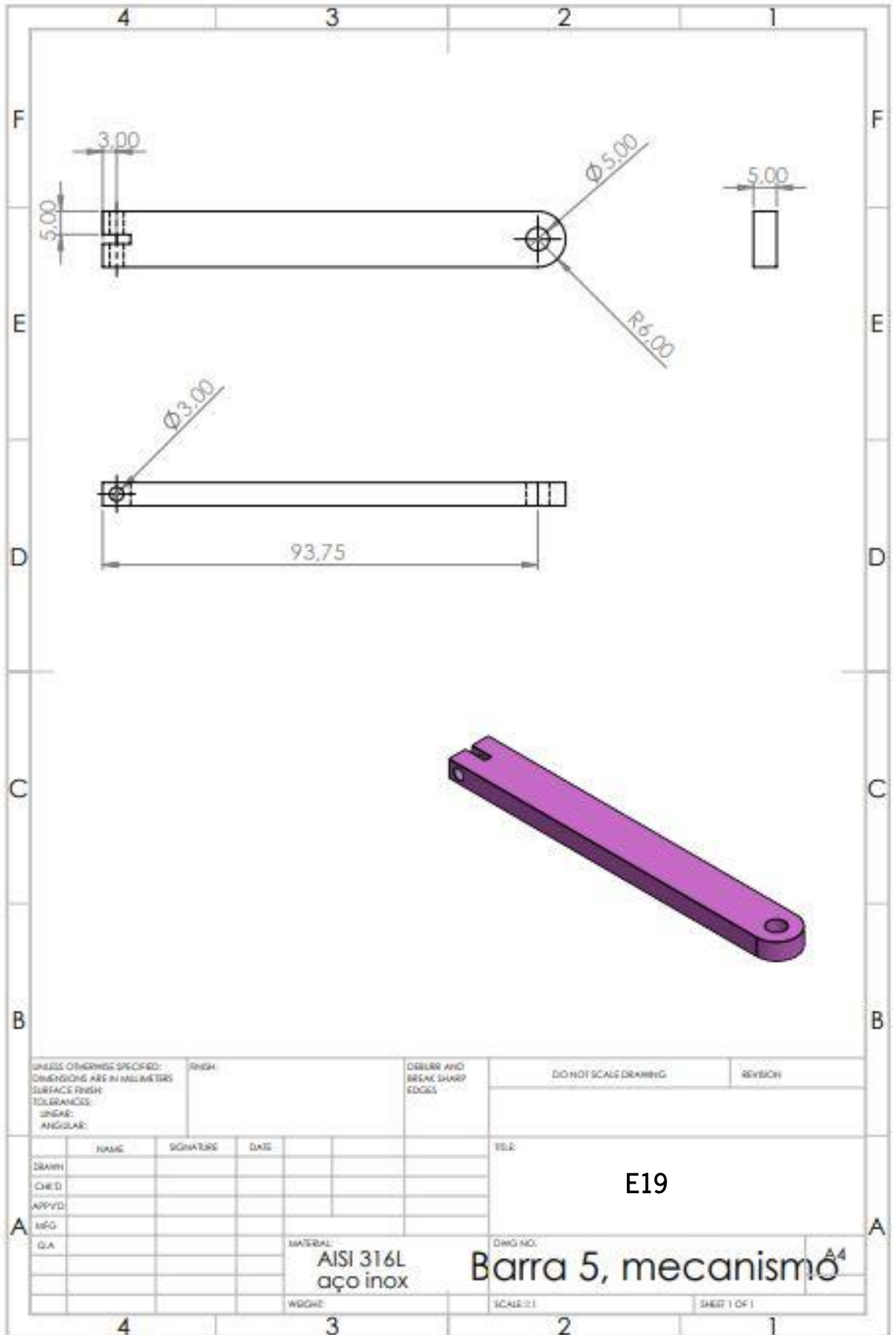
WGT:

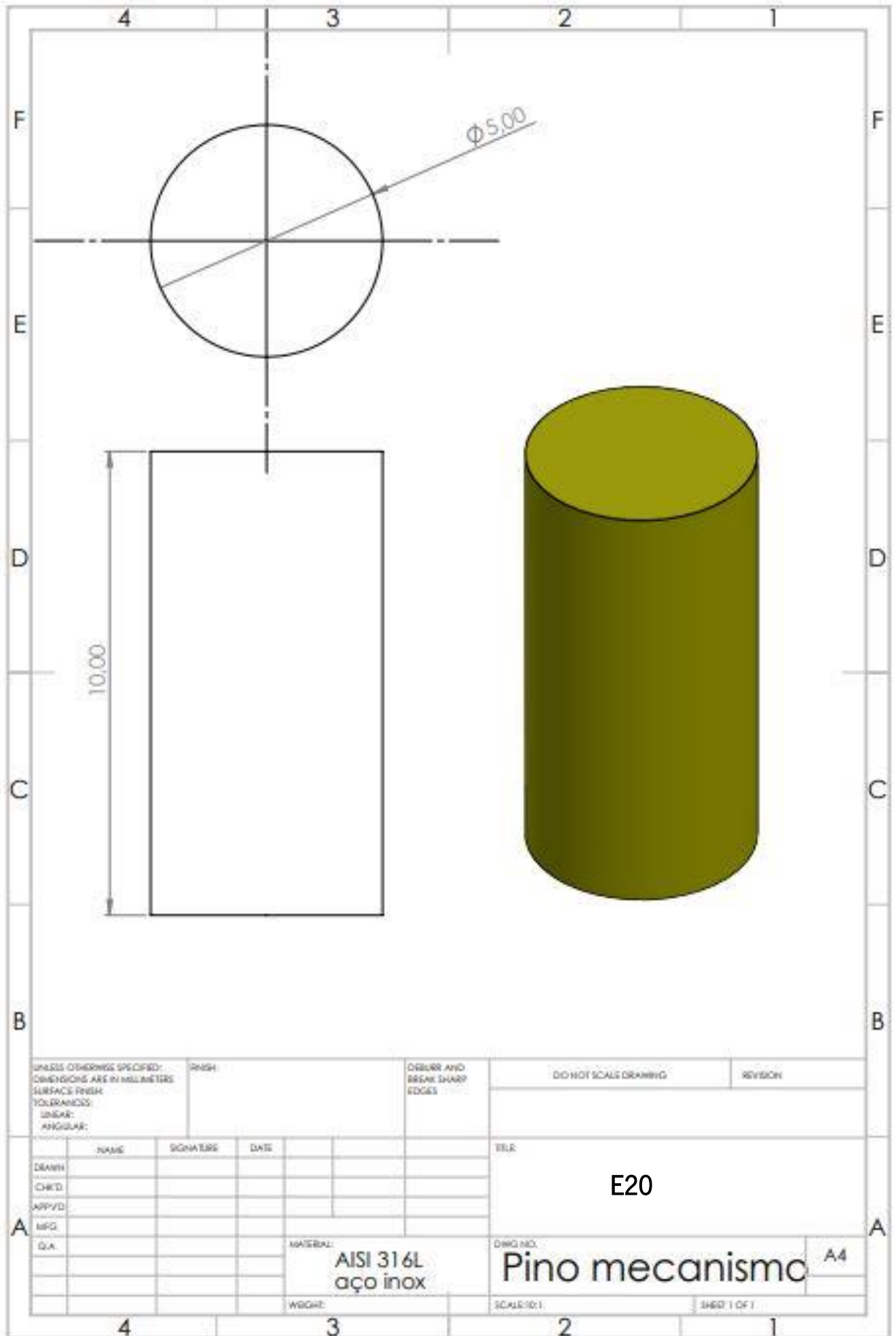
SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DRILLER AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE	
DRAWN					E18	
CHECKED						
APPROVED						
MFG						
Q.A.						
MATERIAL: AISI 316L aço inox			DWG NO: Barra4, mecanismo^{A4}			
WEIGHT:			SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1	





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE	
DRAWN					E20	
CHECKED						
APPROVED						
MFG.						
Q.A.						
			MATERIAL: AISI 316L aço inox	DWG. NO. Pino mecanismo	A4	
			WEIGHT:	SCALE: 10:1	SHEET 1 OF 1	

Anexo C – Instruções de utilização

1. Posicionamento do utilizador

O utilizador deverá posicionar-se frontalmente ao dispositivo aquando da alimentação, sendo que esta posição deverá ser confortável para o utilizador, porque irá ficar nesta posição até que acabe a alimentação. Desta forma, o utilizador deverá sentar-se com as costas retas, relaxando os ombros, apoiando os pés no chão e pressionando os quadris contra as costas da cadeira, de modo que a curvatura natural da parte inferior das costas seja apoiada pelo suporte lombar da cadeira. De referir que os joelhos do utilizador deverão estar ligeiramente mais baixos que os quadris, tal como mostra a Figura C1.

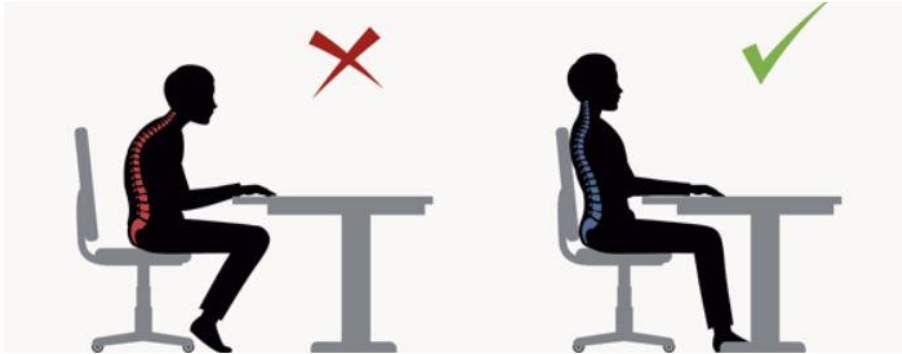


Figura C1: Posicionamento correto de uma pessoa sentada numa cadeira (Adaptado de [55]).

Como o utilizador deve permanecer fixo nesta posição, a cadeira não pode apresentar rodas, isto é, deve ter quatro pernas fixas ao chão.

2. Ajuste em altura

Para se realizar o ajuste de altura do dispositivo, o prestador de cuidados do utilizador deverá rodar o parafuso através da roda, tal como se pode verificar através da Figura C2, até à posição ideal para o utilizador.

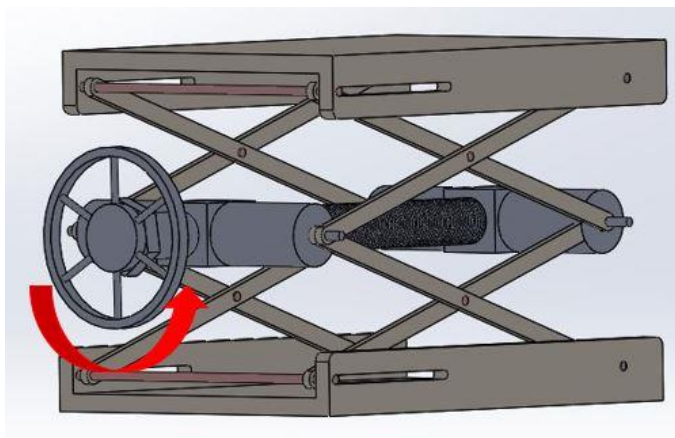


Figura C2: Como se roda o parafuso, para se realizar o ajuste em altura.

3. Utilização do dispositivo

Após o utilizador se posicionar e ajustar a altura do dispositivo, dá-se início ao programa de alimentação, sendo que, em primeiro lugar, o utilizador deve escolher a comida que deseja comer ou beber e, para isso, carrega no interruptor amarelo, que faz rodar o prato 90° de cada vez. Quando o compartimento escolhido estiver na posição frontal ao braço robótico, o utilizador pressiona o interruptor vermelho que dará início ao movimento do braço robótico. Este é um processo cíclico, isto é, o utilizador terá sempre de escolher o que fazer a seguir no dispositivo, pressionando os interruptores de acordo com o que deseja. A Figura C3 apresenta a sequência de ações que o utilizador deve realizar.

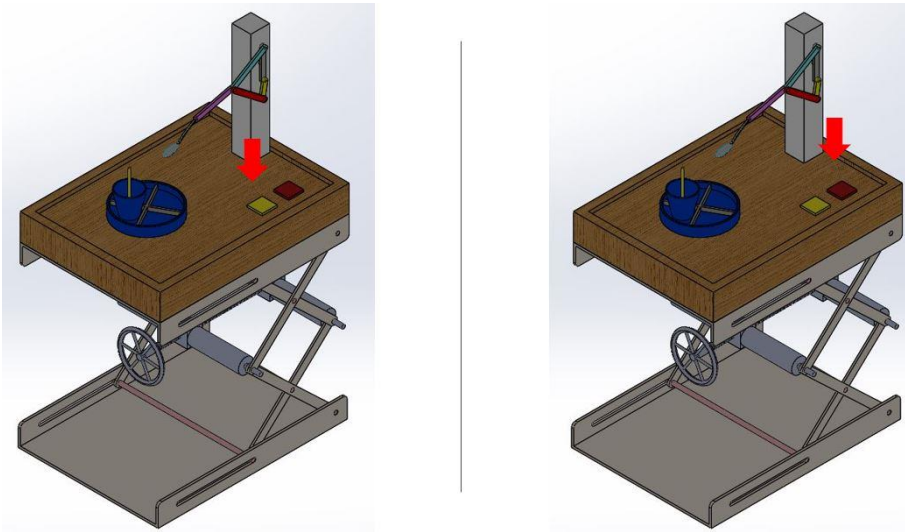


Figura C3 - Sequência para se realizar a autoalimentação.