

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE UM
SISTEMA DE VENTILAÇÃO AUTOMATIZADO
PARA CAPACETE DE BICICLETA**
Smart Helmet IPB-UTFPR

Tatiane Cicoszki

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bragança

2020

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE UM
SISTEMA DE VENTILAÇÃO AUTOMATIZADO
PARA CAPACETE DE BICICLETA**
Smart Helmet IPB-UTFPR

Tatiane Cicoszki

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadores:

João Rocha

José Barbosa

Diego Rizzotto Rossetto

Robson Gonçalves Trentin

Bragança

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por sempre apoiarem minhas decisões e se sacrificarem para proporcionar tudo o que precisei para alcançar meus objetivos de formação profissional e pessoal. Agradeço a minha pequena irmã, por ser uma luz na minha vida e ter entendido minha ausência.

Agradeço aos meus professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por todos os ensinamentos ao decorrer da graduação e aos professores do Instituto Politécnico de Bragança, por me receberem tão bem. Sem vocês, não teria sido possível.

Agradeço em especial ao Professor João Rocha, pela confiança depositada, por todo o apoio e orientação necessários para tornar possível o desenvolvimento dessa dissertação. Agradeço também aos Professores Diego Rossetto, Robson Trentin e José Barbosa pela disponibilidade em auxiliar e por todo o apoio concedido. Meus sinceros agradecimentos ao Jorge Santos, por todo o tempo dedicado e pelos sábios conselhos.

Agradeço imensamente aos meus amigos de Pato Branco, por estarem comigo durante toda a graduação e aos amigos de Bragança, por todas as experiências e por terem feito meus dias mais felizes.

RESUMO

Os capacetes de bicicleta são a forma mais eficiente de reduzir os danos na cabeça causados por acidentes envolvendo ciclistas. Entretanto, muitos usuários evitam usá-los por considerarem, entre outros motivos, o equipamento desconfortável termicamente. As camadas de proteção dificultam a perda de calor em ambientes quentes e as aberturas de ventilação fazem com que a perda de calor seja exagerada em condições de baixa temperatura. A presente dissertação consiste em uma proposta para solucionar essa barreira de uso e colaborar para que estes equipamentos se tornem versáteis e confortáveis em diferentes situações. Um mecanismo de palhetas rotativas foi desenvolvido para ser impresso através de fabricação aditiva (prototipagem rápida) e atuar juntamente com um sistema eletrônico, controlado por um microcontrolador ESP32. Este é responsável por identificar a temperatura sob o capacete, através da utilização de um sensor termistor, e acionar um servomotor, alterando o posicionamento das palhetas, liberando ou restringindo a entrada de ar. Consiste em um trabalho essencialmente teórico, tendo em vista que a ocorrência da pandemia causada pelo Covid-19 impediu a realização do trabalho experimental, que permitiria validar o projeto. Contudo, conclui-se que o mecanismo proposto parece exequível e aplicável em capacetes já existentes ou adequáveis a novos modelos.

Palavras-chaves: Capacetes, bicicletas, conforto térmico, *smart helmet*.

ABSTRACT

Bicycle helmets are the most efficient way to reduce head damage caused by accidents involving cyclists. However, many users avoid using them because they consider, among other reasons, the equipment thermally uncomfortable. The protective layers make heat loss difficult in hot environments and the ventilation openings cause heat loss to be exaggerated in low temperature conditions. This dissertation consists of a proposal to solve this barrier of use and collaborate so that this equipment becomes versatile and comfortable in different situations. A rotary vane mechanism was developed to be printed through additive manufacturing (rapid prototyping) and to act together with an electronic system, controlled by an ESP32 microcontroller. This is responsible for identifying the temperature under the helmet, using a thermistor sensor, and activating a servomotor, changing the position of the vanes, releasing or restricting the air intake. It consists of essentially theoretical work, considering that the occurrence of the pandemic caused by Covid-19 prevented the experimental work, which would allow the project to be validated. However, it is concluded that the proposed mechanism seems feasible and applicable to existing helmets or suitable for new models.

Keywords: Helmets, bicycles, thermal comfort, smart helmet.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 CAPACETES	3
2.1.1 <i>Capacetes de bicicleta</i>	3
2.1.2 <i>Uso e Eficácia de Capacetes de Ciclismo</i>	4
2.1.3 <i>Componentes de um capacete de bicicleta</i>	5
2.1.4 <i>Tipos de capacetes</i>	6
2.1.5 <i>Capacetes Inteligentes</i>	7
2.1.6 <i>Segurança</i>	8
2.1.7 <i>Respiradouros</i>	9
2.2 CONFORTO TÉRMICO	11
2.2.1 <i>Índice de calor</i>	12
2.2.2 <i>Índice de resfriamento</i>	12
2.2.3 <i>Condições de não uniformidade térmica</i>	13
2.2.4 <i>Normas</i>	13
2.3 FABRICAÇÃO.....	13
2.3.1 <i>Fabrico aditivo</i>	14
2.3.2 <i>FabLab</i>	14
2.4 ELETRÓNICA	15
2.4.1 <i>Microcontrolador</i>	16
2.4.2 <i>Sensores</i>	16
2.4.2.1 <i>Sensores de Temperatura</i>	17
2.4.2.2 <i>Sensores de Vento</i>	18
2.4.3 <i>Servomotor</i>	19
2.4.4 <i>Programação</i>	19
2.5 MECANISMO	20
2.5.1 <i>Eixos</i>	20
2.5.2 <i>Engrenagens</i>	21
2.5.2.1 <i>Nomenclatura de Engrenagens de Dente Retos</i>	22

2.5.3	<i>Mancais (Chumaceiras)</i>	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	PONTO DE PARTIDA	25
3.2	MECANISMO TAMPA LINEAR	25
3.2.1	<i>Procedimento Scâner</i>	26
3.2.2	<i>Modelagem no Software SolidWorks</i>	27
3.2.3	<i>Impressão 3D</i>	30
3.2.4	<i>Montagem</i>	32
3.2.5	<i>Iteração</i>	32
3.3	MECANISMO ANGULAR	34
3.3.1	<i>Modelação no Software SolidWorks</i>	34
3.3.2	<i>Testes Cinemático e de Força do Vento</i>	37
3.3.3	<i>Impressão Componentes Mecânicos</i>	39
3.3.4	<i>Componentes Eletrônicos</i>	39
3.3.5	<i>Circuito Elétrico</i>	42
3.3.6	<i>Códigos Programação</i>	44
3.3.7	<i>Aplicação</i>	45
3.3.8	<i>Custo do Protótipo</i>	46
4	CONCLUSÕES	48
5	REFERÊNCIAS	50
	ANEXOS	52
	ANEXO A – 1ª VERSÃO SUPORTE MECANISMO LINEAR	52
	ANEXO B – 2ª VERSÃO SUPORTE MECANISMO LINEAR	53
	ANEXO C – MECANISMO ANGULAR	54
	Anexo C.1 – Suporte	55
	Anexo C.2 – Tampa Mancal	56
	Anexo C.2 – Palheta Direita	57
	Anexo C.3 - Engrenagem	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Hairnets [5]	3
Figura 2.2 - Elementos de um capacete, a) carcaça, b) enchimento, c) sistema de retenção, d) cintas de ajuste interno, e) sistema de ventilação, f) almofadas, g) viseira. [6]	6
Figura 2.3 - Esquema de 5 capacetes testados. Os respiradouros são indicados como entrada ou saída ou nenhum dos dois, [20]	10
Figura 2.4 - Termopar de Aço Inoxidável [44]	17
Figura 2.5 - Termistor de 10k [44]	18
Figura 2.6 - Pinhão e Engrenagem [44].....	21
Figura 2.7 - Cremalheira e um pinhão [44]	21
Figura 2.8 - Par de engrenagens helicoidais de eixos cruzados [44].....	22
Figura 2.9 - Nomenclatura para engrenagens cilíndricas de dentes retos [52].....	22
Figura 2.10 - Mancal de Rolamento [49]	23
Figura 2.11 - Nomenclatura de um Mancal de Esferas [52].....	24
Figura 3.1- Capacete de Estrada Polisport Aero R.....	25
Figura 3.2 - Interface Meshmixer	26
Figura 3.3 - Visualização do Mecanismo Deslizante Dentro do Capacete	28
Figura 3.4 - Curvas Guias Superfície Suporte Mecanismo Deslizante	29
Figura 3.5 - 1ª Etapa Modelagem Suporte Mecanismo Deslizante	29
Figura 3.6 - 1ª Versão Suporte Mecanismo Deslizante	30
Figura 3.7 - Componentes Principais da Impressora Ultimaker 3 [55].....	31
Figura 3.8 - Suporte Linear Impresso em PLA	31
Figura 3.9 - Simulação Impressão 1ª Versão Suporte Mecanismo Deslizante.....	32
Figura 3.10 - 2ª Versão Suporte Mecanismo Deslizante	33
Figura 3.11 - Simulação da Impressão da 2ª Versão Mecanismo Deslizante	33
Figura 3.12 - Representação do Suporte.....	34
Figura 3.13 - Representação da Palheta Esquerda.....	35
Figura 3.14 - Representação Engrenagens	35
Figura 3.15 - Representação da Montagem do Mecanismo	37
Figura 3.16 - Visualização Inferior do Capacete com o Mecanismo Angular	37
Figura 3.17 - Malha Utilizada na Simulação Estática	38
Figura 3.18 - Deslocamento da Palheta Direita [mm].....	38

Figura 3.19 - Tensão de von Mises [N/m ²]	39
Figura 3.20 - Caixa de Componentes	40
Figura 3.21 - Localização da Caixa de Componentes no Capacete	40
Figura 3.22 - Microcontrolador ESP32	41
Figura 3.23 - Servomotor	41
Figura 3.24 - - Suporte para 4 pilhas AAA [44]	42
Figura 3.25 - Representação Circuito Elétrico	43
Figura 3.26 - 1ª Parte do Código de Programação	44
Figura 3.27 - 2ª Parte do Código de Programação	45
Figura 3.28 - Conexão Bluetooth	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela i - Sensação térmica em função da umidade relativa (NOAA)	12
Tabela ii - Sensação de temperatura com a presença de vento (IMPA).....	12
Tabela iii - Custos do Protótipo.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABS	Acrilonitrina Butadieno Estireno
Bit	<i>Binary Digit</i> (Digito Binário)
BMX	<i>Bicycle Motocross</i>
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Assistida por Computador
cm	Centímetro
CPE	<i>Co-polyester</i>
CPU	Unidade Central de Processamento
CT	Termografia Computadorizada
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EN	Norma Europeia
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPP	Polipropileno Expandido
EPS	Poliestireno Expandido
ERSO	<i>European Road Safety Observatory</i>
FA	Fabricação Aditiva
FabLab	Laboratório de Fabricação
FLASH	Dispositivo de Armazenamento Não Volátil
FIT	Tecnologia Integrada de Fusão
FSR	<i>Force Sensing Resistor</i>
g	<i>Gramas</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IMPA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IOT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
Kg	Quilogramas
m	Metro
MIPS	Sistema de Proteção a Impactos Multidirecionais
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
MRI	Ressonância Magnética
MHz	Mega Hertz
N	Newton

NBR	Norma Brasileira
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> (Coeficiente de Temperatura Negativo)
PR	Prototipagem Rápida
PCT	<i>Positive Temperature Coefficient</i> (Coeficiente de Temperatura Positivo)
PLA	Poliácido Láctico
PVA	Poliacetado de Vinila
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
RTD	<i>Resistance Temperature Detector</i>
s	Segundos
V	Volts
°C	Graus Celsius
€	Euro
Ω	Ohm
Φ	Ângulo de pressão

1 INTRODUÇÃO

Os capacetes de bicicleta são a forma mais eficiente de evitar ferimentos na cabeça causadas por acidentes envolvendo ciclistas. Estudos afirmam que podem representar redução de 45% do risco de lesões desta natureza [1]. Entretanto, muitos usuários desse meio de transporte e praticantes do desporto recusam-se a usar esse equipamento de proteção.

Uma das principais barreiras para o não uso de capacetes é o desconforto térmico [2]. Altas temperaturas atreladas com o metabolismo acelerado, proveniente da atividade física, geram deficiência de perda de calor sob o equipamento. Por outro lado, baixas temperaturas alinhadas com altas velocidades, fazem com que o vento frio que adentra o capacete através dos respiradores gere demasiada perda de calor, configurando também desconforto.

Com o objetivo de minimizar esse problema, o presente trabalho visa desenvolver um sistema de controle de ventilação, a fim de proporcionar conforto nas mais variadas situações enfrentadas pelos usuários. O projeto inicial englobava a construção de um protótipo para validação do modelo proposto, contudo devido à ocorrência da pandemia causada pelo Covid-19, o acesso aos laboratórios e equipamentos foi sabiamente restrito, de modo que inviabilizou a execução do trabalho experimental.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho engloba o projeto, construção e validação de um protótipo de um mecanismo automatizado para controle de entrada de ar em capacetes de bicicleta, visando conforto térmico em diferentes situações de uso. Especificamente, pretende-se desenvolver um sistema mecânico aplicável em um equipamento já existente, mas também facilmente adaptável para outros equipamentos e que não represente grande aumento de massa ao equipamento. Será ainda definido um sistema eletrônico capaz de controlar o mecanismo de forma autónoma garantindo que a presença dos componentes não represente aumento de risco para o usuário. Além disso, pretende-se criar uma aplicação que permita a comunicação entre o sistema e o usuário.

1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em quatro capítulos. O primeiro contém uma introdução sobre o tema, as justificativas para a realização do trabalho e os objetivos que pretende-se alcançar ao longo do desenvolvimento.

O segundo capítulo consiste em uma revisão bibliográfica a respeito dos principais temas utilizados no projeto. Aborda definições de capacetes e conceitos de conforto térmico. Descreve, também, pontos importantes acerca de componentes mecânicos e eletrônicos, além de processos de fabrico aditivo (prototipagem rápida).

O terceiro capítulo engloba a descrição de todos os procedimentos realizados para a elaboração do mecanismo. Desde concepção da ideia, desenho em *software* CAD 3D, impressão, até a explicação de iterações necessárias, simulações realizadas em *softwares*, definição do circuito elétrico, elaboração de códigos de programação e parte da criação de uma aplicação para telemóvel.

O quarto e último capítulo abrange a conclusão acerca do trabalho realizado e sugestões para realização de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CAPACETES

Capacetes são equipamentos utilizados para proteção da cabeça contra impacto, evitando fraturas do crânio e danos cerebrais. O objetivo destes equipamentos é dissipar a energia de impacto, reduzindo a probabilidade de lesões [3]. Absorvem o impacto e amortecem a cabeça para prolongar o tempo de desaceleração [4].

Estes equipamentos vêm sendo utilizados há muito tempo. Os primeiros registros apontam que eram usados para proteção contra ataques de armas e qualquer tipo de penetração em combates [4]. O emprego dos capacetes expandiu-se, sendo usados atualmente em diversos contextos que haja risco de impacto na cabeça: indústria, obras, desportos, motocicletas e bicicletas, entre outros.

2.1.1 Capacetes de bicicleta

Capacetes de bicicleta começaram a aparecer por meados de 1930. De acordo com Ellis [5], eram constituídos de tiras de couro com estofamento envolvendo a cabeça, presas longitudinalmente a uma faixa circular na borda inferior. Até os anos 1970 não houve evolução efetiva e eram então chamados de *hairnets*, traduzidos como “redes para os cabelos”, como ilustra a Figura 2.1. Só a partir de então, o entendimento que as lesões na cabeça eram umas das principais causas de morte no ciclismo motivou o início do desenvolvimento de equipamentos mais protetivos.



Figura 2.1 - Hairnets [5]

Apenas no início dos anos 80 os capacetes começaram a proteger de forma mais efetiva, com o surgimento de equipamentos com revestimento de espuma EPS

(poliestireno expandido) e com conchas duras. Alguns anos depois surgiram capacetes mais leves, sem o revestimento concha dura, sendo compostos apenas de espuma. Esses equipamentos se desfaziam no primeiro impacto, de modo que posteriormente foi inserido um reforço interno para resolver esse problema [5].

No início da década de 1990, o plástico foi inserido na confecção dos capacetes de bicicleta. Estes passaram a ser produzidos novamente em espuma EPS e revestidos com uma concha de plástico. Os materiais passaram a ser fixados através de um processo chamado Tecnologia Integrada de Fusão (FIT), ao invés de colados, sendo possível desenvolver produtos mais finos e com design mais atrativo [5].

O EPS ainda continua sendo largamente utilizado, entretanto já há outros materiais alternativos como o *Aerocore* utilizado pela marca *Smith*. Esse compósito foi desenvolvido a partir de um polímero denominado *Koroyd* e apresenta eficiência 30% maior na dispersão de energia cinética quando comparado ao EPS. O Nitrato de Vinil, desenvolvido pela empresa Giro, também vem se mostrando bastante eficiente. Diferencia-se do EPS e EPP (polipropileno expandido) por ser uma espuma macia que promete não se degradar mesmo após vários impactos [6].

O Sistema de Proteção a Impactos Multidirecionais (do inglês *Multi-directional Impact Protection System*, MIPS) surgiu a partir do entendimento que os impactos de uma queda raramente são totalmente verticais, mas sim com diferentes ângulos. Impactos dessa natureza geram uma força de rotação na cabeça, podendo resultar em movimentação do cérebro e, conseqüentemente, em lesões gravíssimas. O sistema MIPS simula um sistema natural de proteção do cérebro, que permite que ele deslize ligeiramente dentro do crânio. Portanto, a tecnologia MIPS consiste em uma fina camada adicional de plástico entre o capacete e a cabeça que permite que o capacete escorregue alguns milímetros sobre essa camada, resultando em maior dissipação da força rotacional. A empresa sueca MIPS, responsável pela tecnologia, afirma que o sistema é capaz de reduzir até 40% as forças transferidas para o cérebro em um impacto à 45° [7].

2.1.2 Uso e Eficácia de Capacetes de Ciclismo

Na União Europeia, conforme os acidentes relatados, a *European Road Safety Observatory* (ERSO) [8] publicou que em 2016, ocorreram 2064 mortes de ciclistas devido a acidentes, sendo 90% pessoas com mais de 25 anos. De modo que o uso de capacetes de proteção se dá com o intuito de aumentar a proteção contra lesões devido a acidentes. Segundo estudo sumarizado por Attewell [1], está claro que os equipamentos

contribuem para a redução de 45% quanto a riscos de lesões na cabeça. Referente ao risco de lesões cerebrais a redução é cerca de 33% em lesões cerebrais. Quanto ao risco de lesões faciais o uso de equipamento promove redução de 27%, assim como 29% para lesões fatais. Já Hansen [9], analisou a diferença de eficácia entre capacetes de concha-dura e capacetes de espuma (concha-mole) e concluiu que os primeiros colaboram para a redução de risco de lesões, enquanto não houve evidências de que os últimos são de fato eficazes para diminuir tais lesões.

Quanto a percepção de risco, Fyhri [10] publicou que, de acordo com estudos realizados na Noruega, ciclistas de alta velocidade têm mais consciência da exposição ao risco e são os que mais usam capacetes. Enquanto, ciclistas que pedalam em menores velocidades usam menos esse equipamento de segurança. Um estudo publicado por Finnoff [2] relata que adolescentes entre 11 e 19 anos, bem como adultos entre 30 e 39 anos compõem os dois grupos que menos usam capacetes na região sudoeste do estado norte americano de Minnesota. O autor aponta também que as barreiras para o não uso estão relacionadas a ideia de serem equipamentos desconfortáveis, irritantes e quentes. Além de motivos como o julgamento se serem desnecessários ou pelo fato dos ciclistas não possuírem um capacete, sendo que o custo do equipamento foi destacado como não sendo uma barreira para uso.

2.1.3 Componentes de um capacete de bicicleta

Um capacete atualmente é composto por três elementos principais: carcaça, capa interior e sistema de retenção, Figura 2.2. A carcaça é a parte exterior do equipamento, constituída de material duro o suficiente para evitar perfurações e dissipar o impacto em toda a superfície. São produzidas principalmente em plástico ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), entretanto a fibra de carbono, policarbonato, grafeno e fibra de vidro são cada vez mais empregues nesse elemento, por apresentarem leveza e segurança [11].

A capa interior, ou enchimento, é produzida com material capaz de absorver a energia de impacto. O poliestireno expandido (EPS) é largamente utilizado [12]. Com o objetivo de conceder maior rigidez, alguns fabricantes de capacetes optam por injetar esqueletos de Aramida ou fibra de carbono junto ao EPS [11].



Figura 2.2 - Elementos de um capacete, a) carcaça, b) enchimento, c) sistema de retenção, d) cintas de ajuste interno, e) sistema de ventilação, f) almofadas, g) viseira. [6]

O sistema de retenção é constituído por fitas de nylon ou polipropileno, com fechos em forma de ‘clip’ ou magnéticos, para evitar que o capacete solte da cabeça e permitir o ajuste de tamanho de acordo com cada ciclista. Alguns modelos contam com correias de *Kevlar*, sendo mais resistentes, leves e respiráveis. Além disso, os equipamentos contam com cintas internas de ajuste que permitem a rotação do equipamento, sem que haja transferência de movimento para a cabeça, evitando que ela rotacione junto [11].

Pequenas almofadas são introduzidas para aumentar o conforto interno nos pontos em que o capacete toca a cabeça. Essas almofadas são constituídas de materiais hipoalergénicos e antibacterianos. O *biomedical gel* está sendo utilizado para manter o sistema mais fresco e melhorar a absorção da transpiração [13]. Alguns equipamentos contam, ainda, com viseiras para proteção contra sol e chuva.

Para além disso, os capacetes precisam de um sistema de ventilação, que consiste em furos na carcaça e no enchimento. O arrefecimento se dá por convecção forçada ou ar frio movendo-se sobre a cabeça [5]. Para que o ar possa percorrer toda a cabeça, é necessário que canais sejam abertos ao longo do interior do equipamento [14].

2.1.4 Tipos de capacetes

Os capacetes de bicicleta são classificados em duas categorias, de acordo com Ellis [5]. Podem ser de concha-dura ou concha-macia. Os equipamentos de concha-dura possuem conchas externas mais rígidas constituídas em grande maioria de fibra de vidro, responsáveis por espalhar o impacto e evitar objetos perfurantes, o interior é constituído

de espuma EPS para favorecer a desaceleração. Já os capacetes de concha-macia não possuem a casca externa rígida, apenas a espuma de EPS para amortizar o impacto. Até o ano de 1999 esses eram os mais utilizados pelos ciclistas [5]. Hansen [9] compara a efetividade dos dois tipos de capacetes e afirma que não foi encontrado diferença na proteção entre uso de capacetes de concha macia e o não uso do EPI (equipamento individual de proteção).

Há outra classificação que divide esses equipamentos em quatro categorias, de acordo com a utilização. Segundo Schetino [15], os capacetes podem ser abertos, urbanos, fechados ou de pista. As principais diferenças entre eles estão na geometria da casca e nos furos de ventilação.

Os capacetes abertos, também são nomeados por “meia casca” ou “meia concha”. São caracterizados por terem boa ventilação, terem formato de concha o que permite boa aerodinâmica e são eficientes em quedas horizontais”. Estes equipamentos são utilizados maioritariamente por praticantes de *mountain bike* e ciclismo de estrada.

Os modelos urbanos também são chamados de “coquinho”. São mais fechados e arredondados, pensados para proteção em ocorrência de quedas verticais. Por este motivo, são amplamente usados nas modalidades de *Street*, *BMX (Bicycle Motocross)* e *vertical*, além do ciclismo urbano e *bike polo*.

Já os modelos fechados são bastante parecidos com os capacetes de motociclos. São maiores, mais pesados e possuem proteção para o queixo. Por serem mais robustos são indicados para modalidades mais extremas, com exposição a altas velocidades e altura, como é o caso de *downhill* e muitas vezes *BMX*.

A última classificação são os equipamentos de ciclismo de pista, também chamados de “contrarrelógio”. Esses são fechados e visam alto desempenho aerodinâmico, de modo que apresentam um prolongamento na parte posterior. São pensados para serem usados em provas de velódromo [15].

2.1.5 Capacetes Inteligentes

Equipamentos inteligentes que contam com sensores e que são capazes de se comunicar vêm aparecendo no mercado nos últimos anos. Lançado em 2019, o sistema ANGI é constituído por um acelerómetro, um giroscópio e um sistema de comunicação instalado no capacete. A função do sistema é perceber a ocorrência de um impacto e ativar um temporizador, se esse não for desativado, o equipamento entende que o ciclista está machucado e envia mensagens para números de emergência com a localização,

facilitando o resgate. O utilizador também pode definir a duração da volta que deseja dar de bicicleta e, caso não regresse no tempo estipulado, o sistema também envia mensagens aos contatos de emergência com a última localização detetada [16].

Um protótipo desenvolvido por Shravya [17], é composto por um sensor de força (do inglês *Force Sensing Resistor*, FSR) capaz de identificar quando o equipamento está posicionado corretamente na cabeça. Além disso conta com um sensor de álcool (MQ-3), que identifica se o ciclista ingeriu mais álcool do que o limite definido pelas leis locais. Apenas quando o sistema identificar que as informações coletadas por ambos os sensores são adequadas, permite que a bicicleta comece a rodar. Ademais, o equipamento conta com um acelerómetro e um sistema que envia mensagens solicitando resgate, em caso de colisão. Um microcontrolador Arduíno é usado para controlar todas as funções do equipamento e realizar a comunicação.

2.1.6 Segurança

Na Europa, a norma que institui os requisitos para capacetes de bicicleta, skate e patins é a EN 1078:2012+A1. No âmbito dos materiais, ela postula que os elementos do equipamento que entram em contato com a cabeça não podem sofrer reações químicas com o suor ou substâncias presentes em produtos de higiene pessoal. Além disso, não podem ser usados materiais que causam disfunções da pele. A normativa aborda também que todos os elementos devem ser projetados de modo a não serem nocivos para o usuário durante o uso. O capacete deve ter ainda baixa massa, ser ventilado, ter fácil manuseio, ser confortável se utilizado simultaneamente com óculos e não prejudicar na audição dos sons de trânsito [18].

Relativo ao campo de visão, partindo do plano médio vertical, o usuário deve ter visão mínima horizontalmente de 105° para esquerda e direita. Já na vertical, os ângulos mínimos são de 25° para cima e 45° para baixo. Quanto a capacidade de absorção de energia, a desaceleração não deve ultrapassar 250 g em testes [18].

O sistema de retenção deve ser providenciado de modo a não permitir que o capacete de desprenda da cabeça, não deve ser produzido em cor verde e deve ser possível manuseá-lo apenas com uma mão. A cinta que passa abaixo do queixo deve ter largura mínima de 15 mm e pode ser equipada para oferecer mais conforto para o usuário. Em testes a extensão dinâmica do dispositivo não pode ultrapassar 35 mm e a extensão residual não deve ser maior que 25 mm [18].

A norma brasileira que regulamenta capacetes para condutores de bicicleta, patins, skates e semelhantes é a NBR 16175:2013. Os requisitos presentes nessa normativa são semelhantes aos apresentadas na norma europeia [19].

2.1.7 Respiradouros

A perda de calor do interior do capacete acontece por aberturas chamadas respiradouros, que possibilitam o fluxo de ar ao longo do topo da cabeça de um ciclista, arrefecendo-o por convecção. Essas aberturas causam um aumento no arrasto aerodinâmico, já que impedem a passagem do ar de forma suave em torno do capacete. Por este motivo, capacetes que objetivam gerar baixo arrasto têm respiradouros mínimos e como desdobramento, podem causar superaquecimento na cabeça de um ciclista, provocando desconforto, sudorese, aumentando a fadiga e, potencialmente, reduzindo o desempenho [5].

Um estudo realizado por De Bruyne [20], analisou 5 equipamentos diferentes e indicou que os respiradores mais próximos à região frontal funcionam como entrada de ar, os intermediários não atuam como entrada e nem saída e os traseiros são caracterizados por serem saídas de ar, como mostra a Figura 2.3. A área mais próxima as entradas de ar são mais ventiladas, declinando em direção a retaguarda. Percebeu-se também, que capacetes com aberturas laterais “liberam” o ar antes deste alcançar a parte traseira. Além disso, o autor indica que os respiradouros intermediários entre entradas e saídas poderiam ser fechados, o que contribuiria para que as correntes de ar percorressem todo o capacete, além de permitir a inserção de mais material ao redor do crânio, resultando em capacetes mais seguros. Em seu estudo, Bruhwiler [14] também aponta para a possibilidade de que alguns respiradouros intermediários acarretam por atrapalhar a convecção forçada.

Já quanto a deficiência de arrefecimento na parte traseira, De Bruyne [20] indica que é plausível que seja influenciado de maneira benéfica pela existência de canais que conduzem o ar da entrada até a saída. Relativamente a produção de suor, foram registados valores 30% maiores na retaguarda, quando comparados com a região frontal. Sendo que a temperatura média do ar aumenta em 3°C na traseira.

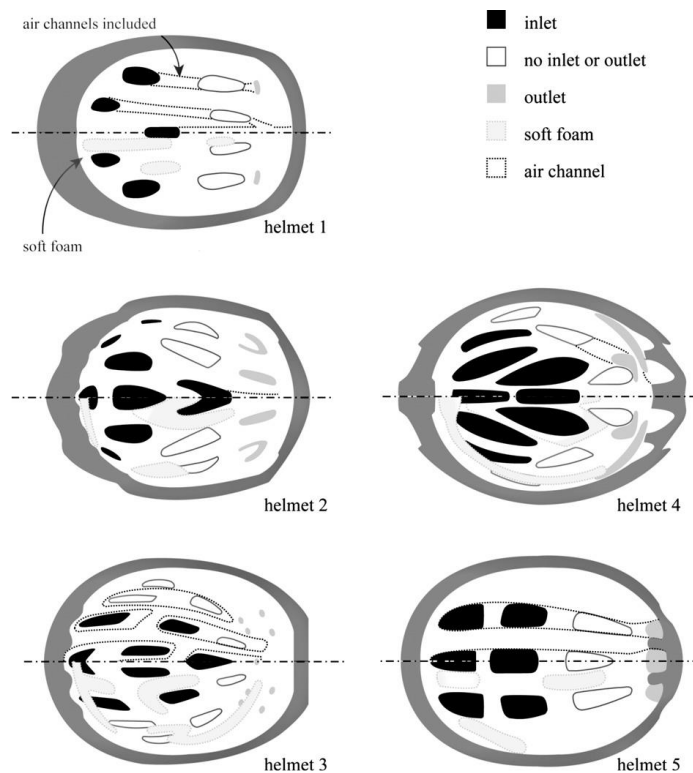


Figura 2.3 - Esquema de 5 capacetes testados. Os respiradouros são indicados como entrada ou saída ou nenhum dos dois, [20]

Bruhwiller [14] realizou uma experiência para analisar o impacto dos canais internos em capacetes de bicicleta. Para isso, mediu o poder de arrefecimento dos equipamentos originais, em seguida inseriu bloqueios nos canais e mediu novamente o resfriamento. A comparação dos resultados mostrou que os bloqueios diminuem drasticamente a perda de calor e que o ar que flui na parte traseira é responsável por uma parcela considerável do resfriamento total do couro cabeludo. Avaliou também que a presença de cabelo pode diminuir em até oito vezes a troca de calor, quando comparado a cabeças nuas.

Alam [21], por sua vez, estudou a relação entre coeficiente de arrasto e conforto térmico. Percebeu que quanto mais ventilado os capacetes, maior a força de arrasto resultante, portanto um de seus experimentos foi tentar diminuir o esse coeficiente sem prejudicar o conforto térmico. Para tal, fechou os respiradouros frontais de um equipamento e submeteu-o as mesmas condições de equipamentos não alterados. A redução do arrasto foi de 12% e o impacto na temperatura da cabeça foi de 1°C (subiu de 28°C para 29°C) a 30 km/h e nulo para velocidades acima de 40 km/h. O experimento de Alam mostra que para velocidades superiores, a existência de muitos respiradouros deixa de ser eficiente, resulta em maior arrasto e não impacta no conforto térmico.

2.2 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico é uma sensação cognitiva que envolve variáveis dependentes de aspetos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros. Sendo que, conforto térmico ocorre quando o corpo é mantido dentro de uma faixa específica de temperatura, a humidade da pele é baixa e os esforços de regulação são minimizados [22].

Como mamíferos homeotérmicos, os seres humanos precisam manter a temperatura corporal central (cérebro) próxima a 37°C [23]. Devido às variáveis do ambiente exterior e às alterações na atividade metabólica, faz-se necessário um sistema de termorregulação extremamente eficiente. Se a temperatura corporal estiver alta, o sistema reage facilitando a perda de calor para o ambiente através da vasodilatação da pele e produção de suor. Se a temperatura estiver abaixo da adequada, o corpo reage estimulando a vasoconstrição e termogénese trêmula [24]. Perdas insuficientes de calor podem resultar em um superaquecimento, chamado hipertermia. Por outro lado, perdas excessivas de calor levam a hipotermia [22]. Ambos os estados térmicos são perigosos e podem resultar em danos irreversíveis.

A pele é o principal meio de troca de calor com o ambiente e estudos mostram que a sua sensibilidade não é constante ao longo do corpo. O rosto e cabeça são as regiões mais sensíveis a variações de temperatura, enquanto as extremidades inferiores são as menos sensíveis. Não foram observadas diferenças entre os sexos e quanto ao avanço da idade, decréscimos na sensibilidade foram observados para pés e mãos. Observou-se ainda que a cabeça é a região mais sensível a temperaturas quentes, enquanto o tronco é a região mais sensível à baixas temperaturas [24].

A cabeça representa apenas 9% da superfície corporal, entretanto desempenha um papel fundamental no sistema de termorregulação colaborando para o conforto térmico, além disso é responsável por um terço de todo o calor gerado pelo corpo. Seu alto potencial de troca de calor se deve à grande vascularização da região do couro cabeludo. Nesta região não há vasoconstrição mesmo quando há exposição à baixas temperaturas.

Uma pesquisa realizada por Ciuha [25] mostra que as pessoas avaliadas disseram sentir conforto com temperaturas ligeiramente maiores na cabeça e tronco quando comparados com as extremidades. Na cabeça a temperatura ideal para as pessoas foi de $35,7 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, enquanto para as mãos foi de $34,5 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ e para os pés de $33,8 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$. Há indícios que a temperatura da cabeça pode influenciar no tempo de reação e no desempenho [26].

2.2.1 Índice de calor

O índice de calor estima a sensação térmica considerando o efeito da umidade na temperatura. Quanto maior a umidade relativa, maior a quantidade de água no ar, portanto, maior a dificuldade de perder calor através da evaporação do suor, o que resulta na sensação de que a temperatura está mais elevada [27]. A Tabela i adaptada do NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) relaciona a temperatura real e a umidade relativa [28].

Tabela i - Sensação térmica em função da umidade relativa (NOAA)

Tabela de sensação de temperatura (°C) em função da umidade relativa											
	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°
30%	22	24	26	29	32	34	37	40	44	47	50
40%	22	25	28	31	34	37	40	44	47	51	55
50%	24	27	30	33	36	40	43	47	51	55	59
60%	25	28	32	35	39	42	46	50	55	59	64
70%	27	30	34	37	41	45	49	54	58	63	68
80%	28	32	35	39	43	48	52	57	62	67	73
90%	30	33	37	41	46	50	55	60	66	71	77
100%	31	35	39	43	48	53	58	63	69	75	82

2.2.2 Índice de resfriamento

O conceito de índice de resfriamento, também chamado de vento frio (*Wind Chill*), surgiu em 1945 com os pesquisadores Siple e Passel [29] e considera o efeito do ar em movimento na sensação térmica. O ar em movimento retira constantemente a camada de ar mais próxima ao corpo, que funciona como isolante, aumentando o fluxo de calor entre o ambiente e o corpo. Como este é mais quente, perde calor, resultando na sensação de que a temperatura está mais baixa. A Tabela ii mostra a sensação calculada pelo IMPA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) para diferentes combinações de temperatura e velocidade do vento, medidas a 10 metros de altura [30]. Kessler [31] discorda da teoria do vento frio, ele argumenta que o índice não é fidedigno pois não considera aspetos fisiológicos dos seres humanos, como idade, condições físicas ou estado de saúde.

Tabela ii - Sensação de temperatura com a presença de vento (IMPA)

Tabela da temperatura de arrefecimento (°C) por efeito do vento (km/h)												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
10°	9	9	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5
5°	3	3	2	1	1	0	0	-1	-1	-1	-2	-2
0°	-3	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-7	-8	-8	-9	-9
-5°	-9	-9	-11	-12	-12	-13	-14	-14	-15	-15	-15	-16
-10°	-14	-15	-17	-18	-19	-20	-20	-21	-21	-22	-22	-23
-15°	-20	-21	-23	-24	-25	-26	-27	-27	-28	-29	-29	-30
-20°	-26	-27	-29	-30	-32	-33	-33	-34	-35	-35	-36	-36

2.2.3 Condições de não uniformidade térmica

Assimetria radial ou falta de uniformidade térmica causa desconforto mesmo quando a sensação de temperatura no geral está neutra. Isso ocorre quando uma ou mais partes do corpo estão muito quentes ou muito frias. Uma variação maior que 3°C entre o ar que envolve os pés e o que circunda a cabeça é o suficiente para configurar uma situação de desconforto [32]. Outra situação de não uniformidade é a ocorrência de *Draft*, que é definido como um resfriamento local indesejado causado pelo movimento do ar. É um problema em construções muito ventiladas, carros, motocicletas, bicicletas. Sendo uma das causas de maior irritabilidade [22].

2.2.4 Normas

A norma técnica vigente, a EN 1078:2012+A1, não especifica requisitos quanto ao conforto técnico em capacetes para bicicletas. Entretanto, aponta para importância de haver ventilação nesses equipamentos [18].

2.3 FABRICAÇÃO

Processos de fabricação são métodos de transformação de matéria-prima em peças com geometria e propriedades adequadas para o determinado fim. Dentre os processos utilizados na indústria, a fundição é largamente aplicada para produção de peças metálicas. Neste processo o metal é deitado em moldes que lhe definem a geometria, esses moldes são produzidos em material refratário como areia associada a resinas e podem representar alto custo [33]. A fundição pode resultar em peças finalizadas ou em lingotes, que são base para outros processos como conformação, usinagem e soldagem.

Já o processamento de polímeros acontece, predominantemente, por extrusão e injeção. Esses processos introduzem a matéria-prima fundida em matrizes. Assim como moldes na fundição, matrizes de extrusão e injeção representam um custo elevado, portanto só são vantajosos para produção em massa. Quando se trata de pequenos lotes ou quando o produto está em fase de projeto, a utilização de moldes pode se mostrar economicamente inviável [33]. Deste modo a fabricação aditiva, aplicada à prototipagem rápida pode ser vantajosa.

2.3.1 Fabrico aditivo

O fabrico aditivo (FA), também muitas vezes chamado de prototipagem rápida (PR) é um processo aditivo-constructivo camada a camada para a produção direta de peças diversas. O processo se dá a partir da leitura de dados digitais de projetos desenvolvidos em CAD ou provenientes de scanners 3D, tomografia computadorizada (CT) e ressonância magnética (MRI) [34]. A primeira máquina de prototipagem rápida surgiu em 1987, a estereolitografia da empresa norte americana *3D Systems Inc* [35]. A tendência é a tecnologia se difundir ainda mais pelos setores de produção. Hoje já é bastante utilizada em desenvolvimento de produtos, na engenharia biomecânica, mas a grande geradora de tecnologia de PR é a indústria automotiva.

Na indústria, a prototipagem possibilita a detecção e solução de problemas de um projeto antes do alto investimento em moldes para a produção comercial. Por outro lado, na inserção de novos produtos no mercado de trabalho, a PR é atrativa para potencializar vendas e diminuir riscos econômicos antes do lançamento ou produção em escala do produto. Além de contribuir para a redução do “*Time to Market*”, expressão que se refere ao tempo necessário para um produto chegar ao o consumidor final, desde a concepção [35].

Já na engenharia biomédica, o FA é usado para construção de modelos anatômicos e réplicas de implantes, para fins educacionais e, também, para auxiliar a entender condições específicas de pacientes. Os modelos podem derivar de imagens topográficas de pacientes reais e, de acordo com as técnicas disponíveis, podem ser construídos em papel, cera, cerâmica, plástico ou metal [34].

2.3.2 FabLab

FabLab é a abreviatura de *Fabrication Laboratory* (em português, Laboratório de Fabricação). Consistem em espaços voltados para o aprendizado, criação e inovação. Existem, em 2020, mais de 1750 laboratórios desta natureza distribuídos pelo globo, que contam com equipamentos de fabrico aditivo, fresadoras, máquinas de corte a laser, computadores e ferramentas de programação informática baseadas em *software open source* e *freeware* CAD e CAM. Os projetos são desenvolvidos em 2D em computadores através de *softwares* adequados e produzidos em 3D nas máquinas disponíveis, com o intuito de promover aprendizagem pautada no “*Learn by Doing*”, de modo que o conceito de um FabLab se centra em proporcionar acesso para que a comunidade desenvolva inovação de acordo com suas necessidades [36].

O FabLab IPB nasceu em 2014 no Instituto Politécnico de Bragança e acolhe diversas áreas de desenvolvimento, realizando projetos de engenharia biomédica, mecânica, elétrica e design. É um ambiente aberto à comunidade e busca disseminar tecnologias e conhecimentos que permitem o desenvolvimento de conceito e ideias, propiciando a prototipagem rápida e a fabricação desses projetos.

2.4 ELETRÓNICA

A eletrônica surgiu no século XX, é a ciência que estuda o controle a energia elétrica através da manipulação de circuitos elétricos, onde o elétron é agente fundamental. Estuda e manipula variações de grandezas elétricas com objetivo de captar, transmitir e processar informações. É dividida em duas áreas, digital e analógica. A eletrônica digital trabalha com lógica binária, baseada na lógica Booleana. Já a eletrônica analógica trata de fenômenos físicos como temperatura e pressão, que podem adquirir diferentes valores dentro de um espectro.

Um sistema eletrônico é composto por Unidade Central de Processamento (*Central Processing Unit*, CPU), memória, entrada e saída, terminal de programação e fonte de energia. CPU é responsável pelo controle de todas as operações do sistema. É formada por um circuito decodificador de instruções que reconhece os comandos do programa, a unidade de lógica e aritmética que efetua todas as operações matemáticas e lógicas e um circuito registrador que armazena dados temporários e instruções em processamento [37].

As memórias são classificadas em voláteis e não voláteis. As nomeadas voláteis precisam de energia para manter as informações armazenadas, como exemplo da memória de acesso aleatório (do inglês *Random Access Memory*, RAM) utilizada para armazenar os programas e dados durante a execução. Já as memórias não voláteis não precisam receber alimentação para continuar guardando as informações, como exemplo memória somente de leitura (acrônimo em inglês de *Read-Only Memory*, ROM) e memória programável e apagável eletronicamente somente de leitura (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*, sigla do inglês EEPROM), que é a precedente da memória FLASH (dispositivo de armazenamento não volátil) largamente utilizada em *Pen Drives* [37].

As portas I/O, entrada e saída, são de suma importância em um sistema eletrônico, já que são elas que conectam o sistema com o meio exterior. A elas são conectados os equipamentos periféricos como sensores, displays de LCD, atuadores, entre outros.

2.4.1 Microcontrolador

O microcontrolador é responsável por todo o controle do sistema. É composto por microprocessador e memória, além de entradas e saídas programáveis. O microprocessador executa operações lógicas e aritméticas, lê e altera dados da memória, monitora entradas, envia saídas de comando para o sistema [38].

As placas de Arduino são amplamente utilizadas para prototipagem. Trata-se de uma plataforma de código aberto composta por um microcontrolador e um software ou *Integrated Development Environment* (IDE). Esta é executada no computador e permite a concepção de códigos, que posteriormente são descarregados para a placa via cabo USB. Existem inúmeras placas diferentes disponíveis no mercado, sendo a Arduino Uno a mais comum, com arquitetura de 8 bits, relógio de 16 MHz, 14 entradas digitais e 6 entradas analógicas. A tensão de operação é de 5V e a tensão de alimentação deve estar compreendida na faixa de 7 a 12V [39].

O ESP32 é um microcontrolador com rede sem fio e Bluetooth incluídos, diferenciando-o dos chips usuais no mercado, até então. Apresenta compatibilidade com a IDE do Arduino, facilitando o desenvolvimento. Além disso, o ESP32 reúne vantagens em outras características: arquitetura de 32 bits, relógio de 160 MHz, 36 portas digitais e 18 analógicas. [40]

2.4.2 Sensores

Sensores são dispositivos sensíveis a um estímulo específico, seja movimento, calor, luz, pressão, eletricidade e outros tipos de energia [41]. Depois de identificar o estímulo, o sensor deve ser capaz de emitir um sinal interpretável por outro dispositivo. Na eletrônica, a comunicação entre sensor e microcontrolador/LPCs se dá por pulsos elétricos. Deste modo, a resposta dos sensores deve ser corrente ou tensão elétrica.

Os sensores usados na eletrônica são classificados como digitais ou analógicos. Sensores digitais são mais simples pois trabalham apenas com dois níveis lógicos: ligado ou desligado, são usados quando se almeja apenas identificar se uma condição é verdadeira ou falsa, 0 ou 1. Por outro lado, os sensores analógicos são mais complexos,

já que possuem uma faixa de atuação e não apenas dois estados lógicos. Sensores de temperatura, por exemplo, precisam ser analógicos, devido a necessidade de emitir sinais diferentes para cada valor de temperatura identificado [42].

2.4.2.1 Sensores de Temperatura

Sensores de temperatura são chamados de termômetros e seus princípios de funcionamento variam de acordo com a aplicação. Podem gerar resposta a partir de expansão de um líquido ou metal, variação na resistência elétrica, termoeletricidade ou ainda radiação térmica [43]. Na eletrônica usa-se dispositivos com resposta elétrica, como termopares e termistors.

Os termopares são dispositivos constituídos pela junção das extremidades de dois metais distintos, a exemplo da Figura 2.4. Quando as extremidades são submetidas a diferentes temperaturas ocorre o efeito *Seeback*, que consiste na geração de uma diferença de potencial. Portanto, os termopares são instrumentos baseados no efeito termoelétrico, de modo que a tensão de saída varia proporcionalmente com a temperatura. Esses dispositivos são capazes de mensurar a temperatura em sólidos, líquidos e gases, além de serem de baixo custo e versáteis, podendo atuar em uma larga faixa de temperatura (-200°C a 2000°C) [43].



Figura 2.4 - Termopar de Aço Inoxidável [44]

Os RTDs (*resistance temperature detectors*) também chamados de termorresistências são sensores resistivos de coeficiente positivo, de forma que sua resistência elétrica varia proporcionalmente com a temperatura a qual estão submetidos. Possuem comportamento linear, são constituídos de metal, normalmente platina ou níquel e atuam na faixa de temperatura de -230°C a 660°C. São mais utilizados em aplicações que não necessitam de um rápido tempo de resposta, alta sensibilidade ou grande precisão [45].

Os termistors são dispositivos semicondutores cuja resistência altera de acordo com a temperatura a qual são submetidos, Figura 2.5. O coeficiente que representa essa variação pode ser negativo ou positivo, definindo assim dois grupos, termistors NTCs (resistência diminui com o aumento da temperatura) ou PTCs (resistência aumenta com a elevação da temperatura), sendo os NTCs mais utilizados. Esses dispositivos são mais sensíveis quando comparados com termopares ou RTDs e possuem curva de resistência não linear [41]. Podem ser bem pequenos e atuam na faixa de temperatura de -100°C a 300°C [43].



Figura 2.5 - Termistor de 10k [44]

2.4.2.2 Sensores de Vento

A velocidade de um fluido pode ser mensurada através de três estratégias diferentes: através de um Tubo de *Pitot*, anemômetro de fio-quente ou pela variação da área por onde o fluido passa. O Tubo de *Pitot* consiste em um tubo instalado na direção do fluxo, de modo que o fluido passe pelo seu interior. A pressão que o ar em movimento exerce é medida e comparada com a pressão estática. A partir da diferença entre as pressões e tendo conhecimento da densidade do fluido, é possível aplicar a equação de Bernoulli e calcular a velocidade. Esses dispositivos são largamente utilizados em aeronaves [43].

O anemômetro de fio quente consiste em um filamento aquecido exposto a um fluxo de gás. O fluxo tende a arrefecer o filamento e o sistema atua para mantê-lo aquecido a temperatura constante. A corrente necessária para aquecê-lo é relacionada com a velocidade do fluxo. São dispositivos caros quando comparados ao Tubo de Pitot, entretanto podem medir fluxos não estáveis [43].

O terceiro modo de mensurar a velocidade de um fluido é pela estricção da seção por onde o fluxo passa. Reduzir a área sem alterar a vazão resulta na diminuição da pressão e aumento da velocidade. Um exemplo de equipamento que utiliza esse fenômeno

físico é o Tubo de Venturi, onde as pressões do fluido nas duas seções são comparadas e tornam possível o cálculo da velocidade [43].

2.4.3 Servomotor

São dispositivos eletromecânicos que alteram o posicionamento angular de seu eixo ao receberem sinais elétricos. Essa característica torna seu uso conveniente em aplicações onde a posição angular deve ser precisamente controlada, diferente de um motor elétrico padrão, que possibilita apenas o controle da velocidade de rotação. Servomotores são caracterizados por produzirem elevados momentos torsores em todas as velocidades, inclusive nula. Além de grande capacidade de manterem a posição estática ou retornar para a posição anterior com precisão [39].

Um servomotor ordinário é composto por: motor, conjunto de engrenagens, potenciômetro e circuito de controle. O motor é ligado a engrenagens que reduzem a rotação e transferem o movimento para o eixo de saída. O potenciômetro também é ligado ao eixo de saída, portanto a sua resistência é monitorada pelo circuito de controle. Este recebe pulsos elétricos do recetor e controla o motor a partir da comparação entre os pulsos e a posição do potenciômetro [46].

O sinal vindo do recetor é PWM (*pulse width modulation*), pulso com largura modulada. Esse sinal pode ter 0V ou 5V, o período de monitoramento é 20ms e a largura do pulso varia entre 1ms e 2ms, definindo assim, o ângulo desejado. Portanto, pulsos de largura 1ms representam a posição do eixo a 0°, 1,5ms a 90° e 2ms a 180° [39].

2.4.4 Programação

A programação consiste em desenvolver comandos em uma linguagem entendível pelo sistema. O processo de programação pode ser separado em duas etapas. A primeira compreende na análise do problema e elaboração de um algoritmo capaz de resolvê-lo. Já a segunda etapa trata-se da implementação da solução em uma linguagem de programação adequada e a depuração (*Debug*), efetuação de testes e alteração do código, em caso de falhas [37].

A primeira linguagem de programação consistia em linguagem de máquina, de limitada a dígitos binários (0 ou 1). Com objetivo de facilitar o desenvolvimento, começaram a surgir linguagens de baixo nível, com comandos pré-definidos ao invés de codificações binárias, como exemplo a linguagem *Assembly*. Entretanto, essas linguagens

ainda eram de baixa portabilidade, dificultando a reutilização de códigos [37]. A linguagem C surgiu com maior proximidade com a humana, sendo então de alto nível. Além de permitir maior portabilidade entre diferentes aplicações, é flexível, e enxuta, possuindo apenas 44 *keywords* [47].

Seguindo a linha cronológica, como evolução da C foi criada a linguagem C++. Esta permite maior abstração, estando mais longe da linguagem primitiva dos computadores. A linguagem do Arduino é baseada na C e C++, além da *Wiring*, criada para facilitar o desenvolvimento por quem tem pouco conhecimento de programação [47].

2.5 MECANISMO

Um mecanismo é composto por um conjunto de elementos rígidos conectados que apresentam movimento relativo entre si. A função de um mecanismo compreende transmitir movimento ou força através do sistema. Um movimento pode ser transmitido de três modos. O primeiro deles é através do contato direto entre dois componentes, a exemplo de came e seguidor ou ainda entre coroa e engrenagem. O segundo modo é através de um elo intermediário ou uma biela. O terceiro, através conectores flexíveis como correias e correntes [48].

2.5.1 Eixos

Eixos são amplamente usados para transmitir rotação e torque de um componente para outro. Podem estar ligados diretamente ao acionador (motor) ou ser um eixo livre, acoplado a outro. Normalmente são acompanhados por outros componentes importantes na transmissão de movimento como engrenagens, polias ou catracas. Para fixar esses elementos são usados pinos, anéis retentores e chavetas. Os eixos recebem ressalto para acomodar tais componentes com precisão [49].

A carga em eixos geralmente é uma combinação de torção resultante do torque transmitido e flexão devido às cargas transversais nas engrenagens, polias e catracas. Um eixo com cargas de flexão transversal fixas, estará sujeito a um estado de tensões alternadas. Em cada volta do eixo um elemento de tensão vai de tração à compressão, ciclicamente. Portanto, um eixo deve ser projetado contra falhas de fadiga [49].

2.5.2 Engrenagens

As engrenagens são mecanismos constituídos por rodas dentadas rígidas em contato capazes de transmitir movimento entre eixos afastados, transformar o movimento rotativo em movimento linear ou alterar a velocidade ou o binário do eixo motor. Quando as rodas têm dimensões diferentes, a menor é chamada de pinhão e a maior é designada roda ou coroa [50], como demonstra a Figura 2.6.

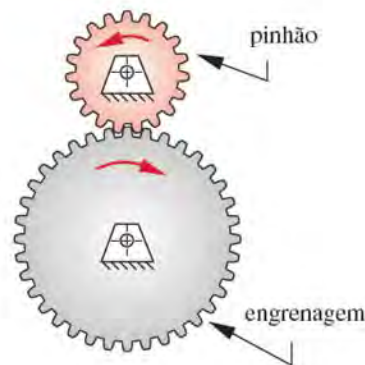


Figura 2.6 - Pinhão e Engrenagem [44]

São mecanismos amplamente utilizados por apresentarem alta capacidade de resistência a sobrecargas, boa precisão na transmissão do movimento, relação de transmissão constante, boa fiabilidade e durabilidade. Podem ser fabricadas em materiais metálicos ou poliméricos, o que possibilita elevada gama de aplicações. Em geral, devem ser lubrificadas, já que não absorvem choques [50].

São classificadas de acordo com a disposição relativa dos eixos em engrenagens cilíndricas, cónicas e torsas. As cilíndricas possuem eixos de rotação paralelos, as cónicas possuem eixos de rotação concorrentes e as torsas são caracterizadas por apresentarem eixos de rotação não coplanares, um exemplo são os sistemas de engrenagens de parafusos sem-fim. Quando umas das engrenagens cilíndricas tem raio infinito, ela é denominada cremalheira e sistema de transmissão é nomeado pinhão-cremalheira, Figura 2.7. A principal característica desse mecanismo é transformar movimento rotativo do pinhão em linear [51].



Figura 2.7 - Cremalheira e um pinhão [44]

Outra classificação atribuída às rodas dentadas considera a forma dos dentes, que podem ser retos, helicoidais (Figura 2.8) ou espirais. Os mecanismos constituídos por dentes retos apresentam altos rendimentos, até 99%, entretanto ao serem submetidas a altas rotações emitem ruídos elevados. Já os helicoidais ou inclinados são menos ruidosos e geram cargas axiais, exceto os de dentes em espinha ou de dupla hélice [51].



Figura 2.8 - Par de engrenagens helicoidais de eixos cruzados [44]

2.5.2.1 Nomenclatura de Engrenagens de Dente Retos

A nomenclatura de dentes de engrenagens de dentes retos é representada na Figura 2.9. Todo o dimensionamento dos dentes dá a partir do círculo primitivo ou círculo de passo, seu diâmetro é denominado diâmetro primitivo. A distância entre os centros de um par de engrenagens é igual a soma dos seus raios primitivos. Já o passo circular é a distância medida sobre o círculo primitivo entre um ponto do dente até o mesmo ponto do dente adjacente [52].

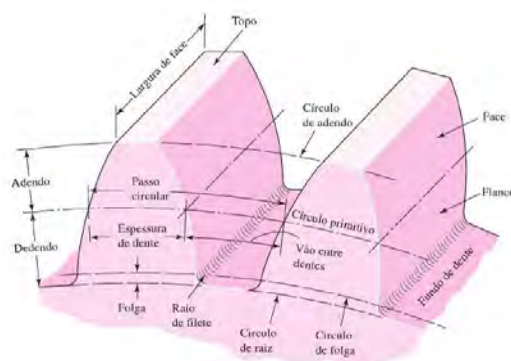


Figura 2.9 - Nomenclatura para engrenagens cilíndricas de dentes retos [52]

O módulo é a razão entre o diâmetro primitivo e o número de dentes. O adendo é a distância entre o círculo primitivo e o topo do dente e o dedendo é a distância entre o

círculo primitivo e a base do dente. Sendo a altura do dente igual a soma do adendo e dedendo. A linha de pressão representa a direção que a força resultante atua sobre as engrenagens e é definida pelo ângulo de pressão (Φ), que geralmente tem os valores de 20° ou 25° [52]. O formato do dente, por sua vez, determinado de acordo com a curva involuta, construída a partir do círculo base, este definido pela multiplicação entre o raio primitivo e o cosseno do ângulo de pressão.

2.5.3 Mancais (Chumaceiras)

Mancais ou chumaceiras são elementos de máquinas utilizados quando há movimento relativo entre duas superfícies. São responsáveis por posicionar e suportar as cargas sobre o rotor, produzindo o mínimo de atrito possível [53]. Os mancais mecânicos são caracterizados pela existência de contato entre os componentes, sendo categorizados em mancais de deslizamento e de rolamento. Mancais de deslizamento são os mais simples, constituídos de uma bucha por onde o eixo desliza. O movimento gera atrito por isso esses componentes são indicados para baixas rotações [52].

Por outro lado, os mancais de rolamento, ou simplesmente rolamentos, Figura 2.10, contêm dois anéis concêntricos que acomodam elementos rolantes como esferas, roletes ou agulhas para atenuar o atrito gerado. Para evitar que os elementos rolantes se encostem é adicionado um separador ou retentor, na Figura 2.11 é possível visualizar a nomenclatura completa de um mancal de esferas. Os componentes constituídos de apenas uma fileira de rolamento aguentam um pequeno desalinhamento de eixos causado por deflexão, já os com fileira dupla podem suportar cargas axiais e radiais superiores [52].



Figura 2.10 - Mancal de Rolamento [49]

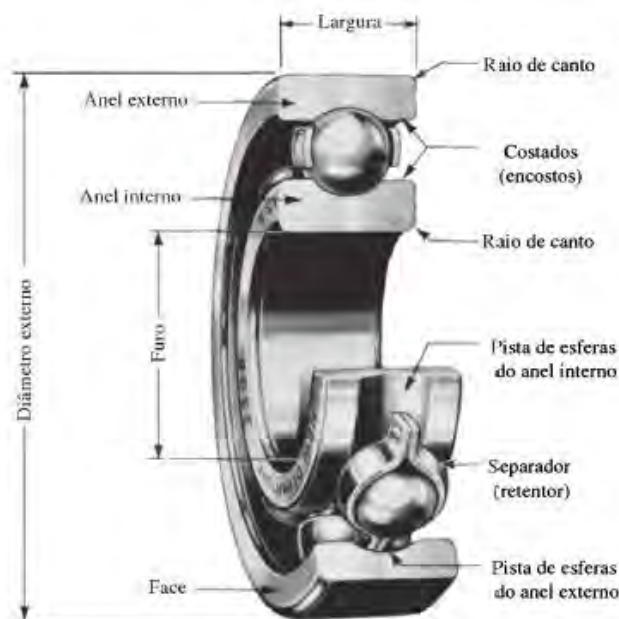


Figura 2.11 - Nomenclatura de um Mancal de Esferas [52]

As configurações geométricas dos componentes de um mancal são amplas e que impacta suas características e aplicações. Os mancais de esferas podem suportar cargas axiais e radiais combinadas [49]. Os mancais de rolos retos sustentam cargas radiais maiores em função da área de contato, quando comparados aos de esfera, porém não suportam cargas axiais. Mancais de rolo esférico são caracterizados por suportar elevadas cargas e desalinhamento, já os mancais de agulha são úteis quando o espaço radial é limitado [52].

Mancais de contato contam com lubrificação para atenuar o atrito, desgaste e aquecimento. Lubrificantes podem ser gasosos, líquidos ou sólidos. A utilização de líquidos é a mais comum. Óleos minerais são misturados com sabão, formando uma mistura espessa e pegajosa, facilitando a adesão nas superfícies. Já a lubrificação com sólidos é usada quando o componente é exposto a altas temperaturas e a utilização de gases é indicada para obter atrito extremamente baixo e remover calor da interface [49].

Tendo em vista que o atrito é um dos elementos mais preocupantes de um mancal, surgiram os mancais magnéticos como alternativa. Esses utilizam a força de campos magnéticos ao invés de forças de contatos para operarem, de modo que o rotor levita em relação ao mancal. Esse tipo de componente pode utilizar ímãs permanentes, levitação eletrodinâmica, levitação supercondutora e levitação eletromagnética [53].

3 METODOLOGIA

3.1 Ponto de partida

Com o objetivo de resolver o problema do aumento do conforto térmico de um capacete de bicicleta, iniciou-se este projeto com um capacete comercial de alto desempenho em estrada, cedido pela empresa *Polisport*, modelo AERO R, construção do tipo *In-Mold*, como se pode ver na Figura 3.1, onde será feita a adaptação para capacete inteligente. Será desenhado um sistema de tampa que feche as aberturas frontais, criado o mecanismo de movimentação e o sistema de controlo.



Figura 3.1- Capacete de Estrada Polisport Aero R

3.2 Mecanismo Tampa Linear

O princípio de funcionamento do mecanismo será tão simples quanto possível, e tentaremos descrever em seguida.

Uma engrenagem conecta o eixo do motor à uma cremalheira. Esse acoplamento converte o movimento angular do eixo do motor em movimento linear na cremalheira. Uma barra rígida conectada a cremalheira transfere o movimento até a tampa da abertura de ventilação. A tampa, então, move-se linearmente liberando ou impedindo a passagem de ar nas aberturas simultaneamente. O sentido de rotação do motor define se a tampa abre ou fecha.

A atenção para a inserção de materiais rígidos no interior do capacete foi causa principal para a substituição barra de transmissão por um fio maleável, um polímero. Deste modo, o motor é responsável apenas pelo movimento de abertura, tracionando o fio preso a tampa. Na outra extremidade da tampa há uma mola, responsável por tracionar a porta novamente para a posição inicial, fechada.

O mecanismo foi desenvolvido para ser instalado entre a carcaça e o revestimento interno. Sendo que, a porta desliza dentro de uma estrutura, também de polímero, a fim de garantir que a movimentação aconteça. O motor, por sua vez, fica posicionado na parte

posterior, juntamente com demais componentes eletrônicos. Já o sensor de temperatura será instalado na parte interna do equipamento, para mensurar a temperatura próxima a cabeça. O sistema eletrônico irá, então, ler as informações do sensor e acionar o motor quando a temperatura medida destoar do valor de referência.

3.2.1 Procedimento Scâner

O mecanismo será instalado em um capacete já existente, e como não temos o desenho ou modelação 3D desse equipamento, faz-se necessário modelar o sistema levando em consideração as peculiaridades geométricas do capacete base. Um equipamento *Sense Scanner 3D*, foi utilizado para digitalizar a forma do equipamento. A imagem gerada foi grosseiramente limpa no *Software Sense Scan 3D*, de modo que as partes de objetos próximos scaneados junto com o modelo foram apagadas, usando a função “Limpar lixo”. O modelo foi salvo como superfície, em arquivo parasólido binário (*.obj).

O procedimento seguinte consistiu na utilização do *software Meshmixer*. Interface visualizável na Figura 3.2. O arquivo foi importado e posicionado usando a função “transform”, parte do “edit”. Em seguida, aplicando a ferramenta “select”, selecionou-se o capacete e clicou-se na tecla “I” para inverter itens selecionados. Assim, todos os itens não pertencentes ao capacete ficaram em evidência e foram excluídos clicando em “delete”.

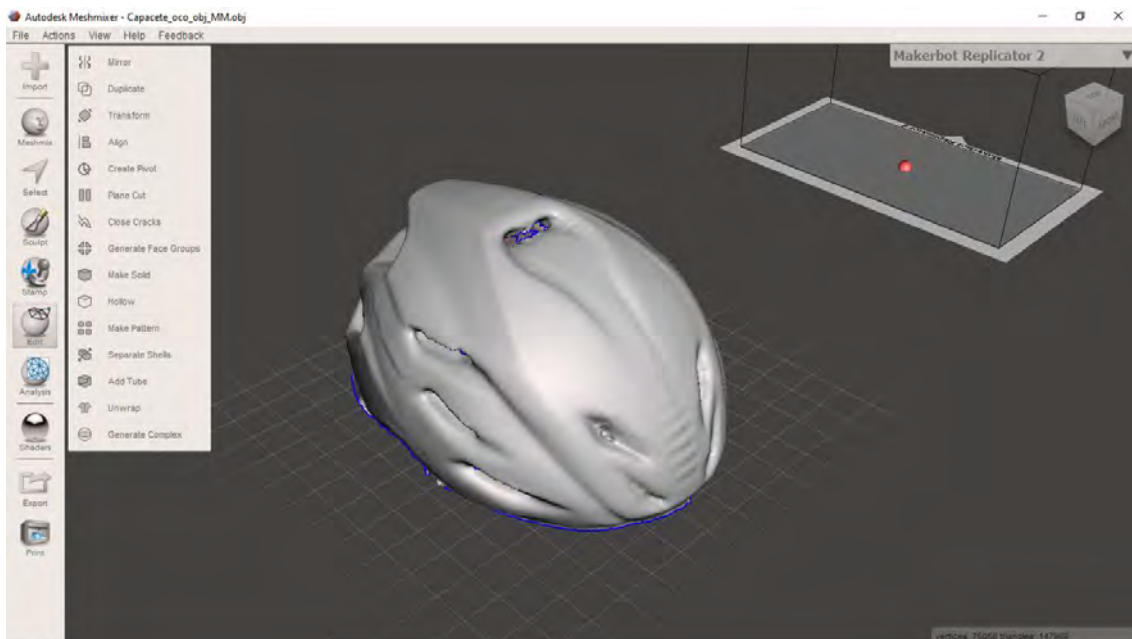


Figura 3.2 - Interface Meshmixer

O scanner pode deixar falhas na superfície digitalizada. Para resolver esse problema, usou-se novamente a função “*select*”, selecionou-se o perímetro ao redor da falha e clicou-se em “F” para preencher. Em seguida, empregou-se a ferramenta “*plane cut*”, localizada dentro do “*edit*”, para planificar bordas inferiores, cortando o desenho no plano inferior.

O próximo passo realizado foi a solidificação da peça, aplicando a função “*make solid*” e para uniformizar a superfície inferior, entredou-se até o plano inferior. A última etapa realizada no software foi a redução da malha para facilitar a modelagem em software CAD 3D. Para tal, empregou-se a ferramenta “*brushes*”, dentro de “*sculpt*”.

3.2.2 Modelagem no Software SolidWorks

O modelo digitalizado foi, então, importado para o *SolidWorks*, versão estudante 2019. O *SolidWorks* é um *software* CAD (acrônimo do inglês *Computer Aided Design*, desenho assistido por computador) da empresa francesa *Dassault Systèmes*. É uma ferramenta largamente utilizada para desenvolvimento de projetos em várias áreas da engenharia, arquitetura e *design*. A interface pode ser vista na Figura 1, sendo que a modelagem de sólidos se dá predominantemente pela criação de um *sketch* 2D que em seguida é transformado em um modelo tridimensional. O *sketch* também pode ser definido em ambiente 3D, como a exemplo da criação de tubulações [54].

O *software* possui diversas funções e ferramentas específicas para criação de superfícies, chapas metálicas, componentes soldados e ainda para realização de simulações estáticas, dinâmicas, térmicas e de fluidos. É possível também, juntar componentes em uma montagem, conceber desenhos de definições e inserir conexões que simulam o desempenho real das peças [54].

O objetivo desta etapa é modelar a estrutura que conterá a placa deslizante, responsável por abrir e fechar as entradas de ar. O modelo importado servirá de molde, de modo que, depois de impressa, a estrutura deve se encaixar dentro da carcaça do capacete, como ilustra a Figura 3.3.

A primeira ação foi a comparação de medidas entre o objeto real e o modelo CAD 3D. Identificou-se que a escala estava incoerente, por isso utilizou-se o recurso “*scale*” para reduzir a escala em 0,1 para que modelo passasse a coincidir com as medidas do objeto real.

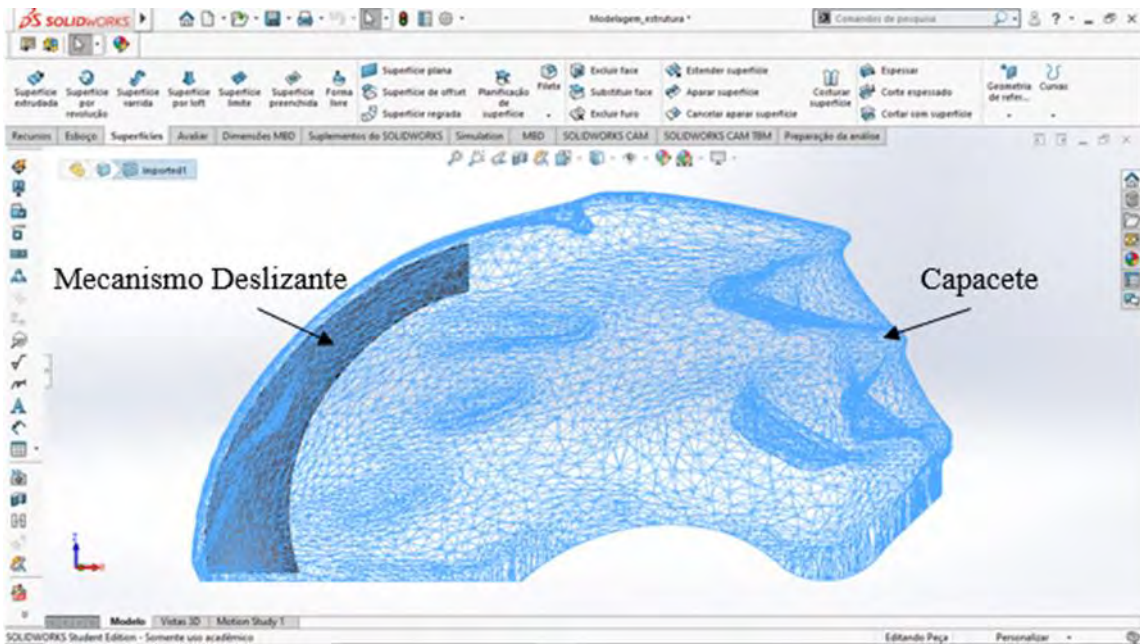


Figura 3.3 - Visualização do Mecanismo Deslizante Dentro do Capacete

Em seguida, deu-se início à modelagem da superfície base da estrutura, gerada a partir do recurso “superfície preenchida”. Este recurso exige que o projetista insira informações sobre curvas limites e curvas de restrição. Para tal, criou-se um plano coincidente com a base do capacete e um segundo que corta o modelo transversalmente. Esses dois planos definem o início e fim da estrutura. Além disso, foi traçado um plano longitudinal coincidente com o centro do modelo, o plano central, dividindo o modelo simetricamente. Sequencialmente, mais seis planos paralelos ao central foram criados, três para cada sentido. Os planos mais afastados do central distam 124 mm entre eles, definindo assim a largura da peça.

Com os planos criados, foi possível desenhar as curvas guias em cada um dos planos, seguindo a geometria base do modelo importado. As curvas externas definem o limite do remendo e as internas são restrições para guiar a modelagem da superfície, como mostra a Figura 3.4. Para garantir que o recurso funcione, as curvas devem ter suas extremidades conectadas às demais curvas. Com a superfície criada, têm-se a base para construção da estrutura, portando o modelo importado pode ser suprimido na árvore de trabalho.

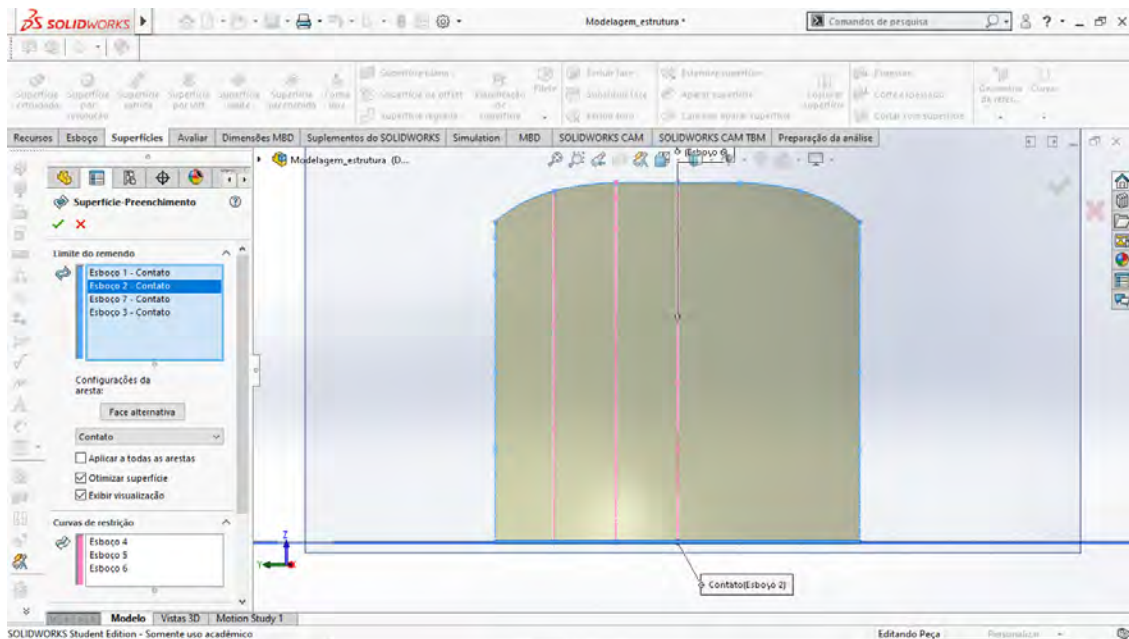


Figura 3.4 - Curvas Guias Superfície Suporte Mecanismo Deslizante

O passo realizado em sequência foi a aplicação do recurso “loft”, para gerar o corpo da peça. Para isso, fez-se necessário a criação de esboços nas duas extremidades da superfície gerada, esses esboços foram utilizados como perfil do “loft”. A curva guia é dada por uma referência na superfície gerada anteriormente. Em seguida, utilizou-se o “loft de corte” para gerar um furo ao longo do corpo, trata-se do berço onde a placa irá deslizar dentro da estrutura. O procedimento foi o mesmo realizado no “loft”. Por fim, utilizou-se o recurso “costurar superfície” para unir a superfície gerada com a face superior da estrutura. O resultado dessa primeira etapa da modelagem está retratado na Figura 3.5.



Figura 3.5 - 1ª Etapa Modelagem Suporte Mecanismo Deslizante

A segunda parte da modulação consiste na conceção dos rasgos da estrutura. Primeiramente foram criados rasgos na parte superior da parede externa com o intuito de fornecer acesso ao canal interior, assim como economizar material. O recurso utilizado foi o “varredura de corte”, para aplicá-lo fez-se necessário a criação de um esboço no plano onde o corte começa, além de uma curva guia. O esboço atua como o perfil e a curva guia define o percurso da varredura e seu fim. Tendo em vista que a estrutura é simétrica, os cortes foram gerados de um lado e espelhados para o outro.

Os demais cortes da parede exterior foram executados utilizando o comando “*loft de corte*”, já que o perfil inicial difere do perfil final. O procedimento para aplicar este recurso foi descrito anteriormente. Por fim, foram criados os rasgos na parede interior, utilizando o “corte extrusão”. Para isso, criou-se esboços 3D a partir das arestas que definem os cortes exteriores, usando o comando “converter entidades”. Esses esboços foram, então, entrudados no modo “passante”. A peça pronta para impressão pode ser visualizada na Figura 3.6.

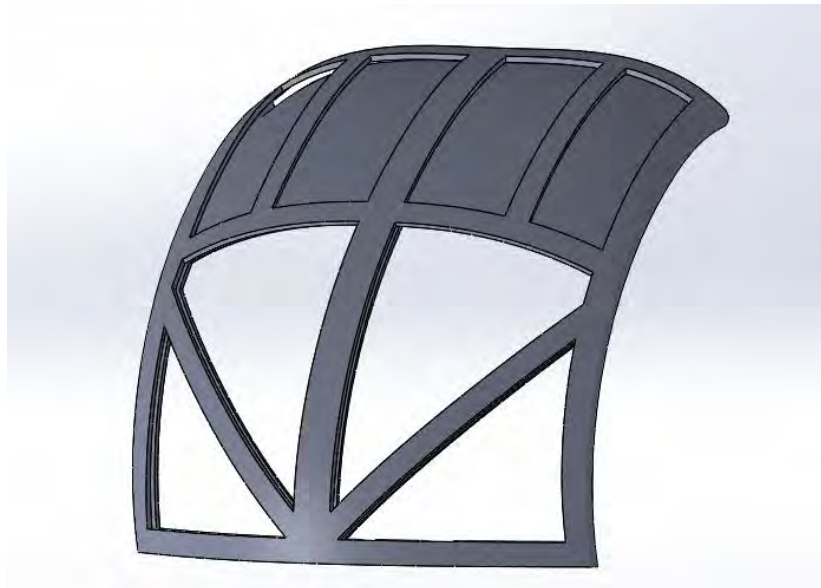


Figura 3.6 - 1ª Versão Suporte Mecanismo Deslizante

3.2.3 Impressão 3D

A impressão do suporte do mecanismo foi realizada na impressora *Ultimaker 3*, Figura 3.7, caracterizada por apresentar melhores resultados para peças com geometrias complexas dentre os equipamentos disponíveis no FabLab do IPB. Esse equipamento é capaz de imprimir com duplo filamento, um para a peça e outro para o suporte, caso necessário. De acordo com a fabricante *Ultimaker* [55], a impressora lê ficheiros em STL, OBJ, 3MF e é compatível com os materiais PLA (poliácido láctico), PVA (poliacetato de

vinila), ABS (acrilonitrila butadieno estireno), CPE (*co-polyester*) e Nylon. Além disso, conta com um *software* próprio denominado *Ultimaker Cura 4.4* para realização das predefinições, simulação de tempo e quantidade de filamento necessário.

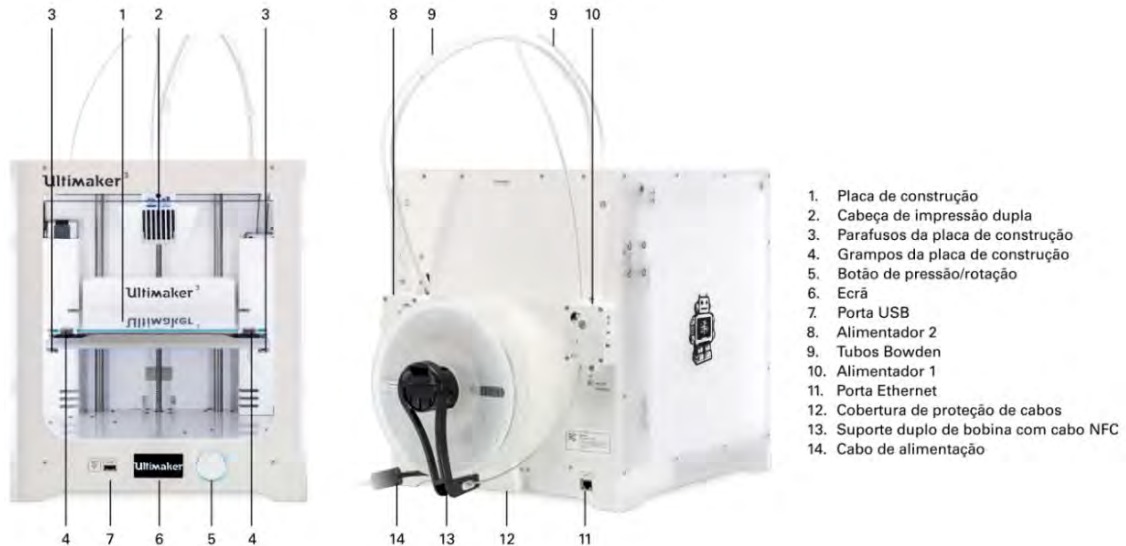


Figura 3.7 - Componentes Principais da Impressora Ultimaker 3 [55]

As definições de impressão foram, então, aplicadas no *software Ultimaker Cura 4.4*, interface apresentada na Figura 3.9. Um suporte foi necessário para auxiliar a fabricação da peça. Esse foi produzido a partir de filamento de Poliálcool Vinílico (PVA), material hidrossolúvel e biodegradável. A estrutura do mecanismo foi impressa com filamento de Poliacido Lático (PLA), material orgânico e biodegradável que possibilita impressão de peças com alta resolução. O refinamento utilizado foi de 0,1 mm, o máximo permitido pelo equipamento. O preenchimento foi modelado em 100%. A impressão utilizou 18,51 metros de filamento e o tempo necessário para a produção foi de 1 dia e 16 horas. Depois de impressa, a peça foi colocada na água para que o suporte de PVA dissolvesse, obtendo resultado visualizável na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Suporte Linear Impresso em PLA

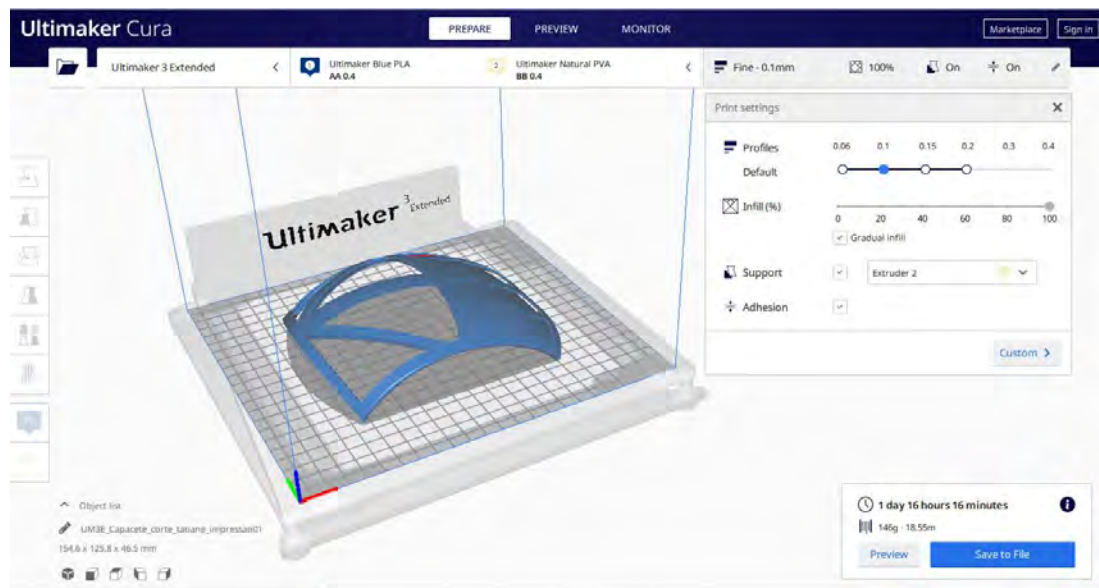


Figura 3.9 - Simulação Impressão 1ª Versão Suporte Mecanismo Deslizante

3.2.4 Montagem

Para a instalação da estrutura logo abaixo da carcaça, o enchimento do capacete foi retirado na região. Uma placa de acetato foi usada para deslizar no interior da estrutura e desempenhar o papel de porta, liberando ou impedindo a entrada de ar. O acetato foi escolhido por se tratar de um material dobrável e com rigidez suficiente para ser tracionado sem apresentar deformação expressiva, além de ser encontrado facilmente à venda em placas com espessura de 1mm.

Dois problemas foram encontrados ao realizar o primeiro teste, ambos relacionados à curvatura da estrutura. O primeiro diz respeito a constância do comprimento do arco do canal interno. Como a curvatura não é constante e a peça foi modelada usando como base planos paralelos, o comprimento do arco da base e do arco superior difeririam em 8,81 mm, porém para que a placa seja capaz de deslizar, essa diferença deve ser próxima a zero. O segundo problema consiste na impossibilidade de sobrar a placa em duas direções simultaneamente, o que impossibilita o funcionamento no sistema, principalmente em decorrência de acentuada curvatura na parte frontal do capacete e, conseqüentemente, na parte inferior da estrutura modelada.

3.2.5 Iteração

A estrutura foi alterada no *SolidWorks* de modo que o comprimento do rasgo interno se tornou constante. Já com o intuito de minimizar o problema de deslizamento devido a elevada curvatura, criou-se uma coluna central na parte inferior do rasgo, através

do recurso “loft”. Essa alteração permite que a placa seja dividida ao meio, de modo que ela não precise curvar-se tanto para acompanhar o formato da estrutura. Além disso, a coluna central teve sua largura aumentada em 5 mm para garantir que a placa dividida não saia do percurso. Na Figura 3.10 a transparência dos componentes foi alterada apenas para tornar visível as alterações e facilitar o entendimento.

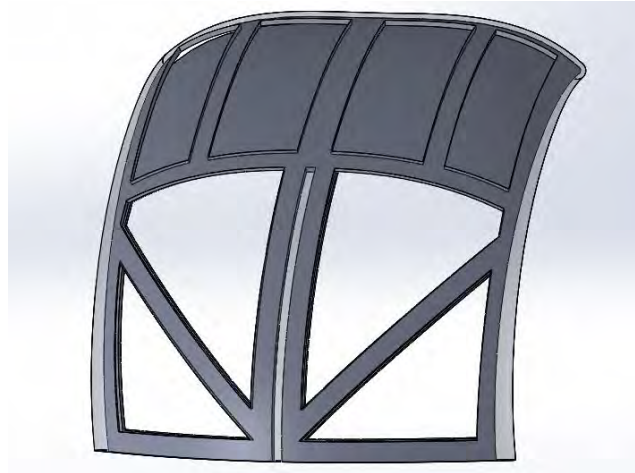


Figura 3.10 - 2ª Versão Suporte Mecanismo Deslizante

A impressão da 2ª versão do suporte do mecanismo foi simulada no *Ultimaker Cura 4.4*. A fabricação demanda 42,5 horas e consome 19,74 metros de filamento. A Figura 3.11 mostra a prévia da peça na placa de construção, juntamente com o suporte de PVA que auxilia a fabricação. Entretanto, a fabricação foi cancelada devido a dificuldade de modelar uma chapa capaz de deslizar de forma satisfatória dentro da estrutura, devido a curvatura e disposição geográfica dos furos. Decidiu-se, então, não dar prosseguimento ao desenvolvimento desse mecanismo e partir para a modelagem de um segundo sistema.

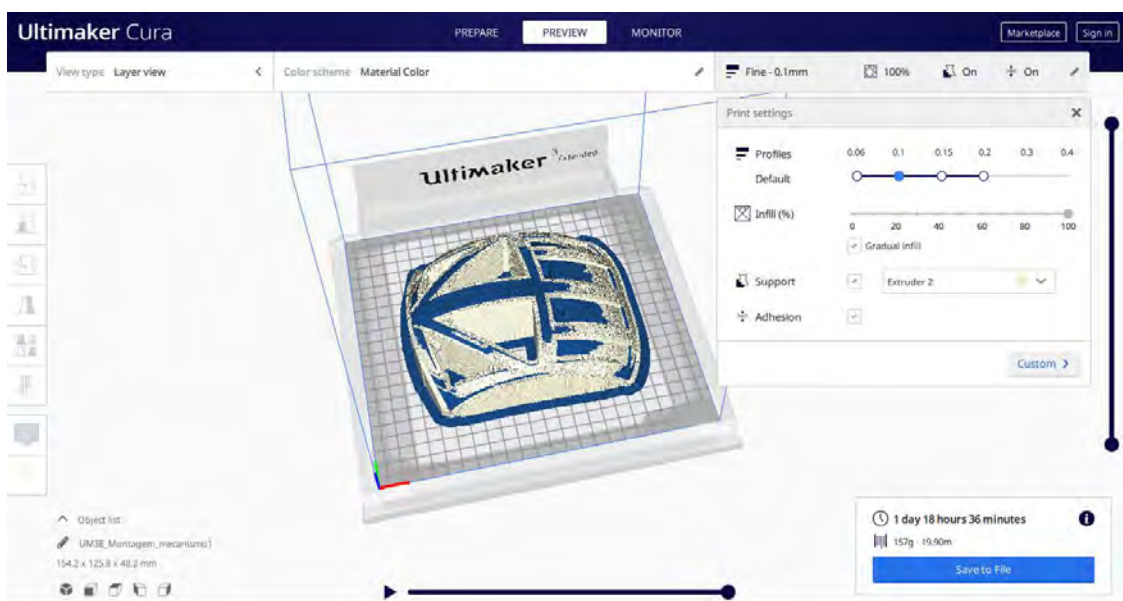


Figura 3.11 - Simulação da Impressão da 2ª Versão Mecanismo Deslizante

3.3 Mecanismo angular

Um segundo mecanismo foi proposto em função da dificuldade de deslizamento da placa e a impossibilidade de abrir parcialmente e simultaneamente os quatro furos. O novo mecanismo é angular. O sistema será instalado dentro do capacete já existente, junto a casca, para isso o enchimento foi retirado. Palhetas são rotacionadas pelo movimento de um eixo acoplado a um motor e promovem a abertura dos furos.

Assim como no primeiro mecanismo, este protótipo não será funcional e poderá ser usado para testes em laboratório, com o objetivo de validar os conceitos e analisar o posicionamento dos componentes. Para a fabricação de um equipamento utilizável, faz-se necessário remodelar a casca para que seja possível inserir, além do sistema, a camada de enchimento protetora entre o sistema e a cabeça, a fim de não apresentar redução da proteção.

3.3.1 Modelação no Software SolidWorks

A modelação dos componentes mecânicos foi realizada no *Software SolidWorks*. Cinco peças foram desenhadas separadamente: suporte, palheta esquerda, palheta direita, tampa do mancal e engrenagem.

O suporte foi pensado para ocupar o mínimo de espaço dentro do equipamento, de modo que sua altura foi limitada em 12mm. Trata-se de uma base com seis mancais e com uma parede para acomodar as engrenagens. Os mancais são bipartidos de deslizamento, sendo a parte superior fixada com parafusos. A Figura 3.12 ilustra o suporte.

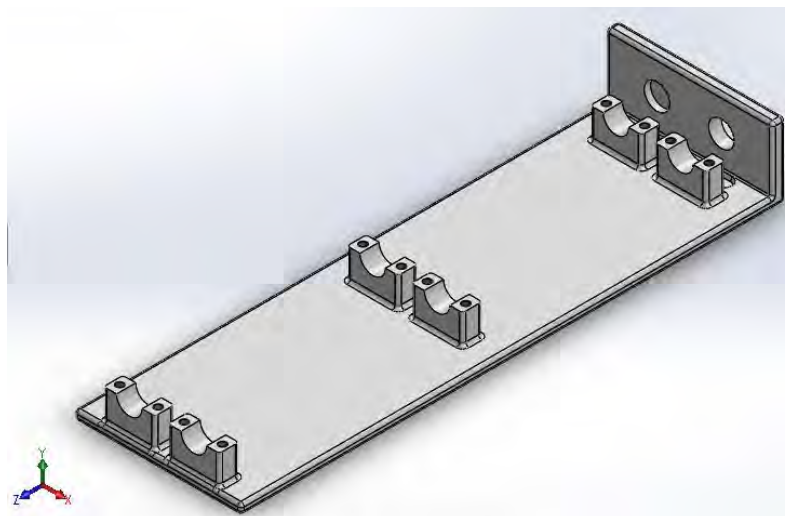


Figura 3.12 - Representação do Suporte

As duas palhetas foram projetadas de maneira semelhante, porém espelhadas, uma esquerda e outra direita. Ressaltos condizentes com os furos de entrada de ar foram adicionados às palhetas e estas são fixas aos respectivos eixos, de acordo com a Figura 3.13. Para aplicação em outros modelos de capacetes a forma e a localização dos ressaltos devem ser alteradas visando atender a aplicação de maneira coerente.

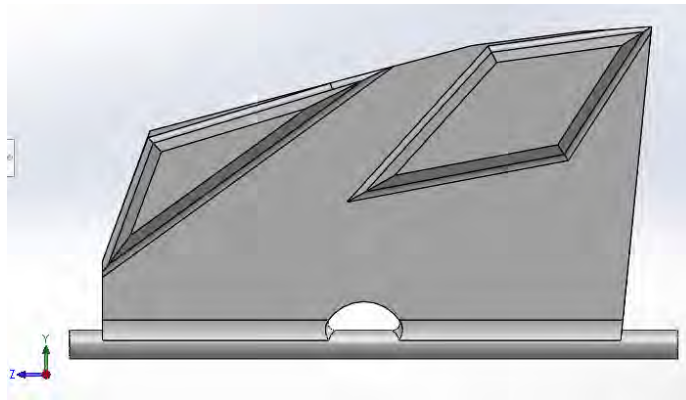


Figura 3.13 - Representação da Palheta Esquerda

O uso de uma rosca sem fim foi cogitado para transmitir o movimento simultaneamente para duas engrenagens acopladas aos eixos das palhetas. As engrenagens, então, girariam com rotações opostas promovendo a movimentação espelhada das duas palhetas, ambas fechariam ou abririam o concomitantemente. Esta opção foi descartada porque a rosca sem fim causa redução na transmissão, o que não é desejável já que o motor utilizado é um servo motor de 180°, portanto o deslocamento é limitado pelo sistema de redução interna.

Diante disso, decidiu-se utilizar apenas duas engrenagens em contato, sendo uma delas conectada ao eixo do motor. As duas engrenagens são acopladas aos eixos das palhetas e giram com rotações opostas, como ilustra a Figura 3.14, portanto não há necessidade de adicionar mais elementos para inverter a rotação.

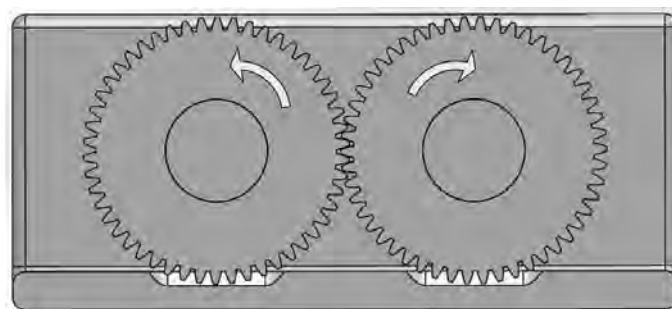


Figura 3.14 - Representação Engrenagens

Definiu-se então de modo arbitrário, duas engrenagens iguais com 50 dentes ($N=50$), posicionadas com os centros distantes de 10,06 mm e com ângulo de pressão (Φ) de 25°. De acordo com Shigley [52], a distância centro a centro entre duas engrenagens coincide com a soma dos raios primitivos (r_p). Como ambas as engrenagens são iguais, o raio primitivo é 5,03 mm, e conseqüentemente, o diâmetro primitivo (d_p) é 10,06 mm. O módulo (m) adquire o valor de 0,20 mm, já que é dado pela equação (1) [52]:

$$m = d_p/N \quad (1)$$

Em seguida, multiplicou-se o valor da constante grega π pelo módulo, resultando no passo circular (p), logo $p = 0,632$. A espessura do dente (t) sobre o círculo primitivo é dada pela metade do passo circular, de modo que $t = 0,0316$ mm. O adendo é igual a 0,17 mm, de modo que o círculo adendo, que coincide com as extremidades dos dentes, possui diâmetro de 5,20 mm. Já o dedendo é igual a 0,33 mm, logo o círculo dedendo, que coincide com o início dos dentes, tem diâmetro de 4,70 mm.

Por fim, o formato dos dentes foi modelado de acordo com a curva involuta, criada a partir do círculo de base de raio $r = 4,55$ mm, sendo r dado pela equação (2), resultando nas engrenagens representadas na Figura 3.14.

$$r = r_p * \cos(\Phi) \quad (2)$$

A fixação das engrenagens nos eixos (veios) foi arbitrada como ajuste por interferência, também denominado ajuste por pressão. De acordo com Norton [49], para diâmetros de até 2 polegadas, a interferência deve ser o valor do diâmetro multiplicado por 0,002. Considerando que o veio tem 4 mm de diâmetro, a interferência deve ser de 0,008 mm, ou seja, os diâmetros dos cubos das engrenagens devem ser 0,008 mm maiores do que os veios.

Ainda no *SolidWorks*, os componentes foram agrupados para simular a montagem e para ser possível visualizar o mecanismo em funcionamento (Figura 3.15). Os eixos das palhetas foram posicionados concêntricos com os furos dos mancais e das engrenagens. Essas também foram posicionadas usando o recurso “Posicionamento Mecânico – Engrenagem” para representar um acoplamento fidedigno.

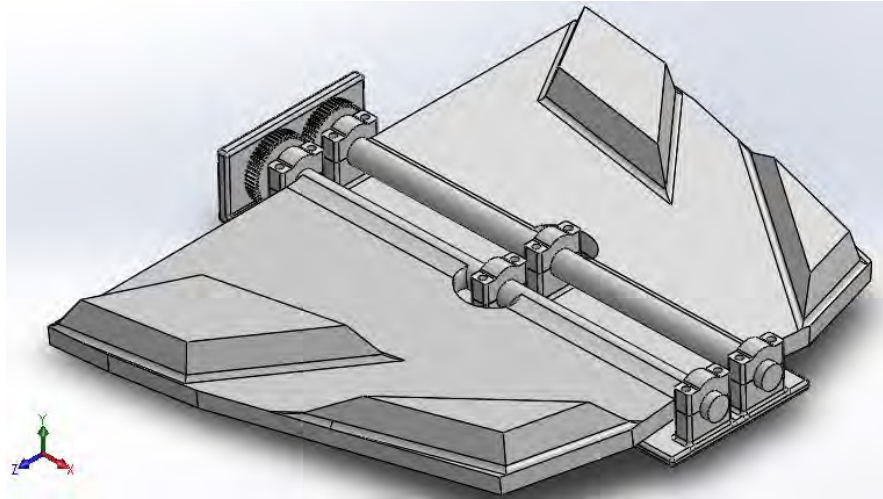


Figura 3.15 - Representação da Montagem do Mecanismo

Na Figura 3.16 está representada a vista inferior da casca do capacete teste, com o mecanismo posicionado na parte frontal. As elevações das palhetas coincidem com os furos frontais.

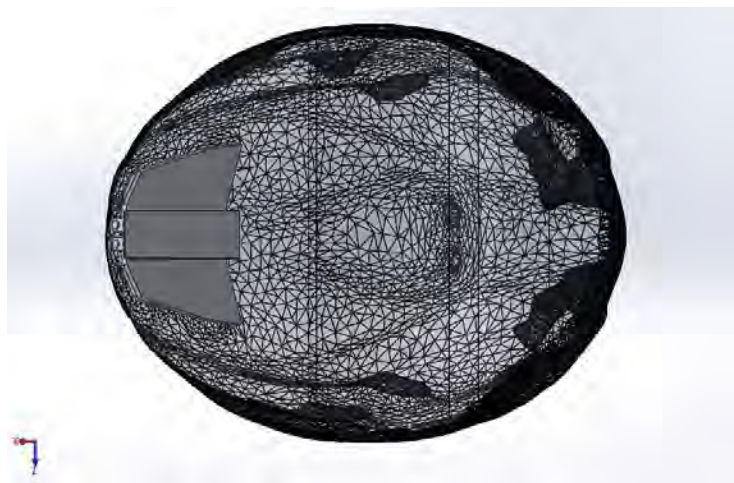


Figura 3.16 - Visualização Inferior do Capacete com o Mecanismo Angular

3.3.2 Testes Cinemático e de Força do Vento

Para analisar o comportamento do mecanismo completo um Estudo de Movimento foi realizado no mesmo software. Para tal, um motor rotativo foi adicionado ao eixo e o movimento simulado. Percebeu-se que a configuração de engrenagens proporciona um movimento fluido e sem travamentos.

Foi realizada uma simulação estática para averiguar se a configuração atual das palhetas é capaz de suportar a pressão do vento a qual elas podem ser submetidas em uso real. Para tal, foi considerado o vento à velocidade de 60 km/h, incidindo diretamente nas palhetas. Considerou-se também, os três mancais que seguram a palheta e um apoio

engastado (encastrado) no eixo, representando o motor sustentando as palhetas imóveis. Utilizou-se 4 pontos jacobianos. Testou-se algumas configurações de malha, de modo que os resultados da simulação convergiram a partir da utilização de 9746 elementos de malha com dimensão de 2,24 mm, sendo considerados 16452 nós. Este refinamento foi então considerado, gerando a malha visualizável na Figura 3.17.

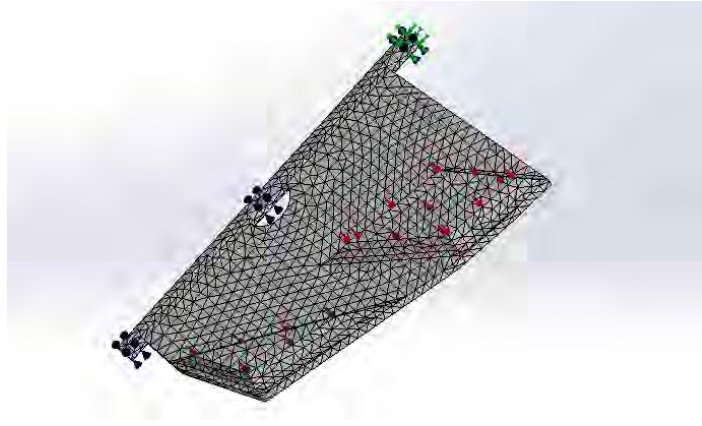


Figura 3.17 - Malha Utilizada na Simulação Estática

O deslocamento máximo aconteceu na extremidade do componente com valor de $3,56 \times 10^{-2}$ mm, como representado na Figura 3.18.

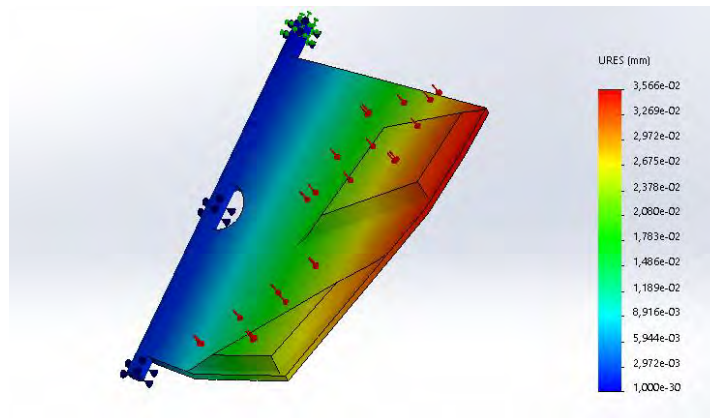


Figura 3.18 - Deslocamento da Palheta Direita [mm]

A tensão máxima exercida é de 0,446 MPa, como mostra a Figura 3.19. Sendo a tensão máxima suportada pelo material de 49 MPa, o coeficiente de segurança resultante é de 109.

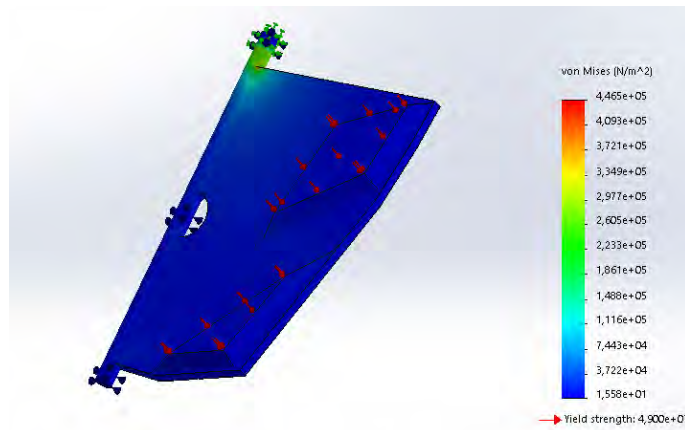


Figura 3.19 - Tensão de von Mises [N/m²]

3.3.3 Impressão Componentes Mecânicos

Todos os componentes mecânicos e estruturais foram modelados com o intuito de serem produzidos por prototipagem rápida no FabLab do Instituto Politécnico de Bragança, com uso da impressora *3D Ultimaker 3*. A matéria-prima escolhida foi o PLA (poliácido láctico), por se tratar de um material biodegradável e que permite bons resultados quando impresso. Entretanto, devido a pandemia inesperada, o acesso ao laboratório foi sabiamente restringido, de forma que os componentes não puderam ser impressos.

A impressão dos componentes foi apenas simulada no *Cure 4.4*, sendo necessário 10h34 e 5,53 metros de filamento para fabricação do mecanismo. De modo que o suporte precisa de 1h40 e utiliza 0,83 metros de filamento. As palhetas levam 8 horas e consomem 4,32 metros, as duas engrenagens precisam de 30 minutos e 0,20 metros e as tampas dos mancais levam 24 minutos e 0,18 metros. Além disso para impressão da caixa de componentes com tampa, é preciso mais 29h36, consumindo cerca de 11,94 metros de PLA. Totalizando, então 40h10 de uso da impressora e 17,47 metros de filamento.

3.3.4 Componentes Eletrónicos

As palhetas precisam ser movidas de acordo com a necessidade de arrefecimento da cabeça, de modo que um sensor se faz necessário para mensurar constantemente a temperatura no interior do equipamento. O sensor envia os dados colhidos ao microcontrolador que analisa se os valores recebidos condizem com a possível temperatura de conforto. Se o microcontrolador identifica que está mais quente que o desejado, aciona o motor para que as palhetas sejam movidas de modo a aumentar a

entrada de ar. Se está mais frio, o movimento ocorre no sentido contrário, fechando as entradas de ar.

O sistema é alimentado por uma bateria de 5V, entretanto para efeito de testes uma fonte de bancada será utilizada. O mecanismo conta com um botão liga/desliga para que o ciclista consiga acionar o mecanismo ao iniciar o uso e desativá-lo ao finalizar. Uma alternativa para o acionamento baseia-se no uso do próprio acelerómetro do microcontrolador, o qual identificaria o início do movimento e automaticamente iniciaria o sistema.

A localização dos componentes foi pensada para evitar que eles se tornem prejudiciais ao usuário em caso de colisão, portanto uma caixa com base de 48x65mm e 75mm de altura foi modelada para comportar a bateria, o microcontrolador e o motor. Esta caixa (Figura 3.20) ficará fixada no exterior, na parte traseira do capacete, como ilustra a Figura 3.21. Um eixo instalado próximo à casca atravessa o equipamento e conecta o eixo do motor com o sistema instalado na parte frontal.

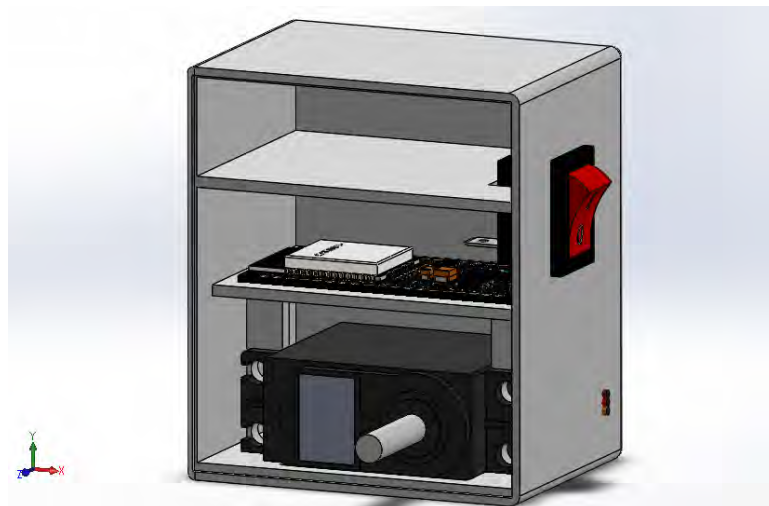


Figura 3.20 - Caixa de Componentes



Figura 3.21 - Localização da Caixa de Componentes no Capacete

O microcontrolador escolhido foi a placa ESP32-DevKitC-32D com um microprocessador ESP-WROOM-32D, desenvolvida pela empresa chinesa *Espressif Systems* (Figura 3.22). A placa é uma boa opção para prototipagem de IOTs (Internet das Coisas), já que se trata de um dispositivo barato, potente e com módulos WI-FI e Bluetooth embutidos, o que possibilita a troca de informações com outros dispositivos. Além disso, é compatível com a IDE do Arduíno, o que simplifica a programação. Atua com tensão de 2,3V a 3,6V e 12bits.

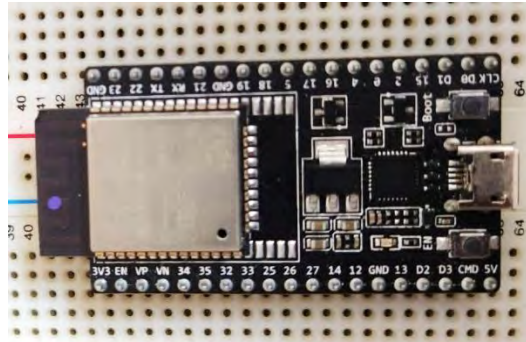


Figura 3.22 - Microcontrolador ESP32

Já o motor utilizado é um servomotor por apresentar baixa massa (14,7g), boa precisão de posição angular, além de ser facilmente controlado. O servo escolhido é o modelo SG5010, com tensão de funcionamento na faixa de 4,8V a 6,0V. Com fornecimento mínimo de 4,8V o motor atua com velocidade de 0,17 s/60° e torque de 3,1kg.cm. Por outro lado, se for submetido a tensão máxima de 6,0V, o motor responde com velocidade de 0,4 s/60° e torque de 4,5kg.cm. A temperatura de atuação é de 0°C – 55°C, possui dimensões de 40,2 x 20,2 x 43,2mm e massa de 49g (Figura 3.23).

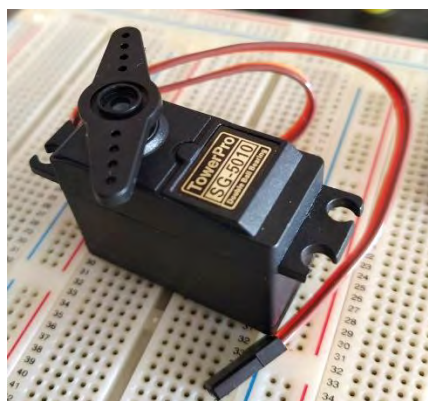


Figura 3.23 - Servomotor

O sensor de temperatura selecionado foi um termistor de 10k Ω , com precisão de $\pm 1\%$, constante β de 4000k, temperatura -55°C a 125°C, com diâmetro de 6.5mm. Este sensor tem sua resistência alterada com a mudança de temperatura, de modo que o objetivo é monitorar a resistência do componente ligado a um circuito elétrico e em

seguida, converter a resistência medida na temperatura equivalente. Tendo em vista que se almeja mensurar a temperatura da cabeça, o sensor será instalado no meio do equipamento, coincidindo com o topo da cabeça.

A fonte de energia deve ser capaz de alimentar o microcontrolador, o circuito ao qual o sensor está conectado e o servomotor. De maneira que forneçam tensão e corrente suficiente, quatro pilhas AAA de 1,5V foram definidas para serem utilizadas em série, resultando em uma tensão de alimentação de aproximadamente 5V. Um suporte como o ilustrado pela Figura 3.24, foi pensado para ser instalado na parte superior da caixa de componentes, a fim de facilitar a disposição das pilhas. Estas, devem ser preferencialmente recarregáveis para diminuir o lixo gerado pelo descarte.



Figura 3.24 - - Suporte para 4 pilhas AAA [44]

3.3.5 Circuito Elétrico

O circuito elétrico foi montado no *Software Fritzing* visando facilitar a visualização das conexões, Figura 3.25. Faz-se necessário salientar que na prática os componentes, exceto o termistor, estarão posicionados na parte traseira do equipamento. Para ser possível mensurar a resistência do termistor foi necessário montar um circuito divisor de tensão com a inserção de um resistor de com propriedades constantes na faixa de temperatura de atuação. Foi, então, escolhido um resistor de 10k Ω . A outra ponta do termistor foi conectada a uma porta analógica do microprocessador. O sistema é alimentado por uma fonte de tensão com limite de 5V, tensão máxima que os componentes suportam.

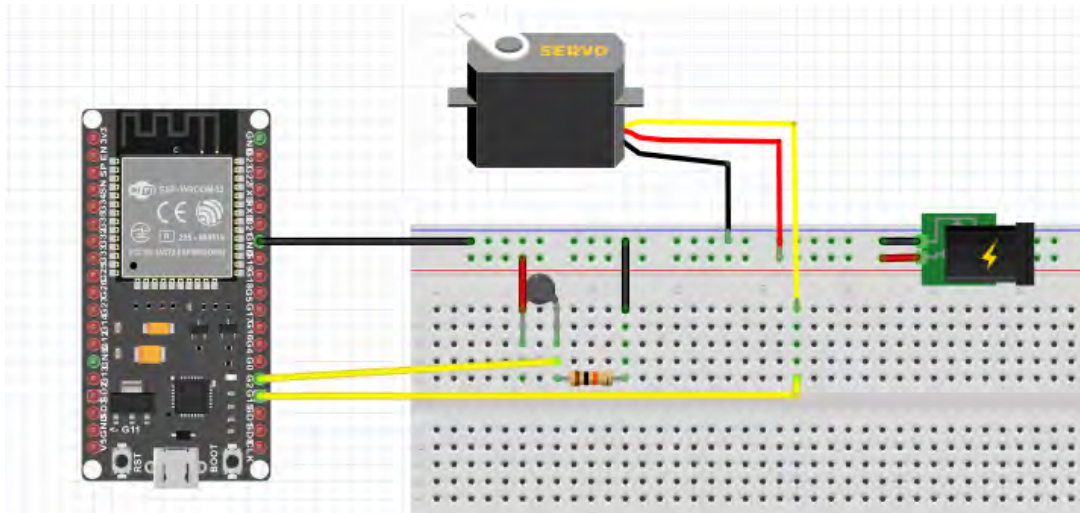


Figura 3.25 - Representação Circuito Elétrico

O microprocessador tem a função de monitorar a diferença de tensão na saída do termistor. Tendo em vista que a corrente que passa pelo sensor é a mesma que passa pelo resistor [56], tem-se:

$$I = V_{cc}/(R_t + R) \quad (3)$$

E considerando que a tensão que passa pelo resistor é igual a multiplicação da resistência pela corrente ($V=R*I$), substituindo a corrente da equação (3), define-se a igualdade:

$$R_t = R * (V_{cc} - V)/V \quad (4)$$

Onde R_t é a resistência do termistor, R a resistência do resistor, V_{cc} é a tensão fornecida e V é a tensão medida pelo divisor de tensão. De modo que, conhecendo o valor da resistência R_t é possível convertê-lo em temperatura. A curva que relaciona resistência e temperatura de um termistor não é linear e muitas vezes gera resultados aproximados e não exatos. A equação (5) utilizada é dada por:

$$T = \beta * \ln(R_t/R_x) \quad (5)$$

Onde T é a temperatura em Kelvin. A constante β é fornecida pelo fabricante, o termistor utilizado tem $\beta = 4000K$. R_t é a resistência instantânea e R_x é dado pela equação (6) [56]:

$$R_x = R_0 * \exp(-\beta/T_0) \quad (6)$$

Sendo R_0 a resistência referência na temperatura T_0 . O componente utilizado apresenta $R_0 = 10k\Omega$ e $T_0 = 298K$ ($25^\circ C$).

3.3.6 Códigos Programação

Para a IDE do Arduíno reconhecer a placa do ESP32, foi necessário preparar a plataforma e, também, instalar uma biblioteca própria permitindo que o controle do servomotor fosse possível. Em seguida, foram definidos os parâmetros iniciais e inseridas as equações para determinar a temperatura coletada pelo termistor utilizado. Para evitar erros de medição, uma amostra de 5 valores foi estabelecida. A primeira parte do código pode ser visualizada na Figura 3.26.

```
#include <dummy.h>
#include <ESP32Servo.h>
Servo servomotor; // Criação de um objeto servo
int pos = 0;      // Variável para guardar o posicionamento do servo

// Leitura de temperatura utilizando o termistor

const int pinTermistor = 2; // Porta para conexão do termistor

// Definindo parâmetros do termistor
const double beta = 4000.0;
const double r0 = 10000.0;
const double t0 = 273.0 + 25.0;
const double rx = r0 * exp(-beta/t0);

// Definindo parâmetros do circuito
const double vcc = 5.0; // Tensão 5V
const double R = 10000.0; // Resistência do Resistor

// 5 amostras serão coletadas para evitar erros
const int nAmostras = 5;

// Iniciação do Sistema
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  servomotor.attach(15); // Porta onde o Servo está conectado
}
```

Figura 3.26 - 1ª Parte do Código de Programação

Ao receber as amostras da porta analógica definidas, o microcontrolador calcula a média e a aplica nas equações. Em sequência, transforma a temperatura encontrada de Kelvin para graus Celsius e imprime no monitor serial. Por fim, realiza a comparação entre o valor apurado o de referência e, se houver divergências, aciona o motor. Se a temperatura identificada for maior do que a ideal ($35,7^\circ C$, de acordo com Wolisnska [26]), o servomotor gira no sentido anti-horário (abrindo). Se for menor, gira no sentido horário (fechando). A segunda parte do código pode ser vista na Figura 3.27.

```

// Laço perpétuo
void loop() {
  // Lê o sensor 5 vezes
  int soma = 0;
  for (int i = 0; i < nAmostras; i++) {
    soma += analogRead(pinTermistor);
    delay (10);
  }

  // Determinando a resistência do termistor
  double v = (vcc*soma)/(nAmostras*4095.0);
  double rt = (vcc*R)/v - R;

  // Calculando a temperatura
  double t = beta / log(rt/rx);
  Serial.println (t);
  Serial.println (t-273.0); // Registrando no monitor serial a temperatura lida

  //Acionando o servo
  if (t>308,7){ // Abrindo a entrada de ar
    if (pos < 60) {
      for (pos = 0; pos <= 60; pos += 1) { // Servo gira de 0 para 60 graus
        servomotor.write(pos);
        delay(10);
      }
    }
  }

  else{
    if (t<=308,7){ // Fechando a entrada de ar
      if (pos > 0) {
        for (pos = 60; pos >= 0; pos -= 1) { // Servo Gira de 60 para 0 graus
          servomotor.write(pos);
          delay(10);
        }
      }
    }
  }
  delay (10000);
}

```

Figura 3.27 - 2ª Parte do Código de Programação

Devido à pandemia causada pelo Covid-19, não foi possível montar o sistema completo para realização de testes. Além disso, o ideal é o servomotor variar de maneira distinta de acordo com as diferentes temperaturas mensuradas e não apenas alternar entre fechado e aberto. Além disso, no código as posições aberta e fechada diferem em 60° entre si. Esse valor é arbitrado, no experimental precisaria ser testado e, possivelmente, readequado para ser realmente condizente com as condições reais do sistema.

3.3.7 Aplicação

Uma aplicação foi pensada para atuar como interface entre o sistema e o usuário. As funções principais consistem em possibilitar que o ciclista acompanhe o tempo de utilização e a temperatura registrada pelo sistema, além de inserir feedbacks a fim de tornar o sistema mais eficiente quanto ao conforto individual, tendo em vista que o valor inicial

utilizado é a temperatura média de conforto para a cabeça definida pelo experimento de Wolisnska [26], 35,7°C. Entretanto, por razão da pandemia já mencionada, a aplicação não foi desenvolvida completamente, apenas a lógica de conexão entre a aplicação e o ESP32 foi criada e testada.

A plataforma *MIT App Inventor*, pertencente à *Google*, foi utilizada para modelagem do design da aplicação e da lógica utilizada. Trata-se de uma ferramenta aberta e de fácil desenvolvimento. A Figura 3.28 mostra a lógica usada para conectar o Bluetooth da placa ESP32 à aplicação, possibilitando a troca de informações.

Ao clicar no botão “conectar”, a lista de conexões disponíveis aparece para o usuário. Ao selecionar o ESP32, a aplicação faz a conexão e uma imagem confirmando que a comunicação está ocorrendo aparece na tela, o botão “conectar” desaparece e em seu lugar surge o botão “desconectar”. Ao final do uso pretende-se desconectar os dispositivos, então ao clicar no botão “desconectar”, a conexão será interrompida, o botão clicado irá desaparecer e novamente a opção “conectar” aparecerá na tela.

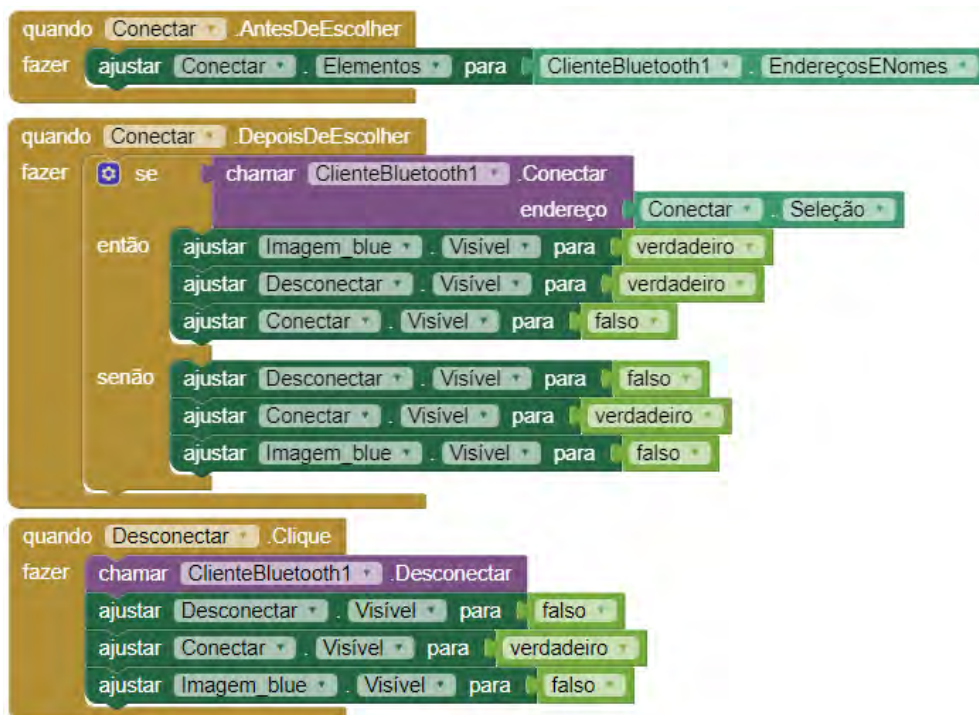


Figura 3.28 - Conexão Bluetooth

3.3.8 Custo do Protótipo

O custo do protótipo foi estipulado a partir do preço dos componentes se adquiridos em Portugal. As impressões foram calculados através da do simulador online Impressão 3D Portugal [57] e o custo do filamento de PLA foi estimado em €15/kg. A

Tabela iii Tabela idescreve os custos aproximados para a produção dos componentes de um protótipo para testes, representando um montante de €106,20.

Tabela iii - Custos do Protótipo

Componente	Custo (€)
Mecanismo Impresso	20,00
Caixa de Componentes Impressa	52,50
Microcontrolador ESP32	16,90
Servomotor <i>TowerPro</i> SG5010	10,90
Termistor 10k Ω	0,40
Resistor 10k Ω + cabos conectores	0,50
4 Pilhas AAA + suporte	5,00
Total	106,20

4 CONCLUSÕES

Essa dissertação tinha por objetivo a construção de um protótipo de um mecanismo automatizado para controle de entrada de ar em capacetes de bicicleta, visando o conforto térmico em diferentes situações de uso. Os objetivos englobavam a elaboração de um projeto, construção do protótipo e análise da viabilidade do mecanismo. Além da elaboração de uma aplicação que permitisse a comunicação entre o usuário e o sistema. Entretanto, devido à pandemia do Covid-19, infelizmente não foi possível realizar o experimental para validação do projeto.

O trabalho consistiu na elaboração de um conceito de mecanismo, duas hipóteses surgiram, sendo a primeira a elaboração de um mecanismo linear e a segunda um mecanismo angular. Inicialmente realizou-se a digitalização do capacete hospedeiro do sistema e em seguida o desenvolvimento do desenho da estrutura no *SolidWorks*. Esta foi impressa e, posteriormente, testada com uma folha de acrílico a deslizar internamente, promovendo a abertura e fechamento das entradas de ar. Devido a problemas de deslizamento e dificuldade para abrir simultaneamente os quatro furos existentes no equipamento, optou-se por descartar a opção de mecanismo linear e trabalhar com um mecanismo angular.

A nova ideia foi elaborada e o sistema foi desenhado. Composto, então, por duas palhetas que giram em resposta ao movimento do eixo conectado ao servomotor, resultando na liberação ou restrição da entrada de ar. Para controlar a necessidade de arrefecimento, um termistor foi inserido dentro do equipamento. Esse sensor varia sua resistência de acordo com a temperatura ao seu redor. Cabe ao microcontrolador traduzir a resistência do sensor em temperatura e acionar o motor quando necessário.

Outro objetivo inicial desde projeto era a elaboração de uma aplicação para celular, entretanto não foi possível criar a aplicação completa. De modo que, foram esboçadas algumas ideias e apenas a lógica de conexão entre a aplicação e o microcontrolador foi desenvolvida e testada.

Conclui-se, então, que ao que tudo indica, é possível a implementação de um sistema de ventilação, juntamente com os componentes eletrônicos em um capacete. Sendo o projeto de protótipo sugerido ao decorrer desta dissertação presumivelmente executável e implementável em um capacete já existente, custando cerca de €106,20. Além disso, é adaptável para a instalação em equipamentos distintos.

Como sugestões para trabalhos futuros, faz-se necessário a execução do experimental, para que a determinação de detalhes seja averiguada e validada. Em seguida, sugere-se a conceção de um projeto de produção em série, englobando a definição de métodos de fabricação adequados para que se torne de baixo custo e propício para o uso por ciclistas em geral.

5 REFERÊNCIAS

- [1] R. G. Attewell, K. Glase, e M. McFadden, «Bicycle Helmet Efficacy: A Meta-Analysis», *Accid. Anal. Prev.*, vol. 33, n. 3, pp. 345–352, 2001, doi: 10.1016/S0001-4575(00)00048-8.
- [2] J. T. Finnoff, E. R. Laskowski, K. L. Altman, e N. N. Diehl, «Barriers to Bicycle Helmet Use», *Pediatrics*, vol. 108, n. 1, pp. 2–10, 2001, doi: 10.1542/peds.108.1.e4.
- [3] C. Deck, R. Willinger, e D. Baumgartner, «Helmet Optimisation Based on Head-Helmet Modelling», *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 67, pp. 319–328, 2003.
- [4] F. A. O. Fernandes e R. J. Alves De Sousa, «Motorcycle Helmets - A state of the Art Review», *Accid. Anal. Prev.*, vol. 56, pp. 1–21, 2013, doi: 10.1016/j.aap.2013.03.011.
- [5] Ellis, Bertolini, e Thompson, «A Review of Research on Bicycle Helmet Ventilation», *Sport. Eng.*, vol. 3, n. 3, pp. 185–194, 2000, doi: 10.1046/j.1460-2687.2000.00053.x.
- [6] «Capacetes: Novas Tecnologias Para se Ter na Cabeça», *MTB Brasília*, 2013. [Em linha]. Disponível em: <https://www.mtbbrasil.com.br/2013/11/08/capacetes-novas-tecnologias-para-se-ter-na-cabeça/>. [Acedido: 20-Abr-2020].
- [7] P. Cury, «Entenda - Capacetes com Tecnologia MIPS», *Pedal*, 2015. [Em linha]. Disponível em: https://www.pedal.com.br/entenda-capacetes-bicicleta-com-tecnologia-mips_texto8514.html. [Acedido: 28-Abr-2020].
- [8] ERSO, «Annual Accident Report 2018», *Eur. Road Saf. Obs.*, pp. 1–86, 2018, doi: 10.1093/jnci/djj446.
- [9] K. S. Der Hansen, L. B. Engesæter, e A. Viste, «Protective Effect of Different Types of Bicycle Helmets Protective Effect of Different Types», *Traffic Inj. Prev.*, vol. 4:4, n. Jun 2010, pp. 285–290, 2010, doi: 10.1080/714040486.
- [10] A. Fyhri, T. Bjornskau, e A. Backer-Grondahl, «Bicycle Helmets - A Case of Risk Compensation?», *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 15, n. 5, pp. 612–624, 2012, doi: 10.1016/j.trf.2012.06.003.
- [11] J. M. Escotto, «Os Melhores Sistemas de Segurança nos Capacetes High Proteção Tech», *Bikes World*, pp. 63–66.
- [12] S. K. Kar, D. A. Anshuman, H. Raj, e P. P. Singh, «New Design and Fabrication of Smart Helmet», *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,

- 2018.
- [13] D. Lobo, «Novos Capacetes MET», *BTT Lobo*, 2016. [Em linha]. Disponível em: <https://bttlobo.com/novos-capacetes-met/>. [Acedido: 28-Abr-2020].
- [14] P. Brühwiler *et al.*, «Heat Transfer Variations of Bicycle Helmets», *J. Sports Sci.*, vol. 24, n. 9, pp. 999–1011, 2006, doi: 10.1080/02640410500457877.
- [15] A. Schetino, «Capacete de Ciclismo: Tudo que Você Precisa Saber para Escolher o Seu Capacete», *Até Onde deu pra ir de Bicicleta*, 2014. [Em linha]. Disponível em: <ateondedeuprairdebicicleta.com.br>. [Acedido: 15-Dez-2019].
- [16] L. Beltrão, «Novidades 2019 – Sistema “ANGP” da Specialized Detecta Acidente», *Marreta Man*, 2018. [Em linha]. Disponível em: <https://www.marretaman.pt/novidades-2019-sistema-angi-da-specialized-detecta-acidente/>. [Acedido: 28-Abr-2020].
- [17] K. Shrivya, Y. Mandapati, D. Keerthi, K. Harika, e R. K. Senapati, «Smart Helmet for Safe Driving», *E3S Web Conf.*, vol. 87, n. February, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/20198701023.
- [18] E. C. for Standardization, «EN 1078 : 2012 + A1 Helmets for Pedal Cyclists and for Users of Skateboards and Roller Skates», *CEN Eur. Comm. Stand.*, pp. 1–24, 2012.
- [19] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), «NBR 16175 : 2013 - Veículos de duas rodas - Bicicleta - Capacete para Condutores de Bicicleta e Usuários de Patins, Skates e Semelhantes», *ABNT*, 2013.
- [20] G. De Bruyne, J. M. Aerts, J. Vander Sloten, J. Goffin, I. Verpoest, e D. Berckmans, «Quantification of Local Ventilation Efficiency Under Bicycle Helmets», *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 42, n. 3, pp. 278–286, 2012, doi: 10.1016/j.ergon.2012.02.003.
- [21] F. Alam, H. Chowdhury, Z. Elmir, A. Sayogo, J. Love, e A. Subic, «An Experimental Study of Thermal Comfort and Aerodynamic Efficiency of Recreational and Racing Bicycle Helmets», *Procedia Eng.*, vol. 2, n. 2, pp. 2413–2418, 2010, doi: 10.1016/j.proeng.2010.04.008.
- [22] Ashrae Standard, «ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals», *Ashrae Stand.*, vol. 53, n. 9, pp. 1689–1699, 2001, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [23] A. P. Gagge e R. R. Gonzalez, «Mechanisms of Heat Exchange: Biophysics and Physiology», *Compr. Physiol.*, n. 1, 2011, doi: 10.1002/cphy.cp040104.
- [24] D. Filingeri, «Neurophysiology of Skin Thermal Sensations», *Compr. Physiol.*,

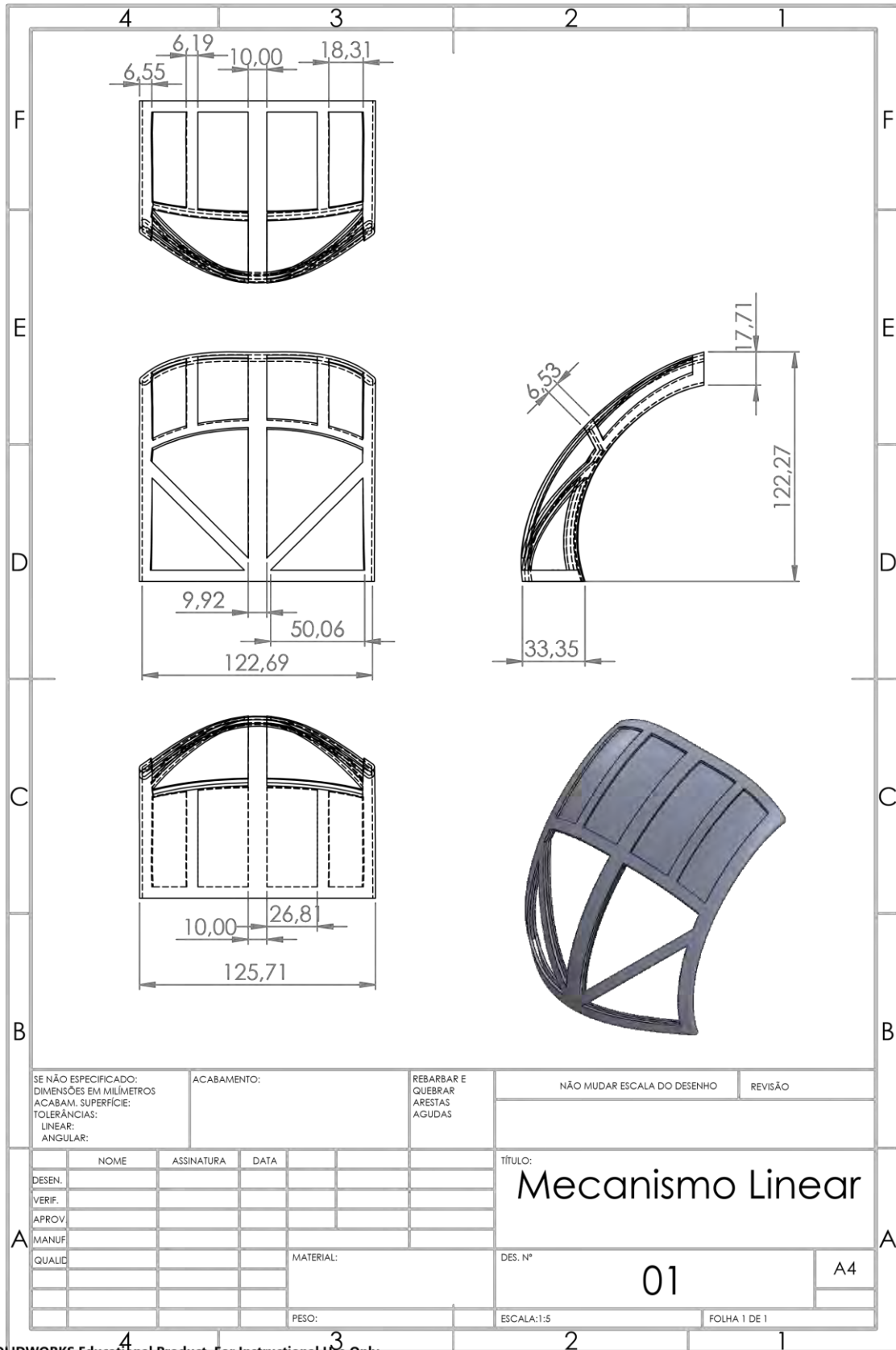
- vol. 6, n. 3, p. 1429, 2016, doi: 10.1002/cphy.c150040.
- [25] U. Ciuha e I. B. Mekjavic, «Physiology & Behavior Thermal Comfort Zone of the Hands, Feet and Head in Males and Females», *Physiol. Behav. J.*, vol. 179, n. April, pp. 427–433, 2017, doi: 10.1016/j.physbeh.2017.07.020.
- [26] M. Wolisnska, A. Bogdan, e M. Fejdy, «International Journal of Industrial Ergonomics Influence of Different Types of The Internal System of The Ballistic Helmet Shell on the Thermal Insulation Measured by a Manikin Headform», *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 44, pp. 421–427, 2014, doi: 10.1016/j.ergon.2013.11.011.
- [27] C. Bursali e O. Sen, «The Analysis of the Heat Index and Wind Chill in», *Istanbul Tech. Univ. Fac. Aeronaut. Astronaut.*, 2017.
- [28] «Heat Index Calculator», *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>. [Acedido: 20-Set-2012].
- [29] P. A. Siple e C. F. Passel, «Measurements of Dry Atmospheric Cooling in Subfreezing Temperatures», *Proc. Am. Philos. Soc.*, vol. 89, n. 1, pp. 177–199, 1945.
- [30] IMPA, «Índice Wind Chill», *Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P. (IPMA, I. P.)*. [Em linha]. Disponível em: www.ipma.pt. [Acedido: 20-Set-2019].
- [31] E. Kessler, «Wind Chill Errors», *Dep. Geogr. Meteorol. Univ. Oklahoma*, vol. 74, pp. 1743–1744, 1993.
- [32] M. Boduch e W. Fincher, «Standards of Human Comfort: Relative and Absolute», *UTSoA - Meadows Semin. Fall*, p. 12, 2009.
- [33] J. Rocha e F. J. L. Alves, «Fabrico De Ferramentas Metálicas Utilizando Moldações Cerâmicas Compósitas», *O Molde*, pp. 37–48, 2001.
- [34] L. Queijo, J. Rocha, e P. Pereira, «Planeamento Cirúrgico Usando Técnicas de Prototipagem Rápida : Um Estudo Prévio», *Coluna/Columna ISSN 1808-1851*, n. 9:4, pp. 475–476, 2010.
- [35] F. J. Lino e R. J. Neto, «A Prototipagem Rápida na Indústria Cerâmica, Comparação com Outros Sectores Industriais», *Kéramica*, 2003.
- [36] F. Coimbra, «O que é um FabLab?», *Novo Tecna*. [Em linha]. Disponível em: http://novotecna.pt/fablab/?page_id=56. [Acedido: 08-Abr-2020].
- [37] F. E. Torres e H. R. Martins, *Apostila Didática PICMinas - Sistemas Controlados*. Inova UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais).
- [38] C. D. Simpson, *Programmable Logic Controllers*, 1 edição. Englewood Cliffs:

- Regents/Prentice Hall, 1994.
- [39] M. Abrar, «Interfacing a Servomotor with Arduino Uno Microcontroller», *Int. J. Recent Sci. Res.*, vol. 10, n. 02, pp. 31010–31014, 2019, doi: 10.24327/IJRSR.
- [40] M. Fezari e N. Zakaria, «Comparative Study Between Two Powerfull NodeMCU Circuits : ESP32 and ESP8266», *Badji Mokhtar Annaba University*, Ammana, Jordânia, Abr-2019.
- [41] T. E. Kissel, *Industrial Eletronics*, 1 edição. New Jersey: Hall, Prentice Ha, 1997.
- [42] J. Sternerson, *Fundamentals of Programmable Logic Coontrollers, Sensors and Communications*. New Jersey, 1994.
- [43] P. Elgar, *Sensors for Measurement and Control*, 1 edição. Harlow, Inglaterra: Tecquipment, 1998.
- [44] «Catálogo Online Botnroll», *Botnroll*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.botnroll.com/pt/2-categorias>. [Acedido: 05-Mai-2020].
- [45] S. K. Sen, «An Improved Lead Wire Compensation Technique for Conventional Two Wire Resistance Temperature Detectors (RTDs)», *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 39, n. 5, pp. 477–480, 2006, doi: 10.1016/j.measurement.2006.01.002.
- [46] A. Rahman, «Assignment on Servo Motor», 2018.
- [47] E. Embarcados, «Editorial: Linguagens de Programação para Sistemas Embarcados», *Embarcados*, 2015. [Em linha]. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/editorial-linguagens-para-sistemas-embarcados/>. [Acedido: 10-Out-2019].
- [48] H. H. Mabie e C. Reinholtz, *Mechanisms and Dynamics of Machinery*, 4 edição. Nova Jersey, EUA: John Wiley & Sons, 1987.
- [49] R. L. Norton, *Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada*, 4 edição. São Paulo, Brasil: Bookman Editora Ltda, 2013.
- [50] P. Flores e J. Gomes, *Cinemática e Dinâmica de Engrenagens - Aspetos Gerais sobre Engrenagens*, 1 edição. Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2014.
- [51] K. Juvinall, R. C., Marshek, K. M., & Youssefi, *Fundamentals of Machine Component Design*, 5 edição. Nova Jersey, EUA: John Wiley & Sons, 2011.
- [52] R. G. Budynas e J. K. Nisbett, *Elementos de Máquinas de Shigley português*, 8 edição. Porto Alegre, Brasil: AMGH Editora Ltda, 2011.
- [53] I. Yamamoto, E. Mec, T. Termomecanica, e M. A. Fumagalli, «Mancais

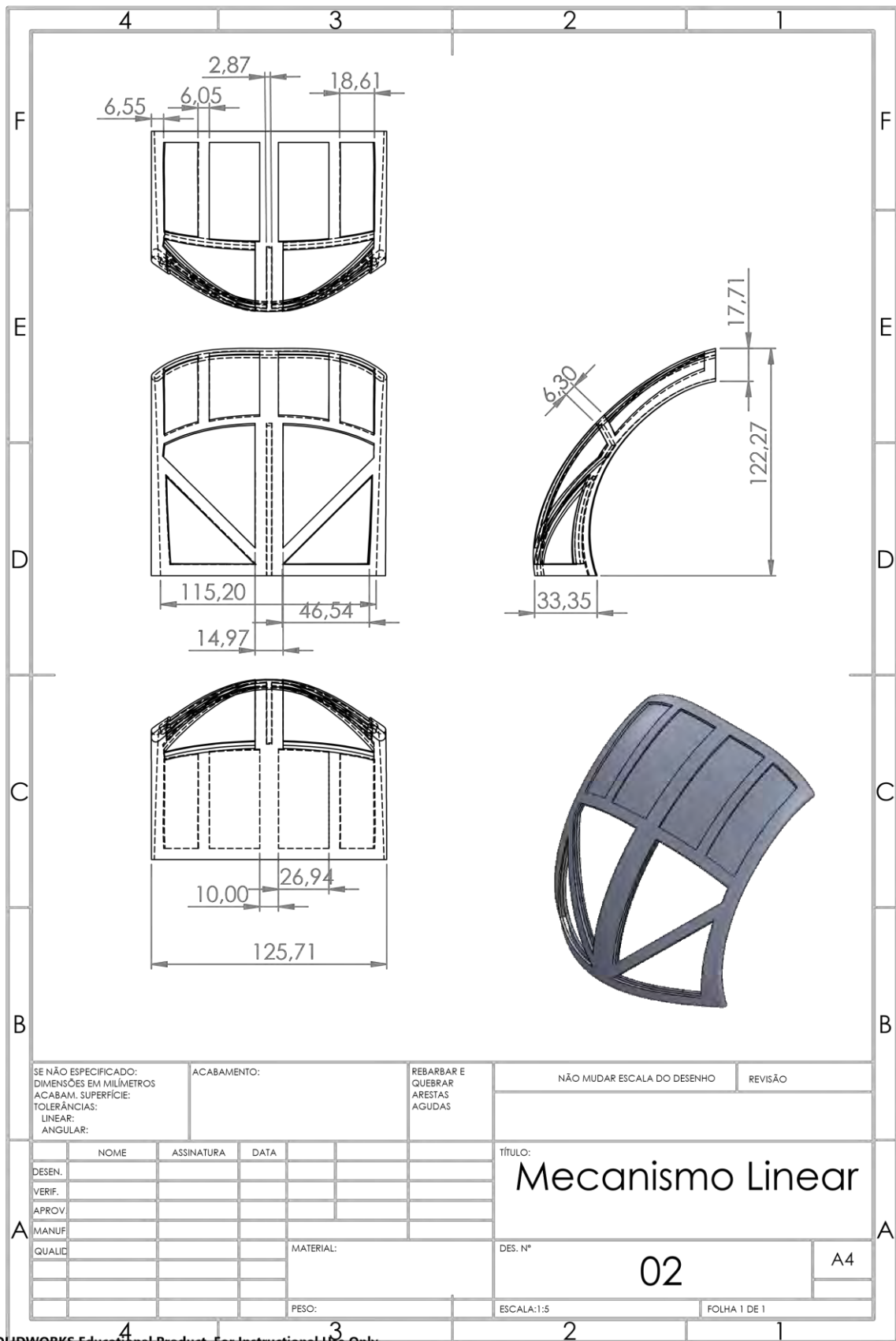
- Magnéticos : Conceito e Aplicações», *FTT Journal of Engineering and Business*, São Bernardo do Campo, Brasil, pp. 95–108, Nov-2019.
- [54] D. Systèmes, «Novidades SolidWorks 2019». 2019.
- [55] Ultimaker, «Ultimaker 3 - Manual de Instalação e do Utilizador». pp. 1–42, 2016.
- [56] D. Quadros, «Medindo temperatura com Arduino: Como usar um Termistor NTC», 2019. [Em linha]. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/termistor-ntc-arduino/>. [Acedido: 05-Fev-2020].
- [57] «Impressão 3D», *Impressão 3D Portugal*. [Em linha]. Disponível em: <https://impressao3dportugal.pt>. [Acedido: 15-Mai-2020].

ANEXOS

Anexo A – 1ª Versão Suporte Mecanismo Linear

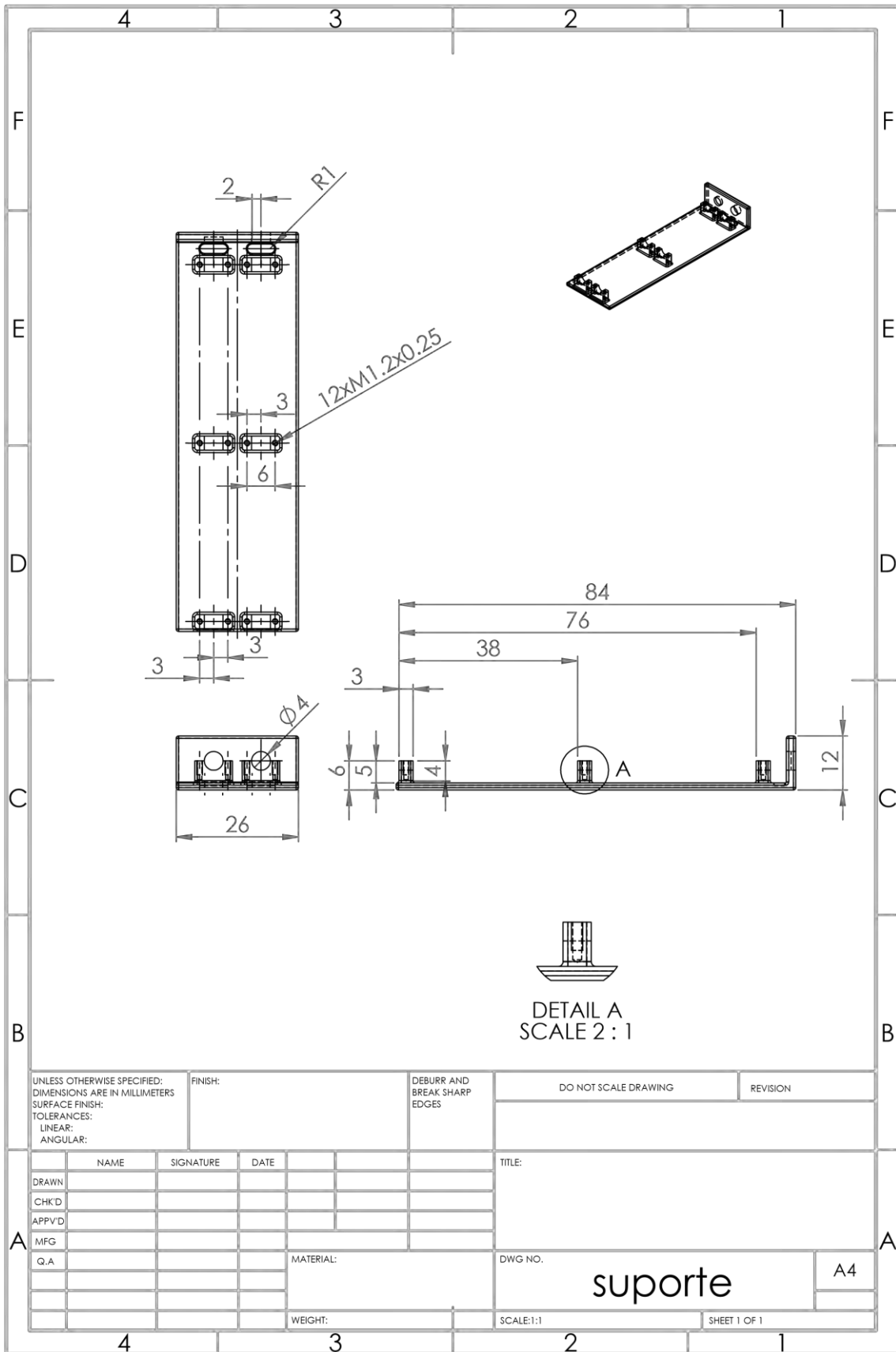


Anexo B – 2ª Versão Suporte Mecanismo Linear

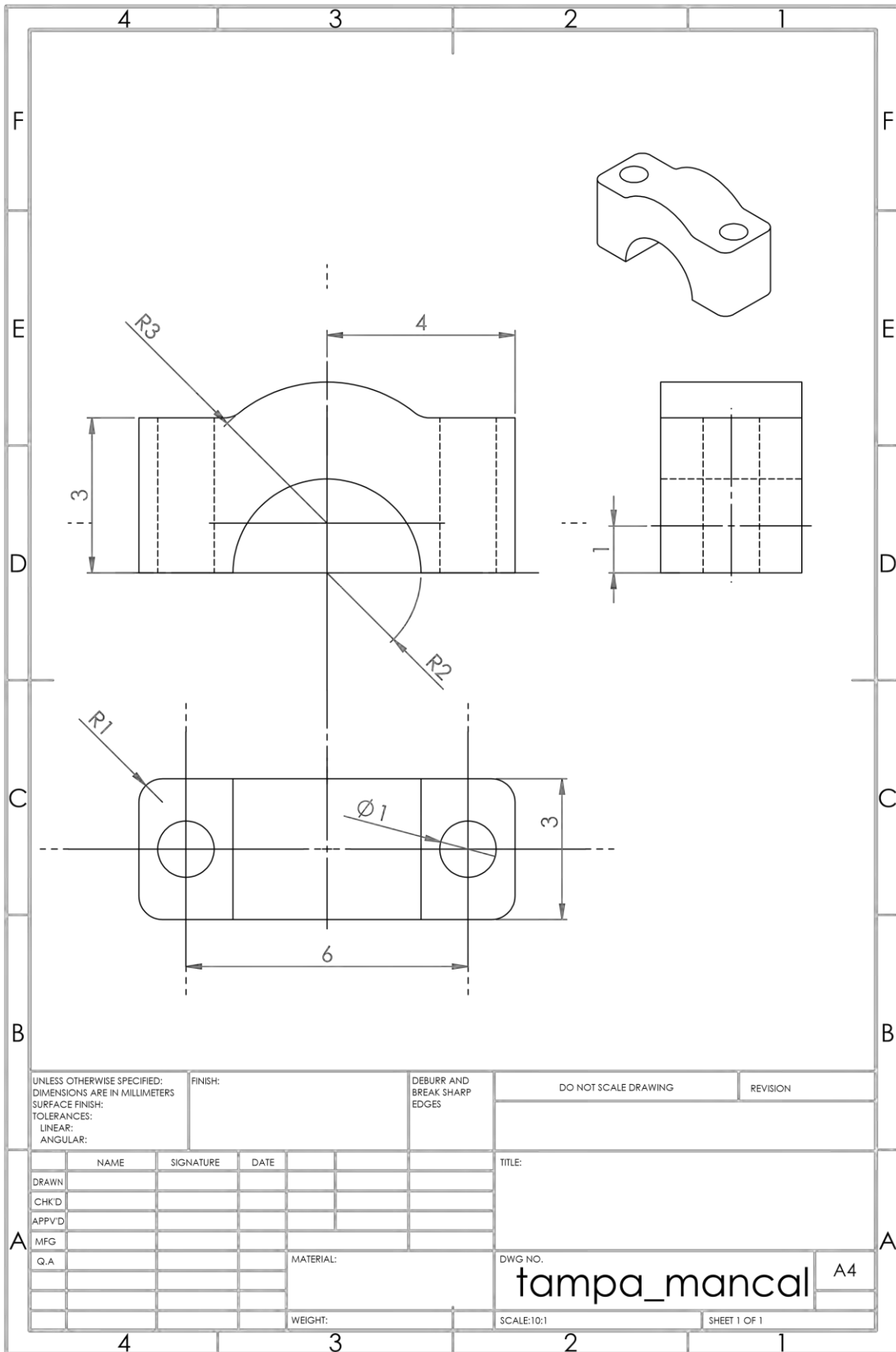


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Anexo C.1 – Suporte

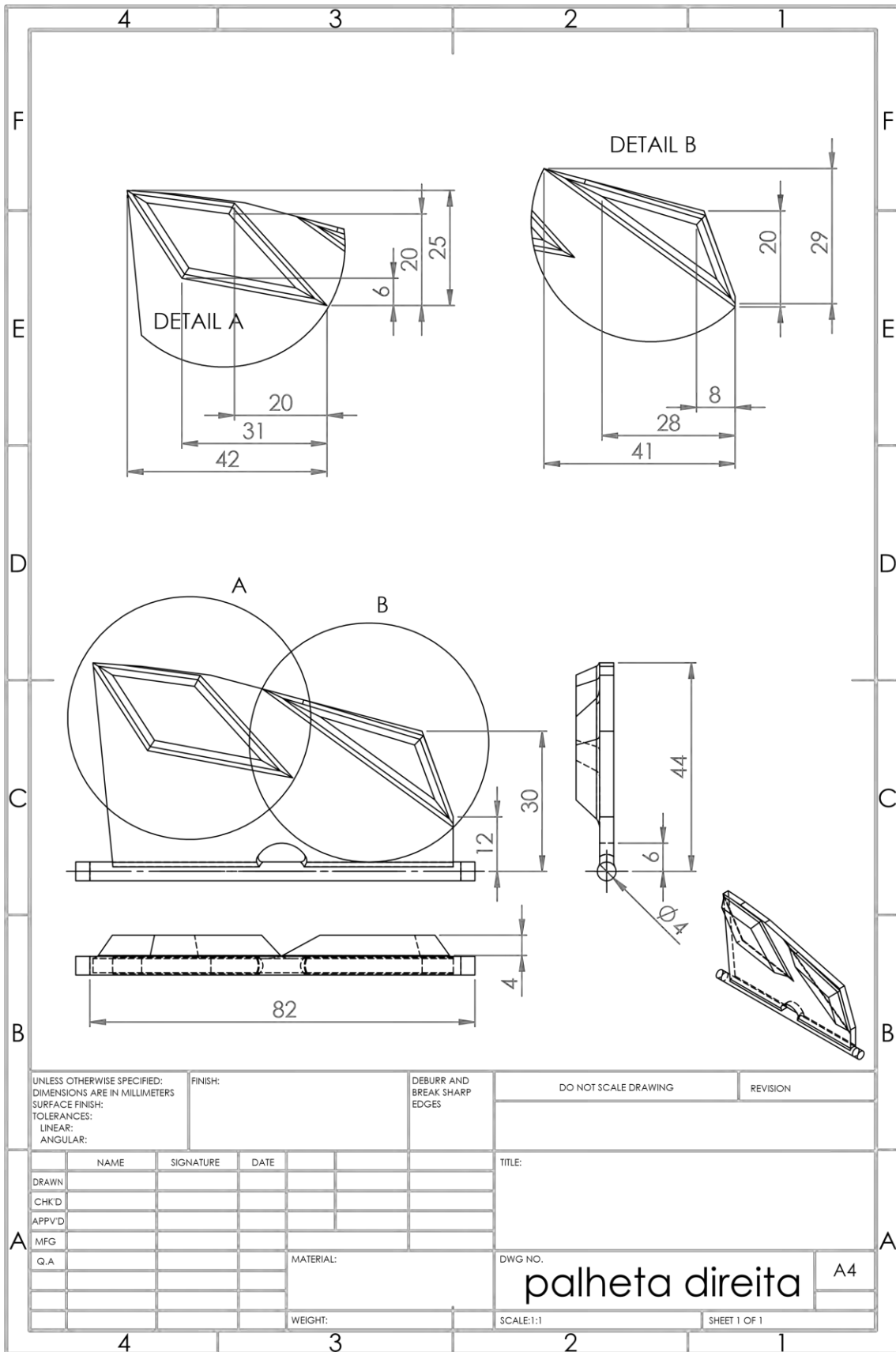


Anexo C.2 – Tampa Mancal



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
						tampa_mancal			
				WEIGHT:		SCALE:10:1		SHEET 1 OF 1	

Anexo C.2 – Palheta Direita



Anexo C.3 - Engrenagem

