

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FELIPE LUIZ  
ISABELA BOCHENEK TOPPEL

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE TREINAMENTO PARA  
CICLISTA COM SIMULAÇÃO DE RESISTÊNCIA AO ESFORÇO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

FELIPE LUIZ  
ISABELA BOCHENEK TOPPEL

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE TREINAMENTO PARA  
CICLISTA COM SIMULAÇÃO DE RESISTÊNCIA AO ESFORÇO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Esp. Maro Rogér Guérios

CURITIBA

2018

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE TREINAMENTO PARA CICLISTA COM SIMULAÇÃO DE RESISTÊNCIA AO ESFORÇO", realizado pelos alunos Felipe Luiz e Isabela Toppel, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Esp. Maro Roger Guérios  
DAMEC, UTFPR  
Orientador

Prof. Me. David Kretschek  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Prof. Dr. Tiago Cousseau  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Curitiba, 20 de Junho de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeiramente, a Deus pois sem Ele nada disso seria possível. Aos pais, por terem nos apoiado desde o início e por terem entendido a nossa ausência quando tivemos que priorizar esse trabalho.

A nosso orientador Maro, por ter acompanhado e contribuído para esse trabalho desde o início e principalmente por todo o auxílio e comprometimento durante a fabricação do protótipo.

Aos demais professores e a instituição pelo conhecimento e infraestrutura que nos foi disponibilizado ao longo do curso.

A equipe Imperador Baja por ter cedido o laboratório e os equipamentos para a fabricação do protótipo.

Finalmente aos amigos Guilherme Suguioshita, Stéfano Kim Simão, Luan Alechar, Thiago Bueno Tom, João Fernando G. da Silva, Henry Nakano por terem contribuído com seu tempo e conhecimentos tanto no que diz respeito a parte teórica quanto a fabricação do protótipo.

## RESUMO

LUIZ, Felipe, TOPPEL, Isabela Bochenek. Desenvolvimento de Dispositivo de treinamento para ciclista com simulação de resistência ao esforço. 2018. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

O ciclismo competitivo apresenta números significativos no país e com isso vem a busca pelo treinamento e aperfeiçoamento. Existem condições adversas que tendem a dificultar a prática desse esporte, e o treino em ambiente fechado se mostra como a solução para esses problemas. Tal treinamento é oferecido em forma de equipamentos que simulam algumas situações de treino. No trabalho proposto foi feita uma análise de mercado para esse tipo de produto e identificada uma oportunidade de elaboração de um produto que atende às necessidades do treino de um ciclista. No desenvolvimento foram realizados, além dos projetos conceitual e detalhado a fabricação de um protótipo funcional para a realização de testes e apresentação do modelo conceitual do produto. A partir do protótipo construído, com algumas modificações em relação ao projeto devido à escassez de recursos financeiros e tempo, foram realizados testes com para avaliar a conformidade com os requisitos dos clientes que foram parcialmente atendidos. O protótipo foi de grande importância tanto para a identificação dos problemas, limitações existentes e melhorias futuras quanto para evidenciar a viabilidade de utilizar o mesmo equipamento para treino de ciclismo e corrida.

**Palavras-chave:** Bicicleta. Ciclismo. Treinamento *indoor*.

## ABSTRACT

LUIZ, Felipe, TOPPEL, Isabela Bochenek. Desenvolvimento de Dispositivo de treinamento para ciclista com simulação de resistência ao esforço. 2018. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Competitive cycling has significant numbers in Brazil and this brings the search for training and improvement. There are adverse conditions that tend to hinder the practice of this sport and the training indoors is shown as the solution to these problems. Such training is offered in the form of equipment that simulates training situations. The work consists on a market analysis for this type of product and the identification of a product development opportunity that meets the needs of a cyclist's training. It was planned, in addition to the conceptual and detailed designs, the manufacturing of a functional prototype for testing. The prototype, wich was built with some modifications in relation to the project due to the scarcity of financial resources and time, was used to carry out tests in order to evaluate the conformity with the requirements of the clients. Those requirements were partially attended. The prototype was of huge importance both for the identification of problems, limitations and future improvements as well as to demonstrate the practicability of using the same equipment for cycling and running training.

**Keywords:** Bicycle. Cycling. Indoor training.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cópia do esboço de Leonardo da Vinci .....	12
Figura 2 - Protótipo do Celerífero .....	12
Figura 3 - Atletas de ciclismo posicionados para a largada da primeira disputa da modalidade nas olimpíadas de Atenas, 1896.....	15
Figura 4 - Exemplo de planilha de treino de ciclismo .....	21
Figura 5 - Imagem da primeira patente de Esteira Ergométrica .....	22
Figura 6 - Variação da pressão interna do pneu .....	25
Figura 7 - Quadrantes da matriz de formas de crescer .....	30
Figura 8 - Vista isométrica do projeto conceitual.....	42
Figura 9 - Vista lateral do projeto conceitual na posição horizontal.....	42
Figura 10 - Vista lateral do projeto conceitual na posição inclinada .....	43
Figura 11 - Vista frontal e traseira do projeto conceitual .....	43
Figura 12 - Estrutura superior.....	45
Figura 13 - Rasgo Feito no final da estrutura para possibilitar a regulação de tensão da lona .....	45
Figura 14 - Estrutura Inferior .....	46
Figura 15 - Sistema de contenção.....	47
Figura 16 - Sistema de elevação.....	48
Figura 17 - Eixo motor traseiro e polia .....	49
Figura 18 - Sistema de redução e transmissão .....	50
Figura 19 - Motor de levantamento de vidro automotivo .....	52
Figura 20 - Equipamento em uso com a bicicleta livre .....	56
Figura 21 - Sistema de contenção com adaptação para diferentes aros .....	56
Figura 22 - Sistema de acionamento e controle de velocidade .....	59
Figura 23 - Ângulo crítico para deslizamento do sistema.....	60
Figura 24 - Diagrama de corpo livre da bicicleta sobre a esteira.....	72
Figura 25 - Diagrama de corpo livre da bicicleta sobre a esteira inclinada .....	74
Figura 26 - Diagrama de forças agindo no sistema de elevação.....	79
Figura 27 - Desenho detalhado A (esteira) .....	84
Figura 28 - Desenho detalhado B (estrutura inferior) .....	85
Figura 29 - Desenho detalhado C (estrutura superior) .....	86
Figura 30 - Desenho detalhado D (carrinho do levantador) .....	87

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Compilado Histórico da Evolução da Bicicleta. ....	13
Quadro 2 - Benchmarking .....	35
Quadro 3 - Conversão dos requisitos do cliente em requisitos de projeto .....	37
Quadro 4 - Soluções existentes para os requisitos do projeto .....	40
Quadro 5 - Características da lona utilizada em esteiras .....	51



## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS**

CAD	<i>Computer aided design</i> (desenho assistido por computador)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPVA	Imposto sobre a propriedade de veículos automotores
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Placa de fibra de média densidade)
LDR	<i>Light-Dependent Resistor</i> (Resistor dependente de luz)
PVC	Policloreto de polivinila

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTO DO TEMA	12
1.1.1	Origem e evolução das bicicletas	12
1.1.2	A importância da bicicleta na sociedade atual	13
1.1.3	A bicicleta como prática de esporte competitivo	14
1.2	CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE	16
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivos específicos	17
1.4	JUSTIFICATIVA	17
1.5	CONTEÚDO DO TRABALHO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	ROLOS DE TREINAMENTO INDOOR	20
2.2	TREINAMENTO DE CICLISTAS	21
2.3	ESTEIRA ERGOMÉTRICA	22
2.4	DIMENSIONAMENTO	23
2.4.1	Diagrama de corpo livre e condições de equilíbrio	23
2.4.2	Força de atrito	24
2.4.3	Força de rolagem	25
2.4.4	Transmissão de potência	26
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
3.1	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA USADA NO TCC1	28
3.2	NOVO OLHAR SOBRE O PROJETO: DESIGN <i>THINKING</i>	28
3.3	PESQUISA DE CAMPO	30
3.4	<i>BENCHMARKING</i>	32
3.5	REQUISITOS DO CLIENTE	36
3.6	REQUISITO DE PROJETO	36
3.7	DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO	37
4	PROJETO CONCEITUAL	39
4.1	SOLUÇÕES EXISTENTES PARA OS REQUISITOS DO PROJETO	39
4.2	CONCEPÇÕES SELECIONADAS	40
4.3	SOLUÇÃO FINAL	41
5	PROJETO DETALHADO E FABRICAÇÃO	44
5.1	ESTRUTURA	44
5.1.1	Estrutura superior	44
5.1.2	Estrutura inferior	46
5.1.3	Plataforma	46
5.1.4	Sistema de contenção dianteiro e traseiro	47

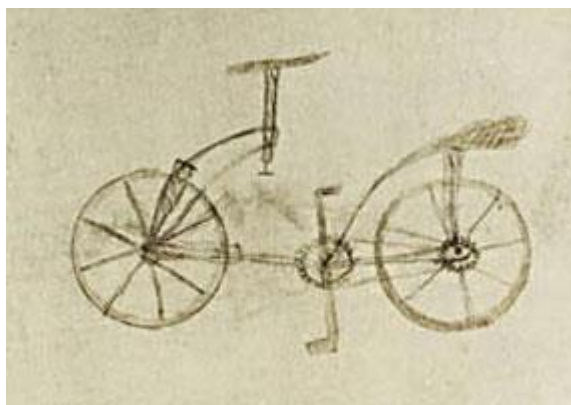
5.1.5	Sistema de elevação	48
5.1.6	Sistema de apoio/equilíbrio	48
5.2	ROLO	49
5.2.1	Redução	49
5.2.2	Correia	50
5.2.3	Lona da esteira	50
5.3	SISTEMA ELÉTRICO	51
5.3.1	Motor de acionamento da esteira	51
5.3.2	Motor de acionamento da elevação	52
5.3.3	Painel de instruções	52
5.3.4	Acionamento automático de velocidade	53
6	RESULTADOS	54
6.1	VISÃO GERAL DO EQUIPAMENTO	54
6.1.1	Sistema de inclinação	55
6.1.2	Liberdade no movimento	55
6.1.3	Compatibilidade com diversos modelos de bicicleta	56
6.1.4	Velocidade	57
6.1.5	Custo	57
6.1.6	Operação	58
6.1.7	Inércia	59
6.2	ATRITO	59
6.3	ACELERAÇÃO	61
7	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA PESQUISA DE NECESSIDADE E PERFIL DOS CLIENTES	69
	APÊNDICE B – ANÁLISE DAS FORÇAS DO SISTEMA	72
	APÊNDICE C – DIMENSIONAMENTO DA CORREIA DA REDUÇÃO	76
	APÊNDICE D – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO	79
	APÊNDICE E – PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO	82
	APÊNDICE F – DESENHOS DETALHADOS	83
	ANEXO A – MATERIAL DE APOIO RELATIVO AO DIMENSIONAMENTO DA CORREIA	88

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO DO TEMA

### 1.1.1 Origem e evolução das bicicletas

Entender a relevância do produto a ser desenvolvido nesse projeto significa avaliar a importância da bicicleta na sociedade atual. Também se torna válida uma breve contextualização histórica da origem e evolução de tal meio de transporte. Bicycletas existem há mais de 500 anos. Diversas são as hipóteses acerca de data e autoria desse invento. Dentre as mais aceitas tem-se o projeto atribuído a Leonardo da Vinci, que, conforme pode ser observado na Figura 1, continha os elementos fundamentais da bicicleta e é datado de 1490. Uma segunda hipótese bastante aceita é a que tem o Conde francês J. H. De Sivrac como inventor da bicicleta em 1791. O invento de Sivrac, batizado de Celerífero e apresentado na Figura 2, era composto por uma trave de madeira prolongada pela cabeça de um animal e colocada sobre duas rodas (PEQUINI, 2000).



**Figura 1 - Cópia do esboço de Leonardo da Vinci**

**Fonte: (Mobilize - Mobilidade Urbana Sustentável Brasil)**



**Figura 2 - Protótipo do Celerífero**

**Fonte: (Bike Magazine)**

Ao longo do tempo diversos recursos foram sendo adicionados e modificados para atender as necessidades dos usuários. Os principais foram compilados de PEQUINI (2000) e estão apresentados no Quadro 1. Além dessas alterações que influenciaram o funcionamento da bicicleta vale citar o período de 1870 - 1890, no qual o meio de transporte popularizou-se na Europa.

Responsável	Ano	Contribuição
Jules Truffant	1815	Aro escavado com roda coberta de borracha
Karl Drais Von Saverbronn	1817	Sistema de freio; primeira patente
Lewis Compertz	1821	Tração dianteira a manivela
Kikpatrick McMillan	1838	Tração traseira a manivela
Ernest Michaux	1855	Primeiro pedal
Guilmet	1869	Separação de direção e propulsão; uso de correntes
Singer & Co., Hilman e Herbert & Cooper	1884	Modelo <i>kangaroo</i> , roda dianteira menor para evitar capotagens
John Boyd Dunlop	1888	Pneu feito com câmaras de ar comprimido
Humber	1890	Quadro pentagonal ou trapezoidal
Rupalley	1895	Bicicleta de alumínio
Ernest Sachs	1903	Cubo torpedo
A Reynolds	1903	Bicicleta construída com tubos de aço sem costura, reforçado nas extremidades

**Quadro 1- Compilado Histórico da Evolução da Bicicleta.<sup>1</sup>**

Desde então uma série de acessórios foi criado para tornar a bicicleta mais eficiente e confortável, como câmbio de marchas, freio a disco ou hidráulico, suspensão, pneu adequado aos diversos tipos de terreno e selins anatômicos. Tudo para criar modelos que atendessem melhor as necessidades específicas de cada atividade.

### 1.1.2A importância da bicicleta na sociedade atual

A começar na infância, época em que representa uma das primeiras oportunidades de independência da criança (JORGE, 2005), até ser definida pelo secretário-geral das Organizações das Nações Unidas, Ban Ki-Moon, não só como um meio de transporte de baixo carbono, mas também como uma importante

<sup>1</sup> Ilustrações e quadros sem indicação de fonte são de Autoria Própria.

ferramenta para o desenvolvimento sustentável (GAZETA DO POVO) muitos são os aspectos em que a bicicleta pode estar presente positivamente na vida das pessoas.

Quanto a mobilidade urbana a bicicleta apresenta vantagens em diversos fatores. Nos horários de pico de movimento, em uma grande cidade, devido aos congestionamentos, pode-se observar um incremento de até quatro vezes no tempo consumido em percurso feito de carro, quando comparado com uma bicicleta. Além do tempo no trânsito, o impacto no bolso do ciclista é muito menor do que o do motorista. Afinal gastos com estacionamento, impostos e taxas (IPVA, seguro e outros) incidentes sobre os veículos automotores são eliminados e eventuais manutenções necessárias são consideravelmente mais baratas. (CRUZ, 2016). Com o intuito de incentivar o uso da bicicleta nas cidades muitos municípios atuam com políticas públicas que teoricamente garantem as condições básicas de segurança (NIGRO, 2016). Em Curitiba foi sancionada em 15 de janeiro de 2015 a lei 14.594, conhecida como Lei da Bicicleta, que institui tal veículo como um modal de transporte regular de interesse social e determinou que cinco por cento das vias urbanas seriam destinadas a construção de ciclo faixas e ciclovias e que bicicletários seriam implantados em locais de interesse tais como terminais de transporte coletivo, praças e parques públicos (CURITIBA, 2015).

Em relação a saúde a bicicleta segue apresentando apenas pontos positivos. Segundo CARVALHO; FREITAS (2012, p. 1623), “[...] a atividade física regular e/ou o estilo de vida ativo resultam em comprovados benefícios para a saúde, sendo sua prática recomendada pela Organização Mundial da Saúde, tanto para a prevenção de doenças, como para a promoção da saúde”. Em um estudo realizado pelos Centros de Esporte e Saúde das universidades de Bristol, Londres e Oslo foram listados os principais benefícios dos pedais para a saúde humana. Dentre estes, vale citar a prevenção de dores e problemas nas articulações, melhorias nos sistemas imunológico e cardiovascular e os benefícios causados ao corpo e ao humor pela liberação da endorfina ao pedalar (CAVILL; DAVIS, 2007).

### **1.1.3 A bicicleta como prática de esporte competitivo**

De acordo com o dicionário Michaelis ciclismo é a “Modalidade esportiva que consiste em participar de provas, competições ou exposições em corridas de bicicletas, sejam em velódromos, seja em percurso preestabelecido”. Apesar das muitas

modalidades o objetivo normalmente consiste em concluir o percurso da prova antes do demais competidores. A primeira grande prova de ciclismo foi realizada em 1869 e foi vencida por James Moore que percorreu os 123 km entre Paris e Rouen em 10 horas e 25 minutos (PEQUINI, 2000). Muito tradicional, é uma modalidade olímpica desde os primeiros jogos modernos realizados no ano de 1896 na Grécia (Figura 3). Segundo informações oficiais do comitê olímpico internacional nessa ocasião quatro provas foram realizadas, sendo três destas na modalidade de pista e vencidas pelo francês Paul Masson e a quarta na modalidade estrada vencida pelo grego Aristidis Konstantinidis.



**Figura 3 - Atletas de ciclismo posicionados para a largada da primeira disputa da modalidade nas olimpíadas de Atenas, 1896  
(Fonte: O Globo)**

Na última edição dos jogos olímpicos, realizados em 2016 no Rio de Janeiro, foram disputadas 18 categorias, reunindo um total de 581 atletas em quatro modalidades: ciclismo de estrada, de pista, *mountain bike* e BMX. Também aconteceram disputas olímpicas masculinas e femininas no triatlo, competição que reúne corrida, natação e ciclismo e que somaram mais 110 atletas.

Além das provas olímpicas existe um calendário bastante completo de provas de ciclismo ao redor do mundo. A prova mais tradicional é, sem dúvidas, o *Tour de France*, competição de ciclismo de estrada realizada por etapas na França desde 1903 (LeTour). Pode-se também citar, entre outras provas importantes, o *Giro d'Itália*, a *Vuelta a España* e a Volta de Portugal.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE

Segundo pesquisa realizada pelo Ministério do Esporte e publicada na Revista Exame em 2015, 2,9 por cento da população brasileira se declara praticante de ciclismo. Segundo dados do IBGE no mesmo ano o Brasil tinha 204.450.649 habitantes. Combinando os dois dados tem-se uma estimativa de quase 6 milhões de ciclistas. É um número considerável, mas existem alguns fatores que desestimulam os brasileiros a praticar esse esporte.

Dentre estes fatores os mais significativos consistem em estar sujeito a condições climáticas adversas, o risco de acidentes de trânsito e o risco de ter a bicicleta, e outros bens, roubados enquanto se está vulnerável pedalando. Esses três fatores críticos são eliminados quando se propõe a prática de ciclismo em ambiente fechado.

Além disso o treino indoor realizado em simulador de rolos é utilizado como um complemento por muitos atletas na preparação para competições e é aparece como uma alternativa viável para substituir o treino externo quando o tempo disponível para treinar está reduzido.

Este trabalho busca elaborar um dispositivo que simule da maneira mais realista possível o percurso que o ciclista percorreria no ambiente externo. Espera-se que a elaboração e comercialização de tal dispositivo seja de grande valia para manter o preparo físico e prática regular do ciclismo, tanto em atletas profissionais quanto amadores.

## 1.3 OBJETIVOS

O Presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo projetar, dimensionar e elaborar o protótipo de um dispositivo para a prática de ciclismo em ambiente fechado. Realizar o levantamento, junto ao mercado de equipamentos esportivos, dos tipos de rolos de treinamento *indoor* para ciclistas bem como seu funcionamento. Complementando essas observações identificar as necessidades do ciclista e a adequação e assertividade dos equipamentos existentes ao treinamento do atleta. Ao fim, sintetizar os dados, avaliando vantagens e desvantagens e, projetar um equipamento para treino *indoor*.



### 1.3.1 Objetivos específicos

Para atender o objetivo geral do trabalho, fez-se necessário seguir com os objetivos específicos citados abaixo:

- a) Identificar os equipamentos que o mercado oferece;
- b) Realizar uma coleta de dados utilizando um questionário;
- c) Aplicar as metodologias do *Design Thinking* propostas por Tim Brown para o desenvolvimento do produto;
- d) Apresentar o resultado da metodologia aplicada na solução do problema;
- e) Dimensionar os principais componentes para construção do dispositivo;
- f) Fabricar o protótipo do dispositivo;
- g) Testar o protótipo;
- h) Analisar os resultados obtidos no teste do protótipo;
- i) Identificar falhas e propor melhorias para trabalhos futuros.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento desse produto mostra-se relevante quando analisamos os problemas enfrentados atualmente pelos ciclistas.

No ciclismo, assim como em qualquer esporte praticado ao ar livre, o atleta está sujeito a enfrentar condições climáticas adversas. Em Curitiba, capital mais fria do Brasil, a chuva e as temperaturas baixas são os maiores inimigos do ciclista. Segundo dados do livro *A Bicicleta no Brasil* a temperatura média anual é de 16,5 °C, chegando a 0 °C e dos 365 dias do ano chove em média em 164 deles (SOARES et al., 2015).

Outro fator que merece atenção é o risco de acidentes de trânsito. Devido a insuficiência de espaços adequados para pedalar, os atletas acabam se sujeitando a dividir espaço nas ruas com motos, carros e outros veículos motorizados. Segundo levantamento do Ministério da Saúde divulgado pelo G1, no ano da pesquisa, 2014, 11.741 ciclistas haviam sido internados após sofrerem algum tipo de acidente de trânsito e, destes, 1.357 vieram a óbito. Dados mais atuais e limitados a Curitiba publicados pelo jornal *Gazeta do Povo*, apontam que no ano de 2016 foram 16 mortes de ciclistas no trânsito. Parece um número insignificante, mas no mesmo ano e cidade ocorreram 25 mortes em roubos, ou seja, para cada dez latrocínios, são mais de seis mortes em bicicleta.

Concluindo os problemas mais críticos e seguindo no assunto dos roubos, o medo de ter a bicicleta roubada enquanto se está na rua ou estrada pedalando aparece como outro fator que preocupa os ciclistas. Somando-se a circulação cada vez maior de modelos de bicicletas sofisticadas, as quais o valor pode ultrapassar o de um carro popular, ao fato do furto do item ser visto como um crime de baixo risco, onde o ladrão dificilmente é pego e quando detido sofre consequências mínimas, o temor de ser assaltado assusta. Dados da Secretaria de Segurança Pública do Paraná publicados na Revista da Bicicleta demonstram que no ano de 2015 Curitiba teve em média um roubo de bicicleta a cada dois dias.

No que diz respeito a relevância acadêmica desse projeto é notável a necessidade da aplicação de diversos conceitos mecânicos e físicos, além de metodologias específicas para a execução e o gerenciamento do projeto. Percebe-se a utilização de conceitos referentes a resistência dos materiais para o dimensionamento dos componentes, a necessidade de conhecimento de software CAD para a modelagem do sistema e noções básicas de diversos processos de fabricação para a construção do protótipo. São ainda requeridos conhecimentos básicos de elétrica e eletrônica para que possa ser realizado o controle do equipamento.

A Interdisciplinaridade, as adequações de soluções existentes, somados a necessidade de atender as condições de contorno validam o desenvolvimento do presente trabalho.

## **1.5 CONTEÚDO DO TRABALHO**

A fundamentação teórica deste trabalho inicia-se com a explicação breve do funcionamento dos modelos de rolo de treinamento disponíveis no mercado, em seguida foram abordados aspectos referentes ao treino do ciclista e sobre a esteira ergométrica, equipamento que serviu como inspiração para a solução proposta. Também foram abordados temas relacionados ao dimensionamento dos principais componentes do sistema

Nos procedimentos metodológicos foram feitas considerações acerca de alteração da metodologia proposta no projeto de pesquisa (TCC1) e também sobre a utilização do Design *Thinking*. Em seguida foram mencionadas as ferramentas utilizadas para coleta de dados tanto dos clientes quanto de mercado. Por fim os

dados coletados foram convertidos em necessidades por parte dos clientes e requisitos técnicos.

No projeto conceitual foram apresentadas e selecionadas soluções para cada um dos requisitos culminando na solução final. No capítulo seguinte foi feita uma divisão da concepção em sistemas. Sobre esses sistemas foram mencionados detalhes relevantes ao projeto, dimensionamento e fabricação do protótipo.

Nos resultados foram evidenciados os requisitos do cliente atendidos ou não de acordo com os testes realizados. Também foi feita uma consideração referente ao coeficiente de atrito do sistema que, por ter sido subestimado, teve impacto no funcionamento do protótipo.

Ao final, na Conclusão, estão apresentadas considerações sobre o aprendizado e dificuldades superadas no decorrer do trabalho. Ainda são apresentadas avaliações, críticas e sugestões de melhorias a serem implementadas na continuidade de desenvolvimento do equipamento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ROLOS DE TREINAMENTO INDOOR

Conforme mencionado no capítulo anterior, há uma grande tendência para treinamento de ciclismo *indoor*, o que gera uma gama de equipamentos voltados para tal modalidade.

Nesse mercado são encontrados diversos equipamentos conhecidos como rolo de treinamento.

Tais produtos podem ser separados em categorias como: rolo de treinamento livre e de equilíbrio (bicicleta livre), fixo (roda traseira fixa em uma espécie de cavalete) fixo sem roda, nesse caso a bicicleta fica acoplada no dispositivo sem a necessidade da roda traseira (PELOTE, 2017).

Ainda é possível classificar esses rolos pelo tipo de resistência aplicada. Para essa função são encontradas resistência por fluido, magnética, vento e elétrica. Já no rolo livre ou de equilíbrio não há uma resistência além do peso do ciclista mais equipamento e o rolamento (*ibidem*).

Além disso, alguns produtos podem ser encontrados combinando os modelos de rolos com o tipo de resistência.

Indo um pouco mais longe, há uma geração de rolos de treinamento conhecido como *smart* que é capaz de trocar informações entre celulares e computadores. Essa interação permite que o atleta treine a partir de um caminho ou sequência preestabelecido. Sendo possível simular inclinações, alternando a resistência além de permitir a utilização de uma tela que pode reproduzir graficamente o trajeto selecionado pelo ciclista (*ibidem*).

Esse tipo de rolo de treinamento tem a possibilidade de interação do treino utilizando um jogo online onde cada competidor cria o próprio avatar e pedala virtualmente com outros competidores classificados em categorias distintas (BORBA, 2016).

## 2.2 TREINAMENTO DE CICLISTAS

As diferentes modalidades de ciclismo e suas respectivas provas apresentam peculiaridades próprias. Para definir o modelo de treino adequado a cada uma delas é necessário considerar fatores fisiológicos, técnicos e estratégicos (MULLER, 2011).

Existem treinamentos específicos de acordo com o propósito, mas 3 princípios básicos devem ser seguidos (ARMSTRONG, 2006).

- a) Constância;
- b) Progressividade;
- c) Recuperação.

O ideal é que os treinos sejam personalizados de acordo com o objetivo do atleta e tenham o acompanhamento de um profissional de educação física especializado, mesmo assim é possível encontrar diversos treinos pré-estabelecidos em páginas da rede mundial sobre ciclismo. Analisando esses treinos pode-se perceber que os atletas realizam práticas focadas em velocidade e resistência tanto no plano quanto em subidas. Os treinos variam de 40 minutos até horas de pedalada e sugere-se que seja utilizado um monitor cardíaco pois a intensidade dos exercícios é medida pela frequência dos batimentos e não por uma velocidade conhecida (ACHOA, 2017). A Figura 4 representa um exemplo de planilha de treino.

João da Silva		Idade: 32		55		Freq. Máx.: 188		
bpm	α 65%	141	α 75%	155	α 85%	168	α 95%	181
	α 70%	148	α 80%	161	α 90%	175	α 100%	188

DOM	1 Treino em grupo c/ ritmo de competição - 1 h - RELEVOS	2 sessões de flexibilidade	HORAS: 4,5	KM: 140			
SEG	1 descanso	2 sessões de flexibilidade					
TER	1 20 min. de aquecimento	2 2 tiros de 10 min. a 65% c/ intervalo de 20 min. suave	3 final suave	4 sessões de flexibilidade	HORAS: 3	KM: 90	
QUA	1 suave	2 sessões de flexibilidade	HORAS: 2	KM: 60			
QUI	1 20 min. de aquecimento	2 3 tiros de 5 min. a 80% c/ intervalo de 15 min. suave	3 30 min. girando	4 final suave	5 sessões de flexibilidade	HORAS: 2,5	KM: 75
SEX	1 suave	2 sessões de flexibilidade	HORAS: 2	KM: 60			
SAB	1 2 tiros de 30 min. a 65% c/ intervalo de 30 min. suave	2 sessões de flexibilidade	HORAS: 2	KM: 70			
<b>TOTAIS</b>			<b>Horas: 16</b>	<b>Km: 495</b>			

Figura 4 - Exemplo de planilha de treino de ciclismo (Fonte: Geocities)

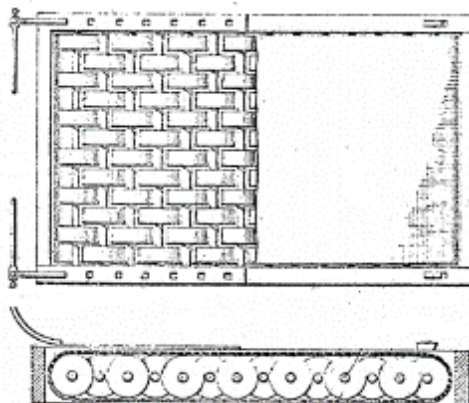
Para melhorar a resistência e evitar lesões sugere-se que, além de seguir os treinos de bicicleta propriamente ditos, o atleta realize corridas a pé, sessões de fortalecimento de musculatura e sessões de flexibilidade (COSTA, 2017).

### 2.3 ESTEIRA ERGOMÉTRICA

Andar ou correr na rua apresenta os mesmos riscos associados à prática do ciclismo onde se justifica a opção por um equipamento de treino indoor. A esteira ergométrica representa a solução já existente e amplamente difundida para esse problema.

A origem do equipamento data do século XIX. Na época o mesmo foi instalado em diversas prisões britânicas e consistia em uma grande roda de moinho que era pisada por grupos de detentos. A rotação obrigava os prisioneiros a continuarem se movendo, quem parasse caía debaixo da roda. O torque produzido era utilizado para atividades como o bombeamento de água ou a moagem de grãos. O sistema foi banido das prisões em 1898 (HISTORY).

A primeira patente de esteira já voltada ao exercício foi registrada por Claude Lauraine Haugen em 9 de agosto de 1904. Nomeada como “Máquina de Treino”, consistia em uma série de rolos em uma estrutura retangular, como mostrado na Figura 5, preferencialmente aplicada como uma máquina de treino ou exercício para homens, mas também podendo ser utilizada para o treinamento e a exibição de animais (HAUGEN, 1904).



**Figura 5 - Imagem da primeira patente de Esteira Ergométrica  
(Fonte: Haugen)**

Desde então o aparelho passou por diversas melhorias. Atualmente os aparelhos mais sofisticados apresentam sistemas de elevação para simular subidas e

descidas, sistemas de amortecimento que diminuem o impacto nas articulações causados pela corrida, diversos programas de treino pré-definidos e a integração com aparelhos eletrônicos (MARCOS, 2014).

Sua popularidade é comprovada pela presença do equipamento em praticamente todas as academias de ginástica. Quanto a presença nas casas um levantamento feito pelo site de compra e venda OLX em 2017 apontou a esteira como o item esportivo mais procurado pelos brasileiros (MILLEO, 2017).

## **2.4 DIMENSIONAMENTO**

A partir da situação problema, dos objetivos e da metodologia que será detalhada no capítulo 3 optou-se pela construção de um dispositivo inspirado em uma esteira ergométrica que fosse adequado para ser utilizado com uma bicicleta. Sendo assim, foi necessário buscar na literatura o conhecimento necessário para o dimensionamento do projeto.

### **2.4.1 Diagrama de corpo livre e condições de equilíbrio**

De acordo com NORTON, no livro Projeto de Maquinas, é necessário um diagrama de corpo livre representado corretamente de cada sistema para identificar os esforços submetidos no sistema. Podendo ser forças, momentos ou binários, que por sua vez pode estar atuando no centro de gravidade do objeto em estudo e no contato entre dois componentes. Além disso as forças também podem ser de origem externa ou de reação dos elementos.

Os fatores geométricos também devem ser levados em consideração no sistema, bem como as dimensões, ângulos e localização do centro de gravidade do objeto em estudo (NORTON, 2004).

Como foi dito anteriormente, o diagrama de corpo livre bem definido serve como base para determinar reações do sistema. Porém ainda é necessária uma análise dos carregamentos aplicados no sistema. Essa análise pode ser de duas naturezas, estática ou dinâmica, sendo que a primeira é uma particularidade da segunda. O presente trabalho é focado na análise de carregamento estático.

A equação fundamento para análise do sistema de força é dada pela Segunda Lei de Newton apresentada na Equação (1) (MERIAM, 2000).

$$\sum F = ma \quad (1)$$

Onde:

$F$  – é o vetor força [N];

$m$  – é a massa do objeto [kg];

$a$  – é o vetor aceleração [m/s<sup>2</sup>].

Para o caso estático a aceleração vale zero, logo a somatória das forças é igual a zero, sendo assim o objeto pode estar em equilíbrio e/ou com velocidade constante. Esse é uma das condições de equilíbrio (ibidem).

Para tanto, existe uma outra equação a ser satisfeita a ponto de confirmar a condição de equilíbrio. Os momentos gerados em relação a todos os eixos devem ser iguais a zero. Sendo assim, as condições de equilíbrio aplicadas em uma análise bidimensional são apresentadas nas equações (2), (3) e (4) (HIBBELER, 2011).

$$\sum F_x = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_z = 0 \quad (4)$$

#### 2.4.2 Força de atrito

Segundo HIBBELER o atrito ( $F_{at}$ ) é uma força que resiste ao movimento de duas superfícies em contato que se deslizam uma em relação à outra que pode ser calculada conforme a equação (5):

$$F_{at} = \mu N \quad (5)$$

Onde:

$\mu$  – é o coeficiente de atrito estático ou dinâmico (cinético) [adimensional];

$N$  – é a força normal [N].

O valor de  $\mu$  depende do material de cada uma das superfícies em contato. A força de atrito estático atua sobre o objeto em repouso e dificulta ou impossibilita que ele inicie o movimento e a força de atrito dinâmico é uma força que surge em oposição ao movimento de objetos que estão se movendo. A força de atrito estática máxima geralmente é maior do que a força de atrito cinética para quaisquer duas superfícies em contato (HIBBELER, 2011).



A força de atrito atua tangente à superfície de contato na direção oposta ao movimento ou a tendência de movimento. O atrito independe da área de contato, desde que não haja deformação nas superfícies de contato (Ibidem).

### 2.4.3 Força de rolagem

Segundo NICOLAZZI et al a reação do contato do pneu com a superfície gera uma força de resistência a rolagem ( $Q_r$ ) que pode ser calculada conforme a equação (6):

$$Q_r = fG \cos \alpha \quad (6)$$

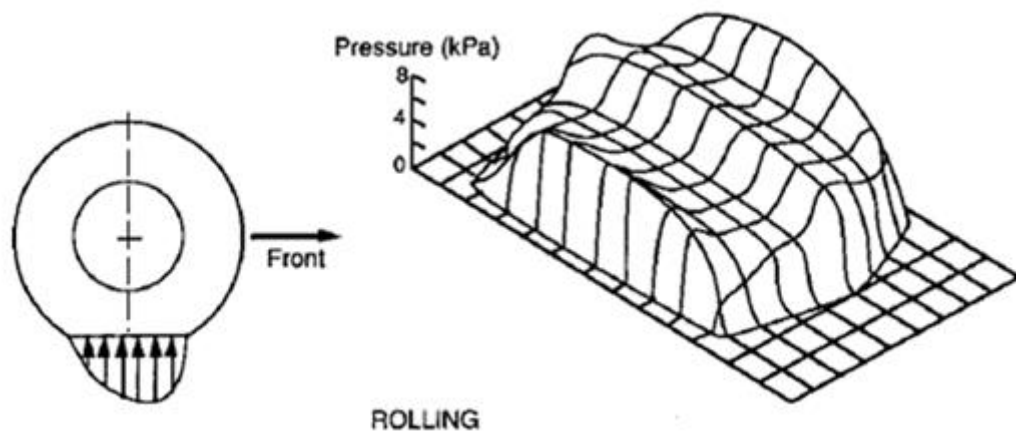
Sendo:

$f$  – Coeficiente de atrito de rolagem [adimensional];

$G$  – Peso do objeto em análise [kg];

$\alpha$  – Inclinação da base [graus].

Conforme os autores, existe uma pequena deformação no pneu causada pelo contato com o piso. Por sua vez essa deformação causa uma pressão interna do pneu e quando o pneu não está em movimento, essa pressão interna é simétrica. Com a rotação do pneu, a deformação desloca levemente a resultante da pressão interna. Tal fenômeno gera um torque que se impões ao movimento. A força proveniente desse torque é justamente a força de resistência a rolagem apresentada na equação anterior.



**Figura 6 - Variação da pressão interna do pneu  
(Fonte: Gillespie)**

A Figura 6 representa a variação de pressão interna do pneu, a primeira imagem demonstra o pneu com o perfil de pressão gerado pelo movimento, note que a

resultante está levemente deslocada do eixo central, já a segunda imagem apresenta a distribuição de pressão interna do pneu.

#### 2.4.4 Transmissão de potência

Existem inúmeras maneiras de realizar a transmissão de potência ou velocidade de um eixo motor para um eixo movido. Dentre essas estão, transmissão por correia, engrenagem, correntes e até mesmo acopladores. Cada uma dessas modalidades tem a sua particularidade e depende da situação aplicada.

Os principais conceitos para a transmissão de potência vêm do movimento circular. Sendo assim, é fundamental analisar as equações para esse tipo de movimento apresentadas por MELCONIAN, no livro Elementos de máquinas.

A velocidade angular apresentada na equação (7) representa a variação angular de uma partícula em um determinado período de tempo.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (7)$$

Onde:

$\omega$  – Velocidade angular [rad/s];

$\Delta\varphi$  – Variação angular [rad]

$\Delta t$  – Variação do tempo [s]

Existe uma relação entre a frequência angular e a velocidade angular, dada pela equação (8). A representação física da frequência é a quantidade de voltas que a partícula é capaz de percorrer em um segundo [hz] e também pode ser expressa em quantidade de volta em um minuto.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (8)$$

$f$  - Frequência angular pode ser apresentada em [rpm] ou [hz]

Em um movimento circular a velocidade angular é constante em cada ponto do raio da circunferência, porém a velocidade tangencial é varia conforme o raio. A relação entre as duas velocidades pode ser vista na equação (9).

$$V = \frac{\omega R}{2\pi} \quad (9)$$

Sendo:

$V$  – Velocidade tangencial [m/s];

$\omega$  – Velocidade angular [rad/s];

$R$  – Raio da circunferência [m].

Para a transmissão de potência ainda é necessário conhecer a equação que relaciona potência, torque e velocidade angular e a equação que relaciona torque, força e raio. Apresentadas nas equações (10) e (11), respectivamente.

$$P = T\omega \quad (10)$$

$$T = FR \quad (11)$$

$P$  – Potência [Watts];

$T$  – Torque [Nm];

$\omega$  – Velocidade angular [rad/s];

$R$  – Raio da circunferência [m].

$F$  – Força tangencial [N].

Por fim é possível obter uma relação de transmissão conforme a relação apresentada na equação (12).

$$i = \frac{d_{movida}}{d_{motora}} = \frac{\omega_{motora}}{\omega_{movida}} = \frac{T_{movida}}{T_{motora}} \quad (12)$$

$i$  – Relação de transmissão [adimensional];

$d_{movida}$  – Diâmetro da polia movida [m];

$d_{motora}$  – Diâmetro da polia motora [m];

$\omega_{movida}$  – Velocidade angular da polia movida [rad/s];

$\omega_{motora}$  – Velocidade angular da polia motora [rad/s];

$T_{movida}$  – Torque da polia movida [Nm];

$T_{motora}$  – Torque da polia motora [Nm].

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA USADA NO TCC1

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi realizado a metodologia apresentado por PAHL e BEITZ no livro *Engineering Design*.

Sendo assim as etapas utilizadas no trabalho estão listadas abaixo:

- a) Levantamento do estado da arte
  - a. Breve histórico sobre bicicletas;
  - b. Cenário atual;
  - c. Prática do ciclismo como esporte;
  - d. Caracterização do problema;
  - e. Identificação da oportunidade;
- b) Análise do funcionamento de equipamentos para treinamento indoor;
  - a. Tipos de rolos utilizados para treinamento indoor;
  - b. Princípio de funcionamento para os tipos de rolos de treinamento;
  - c. *Benchmarking*.

#### 3.2 NOVO OLHAR SOBRE O PROJETO: DESIGN *THINKING*

Percebeu-se que a condução da metodologia proposta por PAHL e BEITZ não se demonstrava totalmente adequada ao problema enfrentado. A referida técnica demonstra-se muito eficiente e aplicável a situações em que se pretende um produto de concepção ainda muito rudimentar ou inexistente. Debates durante a defesa da proposta levaram a conclusão que já haviam muitas decisões tomadas devido ao curto tempo entre o início do projeto e sua entrega. Dito isso optou-se em de mudar a abordagem.

Segundo o autor, o design *thinking*, não é uma metodologia, oferece uma abordagem poderosa, eficaz e amplamente acessível, que pode ser integrada a todos os aspectos dos negócios e da sociedade e que indivíduos e equipes podem utilizar para gerar ideias inovadoras, com possibilidade de implementação e de fazer a diferença (BROWN, 2010).

Porém o design *thinking* foi abordado e aplicada como uma metodologia, sendo menos engessada e estruturada.

O primeiro estágio do processo de design costuma se referir à identificação das restrições mais importantes e à definição de critérios para sua avaliação. Essas restrições podem ser mais bem visualizadas em função de três critérios sobrepostos: praticabilidade, viabilidade e desejabilidade (Ibidem).

Tendo alguns critérios já em mente passa-se a parte de observação. O processo é caracterizado por uma abordagem centrada no ser humano, busca-se observar como as pessoas se comportam, como o contexto de uma experiência afeta sua reação a produtos e serviços. Tenta-se utilizar ao máximo a empatia, “hábito mental que nos leva a pensar nas pessoas como pessoas”. Isso faz com que as soluções propostas para o problema levem em consideração o que as pessoas demonstram querer e não o que dizem querer e também pode aumentar a aceitação de um produto ao vinculá-lo com comportamentos existentes (ibidem).

Parte-se para a discussão, preferencialmente em grupo, de tudo que foi aprendido durante o processo. Nessa fase é comum alternar entre o pensamento divergente onde são criadas as opções e o convergente no qual são feitas escolhas. No fim da discussão as principais opções devem ter sido exploradas e parte-se para a confecção de um ou mais protótipos com o intuito de entender se o que se imaginava para o produto é realmente factível.

No momento de definir qual a melhor solução é importante entender em qual dos quadrantes da matriz de formas de crescer (Figura 7) sua inovação se encontra. Com a mudança da metodologia o dispositivo se encontra no quadrante criar, onde será apresentada uma nova concepção em dispositivo de treinamento para um tipo de cliente específico.



**Figura 7 - Quadrantes da matriz de formas de crescer  
(Fonte: FM2S)**

Por fim cabe citar novamente Tim Brown, presidente da IDEO, para justificar as alterações na metodologia e também em relação a proposta inicial:

“Não se contente com a primeira boa ideia que lhe venha à mente nem adote a primeira solução promissora que lhe apresentam. Há muito mais de onde elas vieram.”

Espera-se que a adoção dessa abordagem nova dê origem a um produto que atenda melhor as necessidades intrínsecas do cliente.

### 3.3 PESQUISA DE CAMPO

Conforme foi visto na seção 3.2 a metodologia do Design *Thinking* é baseada primeiramente em observação para identificar o problema e a solução para o cliente. Entretanto, a metodologia aplicada no TCC1 propunha que as informações sobre as necessidades do cliente fossem coletadas por meio de um questionário. Por tratar-se de um trabalho acadêmico optou-se por não descartar as informações previamente obtidas com esse questionário.

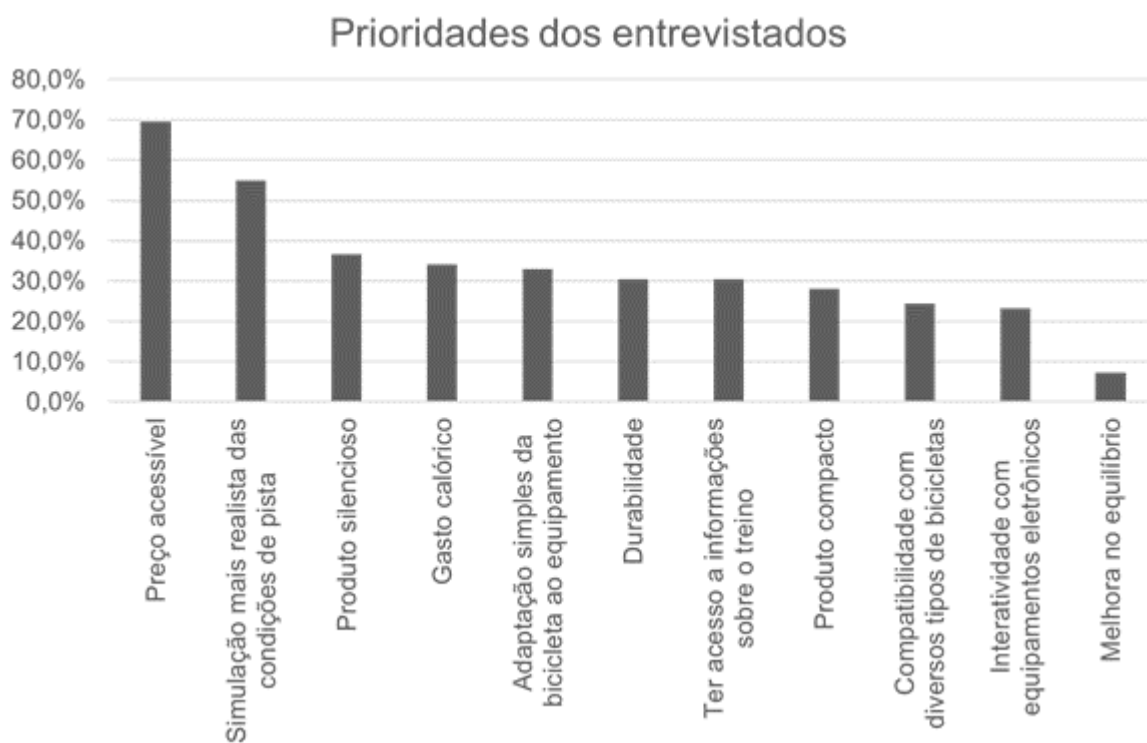
Foram coletadas entre 26 de outubro e 27 de dezembro de 2017 um total de 82 respostas através de um formulário online apresentado no Apêndice A.

O resultado do questionário serviu como base de decisão das principais características do produto que atenderiam as expectativas dos possíveis clientes.

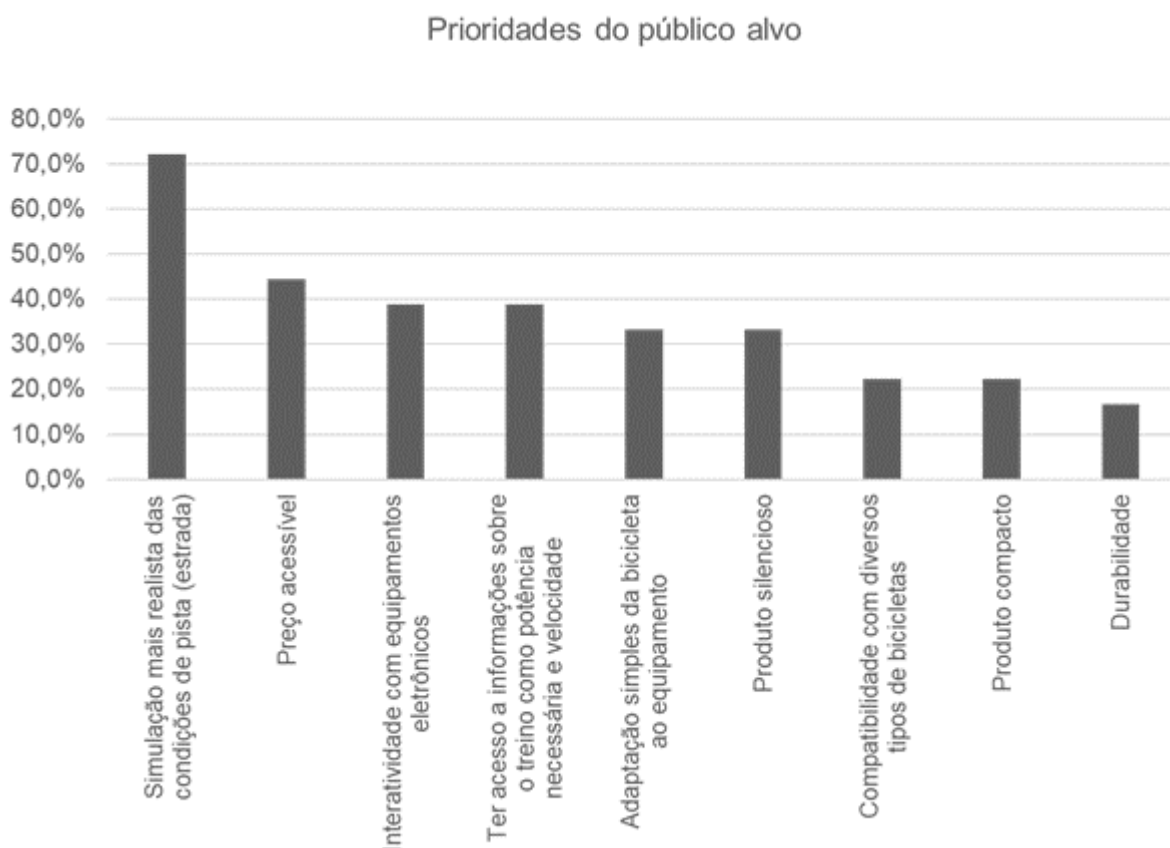
Uma das perguntas do questionário pedia que o entrevistado determinasse dentre uma lista de fatores quais os três mais importantes para um equipamento de treino indoor. 69,5% das pessoas afirmaram que preço acessível era relevante, 54,9% julgaram ser fundamental que o dispositivo fosse capaz de simular as condições reais

de pista durante um percurso e 36,6% esperavam que o equipamento fosse silencioso. As demais prioridades podem ser observadas no Gráfico 1

Definiu-se como público alvo do produto as pessoas que pedalavam mais de três vezes durante a semana por esporte. Foi feita uma segunda análise dos dados, que pode ser vista no Gráfico 2, e obteve-se que 72,2% do público alvo considera ser fundamental que o produto seja capaz de simular as condições reais de pista durante um percurso. Dito isso, esse passou a ser considerado como o principal requisito a ser atendido pelo produto.



**Gráfico 1 - Prioridades dos entrevistados**



**Gráfico 2 - Prioridades do público alvo**

### **3.4 BENCHMARKING**

Baseado no formulário foi possível realizar uma pesquisa de mercado para analisar a concorrência e entender até que ponto os produtos no mercado atendem as necessidades dos clientes.

Os produtos apresentados no Quadro 2 são apenas alguns modelos encontrados no mercado. Para tanto, buscou-se avaliar os tipos de rolos com as principais características que pudessem agregar valor ao treino do atleta.

Pode-se observar que os equipamentos iniciam com modelos mais simples e livre de esforços, passando pelo treino de equilíbrio e chegando em equipamentos mais completos que permitem simular a cive e declive.

Para os mais sofisticados, se destacam os que possuem conectividade com equipamentos eletrônicos e que são capazes de apresentar resultados durante o treino, simuladores gráficos do trajeto e de resistência, interação com outros participantes em tempo real. Por outro lado, toda essa tecnologia tem custo elevado.









Outro ponto interessante que pode ser analisado é a questão do desgaste do pneu traseiro. Equipamentos que simulam carga podem gerar alto desgaste do pneu. Tanto que alguns fabricantes sugerem equipar a bicicleta com pneu apropriado para treinamento *indoor*. Além disso, o contato entre o rolo e o pneu pode gerar um nível sonoro elevado, o que conseqüentemente pode ser um agravante para o treinamento em ambiente fechado.

Por outro lado, alguns fabricantes optaram pelo rolo sem utilizar a roda traseira, nesse caso o ruído é reduzido e não há desgaste no pneu.

Podemos observar que os equipamentos com maior tecnologia buscam deixar o treinamento mais próximo da realidade possível. Porém não foi encontrado um produto que possa seguir rigorosamente um modelo real combinando resistência e equilíbrio.

O mercado internacional vem com a linha de seguimento forte principalmente quando se trata de tecnologia agregada ao equipamento. Já o mercado nacional atende apenas os produtos mais simples.

<b>BENCHMARKING</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Modelo - Marca</b>	Clássico - <i>Easy Scroll</i>	AL200 - Altmayer	Blue Motion - Tacx
<b>Materiais</b>	Aço com proteção galvânica com rolos em termoplásticos	Aço com rolo em termoplástico	N/A
<b>Massa (kg)</b>	9,8 kg	N/A	10,1 kg
<b>Preço</b>	R\$ 480,00	R\$ 213,99	R\$ 1.800,00
<b>Tipo de rolo</b>	Rolo livre de equilíbrio	Rolo livre roda fixa	Resistência magnética
<b>Potência</b>	-	-	1,27 hp (950W)
<b>Torque máximo</b>	-	-	16,32 Nm
<b>Força de frenagem</b>	-	-	42 N
<b>Característica</b>	· Dobrável	· Dobrável	· Dobrável
	· Não apresenta resistência contra o movimento	· Não apresenta resistência contra o movimento	· Resistência magnética com até dez posições
	· Permite o treinar o equilíbrio	· Aplicado apenas na roda traseira	· Aplicado apenas na roda traseira
	· Bicicleta fica livre sobre o equipamento	· Roda dianteira permanece sem girar	· Roda dianteira permanece sem girar
	· Permite o giro das duas rodas	· Apresenta desgaste apenas no pneu traseiro	· Pode apresentar desgaste elevado no pneu traseira
	· Elevados níveis de ruído	· Elevados níveis de ruído	· Elevados níveis de ruído
			· Não simula descida
			· Elevados níveis de ruído
	Ponto morto do pedal.	Ponto morto do pedal.	
<b>Compatibilidade</b>	Mountain <i>Bike</i> e <i>Speed</i>	Aro 26 - 27,5 e 29	Aro 26, 27 e 29
<b>Portabilidade</b>	110 x 505 x 1360 mm	N/A	610x420x250mm
<b>Nacionalidade</b>	Nacional	Nacional	Importado

<b>BENCHMARKING</b>			
	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>Modelo - Marca</b>	Ironman Smart - Tacx	Hammer Direct Drive Trainer - Cycleops	Qubo Fluid - Elite
<b>Materiais</b>	Rolo de aço revestido de elastogel	N/A	Rolo de aço revestido de elastogel
<b>Massa (kg)</b>	10,3 kg	N/A	N/A
<b>Preço</b>	R\$ 12.594,00	R\$ 4.156,57	R\$ 2.469,00
<b>Tipo de rolo</b>	Resistência por eletromotor gerador	Resistência Eletromagnética	Resistência por Fluido
<b>Potência</b>	2,68 hp (2000 W)	2,68 hp (2000 W)	1,61 hp (1200 W)
<b>Torque máximo</b>	51,00 Nm	-	-
<b>Força de frenagem</b>	150 N	-	-
<b>Característica</b>	· Dobrável	· Dobrável	· Dobrável
	· Simula inclinação de até 20%	· Simula inclinação de até 20%	· Simula inclinação de até 20%
	· Aplicado apenas na roda traseira	· Utiliza sem a roda traseira	· Aplicado apenas na roda traseira
	· Roda dianteira permanece sem girar	· Roda dianteira permanece sem girar	· Roda dianteira permanece sem girar
	· Pode apresentar desgaste elevado no pneu traseiro	· Não desgasta o pneu	· Pode apresentar desgaste elevado no pneu traseiro
	· Rolo revestido para evitar ruído	· Baixos níveis de ruído	· Rolo revestido para evitar ruído
	· Simula descida com inclinação de até 5 %	· Simula descida	
	· Necessidade de estar ligado à rede elétrica	· Necessidade de estar ligado à rede elétrica	
	· Controlado por eletrônicos via ANT+ e <i>Bluetooth</i>	· Controlado por eletrônicos via ANT+ e <i>Bluetooth</i>	
	· Simula graficamente o local de treino	· Simula graficamente o local de treino	
	· Ponto morto do pedal	· Ponto morto do pedal	· Ponto morto do pedal
<b>Compatibilidade</b>	Aro 26", 27" e 29"	Aro 26", 27" e 29"	Aro 20" - 29"
<b>Portabilidade</b>	565x410x245mm	787,4x469,9x495,3 mm	N/A
<b>Nacionalidade</b>	Importado	Importado	Importado

**Quadro 2 - Benchmarking**

### 3.5 REQUISITOS DO CLIENTE

Como o principal requisito apontado por um possível cliente está a simulação mais realista das condições de pista ou estrada tem-se os seguintes desdobramentos:

- a) Simular acilves;
- b) Condição de descanso;
- c) Atingir altas velocidades;
- d) Permitir movimentos laterais.

Outros pontos levantados foram:

- e) Baixo custo;
- f) Compatível com diversos modelos de bicicletas;
- g) Fácil uso;
- h) Produto compacto;
- i) Interação com sistema eletrônico;
- j) Produto durável;
- k) Produto silencioso.

### 3.6 REQUISITO DE PROJETO

Tomando como base as informações obtidas com a pesquisa, o benchmarking e aplicando as técnicas de observação relativas ao Design *Thinking* propostas por Tim Brown foi possível estabelecer os requisitos de projetos, apresentados no Quadro 3. A tabela relaciona os requisitos do projeto capazes de atender cada um dos requisitos do cliente.

Item	Requisitos do Cliente	Requisitos do Projeto
1	Simular aclives	Sistema de elevação
2	Condição de descanso	Sistema de inercia
3	Atingir altas velocidades	Sistema que propicie altas rotações
4	Permitir movimentos laterais	Deixar a bicicleta livre
5	Baixo custo	Materiais de fácil acesso, soluções simples
6	Compatível com diversos modelos de bicicletas	Tamanho ajustável
7	Fácil uso	Sistemas intuitivos
8	Produto compacto	Dimensões otimizadas
9	Interação com sistema eletrônico	Sistema de controle
10	Produto durável	Material de qualidade, dimensionamento dos componentes
11	Produto silencioso	Sistema sem folga, atenção especial a componentes que podem gerar ruído

**Quadro 3 - Conversão dos requisitos do cliente em requisitos de projeto**

### 3.7 DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

É tarefa do engenheiro projetista transformar os requisitos de projeto em especificações tangíveis do produto. A partir do Quadro 3 foi possível transformar os requisitos do projeto nas especificações do produto.

Para o item 1 foi determinado desenvolver um mecanismo capaz de inclinar a pista de apoio em até 20%. Quanto ao 2 ficou definido que haveria um sistema capaz de permitir que a roda continuasse girando mesmo sem atuação do ciclista. Para atender ao requisito de velocidade (item 3) foi estipulado que o dispositivo deveria atingir velocidades de até 60 km/h. Com o intuito de manter a bicicleta livre definiu-se que a bicicleta não deveria estar acoplada no equipamento e deveria ter espaço suficientemente grande para permitir pequenos movimentos na direção. Ainda foi definido que o equipamento teria dimensões ajustáveis para ser compatível com bicicletas de aro 26" a 29". Em relação aos sistemas de controle já se soluciona os itens 7 e 9, propondo uma regulagem de inclinação de quatro estágios e de velocidade variando a cada 2,5 km/h. Afim de desenvolver um produto compacto foram estipuladas dimensões máximas de 1300x850x1000 mm (comprimento x largura x altura). Para garantir a durabilidade do dispositivo foi feito o dimensionamento dos componentes mais suscetíveis ao desgaste. Finalmente para garantir um sistema silencioso optou-se pela utilização de sistemas de regulagem que pudessem ser ajustados de modo a eliminar as folgas. Além da seleção de materiais capazes de reduzir ruídos quando em contato com componentes em movimento.

Baseado na metodologia de observação do *Design Thinking* foram propostas outras especificações consideradas necessárias para o sucesso e viabilidade do produto. Dentro eles estão a instalação de barras laterais para facilitar o apoio e equilíbrio do ciclista, a implementação de apoios para os pés de modo que o atleta tivesse mais segurança no início e final da pedalada. Por fim, com o intuito de deixar a experiência mais fluída, definiu-se que haveria um sistema capaz de identificar se a velocidade selecionada está compatível com o ritmo do atleta e em caso de incompatibilidade aumentar ou reduzir a velocidade conforme a situação.

## 4 PROJETO CONCEITUAL

### 4.1 SOLUÇÕES EXISTENTES PARA OS REQUISITOS DO PROJETO

Foi realizada uma busca de soluções já existentes para atender individualmente cada um dos requisitos dos requisitos do projeto. O conceito de solução existente para os itens 5, 8 e 10 do Quadro 3 é abrangente demais para ser tabelado, pois a escolha de material e o dimensionamento é feito individualmente para cada um dos componentes envolvidos. As demais soluções estão listadas no Quadro 4.

Item	Requisito do Projeto	Solução 1	Solução 2	Solução 3
1	Sistema de elevação			
2	Sistema de inercia			
3	Sistema que propicie altas rotações			

4	Deixar a bicicleta livre			
6	Tamanho ajustável			
7	Sistemas intuitivos			
9	Sistema de controle			
11	Sistema sem folga			

**Quadro 4 - Soluções existentes para os requisitos do projeto**

## 4.2 CONCEPÇÕES SELECIONADAS

Das opções apresentadas no Quadro 4 foram feitas escolhas que atendessem de maneira mais viável cada um dos requisitos pré-estabelecidos.



Novamente a partir da técnica de observação e empatia com o cliente citadas na seção 3.2 optou-se por utilizar um sistema que permitisse o movimento lateral semelhante a uma esteira ergométrica, solução número 2 do item 4. Essa foi a primeira escolha de projeto e todas as demais já foram feitas considerando que deveriam ser adequadas para o funcionamento desse sistema.

Para o sistema de elevação optou-se pela utilização de um motor elétrico acoplado a um parafuso de potência. O funcionamento desse sistema é o mesmo encontrado no macaco mecânico da solução número 2.

Para atender ao requisito referente a inércia e assim simular a condição de descanso será utilizado um motor elétrico, solução 3, que por meio da lona da esteira permitirá que a roda da bicicleta continue girando sem ação do ciclista. O mesmo motor, acoplado a um sistema de transmissão por correia, será responsável por propiciar altas rotações.

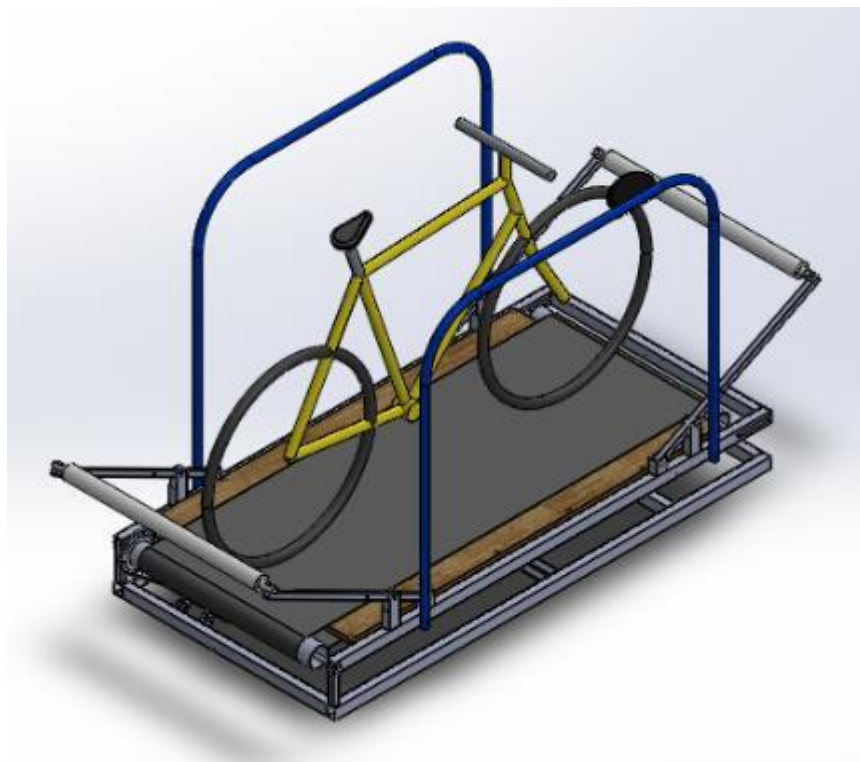
Para que o sistema seja ajustável para diversos tamanhos de bicicleta será utilizado um sistema de furos com pino para fixação semelhante ao apresentado na solução 3. Esse sistema estará presente nas barras de contenção traseira e dianteira.

Combinando os requisitos 7 e 9 foi feita a opção de um painel com botões intuitivos para controlar tanto a velocidade quanto a elevação.

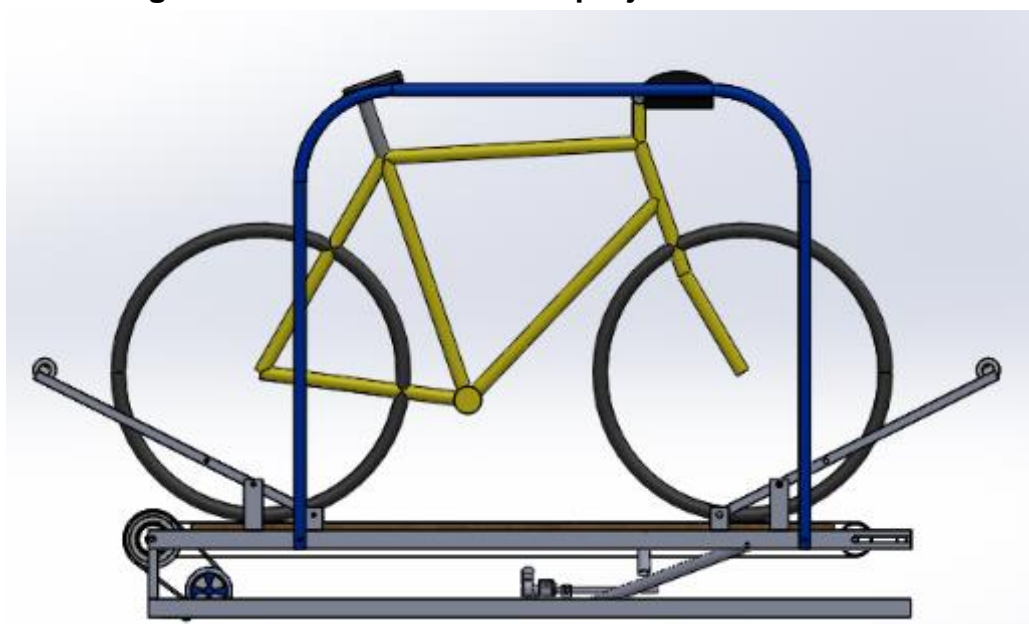
A opção selecionada para minimizar o ruído foi de construir o equipamento deixando a maior parte dos componentes fixa. Para os componentes que, devido a algum requisito do projeto, tinham a necessidade de ser móveis a fixação e aperto foi feita utilizando parafuso e porca.

### **4.3 SOLUÇÃO FINAL**

A modelagem do projeto conceitual pode ser vista nas figuras 8, 9, 10 e 11. Vale citar que na matriz de formas de crescer o projeto fica localizado do lado direito, pois ao mesmo tempo que pode ser considerado uma evolução da esteira ergométrica apresenta mecanismos que o tornam adequado para a prática do ciclismo que não seria possível nos modelos de esteira disponíveis no mercado.



**Figura 8 - Vista isométrica do projeto conceitual**



**Figura 9 - Vista lateral do projeto conceitual na posição horizontal**

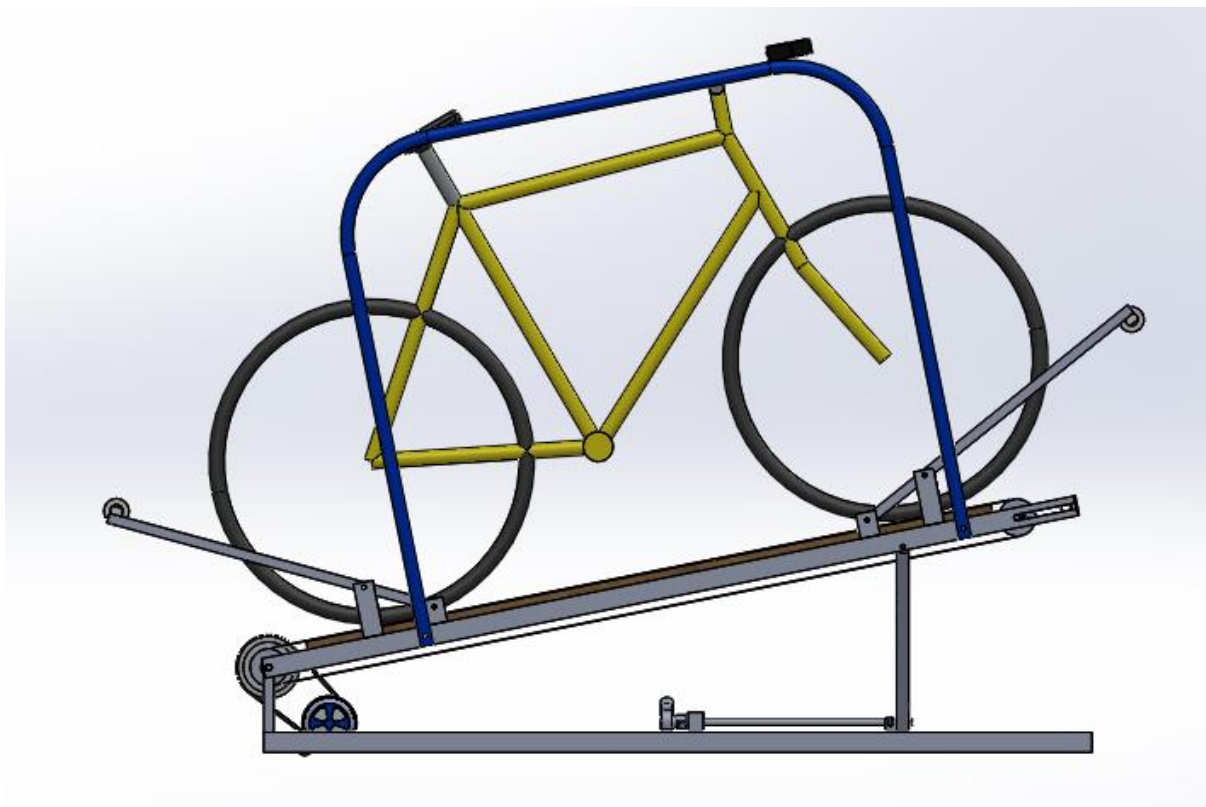


Figura 10 - Vista lateral do projeto conceitual na posição inclinada

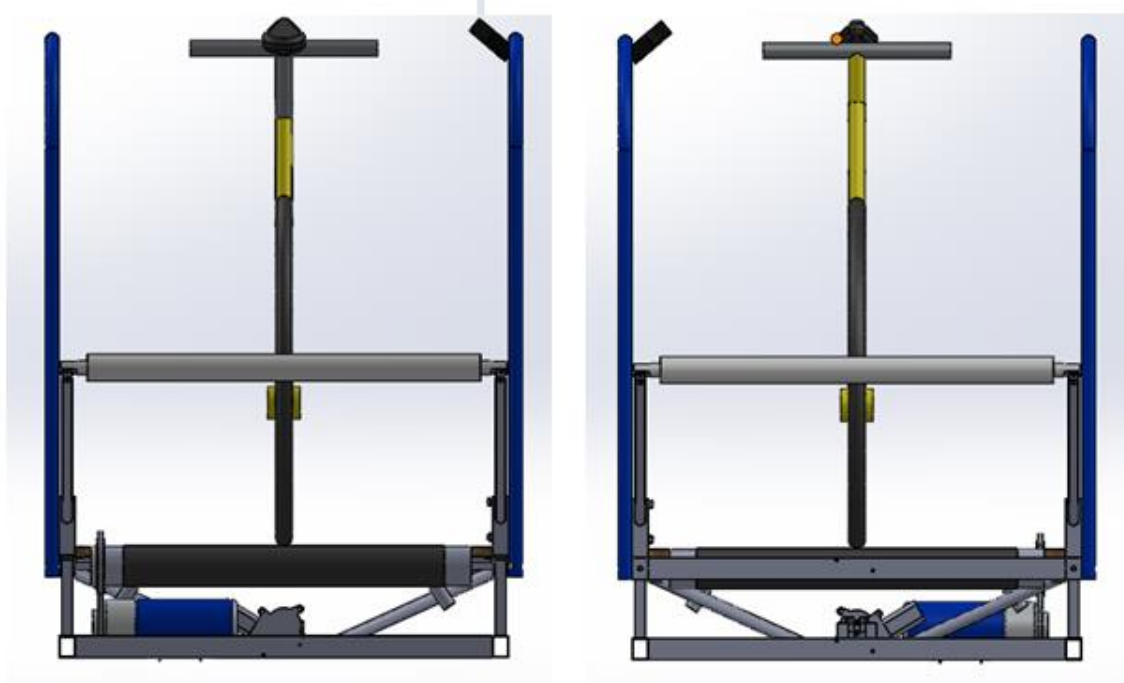


Figura 11 - Vista frontal e traseira do projeto conceitual

## 5 PROJETO DETALHADO E FABRICAÇÃO

### 5.1 ESTRUTURA

Para o desenvolvimento da estrutura do dispositivo, tinha-se como objetivo a facilidade de obtenção do material e o baixo custo para a fabricação do protótipo. Focando em atender esses objetivos buscou-se sempre que possível a identificação de elementos comerciais disponíveis ou a adaptação de peças e partes de equipamentos pré-existentes que, pela simples observação de suas funcionalidades originais, sabia-se adequar-se ao protótipo.

Por esse motivo, a estrutura superior e inferior foi projetada e fabricada em dois tipos tubos de seção retangular 30x40x1,5 mm e de seção quadrada 20x20x1,5 mm. Também se utilizou cantoneiras 5/8x1/8" para dar suporte a fixação de alguns componentes na estrutura.

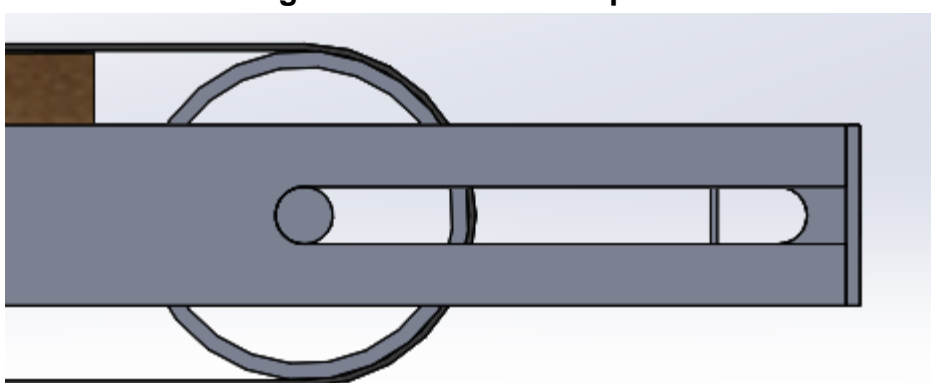
#### 5.1.1 Estrutura superior

A estrutura do dispositivo é composta por duas partes, superior e inferior. Sendo a primeira a parte principal, nela estão acoplados os principais componentes para o funcionamento do equipamento, dentre eles a plataforma de apoio, rolo dianteiro e traseiro, motor de acionamento da esteira, barras de segurança e de contenção, por fim o mecanismo de levantamento da plataforma inferior também possui uma parte acoplado na estrutura superior. A Figura 12 apresenta a estrutura com todos os componentes acoplados.

A maior parte dos componentes contida na estrutura superior foi fabricada a partir do corte dos tubos e em seguida soldada. Utilizando o processo de usinagem foram feitos furos e rasgos na estrutura para fixação dos componentes. Sendo que o rasgo feito no final da estrutura (Figura 13) foi fundamental para a regulação de tensão da lona com o auxílio de um guia desenvolvido com o intuito de ser fabricado utilizando manufatura aditiva.



**Figura 12 - Estrutura superior**



**Figura 13 - Rasgo Feito no final da estrutura para possibilitar a regulagem de tensão da lona**

### 5.1.2 Estrutura inferior

Já a parte inferior, que pode ser vista na Figura 14, serve como base do dispositivo, ao contrário da base superior, é imóvel e sustenta o motor de acionamento da inclinação, bem como o fuso e o próprio mecanismo. O processo de fabricação desse componente foi similar ao utilizado na estrutura superior.



**Figura 14 - Estrutura Inferior**

### 5.1.3 Plataforma

A plataforma pode ser considerada um dos principais componentes do equipamento, nela será suportado o peso do atleta com o equipamento, é a base de contato da lona e ainda deve ser grande o suficiente para proporcionar o movimento, sobre a esteira, do atleta com a bicicleta durante a prática da atividade.

De acordo com a funcionalidade da plataforma foi selecionada segundo alguns critérios importantes, ter a superfície mais lisa possível para reduzir o atrito de contato



com a lona, ser resistente e rígida o suficiente para suportar o atleta. Portanto o componente que atendeu a esses critérios foi a chapa de MDF com superfície com revestimento melamínico brilhante e liso. Além disso a plataforma deve ter tamanho compatível com as bicicletas de aro 26 a 29” por isso suas dimensões são 1700x700x18 mm.

#### 5.1.4 Sistema de contenção dianteiro e traseiro

Seguindo o pré-requisito de projeto, foi necessário desenvolver uma maneira de proporcionar ao atleta a simulação de um possível descanso, momento ao qual o ciclista para de pedalar, porém as rodas permanecem girando.

Para solucionar esse requisito, foi desenvolvido um sistema de rolos acoplados na parte traseira e dianteira do equipamento. Sendo que a altura deve estar alinhada com o eixo das rodas, dessa forma a bicicleta pode chegar no final da plataforma entrar em contato com o rolo de contenção que por sua vez inicia o movimento, sendo assim o atleta pode parar de pedalar sem o risco de ser jogado para fora da esteira.

Por segurança foi adicionado o mesmo mecanismo na parte frontal da plataforma, para evitar com que o atleta ultrapasse a velocidade da esteira e saia do equipamento. O sistema de contenção tanto traseiro quanto dianteiro pode ser visto na Figura 15

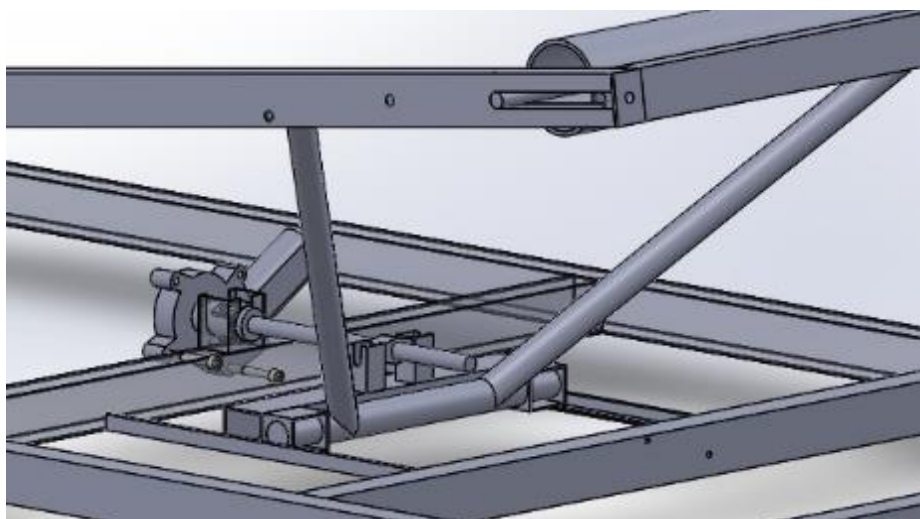


**Figura 15 - Sistema de contenção**

### 5.1.5 Sistema de elevação

Tendo como requisito de projeto simular inclinação. Fez-se necessário selecionar um mecanismo capaz de atender essa função. O mecanismo escolhido foi o parafuso de potência acoplado a um motor de corrente contínua.

O mecanismo basicamente consiste em transformar um movimento linear em um movimento angular, para isso o sistema é composto por duas barras laterais acopladas na base superior da esteira. Na parte inferior essas barras estão acopladas em uma travessa que desliza por uma espécie de trilho. Tal deslizamento é acionado por um fuso de potência que permite aumentar o reduzir a inclinação. O dispositivo pode ser visto na Figura 16.



**Figura 16 - Sistema de elevação**

Todo o detalhamento referente ao dimensionamento desse sistema é apresentado no Apêndice D.

### 5.1.6 Sistema de apoio/equilíbrio

Para facilitar e auxiliar o ciclista no equilíbrio durante o início e a parada da atividade, foi desenvolvido um sistema de apoio fixado na estrutura superior da plataforma. Esse dispositivo tem a mesma funcionalidade de um corrimão.

Foi projetado e fabricado em aço tubular com as dimensões de 1" de diâmetro e parede de 1,6 mm.



## 5.2 ROLO

Para movimentar a lona foi selecionado o mesmo sistema de rolo utilizado em esteiras ergométricas. Fica acoplado na estrutura superior na parte traseira do equipamento, é acionado por uma polia presa na extremidade de rolo que é ligada em um motor por uma correia.

O componente, apresentado na Figura 17, é basicamente formado por um tubo com a superfície recartilhada e um rebaixo na extremidade interna para o acoplamento de um rolamento. Um eixo fica acoplado na trilha interna do rolamento e é fixado na estrutura fazendo com que apenas o rolo mova.



**Figura 17 - Eixo motor traseiro e polia**

A dimensão do rolo é de 73 mm de diâmetro e o comprimento de 600 mm.

Um ponto a ser levado em consideração no rolo dianteiro é a utilização de mancais fabricados por meio de manufatura aditiva.

### 5.2.1 Redução

Dentre os requisitos iniciais de projeto estava a velocidade máxima de 60 km/h. Para atender a este requisito foi necessário dimensionar um sistema de redução. Optou-se pela utilização de um sistema de polias e correia.

A rotação de saída do motor, conforme será visto na seção 5.3.1, é de 6200 rpm e a rotação necessária no rolo é de 4770 rpm, portanto a relação de transmissão é de 1,3. Como a polia movida tem 130 mm a motora deve ter 100 mm. O sistema de redução pode ser visto na Figura 18. Está redução, com a esteira na horizontal e com a rotação máxima, é capaz de entregar uma força de 61,31 N na lona.



**Figura 18 - Sistema de redução e transmissão**

### **5.2.2 Correia**

Para o sistema de redução foi selecionada a correia de perfil micro - V 4PJ 660 conforme norma ISO 1081.

Esse tipo de correia de transmissão tem melhor aderência na polia e pode apresentar uma eficiência entre 97 a 99%. A seleção é feita de maneira semelhante a correia em V. (SHIGLEY, 2011)

Os detalhes do dimensionamento podem ser vistos no Apêndice C.

De acordo com o dimensionamento foi possível chegar a seleção de três correias de perfil trapezoidal. Os cálculos para esse perfil de correia também são aplicáveis para as correias de perfil micro – V, sendo assim seria necessário apenas uma correia com esse perfil e com três frisos.

Entretanto, comercialmente, o número mínimo de frisos para esse tipo de correia é quatro. Por simplicidade de construção optou-se por utilizar apenas uma correia com esse perfil.

### **5.2.3 Lona da esteira**

Ao analisar as diversas esteiras ergométricas convencionais presentes no mercado percebeu-se que todas as lonas eram feitas da mesma combinação de materiais: Nylon com revestimento em PVC. A diferença entre as esteiras domésticas e as para uso profissional era somente a espessura dessa lona.

Com base no diagrama de forças apresentado no Apêndice B pode-se observar que a carga trativa a que a lona está sujeita é proveniente do atrito entre a lona e a

plataforma nos pontos de apoio (rodas) e a força de rolagem da roda. Para o cálculo da força proveniente do atrito nessas condições comparado com uma pessoa caminhando é acrescido somente o peso da bicicleta. A força de rolagem calculada também no Apêndice B tem um valor pouco significativo no sistema.

Feitas essas considerações decidiu-se por utilizar a mesma lona utilizada em esteiras profissionais. As características da mesma podem ser observadas no Quadro 5.

Espessura total	2,3 mm
Espessura da cobertura de PVC	0,6mm
Dureza	75 Sh
Tensão para 1% de Alongamento	8 N/mm
Tensão para ruptura	140 N/mm
Peso por m <sup>2</sup>	2,3 kg

**Quadro 5 - Características da lona utilizada em esteiras  
(Fonte: Poletto)**

### 5.3 SISTEMA ELÉTRICO

#### 5.3.1 Motor de acionamento da esteira

Por conveniência foi pré-selecionado um motor comumente utilizado em esteiras ergométricas. Iniciou-se então um processo de verificação matemática para garantir que o motor escolhido atendesse à especificação do projeto.

Portanto o motor selecionado foi um motor elétrico de corrente contínua de 2,1 cv e rotação máxima de 6200 rpm.

Para esse componente, com a redução previamente projetada e estimando as perdas em quatro mancais, na correia e nos dois rolos tem-se o rendimento global do sistema de 0,91. Dito isso há a entrega no rolo de uma velocidade máxima de 66,46 km/h, com um torque de 2,71 Nm, uma força trativa de 77,45 N e uma potência de 1429 W (1,92 Cv).

### 5.3.2 Motor de acionamento da elevação

A definição do motor utilizado no sistema de elevação só pode ser realizada após a análise das cargas atuantes no mecanismo de levantamento e o cálculo do torque necessário para elevar o sistema. Os cálculos podem ser observados no Apêndice D.

O torque necessário para elevar o sistema é relativamente baixo, por esse motivo optou-se por utilizar um motor comercial de levantamento de vidro automotivo semelhante ao apresentado na Figura 19.



**Figura 19 - Motor de levantamento de vidro automotivo  
(Fonte: Jocar)**

Tal componente está superdimensionado, já que o torque entregue pelo motor é de 9,2 Nm. Porém seguiu com essa definição por ser um componente de baixo custo e de fácil aquisição.

Com o torque apresentado pelo motor não foi necessário dimensionar uma outra redução para o sistema de inclinação. Dessa forma, o motor foi conectado diretamente no fuso de potência que para o protótipo foi retirado de um macaco mecânico, item de segurança presente nos automóveis.

### 5.3.3 Painel de instruções

Para o acionamento da parte eletrônica do dispositivo foi criado o conceito de um painel de comandos. Nesse instrumento é possível ligar o equipamento, aumentar ou diminuir a velocidade da esteira.

No painel também é possível variar a elevação da esteira em 4 posições, sendo que na posição zero é a plataforma superior fica na horizontal e a posição quatro permite uma inclinação de 20%.

Para a melhor interação do ciclista com o equipamento, o painel apresenta um *display* capaz de mostrar a velocidade do ciclista e qual nível de inclinação a esteira se encontra.

O painel de instrumentos fica acoplado no sistema de apoio, local próximo suficiente para ser comandado pelo ciclista.

O sistema eletrônico foi desenvolvido em parceria colegas do curso de eletrônica da UTFPR, e com a utilização de um Arduino para comandar o sistema.

Por questão de custos e tempo a parte estrutural do painel não foi fabricada para o protótipo.

#### **5.3.4 Acionamento automático de velocidade**

Com o intuito de melhorar a interação entre o ciclista e o equipamento e também deixar a experiência mais real e segura foi desenvolvido um sistema capaz de identificar se a velocidade selecionada está compatível com o ritmo de pedalada.

Trata-se de dois sensores *shield* LDR situados próximos aos rolos de contenção dianteiro e traseiro acionados e desativados por lasers. Esses sensores mandam sinais para um Arduino conectado ao motor de acionamento da esteira.

São duas situações distintas de controle: caso o sensor dianteiro seja ativado ocorre o incremento gradativo do valor de velocidade, no caso do sensor traseiro a situação é oposta e a velocidade é reduzida. O aumento ou diminuição da velocidade ocorre caso a roda da bicicleta fique em contato com o rolo de contenção por mais de 3 segundos. A programação utilizada no Arduino pode ser vista no Apêndice E.

Durante a fabricação e montagem foram realizados testes contínuos, validando cada um dos subsistemas e soluções aplicadas ao produto, cujos resultados apresentam-se na sequência

## 6 RESULTADOS

### 6.1 VISÃO GERAL DO EQUIPAMENTO

Durante os testes realizados pode-se perceber que o protótipo é capaz de atender a maioria dos requisitos do cliente e das especificações do projeto.

O uso do equipamento é simples e consegue simular situações realistas como aumento e redução de velocidade, inclinação e durante um tempo curto é capaz de simular a posição de descanso (parar de pedalar) até que o sistema para completamente.

Comparado com o rolo livre pode-se notar uma semelhança em se manter equilibrado no equipamento, ambos necessitam atenção e equilíbrio maior quando comparado ao ciclismo de rua. Mesmo com essa dificuldade, foi possível se manter equilibrado com pouco tempo de prática no equipamento.

Componentes previamente projetados como apoio lateral e rolo de contenção foram extremamente importantes para o equipamento, sem eles seria praticamente impossível o uso.

Em alguns testes, notou que a lona apresentava pequenos desvios, tal inconveniente foi resolvido com a fabricação de um dispositivo capaz a centralizar a mesma. Item que não havia sido previsto durante a elaboração do projeto.

Durante os testes notou-se que uma das grandes vantagens do equipamento é o fato dele atender duas necessidades, visto que alguns treinos orientam a prática da pedalada e corrida, e o protótipo atende as duas modalidades.

Por fim, o principal problema encontrado durante os testes foi referente ao funcionamento da placa de potência que é responsável por converter a tensão da rede de 127 V para 180 V. Muitas vezes a corrente elétrica se elevava e por medida de segurança o sistema eletrônico desligava para evitar problemas no circuito.

A nível protótipo, o sistema de comando foi reutilizado da esteira adquirida, dessa forma torna-se difícil o controle ser operado pelo próprio ciclista. Sendo assim todos os testes foram auxiliados por uma pessoa externa que controlava a velocidade da esteira de acordo com a solicitação do ciclista.

Por fim, para um produto comercial seria de grande relevância prever um dispositivo de segurança, não somente algo que desligue o sistema automaticamente em caso de emergência, mas também algo que evite o contato do ciclista com o apoio lateral ou o sistema de contenção no caso de uma possível queda do atleta. Durante os testes não ocorreu nenhum acidente, porém vale ressaltar esse ponto, especialmente considerada a expectativa de velocidades de até 60 km/s (17 m/s).

### **6.1.1 Sistema de inclinação**

O sistema de inclinação se mostrou adequado aos requisitos do projeto. No projeto inicial foi estabelecido que seriam 4 níveis de inclinação, porém foi possível deixar essa regulagem mais abrangente, ou seja, é possível definir inúmeras posições. Essa regulagem é feita através de um interruptor acoplado ao sistema e acionado de maneira manual pelo ciclista conforme a necessidade, tal recurso pode ser utilizado com o equipamento em funcionamento.

A nível de uso notou-se que a inclinação oferecida pelo equipamento proporciona ao ciclista resistência semelhante a encontrada em aclives.

### **6.1.2 Liberdade no movimento**

O grande diferencial da solução proposta é o fato da bicicleta ficar totalmente livre sobre a plataforma, conforme é apresentado na Figura 20, o que propicia liberdade nos movimentos laterais e longitudinais.

Durante os testes notou-se que o comprimento da esteira era razoavelmente longo a ponto de permitir que o ciclista tivesse uma pequena variação longitudinal. Mesmo assim, para a produção comercial do produto, sugere-se um aumento no comprimento da esteira. Já a dimensão lateral se mostrou bastante adequada durante o uso, permitindo pequenos desvio na direção sem que o ciclista saísse da lona.

Além disso o fato de ter a bicicleta totalmente livre permite ao atleta diversas posições de pedalar, sendo possível aplicar técnicas como pedalar em pé e até mesmo *sprint*. Importante ressaltar que tais práticas são mais difíceis na esteira do que na rua, exigindo maior habilidade e equilíbrio do atleta.



**Figura 20 - Equipamento em uso com a bicicleta livre**

### **6.1.3 Compatibilidade com diversos modelos de bicicleta**

O protótipo foi fabricado tendo por base as medidas das bicicletas de aro 29”, porém o mesmo seria compatível com outros aros caso a regulagem do sistema de contenção prevista em projeto (Figura 21) fosse fabricada.



**Figura 21 - Sistema de contenção com adaptação para diferentes aros**



#### **6.1.4 Velocidade**

No projeto havia o requisito de atingir a velocidade máxima de 60 km/h. Por questões financeiras optou-se por adquirir uma esteira ergométrica usada para utilizar o seu motor e a placa de potência. O motor estava no limite do que era pré-estabelecido em relação ao torque entregue devido à redução.

Em um primeiro momento as características do motor atendiam a situação, sendo que, conforme mencionado na seção 5.3.1, o motor selecionado operava com corrente contínua, tensão de 180 V, potência de 2,1 cv e rotação máxima de 6200rpm. A placa de potência era responsável por converter a tensão de 127V da rede em 180V para alimentar o motor. Entretanto, durante os testes percebeu-se que em altas velocidade ou ao adicionar carga no sistema ocorria um aumento significativo da corrente elétrica entre a rede e tal placa e, conseqüente, ao motor. O componente possuía fusível e relé de segurança para evitar danos maiores no sistema eletrônico, devido a isso com o aumento da corrente a energia do sistema era cortada.

Além disso o comando de acionamento de velocidade utilizado foi o mesmo da esteira adquirida. Tal equipamento limitava a rotação do motor, ou seja, o comando eletrônico não era capaz de atingir a rotação nominal do motor sendo que a operação máxima permitida foi de apenas 3000rpm.

Dessa forma os testes tiveram que ser realizados com baixas velocidades e, na grande maioria das vezes, com a esteira inclinada para evitar sobrecarga.

#### **6.1.5 Custo**

A nível de protótipo esperava-se ter um custo extremamente alto, porém, todo o desenvolvimento foi realizado buscando o menor custo. Dessa maneira, os gastos principais com o protótipo foram direcionados aos seguintes itens:

- a) Motor elétrico: Para atender a compra desse componente foi realizada pesquisa de motores usados com as mesmas especificações. Durante a pesquisa foi encontrada uma esteira ergométrica usada abaixo do preço de mercado e em bom funcionamento que possuía o motor desejado. Na aquisição, portanto, além do motor obteve-se uma placa de potência, um sistema de comando e alguns elementos estruturais que poderiam ser reutilizados no protótipo;

- b) Ferragens: As barras e tubos comerciais são vendidos com 6 m de comprimento. Isso foi levado em consideração durante o projeto para que fosse possível utilizar a mesma ferragem em diversos componentes. A compra das ferragens representou aproximadamente um terço do valor gasto com o protótipo;
- c) Lona: A dificuldade de encontrar esse componente nas dimensões adequadas para o projeto fez com que esse item tivesse um custo levemente mais alto do que o esperado. Dos fornecedores pesquisados poucos eram capazes de confeccionar a lona com as dimensões desejadas. Mesmo com esta limitação financeira optou-se por seguir com as dimensões de projeto e adquirir uma lona confeccionada sobre medida;
- d) Sistema de redução: Apesar de ser um modelo comercial as correias em Micro-V apresentaram custo elevado. Por este motivo, no protótipo, optou-se em utilizar uma correia de perfil V. Mesmo com essa substituição o sistema de transmissão não apresentou problemas durante os testes.
- e) Plataforma: A chapa de sustentação do ciclista foi selecionada com o intuito de obter o menor coeficiente de atrito possível. No momento da compra buscou-se fabricantes de móveis para que fosse possível comprar somente a dimensão necessária de chapa de MDF, e evitar a compra de medidas comerciais.

Os demais componentes adquiridos, como componentes eletrônicos, parafusos e insumos representaram apenas uma pequena parcela do valor gasto. Também vale citar que houve a doação de diversos itens.

Dito tudo isso, pode-se considerar que o custo a nível protótipo foi baixo.

### **6.1.6 Operação**

Para o protótipo não foi possível confeccionar o sistema de controle unificado citado na seção 5.3.3. A solução encontrada a nível de protótipo foi utilizar um sistema para controlar a inclinação e outro referente ao acionamento de velocidade (Figura 22). Mesmo operando separadamente os dois sistemas de controle tem interface simples para o usuário.



**Figura 22 - Sistema de acionamento e controle de velocidade**

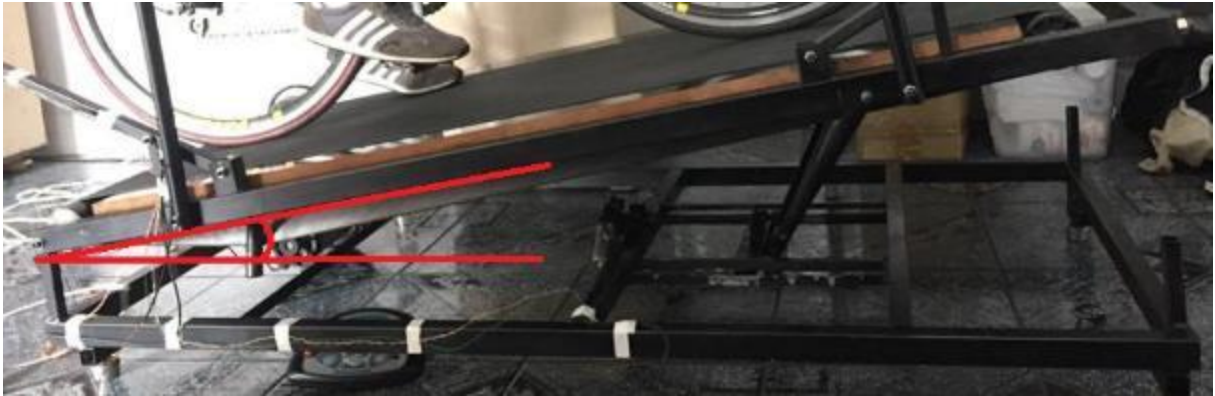
### **6.1.7 Inércia**

Buscou-se no protótipo um sistema de inércia capaz de permitir a posição de descanso do ciclista, ou seja, parar de pedalar e permitir que ainda ocorra a rotação das rodas por um determinado tempo. A nível protótipo não foi possível mensurar esse sistema, uma vez que toda parada de pedalar faz com que o ciclista permaneça em contato com o rolo de contenção traseiro e assim acione o sensor que diminui a velocidade gradativamente até a parada por completo do sistema.

## **6.2 ATRITO**

Na seção 2.4.2 foram feitas considerações acerca do coeficiente de atrito estimado entre a lona e a plataforma. Após a construção do protótipo foi possível validar este valor. Para tanto colocou-se a bicicleta sobre a plataforma e o ciclista montado sobre a mesma. Então a inclinação do sistema foi gradativamente aumentada até que a lona escorregasse sobre a plataforma vencendo assim o atrito estático.

O ângulo em que ocorreu o deslizamento, conforme pode ser observado na Figura 23 foi de 8°.



**Figura 23 - Ângulo crítico para deslizamento do sistema**

Definindo o plano inclinado de  $8^\circ$  com relação a horizontal e realizando o somatório das forças tem-se a equação (13):

$$\mu mg \cos \alpha = mg \sin \alpha \quad (13)$$

Onde:

$\mu$  - é o coeficiente de atrito estático [adimensional];

$m$  - é a massa do conjunto ciclista e bicicleta [kg];

$g$  - é a aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ];

$\alpha$  - é o ângulo de inclinação da plataforma [graus ou rad].

Isolando  $\mu$  e simplificando os termos presentes dos dois lados da equação tem-se (14):

$$\mu = \tan \alpha \quad (14)$$

Substituindo tem-se que o coeficiente de atrito estático do sistema é de 0,14.

Vale ressaltar que a validação do coeficiente de atrito só pode ser realizada com o sistema totalmente montado, dessa forma o valor encontrado não se refere somente ao contato da lona com a plataforma, mas também aos demais componentes do sistema. Isto explica o fato do valor encontrado ter sido superior ao estimado no início do projeto. Entretanto, vale citar que nesse caso o valor da força de atrito, gerada pelo ciclista, previamente estimada em 61,31 N para a rotação máxima assume um novo valor de 174,38 N.

Como já foi mencionado na seção 6.1.4, o sistema eletrônico permite que o motor opere com a rotação máxima de 3000 rpm nessa condição a força transmitida do rolo para a lona é de 162,11 N.

Pode-se notar uma pequena diferença entre a força gerada pelo rolo e a força de atrito. Porém devemos levar em consideração que o atrito dinâmico é menor que o

estático. Sendo assim, ao considerar o atrito dinâmico levemente menor que o estático (0,13) o valor das forças se igualam.

Portanto, constatou-se que o motor é capaz de alimentar o sistema quando trabalha na metade da rotação nominal.

### **6.3 ACELERAÇÃO**

Vale ressaltar que os cálculos apresentados no Apêndice B podem ser interpretados de duas maneiras, sistema em repouso (na eminência de iniciar o movimento) ou o sistema funcionando em velocidade constante. Em ambos os casos a aceleração é nula.

Considerando o caso da aceleração do sistema capaz de aumentar a velocidade a cada 2,5 km/h (0,694 m/s) em 5 segundos tem-se uma aceleração de 0,139 m/s<sup>2</sup>. Logo de acordo com a segunda Lei de Newton temos que a força devido a essa aceleração é de 17,37 N. Para o caso da desaceleração a mesma consideração pode ser admitida.

Note que não ter considerado essa aceleração implicou no funcionamento inicial do equipamento, que por sua vez exige um pouco mais do motor devido ao acréscimo da força necessário para aumentar a velocidade.

## 7 CONCLUSÕES

O entendimento das soluções já existentes no mercado combinado com uma pesquisa com os possíveis consumidores e as técnicas de observação propostas pelo Design *Thinking* deram base e engrandeceram o desenvolvimento deste projeto.

A solução proposta contemplou a maioria das necessidades dos clientes avaliadas através da pesquisa e ainda, diferentemente das soluções existentes analisadas para o treino de ciclismo em ambiente fechado, apresenta o benefício de contemplar a prática de corrida ou caminhada.

Ainda sobre o Design *Thinking* fala-se muito sobre empatia e sobre como o usuário se sente em relação ao produto. Ao projetar e construir uma esteira e não um rolo acredita-se que, por ser um equipamento visualmente similar a outro já existente e amplamente aceito no mercado, os clientes se sentiriam mais confortáveis em realizar a aquisição do mesmo. Vale ressaltar que esteiras ergométricas não são adquiridas somente por corredores profissionais e crê-se que a aceitação do dispositivo proposto se daria pelo mesmo tipo de público e não somente por ciclistas profissionais.

Durante o dimensionamento o coeficiente de atrito referente ao sistema lona e plataforma foi subestimado, sendo assim a força necessária para vencer a resistência do sistema em altas velocidades era superior a transmitida pelo motor. Além disso, o acionamento do motor de corrente contínua dependia de uma placa eletrônica de potência e os alunos não tinham o conhecimento referente ao dimensionamento deste componente. A combinação desses dois fatores explica os problemas em atender a velocidade previamente proposta no projeto.

O projeto completo realizado utilizando um *software* de modelagem tridimensional foi essencial, tanto para verificar a viabilidade das soluções propostas quanto para a fabricação do protótipo.

Durante a construção do protótipo funcional foram encontradas situações usuais da engenharia, nas quais os alunos tiveram que lidar com orçamento limitado, tempo curto e a falta de alguns equipamentos que facilitariam o processo. Foi ao mesmo tempo enriquecedor e desafiador botar em prática os diversos processos de fabricação vistos ao longo do curso.

Os testes propostos foram apenas parcialmente realizados devido aos problemas em atingir e manter a velocidade proposta e não foi possível realizar todas as análises desejadas, como velocidade máxima atingida pelo equipamento, usabilidade do dispositivo e o teste sonoro não foi possível realizar devido a falta de equipamento para medir intensidade sonora.

O aprendizado em todas as fases desse desenvolvimento foi muito grande. Desde as decisões iniciais até os testes com o protótipo pronto foram vivenciados e aplicados vários conceitos vistos durante o curso. Acredita-se que, mesmo havendo mudanças e melhorias a serem feitas, dado a realidade de curto prazo e o orçamento limitado este trabalho e, principalmente o protótipo funcional fabricado, atenderam às expectativas dos alunos.

Quanto a trabalhos futuros e melhorias no projeto o primeiro passo seria a correção do sistema motor da esteira. Tal mudança implicaria no dimensionamento de um novo motor que apresente potência compatível com a redução estabelecida, possivelmente de corrente alternada com um inversor de frequência para controle de velocidade.

São recomendadas alterações referentes a segurança do atleta. A primeira seria a alteração do sistema de contenção traseiro que pode ser um agente causador de lesões em caso de queda. Uma possibilidade seria a fixação desse sistema nas barras de equilíbrio lateral de modo a deslocar automaticamente em caso de queda do ciclista. E ainda a instalação de um dispositivo de parada de emergência, possivelmente similar ao presente em esteiras ergométricas, também se faz necessária.

Considera-se relevante que o sistema tivesse um controle sem fio, no caso *wi-fi* ou *bluetooth*, para que velocidade e inclinação possam ser alteradas em um painel fixado na bicicleta ou no celular do atleta. Sugere-se também uma mudança de interface nesse sistema de controle para permitir que rotinas de treino fossem previamente programadas.

Com as melhorias citadas, seria possível oferecer um produto comercialmente pronto e competitivo. Pelo custo do protótipo e tendo como base uma rápida pesquisa de preço de esteiras ergométricas acredita-se que o produto entraria no mercado com um preço similar os equipamentos de corrida profissionais encontrados em academias

com o grande diferencial de ser utilizado também para bicicletas. Dito isso há a expectativa de uma aceitação alta pelos clientes.



## REFERÊNCIAS

- ACHOA, Yara. **Bicicleta**: planilhas de treino para iniciantes ou quem já pedala. 2017. Disponível em: <<https://boaforma.abril.com.br/fitness/bicicleta-planilhas-de-treino-para-iniciantes-ou-quem-ja-pedala/>> . Acesso em 10 jun 2018.
- ANDERSON RICARDO SCHÖRNER. Revista Bicicleta. **Seguro para bicicletas**. 2015. Disponível em: <[http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?seguro\\_para\\_bicicletas&id=4623070](http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?seguro_para_bicicletas&id=4623070)>. Acesso em: 27 out. 2017.
- ARMSTRONG, Lance; CARMICHAEL, Chris. **The Lance Armstrong Performance Program**. Pan Macmillan, 2006.
- BIERMAN, Jarno. **Bicycle Rolling Resistance**. 2018. Disponível em <<https://www.bicyclerollingresistance.com/road-bike-reviews/vittoria-corsa-control-2018>>. Acesso em 15 abr. 2018.
- BIKEMAGAZINE. **História da bicicleta**. 2011. Disponível em: <<https://www.bikemagazine.com.br/2011/03/historia-da-bicicleta/>>. Acesso em: 27 out. 2017.
- BOM DIA BRASIL. **Brasil tem, em média, 32 ciclistas internados por dia devido a acidentes**. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2017/03/brasil-tem-em-media-32-ciclistas-internados-por-dia-devido-acidentes.html>>. Acesso em: 26 out. 2017.
- BONDE/ANSA. **Italianos constroem bicicleta voadora de Da Vinci**. 2016. Disponível em: <<http://www.mobilize.org.br/noticias/10122/italianos-constroem-bicicleta-voadora-de-da-vinci.html>>. Acesso em 26 out 2017.
- BORBA, Ana Lidia. **O Efeito Zwift**. 2016. Disponível em: <<http://flowsjournal.com/JOURNAL/story/o-efeito-zwift/#&gid=1&pid=8>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- BROWN, Tim. **Design thinking**: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. Ed. Elsevier. 2010.
- CARVALHO, Mauren Lopes de; FREITAS, Carlos Machado de. **Pedalando em busca de alternativas saudáveis e sustentáveis**. Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1617-1628, junho 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81232012000600024&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232012000600024&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 28 out 2017.
- CAVILL, Nick; DAVIS, Adrian. **Cycling and Health**. Londres: Cycling England, 2007. Disponível em: <<http://www.cyclingandhealth.com/>> Acesso em 28 out 2017.
- CICLISMO. In: **DICIONÁRIO** Michaelis. Disponível em: <[www.uol.com.br/michaelis](http://www.uol.com.br/michaelis)>. Acesso em 23 out. 2017

COSTA, Eduardo. **Correr Ajuda a Pedalar Melhor**. 2017. Disponível em: <<https://cafenatrilha.com.br/correr-ajuda-a-pedalar-melhor/>> . Acesso em 10 jun 2018.

CRUZ, Willian. **12 bons motivos para ir de bicicleta**. 2006. Disponível em: <<http://vadebike.org/2006/06/por-que-ir-de-bicicleta/>>. Acesso em: 27 out. 2017.

CURITIBA. Lei N. 14594, de 16 de jan. de 2015. **Lei da Bicicleta**, Curitiba, PR, jan. 2015.

GALINDO, Rogério. Gazeta do Povo. **Curitiba teve 73 mortes em acidentes com bicicletas em cinco anos**. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/blogs/caixa-zero/mortes-bicicletas-curitiba/>>. Acesso em: 26 out. 2017.

GAZETA DO POVO. **ONU reconhece importância da bicicleta para o desenvolvimento sustentável**. 2012 Disponível em: <[http://www.gazetadopovo.com.br/blogs/ir-e-vir-de-bike/onu-reconhece-importancia-da-bicicleta-para-o-desenvolvimento-sustentavel/?doing\\_wp\\_cron=1509572424.7300710678100585937500](http://www.gazetadopovo.com.br/blogs/ir-e-vir-de-bike/onu-reconhece-importancia-da-bicicleta-para-o-desenvolvimento-sustentavel/?doing_wp_cron=1509572424.7300710678100585937500)> Acesso em: 25 out. 2017

GEOCITIES. Treinamento Desportivo. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/pedalegal/treino>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of vehicle dynamics**. 1992. Society of Automotive Engineers (SAE).

HAUGEN, C. L. **Training Machine**. 767221 Estados Unidos da América, 1904.

HIBBELER, R. C. **Estática: mecânica para engenharia**. Tradução de Daniel Vieira; Revisão de José Maria Campos dos Santos. 2011.

HISTORY. **Da tortura ao fitness: a real origem da esteira de corrida**. Disponível em: <<https://seuhistory.com/noticias/da-tortura-ao-fitness-real-origem-da-esteira-de-corrida>>. Acesso em: 13 abr. 2018

JOCAR. **Motor da máquina de vidro**. Disponível em: <<https://www.jocar.com.br/produto/vidros/motor-da-maquina-de-vidro/701108-motor-da-maquina-de-vidro-encaixe-mabushi-universal-8-dentes-cabo-energia-cinza-esq/?CL=1>>. Acesso em: 18 abr. 2018

JORGE, Raquel. **A criança e a bicicleta**. 2015. Disponível em: <<http://vadebike.org/2015/10/crianca-bicicleta-cadeirinha-cargo-holanda-fotos/>>. Acesso em: 27 out. 2017.

MAE. **Friction coefficients between different wheel/tire materials and concrete**. Disponível em: <<http://www2.mae.ufl.edu/designlab/Class%20Projects/Background%20Information/Friction%20coefficients.htm>>. Acesso em 15 abr. 2018

MARCOS A. **Caminhar na Rua ou na Esteira?**. 2014. Disponível em: <<http://malharbem.com.br/caminhar-na-rua-ou-na-esteira/>>. Acesso em 13 abr. 2018.

- MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas**. Editora Érica Ltda. 2004.
- MERIAM, James L.; KRAIGE, L. Glenn. **Mecânica Para Engenharia: Estática**. Volume 1 . Grupo Gen-LTC, 2000
- MILLEO, Amanda. Gazeta do povo. **Você tem uma esteira parada em casa? Veja como ressuscitá-la!** 2017 Disponível em: < <http://www.gazetadopovo.com.br/viver-bem/saude-e-bem-estar/o-que-fazer-com-a-esteira-alem-de-correr-e-caminhar/>> Acesso em: 13 abr. 2018
- MULLER, Luis R. **Preparação para provas de resistência**. 2011. Disponível em: <<http://marciomay.com.br/>> Acesso em: 10/06/2018
- NICOLAZZI, L. C.; ROSA, E. da; LEAL, L. da C. M. **Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. Publicação interna do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. 2001.
- NIGRO, Matteo. **Os Benefícios do Uso da Bicicleta na Cidade**. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.uesb.br/index.php/ascmpa/article/viewFile/5630/5360>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- NORTON R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 2ª Ed. Ed. Bookman. Porto Alegre, RS, 2004.
- O GLOBO. **Acervo: Primeira Olimpíada Moderna**, 1896. Disponível em: <<http://acervo.oglobo.globo.com/fotogalerias/primeira-olimpiada-moderna-1896-19666247>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., & GOTE, H. **Engineering design: A systematic approach**. London, UK: Springer Verlag. (2007).
- PELOTE. **Guia de rolos de treinamento indoor**. Disponível em: <<http://www.pelote.com.br/guia-de-rolos-de-treinamento-indoor/>>. Acesso em: 05 out. 2017.
- PEQUINI, S. M. **A evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações ergonômicas para a máquina humana**. Dissertação de mestrado (Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- POLETO. **2PIPP 60/0 2.3 AE TS** Disponível em: <<http://poleto.com.br/produtos/perfis-especiais/2PIPP60023AETS>>. Acesso em 15 abr. 2018.
- REDE GLOBO. **Brasil tem 204 milhões de habitantes**. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2015/08/brasil-tem-204-milhoes-de-habitantes.html>>. Acesso em: 26 out. 2017.
- REDE GLOBO. **Brasil tem, em média, 32 ciclistas internados por dia devido a acidentes**. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2017/03/brasil-tem-em-media-32-ciclistas-internados-por-dia-devido-acidentes.html>>. Acesso em: 26 out. 2017.

SANTOS, Virgilio F. M. dos. **O que é a Matriz de Formas de Crescer do Design Thinking?** 2017. Disponível em: <<https://www.fm2s.com.br/matriz-de-formas-de-crescer/>>. Acesso em 15 abr. 2018

SHIGLEY, Joseph Edward. **Shigley's mechanical engineering design**. Tata McGraw-Hill Education, 2011.

SOARES, A.; GUTH, D.; e AMARAL, J. **A bicicleta no Brasil**. Brasília: Bicicleta para todos, 2015.

SOUZA, Beatriz. **O perfil de quem faz esportes no Brasil – e o do sedentário**. 2015. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/o-perfil-de-quem-faz-esportes-no-brasil-e-o-do-sedentario/>>. Acesso em: 26 out. 2017.

STOETERAU, Rodrigo Lima; LEAL, L. C. Apostila de tribologia. **Universidade Federal de Santa Catarina**, v. 1, 2004

**The history of the Tour de France**. 2017. Disponível em: <<http://www.letour.fr/en/history>>. Acesso em: 15 out. 2017

## APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA PESQUISA DE NECESSIDADE E PERFIL DOS CLIENTES

### DISPOSITIVO DE TREINAMENTO DE CICLISMO INDOOR

Formulário de coleta e informações para um TCC voltado a analisar as necessidades de um possível cliente para o desenvolvimento de um rolo de treinamento indoor para bicicletas.

#### 1. Sexo.

- Masculino
- Feminino

#### 2. Idade.

- Menos de 15
- 16-25
- 26-35
- 36-45
- 46-55
- 56 ou mais

#### 3. Que tipo de bicicleta você utiliza?

- Mountain bike
- Speed
- Híbrida
- Pista
- Outra: \_\_\_\_\_

#### 4. Qual o principal motivo para você pedalar?

- Locomoção
- Esporte (competitivo)
- Lazer
- Saúde
- Encontrar os amigos

Outro: \_\_\_\_\_

5. Com que frequência você pedala?

- Menos de uma vez por semana
- 1-2 vezes por semana
- 3-5 vezes por semana
- 6-7 vezes por semana

6. Em qual local você pedala com mais frequência?

- Parque
- Estrada
- Rua
- Ciclovia
- Trilha
- Casa
- Outro: \_\_\_\_\_

7. Assinale caso algum dos motivos abaixo já tenha te impedido de pedalar.

- Medo de assaltos
- Condições climáticas desfavoráveis
- Falta de um local adequado
- Risco de acidente envolvendo outros veículos

8. Você trocaria sua rotina de pedal por um equipamento de treino indoor?

- Sim
- Não
- Talvez

9. Destes fatores escolha os 3 que seriam mais importantes para você em um equipamento de treino indoor.

- Simulação mais realista das condições de pista (estrada)
- Melhora no equilíbrio
- Gasto calórico
- Produto compacto

- Preço acessível
- Interatividade com equipamentos eletrônicos
- Produto silencioso
- Durabilidade
- Compatibilidade com diversos tipos de bicicletas
- Adaptação simples da bicicleta ao equipamento
- Ter acesso a informações sobre o treino como potência necessária e velocidade

## APÊNDICE B – ANÁLISE DAS FORÇAS DO SISTEMA

A partir do diagrama de corpo livre abaixo foi possível identificar as forças e suas reações atuantes no sistema, aplicado as condições de equilíbrio, conforme visto na sessão 2.3.1.

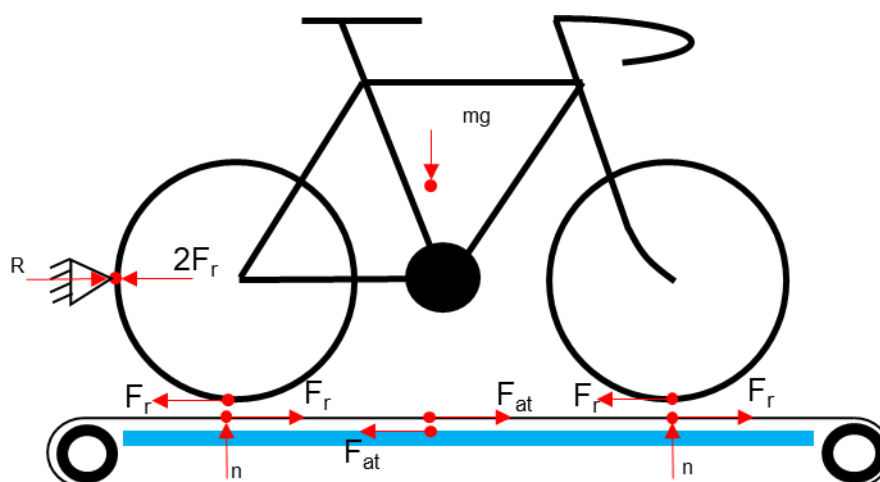


Figura 24 - Diagrama de corpo livre da bicicleta sobre a esteira

A Figura 24 demonstra a bicicleta apoiada na base superior da esteira onde os pneus traseiros e dianteiros estão em contato com a lona da esteira, que por sua vez entra em contato com a plataforma de apoio.

Para os cálculos a lona da esteira gira com uma velocidade  $\omega$  constante que é responsável por gerar a força de atrito  $F_{at}$  entre a plataforma e a lona além de gerar a força de resistência a rolamento  $F_r$  em ambos os pneus.

Considerando o raio da roda muito maior que o raio do rolamento de roda, optou-se por desprezar a força de resistência ao rolamento. Com isso o equilíbrio das forças na direção x está apresentado na equação (15).

$$F_{esterira} = F_{at} + F_r \quad (15)$$

Observe que a força que a esteira tem que vencer é apenas a força de atrito da lona e a força de rolamento do pneu. Nessa configuração, foi considerado que o ciclista permanece montado na bicicleta sem pedalar. Ao iniciar a ação de pedalar, o movimento transmitido para as rodas auxilia no movimento da lona da esteira, auxiliando o motor a vencer a força de atrito e a força de rolamento.



Para o cálculo da força de atrito entre a lona e a plataforma foi utilizado a equação (5) apresentado na sessão 2.4.2. No sistema em questão a superfície de contato sujeita ao atrito é entre o interior da lona e a plataforma. O coeficiente de atrito entre o revestimento de PVC e a chapa de laminada de MDF não foi encontrado na literatura. Segundo (STORETERAU, 2004) não é correto estabelecer valores específicos de coeficiente de atrito para os plásticos, pois os mesmos são visco elásticos e tem coeficientes de atrito variáveis baseados na velocidade de escorregamento e na rugosidade superficial.

Após ampla pesquisa foram encontrados dados estabelecendo o coeficiente de atrito entre plástico duro e madeira seca no valor de 0,4 (MAE). Entretanto para o caso em questão deve-se fazer algumas considerações:

- A rugosidade da chapa laminada é consideravelmente menor do que a encontrada em toras de madeira convencionais;
- No momento de produção do material da lona para a esteira existe o cuidado para aplicar o filme de PVC de maneira uniforme, ou seja, a rugosidade é assumida menor que na maioria dos plásticos;
- A plataforma será lubrificada utilizando silicone de modo a minimizar o atrito.

Dito isso o coeficiente de atrito  $\mu$  entre a lona e a plataforma foi estimado em 0,05.

Note que a normal possui o mesmo valor em módulo do peso do ciclista com o equipamento. Para os cálculos foi considerado um ciclista de 100kg com 20 kg de equipamento e aceleração da gravidade 9,81, sendo assim o valor da força de atrito é de  $F_{at} = 61,31$  N.

Conforme apresentado na sessão 2.4.3 a força de rolagem pode ser determinada da mesma maneira que a força de atrito.

O coeficiente de resistência a rolagem para o pneu de bicicleta foi considerado 0,005. (BIERMAN, 2018). Logo, a força de resistência a rolagem é de  $F_r = 6,31$  N

Portanto a força necessária que a esteira deve realizar é de  $F_{esteira} = 67,44$  N. Sendo assim para manter o equilíbrio

A força  $R$  representada na roda traseira pode ser interpretado de duas maneiras. Força necessária gerada pela ação do ciclista para manter o sistema em velocidade constante, ou a força de reação aplicada pelo sistema de contenção do ciclista. Conforme pode ser visto diagrama de forças,  $R = 2F_r = 12,62 \text{ N}$

Para a análise do plano inclinado foi necessário um novo diagrama de corpo livre apresentado na Figura 25.

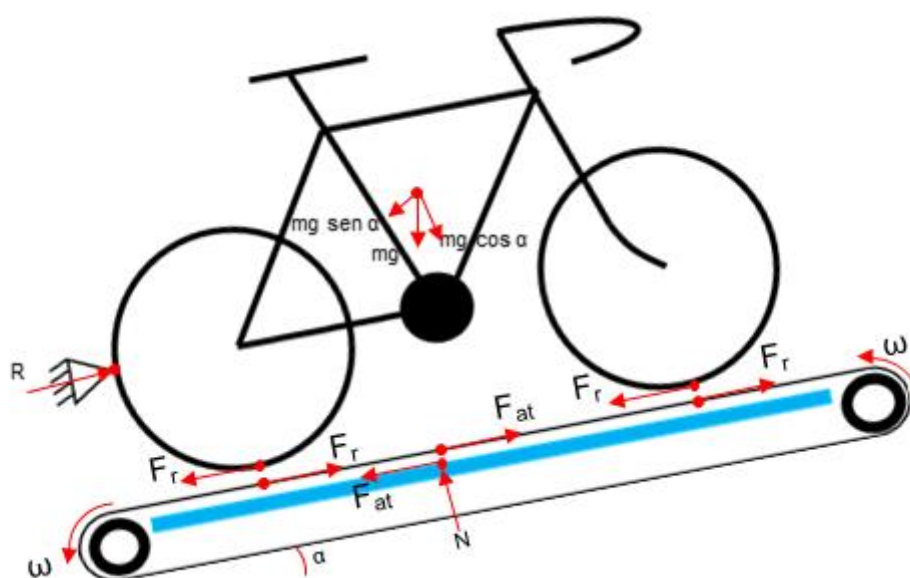


Figura 25 - Diagrama de corpo livre da bicicleta sobre a esteira inclinada

Note que nessa situação a normal utilizada para calcular a força de atrito e de rolagem é dada pela equação (16)

$$N = mg \cos \alpha \quad (16)$$

A inclinação  $\alpha$  foi considerada  $11,26^\circ$  isso é equivalente a aproximadamente 20% de inclinação, essa seria a maior inclinação possível para sistema. Portanto as novas forças de atrito e de resistência a rolamento para essa configuração são respectivamente  $F_{at} = 60,13 \text{ N}$  e  $F_r = 6,01 \text{ N}$ . Logo a força atuante na lona da esteira é de  $F_{esteira} = 66,14 \text{ N}$ .

A outra componente da força peso dada pela equação (17). Logo a reação  $R$  deve suportar a força de resistência a rolamento e a componente da força peso para

manter o sistema com velocidade constante. Sendo assim  $w_x = 239,44 \text{ N}$  e  $R = 2F_r + w_x = 251,47 \text{ N}$ .

$$w_x = mg \operatorname{sen} \alpha \quad (17)$$

## APÊNDICE C – DIMENSIONAMENTO DA CORREIA DA REDUÇÃO

Considerações:

Rotação de 500 rpm, aproximadamente 5 km/h – Condição mais crítica para a correia, devido ao torque ser mais alto para rotações baixas.

$$d = 100\text{mm}$$

$$D = 130\text{mm}$$

$f_s = 1,2$  – eixo de transmissão de serviço intermediário

Para a seleção da correia foi utilizada a metodologia proposta por Melconian. Tal metodologia consiste em uma série de equações e tabelas que servem de base para encontrar a correia que melhor atende a necessidade. O primeiro passo consiste em determinar a potência projetada conforme a equação (18).

$$P_p = P_{motor} \cdot f_s \quad (18)$$

Onde:

$P_p$  – Potência projetada [Cv];

$P_{motor}$  – Potência do motor [Cv];

$f_s$  – Fator de serviço [adimensional].

$$P_p = 2,52 Cv$$

Com base na potência projetada encontrada foi utilizado o gráfico de seleção de perfil apresentado no anexo A para escolha do perfil. Nesse caso o perfil selecionado foi o A.

Existe um diâmetro mínimo de polia adotado pelo autor para esse tipo de correia (96 mm). A polia previamente dimensionada atende critério de diâmetro mínimo.

Devido a limitações de espaço no projeto, a distância entre os eixos foi definida como 150 mm. Com base neste dado pode-se calcular o tamanho da correia pela equação (19):

$$l = 2 \cdot C + 1,57 \cdot (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 \cdot C} \quad (19)$$

O comprimento encontrado ( $l$ ) foi de 662,6 mm. O valor de comprimento mais próximo disponibilizado comercialmente para o perfil de correia utilizado ( $l_c$ ) é de 695 mm, cuja referência é A-26. Como o comprimento é menor do que o previamente calculado é necessário calcular o comprimento de ajuste de correia ( $l_a$ ), dado pela equação (20) e a partir da relação entre  $(D - d)/l_a$  encontrar na tabela de fator de correção de distância entre centros apresentada no Anexo A o valor do fator de correção ( $h$ ).

$$l_a = l_c - 1,57 \cdot (D + d) \quad (20)$$

Os valores encontrados foram  $l_a = 333,9$  e  $h = 0,09$ . Com isso foi calculada a nova distância entre eixos ( $C$ ) dada pela equação (21):

$$C = \frac{l_a - h \cdot (D - d)}{2} \quad (21)$$

O valor encontrado ( $C$ ) foi de 165,6 mm.

O próximo passo foi encontrar o a capacidade de transmissão por correia ( $P_{Pc}$ ) dada pela equação (22):

$$P_{Pc} = (P_b + P_a) f_{cc} f_{cac} \quad (22)$$

Os valores de  $P_b$  e  $P_a$ , potência básica e potência adicional respectivamente, são encontrados na tabela disponibilizada no anexo A utilizando como base a rotação e o diâmetro mínimo. Logo  $P_a$  é 0,075 e  $P_b$  é 1,09, ambos em Cv.

Já o valor de  $f_{cac}$  é encontrado na tabela de fator de correção de arco de contato disponibilizada no anexo A a partir da relação  $(D - d)/C$ . Sendo assim  $f_{cac}$  é 0,97.

Finalmente  $f_{cc}$  é encontrado na tabela de fator de correção de comprimento disponibilizada no anexo A a partir da referência da correia. O valor é encontrado foi  $f_{cc} = 0,75$ .

Substituindo os valores na equação (22) tem-se  $P_{Pc} = 0,85$  Cv.

A capacidade de transmissão por correia é utilizada para calcular o número de correias necessário para atender os requisitos de projeto conforme a equação (23):

$$N_c = \frac{P_p}{P_{Pc}} \quad (23)$$

O valor encontrado foi 2,9, ou seja, seriam necessárias 3 correias. Por simplicidade de projeto e por ser a opção adotada em equipamentos comerciais de

mesma finalidade, optou-se por utilizar uma correia micro-V com 3 frisos. Comercialmente esse perfil de correia é fornecido com o mínimo de 4 frisos. Portanto a correia selecionada é dada pela classificação 4PJ 660, sendo de comprimento 660 mm. Para esse valor de comprimento foi necessário realizar novamente, conforme a metodologia já apresentada, o ajuste da distância entre centros. O valor encontrado foi de 148,1 mm.

## APÊNDICE D – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO

O diagrama apresentado na Figura 26 ilustra a carga e as reações agindo no sistema de elevação. Esses dados foram utilizados para o cálculo do torque necessário para inclinar a plataforma superior e simular subidas.

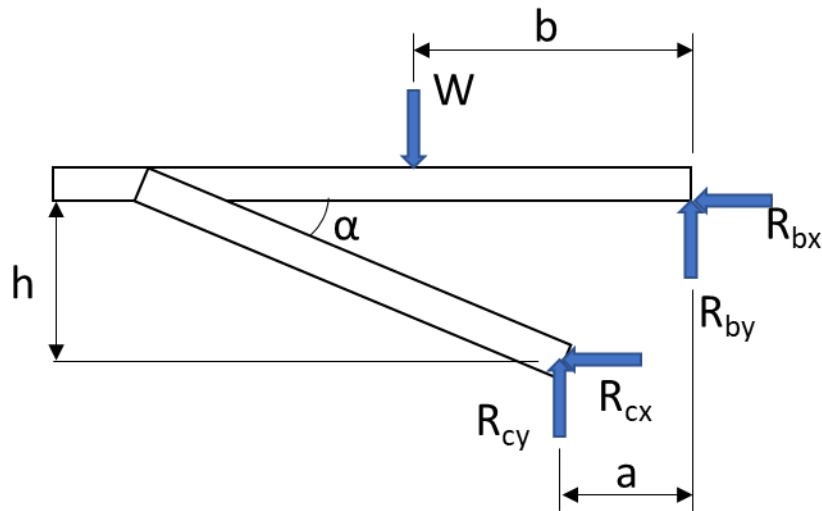


Figura 26 - Diagrama de forças agindo no sistema de elevação

Para tal cálculo se fez necessário encontrar o valor da reação  $R_{cx}$ . Foram utilizadas condições de equilíbrio apresentadas nas equações (2), (3) e (4) da seção 2.4.1. Aplicando as condições de equilíbrio na situação apresentada tem-se as equações (24), (25) e (26):

$$R_{bx} + R_{cx} = 0 \quad (24)$$

$$W - R_{cy} - R_{by} = 0 \quad (25)$$

$$Wb - aR_{cy} - hR_{cx} = 0 \quad (26)$$

A relação entre  $R_{cx}$  e  $R_{cy}$  é dada pela equação (27):

$$\tan \alpha = \frac{R_{cy}}{R_{cx}} \quad (27)$$

Resolvendo um sistema com as equações (24), (25), (26) e (27) temos que  $R_{cx}$  vale 2132 N.

O parafuso de potência deve suportar essa carga aplicada axialmente. Considerando o menor parafuso de potência disponível comercialmente para rosca do tipo Acme (1/4") tem-se que a área na qual a tensão está aplicada é de 20,64 mm<sup>2</sup>. Segundo Norton a resistência mínima de prova para um parafuso é levemente inferior a tensão de escoamento do material. Considerando a menor classe de resistência para parafusos especificada pela SAE tem-se que a resistência mínima de prova é de aproximadamente 227 MPa. Com esses dados pode-se estimar que a carga máxima de compressão ou tração suportada pelo parafuso é de aproximadamente 4600 N. Essa carga é consideravelmente superior à que o sistema está sujeito, portanto o menor parafuso de potência comercial fabricado com material da menor classe de potência atende os requisitos de projeto.

Para o cálculo do torque de subida e descida foram feitas as seguintes considerações:

Parafuso de 1/4"

Rosca do tipo Acme

$\mu$  – Coeficiente de atrito do parafuso – 0,15

$\mu_c$  – Coeficiente de atrito do rolamento – 0,02

$\alpha$  – ângulo da rosca Acme – 14,5°

L – Passo da rosca – 1/16"

$d_p$  – diâmetro primitivo – 0,219"

$d_p$  – diâmetro do rolamento – 5/8"

P – Carga aplicada ( $R_{cx}$ )

De acordo com Norton o torque necessário para a subida e descida é diferente. O de subida é dado pela equação (28) e o de descida é dado pela equação (29).

$$T_U = \frac{Pd_p(\mu\pi d_p + L\cos\alpha)}{2(\pi d_p \cos\alpha - \mu L)} + \mu_c P \frac{d_c}{2} \quad (28)$$

$$T_D = \frac{Pd_p(\mu\pi d_p - L\cos\alpha)}{2(\pi d_p \cos\alpha + \mu L)} + \mu_c P \frac{d_c}{2} \quad (29)$$



Dito isso os torques de subida e descida valem 3,54 e 1,32 Nm, respectivamente. Para o teste de auto travamento a desigualdade apresentada na equação (30) deve ser atendida.

$$\mu \geq \frac{L \cos \alpha}{\pi d_p} \quad (30)$$

Comprova-se que essa condição é atendida pois o termo do lado direito assume o valor de 0,08.

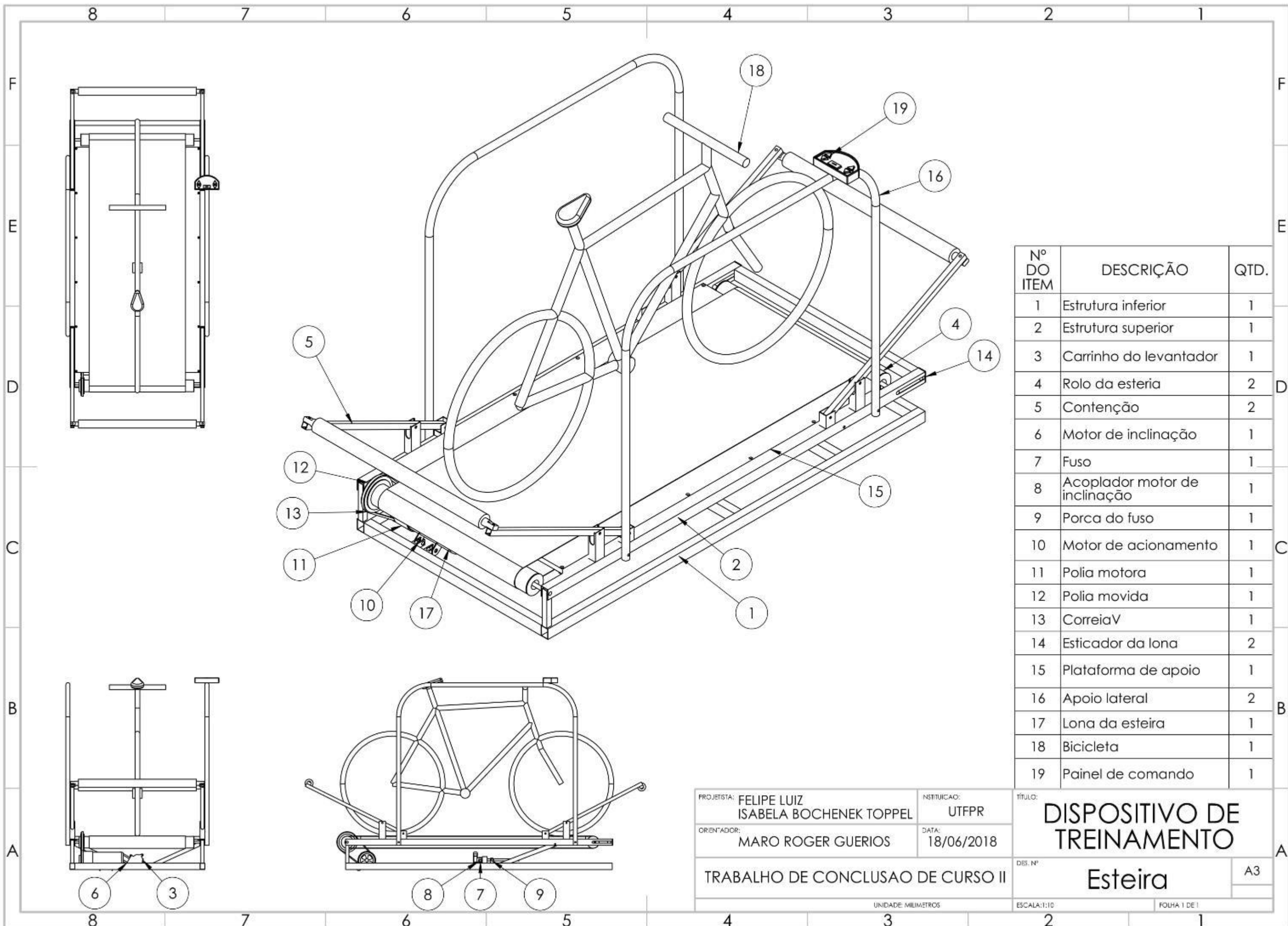
## APÊNDICE E – PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO

```
int t1=0; int t2=0; int s1; int s2;
```

```
void setup() {  
  t1=millis();  
  t2=millis();  
  pinMode(22,INPUT);  
  pinMode(24,INPUT);  
  pinMode(26,OUTPUT);  
  pinMode(28,OUTPUT);  
  Serial.begin(9600);}
```

```
void loop () {  
  s1=digitalRead(22);  
  s2=digitalRead(24);  
  
  if(s1==HIGH) {  
    t1=millis ();  
    if((t1-t2)>=3000) {  
      Serial.println("5s UP V");  
      digitalWrite(26,HIGH);  
      digitalWrite(28,LOW);  
      t2=millis ();}}  
  else {  
    if(s2==HIGH) {  
      t1=millis ();  
      if((t1-t2)>=3000) {  
        Serial.println("5s DOWN V");  
        digitalWrite(26,LOW);  
        digitalWrite(28,HIGH);  
        t2=millis ();}}  
  else {  
    t1=millis ();  
    t2=millis ();  
    digitalWrite(26,LOW);  
    digitalWrite(28,LOW);}}}
```

## APÊNDICE F – DESENHOS DETALHADOS



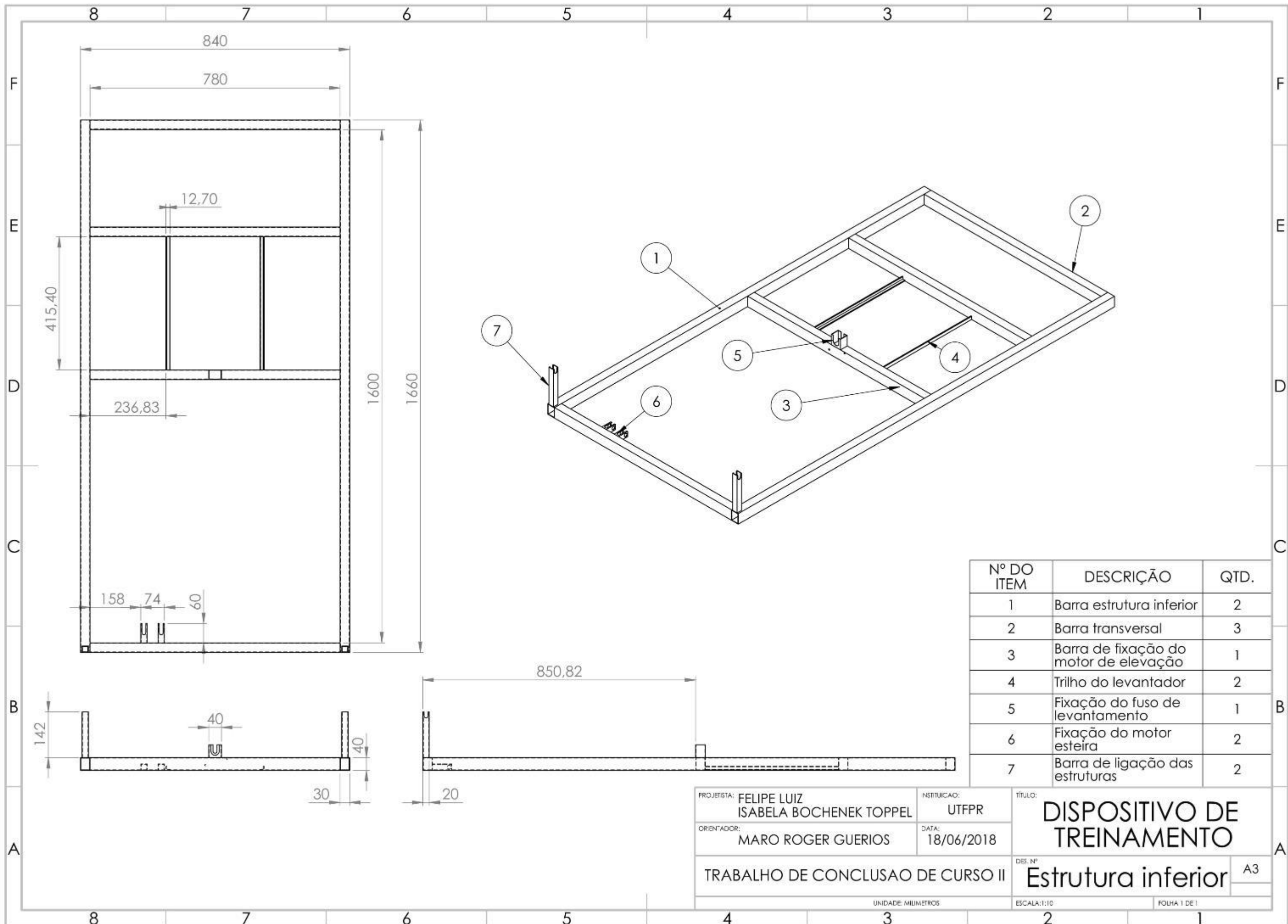
Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Estrutura inferior	1
2	Estrutura superior	1
3	Carrinho do levantador	1
4	Rolo da esteira	2
5	Contenção	2
6	Motor de inclinação	1
7	Fuso	1
8	Acoplador motor de inclinação	1
9	Porca do fuso	1
10	Motor de acionamento	1
11	Polia motora	1
12	Polia movida	1
13	CorreiaV	1
14	Esticador da lona	2
15	Plataforma de apoio	1
16	Apoio lateral	2
17	Lona da esteira	1
18	Bicicleta	1
19	Painel de comando	1

PROJETISTA: FELIPE LUIZ ISABELA BOCHENEK TOPPEL  
 INSTITUIÇÃO: UTFPR  
 ORIENTADOR: MARO ROGER GUERIOS  
 DATA: 18/06/2018

TÍTULO: **DISPOSITIVO DE TREINAMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DES. Nº: **Esteira** A3



Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Barra estrutura inferior	2
2	Barra transversal	3
3	Barra de fixação do motor de elevação	1
4	Trilho do levantador	2
5	Fixação do fuso de levantamento	1
6	Fixação do motor esteira	2
7	Barra de ligação das estruturas	2

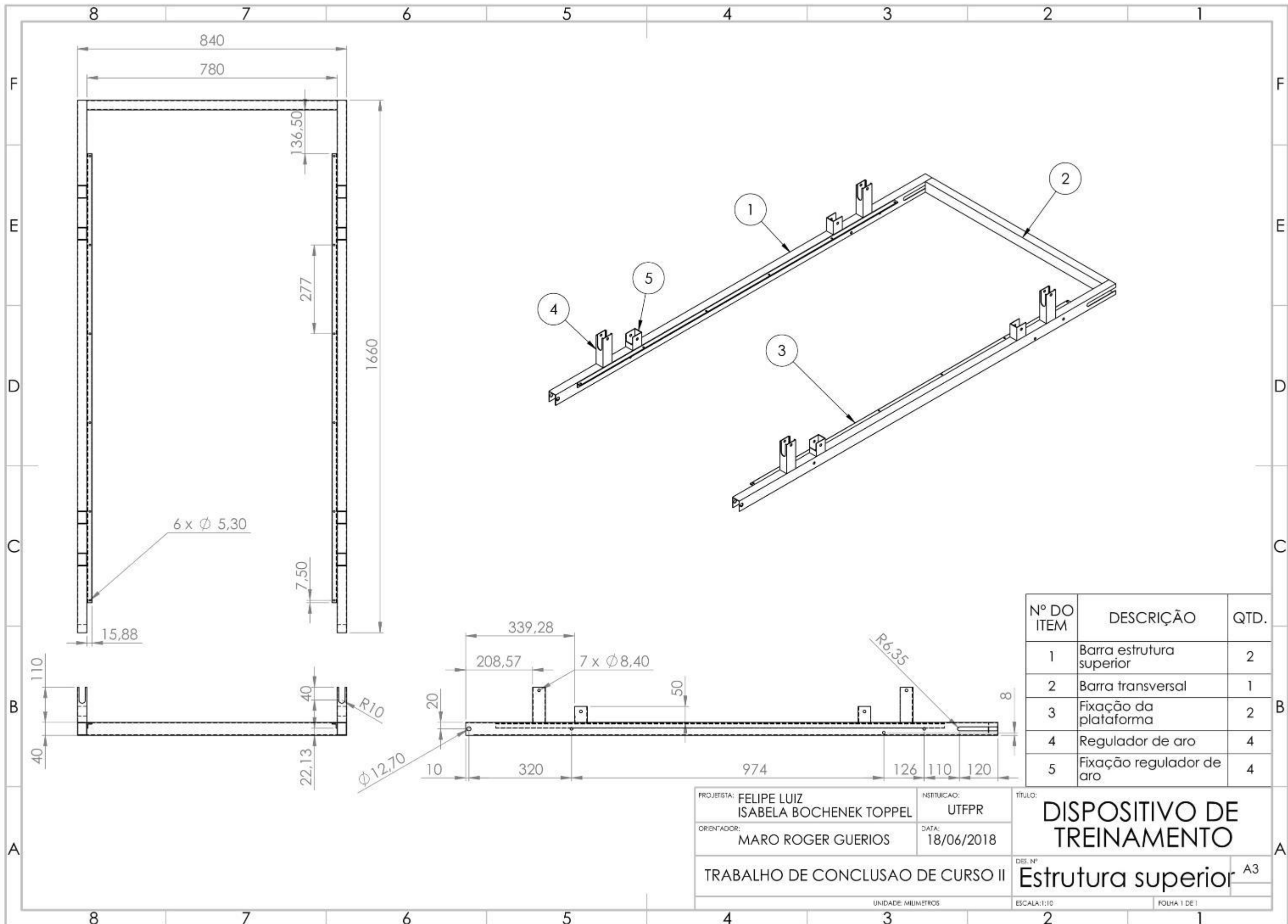
PROJETISTA: FELIPE LUIZ ISABELA BOCHENEK TOPPEL  
 ORIENTADOR: MARO ROGER GUERIOS

INSTITUICAO: UTFPR  
 DATA: 18/06/2018

TITULO: **DISPOSITIVO DE TREINAMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO II

DES. Nº **Estrutura inferior** A3



PROJETA: FELIPE LUIZ  
ISABELA BOCHENEK TOPPEL

INSTITUICAO:  
UTFPR

TITULO:  
**DISPOSITIVO DE  
TREINAMENTO**

ORIENTADOR:  
MARO ROGER GUERIOS

DATA:  
18/06/2018

TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO II

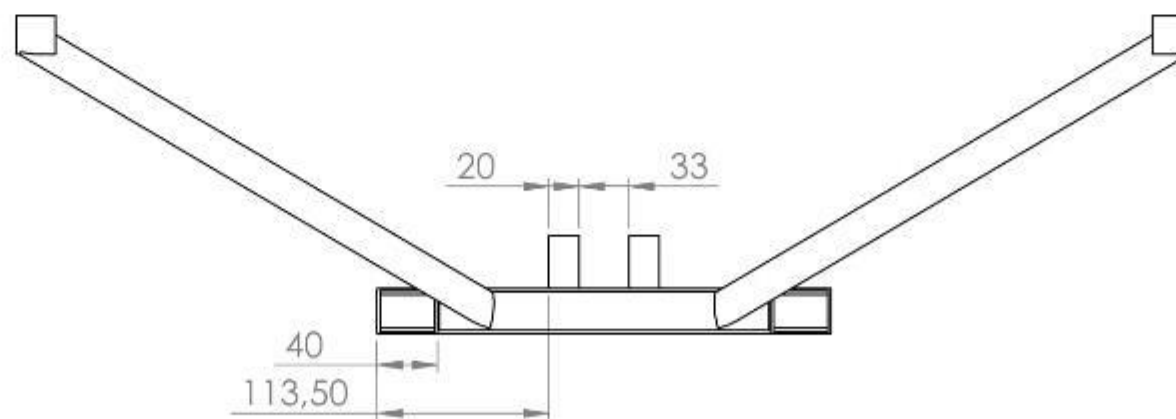
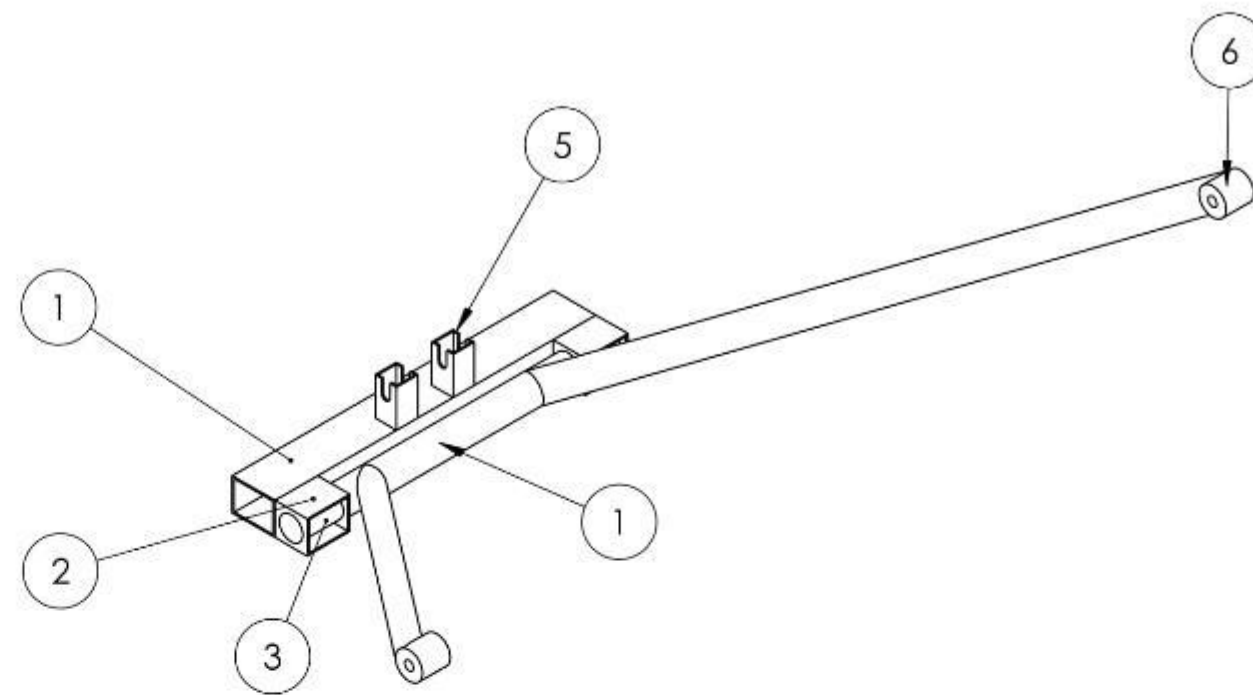
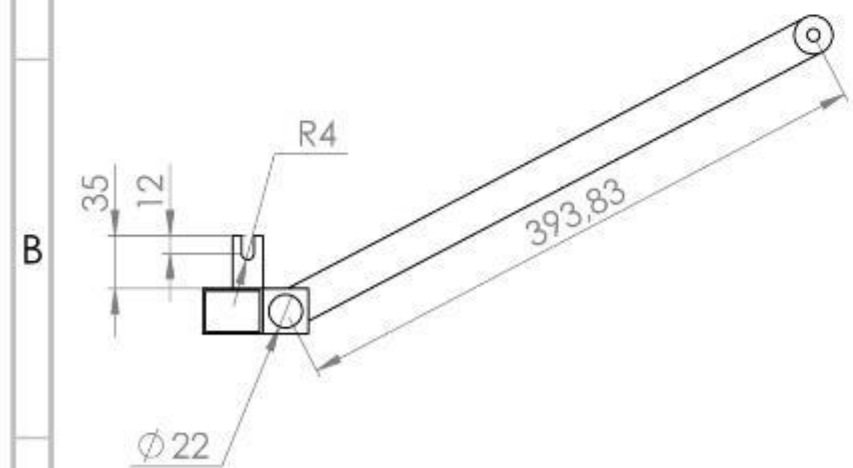
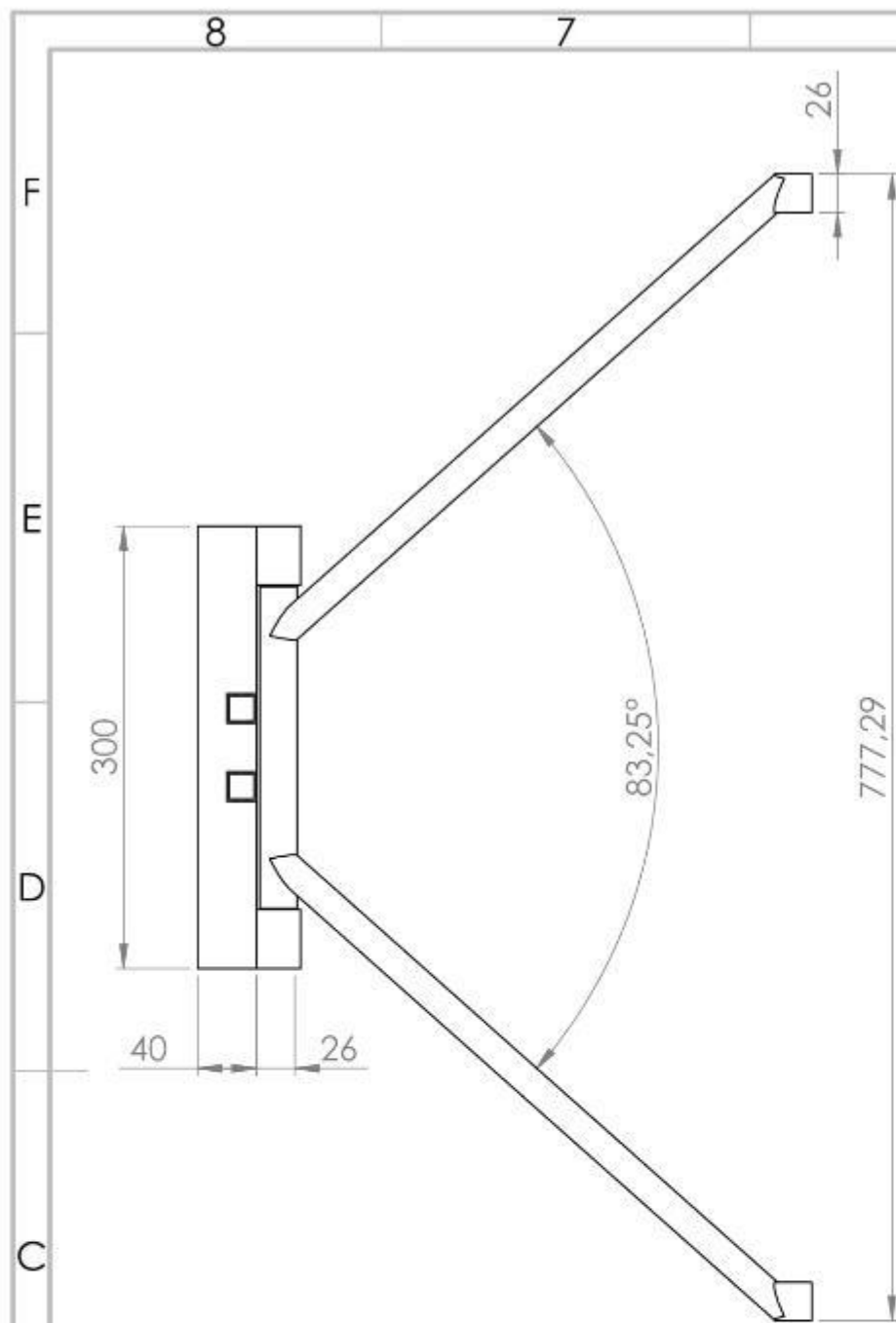
DES. Nº  
**Estrutura superior**

A3

UNIDADE: MILIMETROS

ESCALA: 1:10

FOLHA 1 DE 1



Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Barra carrinho do levantador	1
2	Suporte mancal carrinho do levantador	2
3	Mancal interno do levantador	1
4	Mancal externo do levantador	1
5	Suporte da porca do levantador	2
6	Braço do levantador	2

PROJETISTA: FELIPE LUIZ  
ISABELA BOCHENEK TOPPEL  
ORIENTADOR: MARO ROGER GUERIOS

INSTITUICAO: UTFPR  
DATA: 18/06/2018

TITULO: **DISPOSITIVO DE TREINAMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO II

DES. Nº Carrinho do levantador

A3

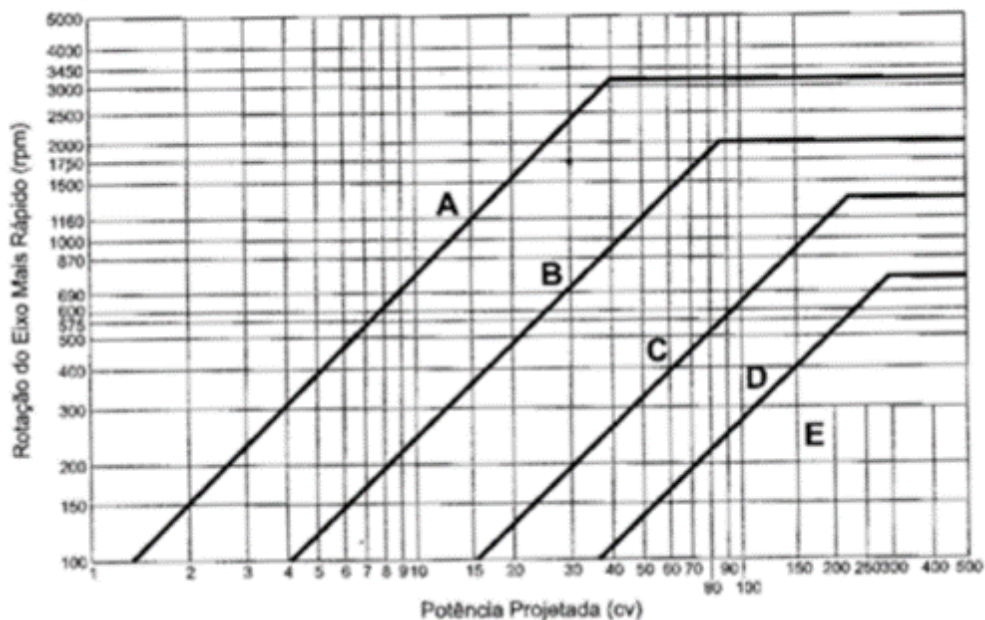
UNIDADE: MILIMETROS

ESCALA: 1:5

FOLHA 1 DE 1

## ANEXO A – MATERIAL DE APOIO RELATIVO AO DIMENSIONAMENTO DA CORREIA

Seleção de Perfil de Correias Hi-Power II



Fator de correção da distância entre centros (h)

$\frac{D-d}{l_a}$	Fator h	$\frac{D-d}{l_a}$	Fator h	$\frac{D-d}{l_a}$	Fator h	$\frac{D-d}{l_a}$	Fator h
0	0	0,16	0,08	0,3	0,16	0,43	0,24
0,02	0,01	0,18	0,09	0,32	0,17	0,44	0,25
0,04	0,02	0,2	0,1	0,34	0,18	0,46	0,26
0,06	0,03	0,21	0,11	0,35	0,19	0,47	0,27
0,08	0,04	0,23	0,12	0,37	0,2	0,48	0,28
0,1	0,05	0,25	0,13	0,39	0,21	0,5	0,29
0,12	0,06	0,27	0,14	0,4	0,22	0,51	0,3
0,14	0,07	0,29	0,15	0,41	0,23		



## Classificação de CV por correia (mm) para correias Hi-Power e PowerBand Hi-Power II perfil "A"

RPM do eixo mais rápido	Potência Básica																	
	CV básico por correia para diâmetro Pitch das polias menores, em milímetros																	
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	140	150	165	180	190
950	0,55	0,74	0,92	1,11	1,29	1,47	1,65	1,83	2,01	2,19	2,37	2,54	2,71	3,23	3,57	4,07	4,56	4,89
1160	0,61	0,84	1,06	1,28	1,50	1,71	1,93	2,14	2,35	2,56	2,77	2,98	3,19	3,79	4,19	4,78	5,36	5,74
1425	0,67	0,94	1,21	1,47	1,73	1,99	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,49	3,74	4,45	4,92	5,61	6,28	6,71
1750	0,73	1,05	1,37	1,68	1,99	2,30	2,60	2,90	3,20	3,49	3,78	4,07	4,35	5,19	5,73	6,51	7,27	7,76
2850	0,77	1,25	1,71	2,17	2,62	3,07	3,50	3,93	4,34	4,75	5,15	5,54	5,91	6,99	7,65	8,56	9,36	9,83
3450	0,70	1,25	1,79	2,31	2,82	3,31	3,80	4,26	4,72	5,16	5,58	5,99	6,38	7,46	8,09	8,89		
200	0,19	0,24	0,29	0,33	0,38	0,42	0,47	0,51	0,55	0,60	0,64	0,68	0,73	0,86	0,94	1,07	1,19	1,28
400	0,32	0,41	0,49	0,58	0,66	0,74	0,83	0,91	0,99	1,08	1,16	1,24	1,32	1,56	1,72	1,96	2,19	2,35
600	0,42	0,54	0,67	0,79	0,91	1,03	1,15	1,27	1,39	1,51	1,63	1,74	1,86	2,20	2,43	2,77	3,11	3,33
800	0,50	0,66	0,82	0,98	1,14	1,29	1,45	1,60	1,75	1,91	2,06	2,21	2,36	2,80	3,10	3,53	3,96	4,24
1000	0,57	0,76	0,96	1,12	1,34	1,53	1,72	1,91	2,10	2,28	2,46	2,65	2,83	3,37	3,72	4,24	4,76	5,10
1200	0,62	0,85	1,08	1,31	1,53	1,76	1,98	2,20	2,42	2,63	2,85	3,06	3,27	3,90	4,31	4,91	5,50	5,89
1400	0,67	0,93	1,19	1,45	1,71	1,96	2,22	2,47	2,72	2,96	3,21	3,45	2,69	4,39	4,86	5,53	6,19	6,62
1600	0,71	1,00	1,30	1,59	1,87	2,16	2,44	2,71	3,00	3,27	3,54	3,81	4,08	4,86	5,37	6,11	6,83	7,29
1800	0,74	1,06	1,39	1,71	2,03	2,34	2,65	2,96	3,26	3,56	3,86	4,15	4,44	5,29	5,84	6,64	7,41	7,90
2000	0,76	1,12	1,47	1,82	2,16	2,51	2,64	3,18	3,51	3,83	4,15	4,47	4,78	5,69	6,28	7,12	7,93	8,44
2200	0,77	1,16	1,54	1,92	2,29	2,66	3,02	3,38	3,73	4,08	4,42	4,76	5,09	6,06	6,67	7,55	8,38	8,90
2400	0,78	1,20	1,61	2,01	2,41	2,80	3,19	3,57	3,94	4,31	4,67	5,03	5,38	6,39	7,03	7,93	8,77	9,28
2600	0,78	1,22	1,66	2,09	2,51	2,93	3,34	3,74	4,13	4,52	4,90	5,27	5,63	6,68	7,33	8,25	9,08	9,58
2800	0,77	1,24	1,70	2,16	2,60	3,04	3,47	3,89	4,30	4,71	5,10	5,49	5,86	6,93	7,59	8,51	9,32	9,80
3000	0,76	1,25	1,74	2,22	2,68	3,14	3,59	4,03	4,45	4,87	5,26	5,67	6,06	7,14	7,81	8,70	9,47	9,92
3200	0,74	1,26	1,77	2,26	2,75	3,23	3,69	4,14	4,59	5,01	5,43	5,83	6,22	7,31	7,97	8,83	9,55	9,94
3400	0,71	1,25	1,78	2,30	2,81	3,30	3,78	4,24	4,69	5,13	5,56	5,96	6,36	7,44	8,07	8,89		
3600	0,68	1,24	1,79	2,33	2,85	3,35	3,85	4,32	4,78	5,23	5,65	6,06	6,45	7,51	8,12	8,87		
3800	0,63	1,22	1,79	2,34	2,88	3,40	3,90	4,38	4,85	5,30	5,72	6,13	6,52	7,54	8,11			
4000	0,58	1,19	1,77	2,34	2,89	3,42	3,93	4,42	4,89	5,34	5,76	6,16	6,54	7,52	8,04			
4200	0,53	1,15	1,75	2,33	2,89	3,43	3,95	4,44	4,91	5,35	5,77	6,16	6,53	7,45				
4400	0,47	1,10	1,72	2,31	2,88	3,43	3,94	4,44	4,90	5,34	5,75	6,13	6,47					
4600	0,39	1,05	1,67	2,28	2,85	3,40	3,92	4,41	4,87	5,30	5,69	6,05	6,38					
4800	0,32	0,98	1,62	2,23	2,81	3,36	3,88	4,36	4,81	5,23	5,60	5,94						
5000	0,23	0,91	1,55	2,17	2,75	3,30	3,81	4,29	4,73	5,12	5,48							
5200	0,14	0,82	1,48	2,10	2,68	3,22	3,73	4,19	4,61	4,99								
5400	0,03	0,73	1,39	2,01	2,59	3,13	3,62	4,07	4,47	4,82								
5600		0,63	1,29	1,91	2,48	3,01	3,49	3,92	4,30									
6000		0,39	1,05	1,66	2,22	2,72	3,16											
6200		0,25	0,91	1,51	2,06	2,54	2,96											
6400		0,11	0,76	1,35	1,88	2,34												
6600			0,59	1,17	1,68													
6800			0,41	0,98	1,46													

Para outras combinações de RPM-diâmetro não figuradas nesta tabela consulte a Gates.

Potência adicional										
RPM do eixo mais rápido	CV adicional por correia, para relação de velocidade									
	1,00 a 1,01	1,02 a 1,03	1,04 a 1,05	1,06 a 1,08	1,09 a 1,12	1,13 a 1,16	1,17 a 1,22	1,23 a 1,30	1,31 a 1,48	1,49 em diante
950	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
1160	0,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19	0,22
1425	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
1750	0,00	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,33
2850	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,29	0,35	0,41	0,47	0,53
3450	0,00	0,07	0,14	0,21	0,29	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64
200	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
400	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07
600	0,00	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11
800	0,00	0,02	0,21	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15
1000	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19
1200	0,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22
1400	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26
1600	0,00	0,03	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,26	0,30
1800	0,00	0,04	0,07	0,11	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	0,34
2000	0,00	0,04	0,08	0,15	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37
2200	0,00	0,05	0,09	0,14	0,18	0,23	0,27	0,32	0,36	0,41
2400	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
2600	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,38	0,43	0,48
2800	0,00	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29	0,35	0,41	0,46	0,52
3000	0,00	0,06	0,12	0,19	0,25	0,31	0,37	0,43	0,50	0,56
3200	0,00	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,40	0,46	0,53	0,60
3400	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63
3600	0,00	0,07	0,15	0,22	0,30	0,37	0,46	0,52	0,60	0,67
3800	0,00	0,08	0,16	0,24	0,31	0,39	0,47	0,55	0,63	0,71
4000	0,00	0,08	0,17	0,25	0,33	0,41	0,50	0,58	0,66	0,74
4200	0,00	0,09	0,17	0,26	0,35	0,43	0,52	0,61	0,69	0,78
4400	0,00	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,55	0,64	0,73	0,82
4600	0,00	0,10	0,19	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86
4800	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,69	0,79	0,89
5000	0,00	0,10	0,21	0,31	0,41	0,52	0,62	0,72	0,83	0,93
5200	0,00	0,11	0,21	0,32	0,43	0,54	0,65	0,75	0,86	0,97
5400	0,00	0,11	0,22	0,33	0,45	0,56	0,67	0,78	0,89	1,01
5600	0,00	0,12	0,23	0,35	0,45	0,58	0,69	0,81	0,93	1,04
5800	0,00	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,06
6000	0,00	0,12	0,25	0,37	0,50	0,62	0,74	0,87	0,99	1,12
6200	0,00	0,13	0,26	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,03	1,15
6400	0,00	0,13	0,26	0,40	0,53	0,66	0,79	0,93	1,06	1,19
6600	0,00	0,14	0,27	0,41	0,55	0,68	0,81	0,96	1,09	1,23
6800	0,00	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98	1,13	1,27

## Fator de correção de comprimento de correias Hi-Power II

Perfil A		Perfil B		Perfil C		Perfil D		Perfil E	
Ref. Hi-Power II	Fator de Correção	Ref. Hi-Power II	Fator de Correção	Ref. Hi-Power II	Fator de Correção	Ref. Hi-Power II	Fator de Correção	Ref. Hi-Power II	Fator de Correção
A-26	0,75	B-35	0,77	C-51	0,77	D-120	0,86	E-180	0,92
A-27	0,76	B-37	0,78	C-55	0,78	D-128	0,88	E-195	0,93
A-31	0,79	B-38	0,79	C-60	0,81	D-144	0,90	E-210	0,95
A-32	0,80	B-39	0,80	C-68	0,83	D-158	0,92	E-240	0,97
A-33	0,81	B-42	0,81	C-71	0,84	D-162	0,92	E-270	0,99
A-35	0,82	B-46	0,83	C-75	0,86	D-173	0,94	E-300	1,014
A-37	0,84	B-48	0,84	C-81	0,87	D-180	0,94	E-330	1,03
A-38	0,85	B-52	0,86	C-85	0,88	D-195	0,96	E-360	1,04
A-41	0,86	B-55	0,88	C-90	0,90	D-210	0,98	E-390	1,06
A-42	0,87	B-60	0,90	C-96	0,91	D-225	0,99	E-420	1,07
A-45	0,89	B-64	0,92	C-100	0,92	D-240	1,00	E-480	1,09
A-46	0,90	B-68	0,93	C-105	0,93	D-270	1,02		
A-49	0,91	B-71	0,94	C-112	0,95	D-300	1,04		
A-53	0,93	B-75	0,95	C-120	0,96	D-330	1,06		
A-57	0,95	B-78	0,96	C-128	0,97	D-360	1,08		
A-60	0,97	B-85	0,99	C-136	0,99	D-390	1,10		
A-64	0,99	B-90	1,00	C-144	1,00	D-420	1,11		
A-68	1,00	B-95	1,01	C-158	1,02	D-480	1,14		
A-71	1,01	B-97	1,02	C-162	1,03				
A-75	1,03	B-105	1,04	C-173	1,04				
A-80	1,04	B-112	1,05	C-180	1,05				
A-85	1,06	B-120	1,07	C-195	1,07				
A-90	1,08	B-128	1,09	C-210	1,08				
A-96	1,09	B-136	1,10	C-225	1,10				
A-105	1,12	B-144	1,12	C-240	1,11				
A-112	1,13	B-158	1,14	C-255	1,13				
A-120	1,15	B-162	1,15	C-270	1,14				
A-128	1,17	B-173	1,16	C-300	1,16				
		B-180	1,17	C-330	1,18				
		B-195	1,19	C-360	1,20				
		B-210	1,22	C-390	1,22				
		B-225	1,23	C-420	1,24				
		B-240	1,24						
		B-270	1,27						
		B-300	1,30						

**Fator de correção do arco de contato**

$\frac{D - d}{C_{(a)}}$	Arco de contato da polia menor (graus)	Fator "f <sub>cac</sub> "
0,00	180	1,00
0,10	174	0,99
0,20	169	0,97
0,30	163	0,96
0,40	157	0,94
0,50	151	0,93
0,60	145	0,91
0,70	139	0,89
0,80	133	0,87
0,90	127	0,85
1,00	120	0,82
1,10	113	0,80
1,20	106	0,77
1,30	99	0,73
1,40	91	0,70
1,50	83	0,65