

**THIAGO JOSÉ DONEGÁ**

**PRESCRIÇÃO AUTOMATIZADA DE  
CADEIRA DE RODAS DO ATLETISMO  
PARALÍMPICO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**2020**

**THIAGO JOSÉ DONEGÁ**

**PRESCRIÇÃO AUTOMATIZADA DE CADEIRA DE  
RODAS DO ATLETISMO PARALÍMPICO**

**Tese** apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de **DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos e Vibrações.

Orientador: Prof. Dr. Cleudmar Amaral de Araújo

Coorientador: Prof. Dr. Silvio Soares dos Santos

**UBERLÂNDIA - MG  
2020**

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D681 Donegá, Thiago José, 1983-  
2020 Prescrição Automatizada de Cadeira de Rodas do  
Atletismo Paralímpico [recurso eletrônico] / Thiago José  
Donegá. - 2020.

Orientador: Cleudmar Amaral de Araújo.  
Coorientador: Silvio Soares dos Santos.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Engenharia Mecânica.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.677>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Engenharia mecânica. I. Araújo, Cleudmar Amaral de,  
1963-, (Orient.). II. Santos, Silvio Soares dos, 1958-,  
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.  
Pós-graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDU: 621

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Mecânica				
Defesa de:	Tese de Doutorado, nº 306, COPEM				
Data:	27/10/2020	Hora de início:	15:30	Hora de encerramento:	20:07
Matrícula do Discente:	11523EMC018				
Nome do Discente:	Thiago José Donegá				
Título do Trabalho:	Personalização e Parametrização de Cadeiras de Rodas do Atletismo Paralímpico				
Área de concentração:	Mecânica dos Sólidos e Vibrações				
Linha de pesquisa:	Engenharia Biomecânica				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Processo CNPq 404237/2019-3				

Reuniu-se por meio de videoconferência a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, assim composta: Professores Doutores: Arthur Alves Fiocchi - FEMEC/UFU; Fran Sérgio Lobato - FEQUI/UFU; Silvio Soares dos Santos (co-orientador) - FAEFI/UFU; Antônio Carlos Shimano - USP; Ciro Winckler de Oliveira Filho - UNIFESP e Cleudmar Amaral de Araújo - FEMEC/UFU, orientador do candidato. Ressalta-se que os Prof. Arthur Alves Fiocchi, Fran Sérgio Lobato, Silvio Soares dos Santos, Cleudmar Amaral de Araújo e o Discente participaram da defesa por meio de videoconferência desde a cidade de Uberlândia/MG; Antônio Carlos Shimano desde a cidade de São Carlos/São Paulo e Ciro Winckler de Oliveira Filho desde a cidade de Santos/São Paulo, em atendimento a Portaria nº 36, de 19 de março de 2020, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Cleudmar Amaral de Araújo, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Cleudmar Amaral de Araujo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/10/2020, às 20:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ciro Winckler de Oliveira Filho, Usuário Externo**, em 27/10/2020, às 20:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fran Sergio Lobato, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/10/2020, às 20:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arthur Alves Fiocchi, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/10/2020, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Prof. Dr. Antonio Carlos Shimano, Usuário Externo**, em 27/10/2020, às 20:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Silvio Soares dos Santos, Usuário Externo**, em 03/11/2020, às 17:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2346738** e o código CRC **CC07E979**.

**THIAGO JOSÉ DONEGÁ**  
**PRESCRIÇÃO AUTOMATIZADA DE CADEIRA DE**  
**RODAS DO ATLETISMO PARALÍMPICO**

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Cleudmar Amaral de Araújo  
Orientador - FEMEC/UFU

---

Prof. Dr. Silvio Soares dos Santos  
Coorientador - FAEFI/UFU

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Shimano  
USP - Ribeirão Preto

---

Prof. Dr. Ciro Winckler de Oliveira Filho  
UNIFESP

---

Prof. Dr. Arthur Alves Fiocchi  
FEMEC/UFU

---

Prof. Dr. Fran Sérgio Lobato  
FEMEC/UFU

**UBERLÂNDIA - MG**  
**2020**

## Agradecimentos

De forma geral quero agradecer a todos que contribuíram de alguma forma para realizar as simulações computacionais, trocas de ideias, fabricação e construção do equipamento, testes experimentais em campo, descrição, montagem e submissão ao comitê de ética em pesquisa, dentre tantas outras atividades envolvidas no desenvolvimento deste trabalho.

Quero agradecer também, aos atletas e não atletas participantes da pesquisa que colaboraram na realização dos testes e validação do equipamento de prescrição.

À Deus e à Nossa Senhora pelas bênçãos derramadas sobre mim nessa caminhada, por sonharem comigo esse sonho e por me guiarem na triagem desse caminho.

À minha esposa Cristiane por ter me incentivado e estado sempre junto comigo desde o início da realização e concretização desse trabalho, mesmo estando fisicamente separados na maior parte do tempo.

Ao meu orientador prof. Cleudmar Amaral de Araújo pelo apoio e dedicação dispensados durante essa caminhada e pelos ensinamentos transmitidos.

À Universidade Federal de Uberlândia e a Faculdade de Engenharia Mecânica pela oportunidade de realizar este trabalho.

À FAPEMIG, CAPES e CNPq por proporcionar recursos financeiros para a manutenção deste doutorado e participação em eventos e congressos da área com os quais foi possível enriquecer o conhecimento sobre.

A todos os amigos do LPM/CINTESP.Br, que são muitos e seria difícil citar todos aqui, mas obrigado pela amizade, companherismo e por terem de alguma forma me ajudado durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos da Universidade Federal de Uberlândia pela amizade e momentos de descontração.

A todos que mesmo de forma despercebida cuidaram para manter a universidade e o nosso local de trabalho sempre em ordem, limpo e em condições de trabalho. Em especial às meninas da limpeza que sempre mantiveram o nosso LPM limpo de forma impecável.

De forma geral quero agradecer a todos que de alguma forma estiveram presentes durante todos estes anos e que de alguma forma (mesmo com uma palavra amiga) ajudaram a finalizar este trabalho.

“O mundo é um livro, e quem não viaja lê somente uma página.”  
(Santo Agostinho)



DONEGÁ, T. J., **PRESCRIÇÃO AUTOMATIZADA DE CADEIRA DE RODAS DO ATLETISMO PARALÍMPICO**. 2020. 242 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

### Resumo

A corrida em cadeira de rodas é uma das mais tradicionais modalidades do atletismo paralímpico. Este esporte é praticado por indivíduos com sequelas de poliomielite, lesões medulares e amputações. Desde os seus primórdios até os dias atuais as cadeiras de rodas utilizadas nas corridas passaram por diversas mudanças estruturais que melhoraram a eficiência dos atletas desta modalidade. De maneira geral, estas cadeiras são personalizadas de acordo com condições ergo-antropométricas dos atletas, e isso é feito a partir de dimensões pré-estabelecidas pelos fabricantes, disponíveis em seus manuais. Muitas vezes os atletas escolhem as dimensões para suas novas cadeiras de rodas esportivas, e estas quando são entregues para serem utilizadas, muitas vezes apresentam algum problema em decorrência da não adequação correta ao corpo do atleta. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar um equipamento de prescrição de cadeira de rodas personalizadas para corridas, além de propor o desenvolvimento de um modelo de cadeira de rodas de corrida com parte fabricada por manufatura aditiva. Esse equipamento é utilizado para realizar diversas medições e regulagens de acordo com as características ergo-antropométricas do indivíduo de tal forma que avalia a melhor acomodação do atleta para obter o melhor desempenho com a propulsão na cadeira de rodas personalizada e otimizada para este atleta de acordo com a parametrização feita utilizando o equipamento de prescrição. Com esse equipamento é possível realizar 14 das principais regulagens utilizadas para personalização de uma cadeira de rodas de corrida. O equipamento de prescrição foi projetado e construído de acordo com requisitos de segurança e conforto e possui uma estrutura robusta e rígida para a realização de testes experimentais em pistas de corrida. Os testes experimentais realizados com participantes não usuários de cadeira de rodas, e também com participantes usuários de cadeira de rodas, permitiram validar o equipamento quanto à segurança, conforto e metodologia de prescrição. Paralelamente, foi implementado um novo protocolo de avaliação automatizada de cadeira de rodas de corrida em tempo real que foi validado e proposto o desenvolvimento de um novo modelo de cadeira de rodas de corrida em condição automatizada.

---

**Palavras-chave:** *Cadeira de Rodas de Corrida; Atletismo Paralímpico; Esporte Paralímpico; Prescrição de Cadeiras de Rodas.*

DONEGÁ, T. J., **Automated Prescription of Athletic Wheelchair Paralympic.** 2020. 242 f. Doctoral Thesis, Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

### Abstract

Wheelchair racing is one of the most traditional modalities of paralympic athletics. This sport is practiced by individuals with polio sequelae, spinal injuries and amputations. From its beginnings to present day, wheelchairs used in races have gone through the several structural changes that have maximized the science of athletes in this sport. In general, these chairs are customized according to the athletes' ergo-anthropometric conditions, and this is done from pre-established dimensions by manufacturers, available in their manuals. In general, the athletes choose the dimensions for their new sports wheelchairs, and when these are delivered to be used, they often present some problem due to the lack of correct adaptation to the athlete's body. Therefore, the objective of this work was to develop and validate a customized wheelchair prescription equipment for racing, in addition to proposing the development of a model of racing wheelchair with some pieces developed by additive manufacture. This equipment is used to perform various measurements and adjustments according to ergo-anthropometric characteristics of the individual in such a way that it evaluates the best accommodation of the athlete to obtain the best performance with the propulsion in the wheelchair customized and optimized for this athlete according to the parameterization made using the prescription equipment. With this equipment it is possible to perform 14 of the main adjustments used for the prescription of a running wheelchair. The prescription equipment was designed and built according to safety and comfort requirements and has a robust and rigid structure for experimental testing on race tracks. The experimental tests carried out with participants who are not wheelchair users, and also with participants who are wheelchair users, allowed the equipment to be validated in terms of safety, comfort and prescription methodology. In parallel, a new protocol for automated evaluation of wheelchair racing in real time was implemented, which was validated and proposed the development of a new model of wheelchair racing in automated conditions.

---

**Keywords:** *Racing Wheelchair; Paralympic Athletics; Paralympic Sport; Prescription Chairs.*

## Lista de abreviaturas e siglas

FEMEC	Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU
IPC	International Paralympic Committee
LPM	Laboratório de Projetos Mecânicos Prof. Henner A. Gomide
NH/Resp	Núcleo de Habilitação e Reabilitação em Esportes Paralímpicos
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
<i>CINTESP.Br</i>	Centro Brasileiro de Referência em Inovações Tecnológicas para o Esporte Paralímpico
<i>LPM</i>	Laboratório de Projetos Mecânicos Professor Henner Alberto Gomide
<i>MEF</i>	Método dos Elementos Finitos
<i>CAD</i>	<i>Computer Aided Design</i>
<i>CG</i>	Centro de gravidade
<i>GDLs</i>	Graus de liberdade
<i>UNC</i>	<i>Unified Thread Standard</i>
<i>FPP</i>	Fios por polegada
<i>N/A</i>	Não se aplica
<i>MDC</i>	<i>Minimum Disability Criteria</i>
<i>FFF</i>	<i>Fused Filament Fabrication</i>
<i>FDM</i>	<i>Fused Deposition Modeling</i>
<i>CAM</i>	<i>Computer Aided Manufacturing</i>

<i>3D</i>	3 Dimensões
<i>STL</i>	<i>Standard Tessellation Language</i>
<i>CLI</i>	<i>Common Layer Interface</i>
<i>AMF</i>	<i>Additive Manufacturing Format</i>
<i>PLA</i>	<i>Polylactic Acid</i>
<i>ABS</i>	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
<i>PCL</i>	Policaprolactona
<i>PHB</i>	Polihidroxibutirato
<i>UV</i>	Ultra Violeta
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>SAE</i>	<i>Society of Automotive Engineers</i>
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>NBR</i>	Norma Técnica Brasileira
<i>SESI</i>	Serviço Social da Indústria
<i>SI</i>	Sistema Internacional

## Lista de símbolos

$v$	Velocidade [ $\frac{m}{s}$ ]
$a$	Aceleração [ $\frac{m}{s^2}$ ]
$m$	Massa [ $kg$ ]
$t$	Tempo [ $s$ ]
$d$	Distância (deslocamento) [ $m$ ]
$F$	Força [ $N$ ]
$K$	Energia cinética [ $J$ ]
$W$	Trabalho [ $J$ ]
$P_m$	Potência mecânica [ $W$ ]
$P_C$	Carga de trabalho [ $kgf$ ]
$M_o$	Momento Estático Permissível [ $kgfm$ ]
$M_p$	Momento Estático p [ $kgfm$ ]
$M_y$	Momento Estático y [ $kgfm$ ]
$M_r$	Momento Estático r [ $kgfm$ ]
$\Delta$	Varição
$LI$	Limite inferior
$LS$	Limite superior
%	Porcentagem
$^{\circ}C$	Grau celsius

<i>g</i>	grama
<i>cm</i> <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
<i>GPa</i>	Giga pascal
<i>MPa</i>	Mega pascal
<i>kN</i>	Quilo newton
<i>ksi</i>	Kilopound force per square
<i>cm</i> <sup>2</sup>	Centímetro quadrado

## Lista de Figuras

Figura 1.1 – Cadeiras de rodas de atletismo de diferentes épocas. . . . .	2
Figura 2.1 – Anatomia de uma cadeira de rodas de corrida. . . . .	9
Figura 2.2 – Ângulo de cambagem na roda traseira (cadeira de rodas vista por trás). . . . .	10
Figura 2.3 – Atletas nas classes T51-T54 utilizam cadeiras de rodas de corrida nas competições. . . . .	14
Figura 2.4 – Plano inclinado dos aros de propulsão. . . . .	15
Figura 2.5 – <i>SmartWheel</i> <sup>TM</sup> com seis graus de liberdade para cadeira de rodas de corrida. . . . .	17
Figura 2.6 – Provável primeiro evento em cadeira de rodas que se tem registro, ocorrido em 1923. . . . .	18
Figura 2.7 – Cadeira de rodas de corrida Speed Racing da empresa nacional Alphamix. . . . .	21
Figura 2.8 – Cadeira de rodas de corrida do fabricante TOP END. . . . .	21
Figura 2.9 – Cadeira de rodas de corrida desenvolvida pela BMW. . . . .	22
Figura 2.10–Modelos KIWAMI (frente) e IDOMI (atrás) de cadeiras de rodas de corrida desenvolvidas pela Honda-Yachiyo. . . . .	23
Figura 2.11–Representação gráfica dos tempos dos campeões na maratona de Londres para os eventos masculinos e femininos desde 1983. . . . .	24
Figura 2.12–Configurações das rodas de cadeiras de rodas de corrida (a) raiadas, (b) quatro raios, e (c) disco . . . . .	25
Figura 2.13–Aparelho de treinamento de cadeira de rodas de corrida. . . . .	28
Figura 2.14–Atleta com sua cadeira de rodas de corrida sobre o ergômetro . . . . .	29
Figura 2.15–Cadeira de rodas ajustável sobre um ergômetro. . . . .	29
Figura 2.16–Protótipo do ergômetro desenvolvido por Chénier, Bigras e Aissoaoui . . . . .	30
Figura 2.17–Usuário testando a imersão no ambiente virtual sobre o ERGO1 . . . . .	31
Figura 2.18–Equipamento de personalização de cadeira de rodas de corrida desenvolvido no mestrado. . . . .	32
Figura 2.19–Montagem do encoder na barra arrastada pela cadeira de rodas de corrida. . . . .	33
Figura 2.20–Potência instantânea no ergômetro vs corrida em cadeira de rodas para cinco ciclos de propulsão. . . . .	34
Figura 2.21–Modelo conceitual ilustrando os fatores que influenciam a ergonomia do desempenho esportivo em cadeira de rodas. . . . .	37
Figura 2.22–Padrões de propulsão manual de cadeira de rodas. Os padrões são: Arco (AR), Loop Simples (SL), Loop Duplo (DL) e Semicircular (SC). A linha sólida representa a fase de propulsão, e a linha tracejada a fase de recuperação. A seta indica a direção de movimento da mão. . . . .	39

Figura 2.23–As três posições adotadas pelo atleta. . . . .	41
Figura 2.24–As três posições em que foram feitas as simulações. . . . .	42
Figura 2.25–Cadeira de rodas sobre esteira. . . . .	43
Figura 2.26–Cadeira de rodas sobre roletes. . . . .	43
Figura 2.27–Cadeira de rodas com servo-motor. . . . .	43
Figura 2.28–Esquema geral do ergômetro e seus subsistemas. . . . .	44
Figura 2.29–Exemplo de assentos personalizados. . . . .	45
Figura 2.30–Cadeira ajustável sobre ergômetro. . . . .	46
Figura 2.31–Esquema de um processo de produção de peças utilizando um aparelho estereolitográfico (SLA), baseado em fotopolimerização. . . . .	48
Figura 2.32–Princípio de funcionamento de uma impressora 3D FDM. . . . .	50
Figura 3.1 – Três direções do momento estático permissível em uma guia linear . . . .	55
Figura 3.2 – Maior distância entre o apoio da roda no chão e a linha de centro da guia linear. . . . .	55
Figura 3.3 – Desenho esquemático do conjunto OBR <sup>®</sup> montado . . . . .	56
Figura 3.4 – Desenho esquemático da chapa soldada no tubo quadrado. . . . .	57
Figura 3.5 – Modelo da cadeira de rodas de corrida desenhado com partes a serem construídas por meio de manufatura aditiva. . . . .	59
Figura 3.6 – Novo modelo da cadeira de rodas de corrida desenhado com as rodas. . .	60
Figura 3.7 – Versões do equipamento de prescrição com as rodas no chão. . . . .	61
Figura 3.8 – Eixo de engate rápido. . . . .	61
Figura 3.9 – Desenho esquemático da montagem do equipamento de prescrição de ca- deira de rodas de corrida. . . . .	63
Figura 3.10–Propriedades geométricas da cadeira de rodas de corrida. . . . .	66
Figura 3.11–Desenho esquemático da montagem da cadeira de rodas de corrida. . . .	67
Figura 3.12–Importação da geometria da cadeira de rodas de corrida. . . . .	70
Figura 3.13–Malha gerada para a estrutura da cadeira de rodas de corrida. . . . .	71
Figura 3.14–Condições de contorno e carregamento utilizados na análise feita na estru- tura da cadeira de rodas de corrida. . . . .	72
Figura 3.15–Geometria do suporte traseiro do assento importada para o <i>software</i> de MEF. . . . .	74
Figura 3.16–Geometria das barras do assento importada para o software de MEF. . .	75
Figura 3.17–Geometria da estrutura de base do equipamento de prescrição importada para o software de MEF. . . . .	76
Figura 3.18–Malha de elementos gerada para a simulação por MEF do suporte traseiro do assento . . . . .	77
Figura 3.19–Malhas geradas nas barras de assento do equipamento de prescrição. . .	78



Figura 3.20–Malhas geradas na estrutura de base do equipamento de prescrição. . . . .	79
Figura 3.21–Representação gráfica das condições de contorno e condições de carregamento aplicadas ao suporte traseiro do assento. . . . .	80
Figura 3.22–Representação gráfica das condições de contorno e condições de carregamento aplicadas a barra de apoio do assento. . . . .	81
Figura 3.23–Representação gráfica das condições de contorno e condições de carregamento aplicadas à estrutura de base do equipamento. . . . .	82
Figura 3.24–Fluxograma de prescrição de uma cadeira de rodas de corrida. Fonte: próprio autor. . . . .	83
Figura 3.25–Realização da troca de configuração pela Tabela de projeto do Solidworks. Fonte: próprio autor. . . . .	85
Figura 3.26–Dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor. . . . .	86
Figura 3.27–Renomeação da dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor. . . . .	87
Figura 3.28–Nome completo da dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor. . . . .	87
Figura 3.29–Dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor. . . . .	87
Figura 3.30–Localização da ferramenta <b>Tabela de projeto</b> no <i>software</i> . . . . .	88
Figura 3.31–Caixa de diálogo <b>Dimensões</b> da <b>Tabela de projeto</b> . . . . .	89
Figura 3.32–Janela de seleção das dimensões para a Tabela de Projeto. . . . .	90
Figura 3.33–Tabela de Projeto criada no Solidworks. . . . .	91
Figura 3.34–Configurações adicionais na Tabela de Projeto criada. . . . .	91
Figura 3.35–Comunicado do Solidworks acerca das novas configurações. . . . .	92
Figura 3.36–Área da Árvore do <i>Feature Managerno</i> Solidworks, também denominada Árvore de Projetos. . . . .	93
Figura 3.37–Lista das configurações criadas na Tabela de Projeto. . . . .	93
Figura 3.38–Exemplos das configurações criadas na Tabela de Projeto . . . . .	94
Figura 3.39–Edição da Tabela de Projeto. . . . .	95
Figura 3.40–Alteração das informações na Tabela de Projeto. . . . .	96
Figura 3.41–Configuração <b>Nova</b> na Tabela de Projeto. . . . .	96
Figura 3.42–Sistema de medição e controle de ajustes utilizado no Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida. . . . .	97
Figura 3.43–Fluxograma de parametrização de uma cadeira de rodas de corrida. Fonte: próprio autor. . . . .	99
Figura 3.44–Formulário de coleta de dados quali-quantitativos antropométricos e ergonômicos. . . . .	102

Figura 3.45–Formulário de coleta de dados quali-quantitativos da propulsão do equipamento de prescrição. . . . .	102
Figura 3.46–Formulário de coleta de dados quali-quantitativos da percepção psicomotora global. . . . .	103
Figura 3.47–Formulário comparativo entre a cadeira de rodas atual do indivíduo e a cadeira de rodas simulada pelo equipamento de prescrição. . . . .	104
Figura 3.48–Correlação entre as percepções do atleta quanto às medições do equipamento de prescrição. . . . .	105
Figura 4.1 – Visão geral do dispositivo de regulagem da largura do assento. . . . .	111
Figura 4.2 – Posicionamento dos ângulos de cambagem . . . . .	113
Figura 4.3 – Pino de travamento da cambagem. . . . .	113
Figura 4.4 – Visão geral das peças que foram galvanizadas . . . . .	117
Figura 4.5 – Largura do Assento . . . . .	120
Figura 4.6 – Altura do assento atrás . . . . .	120
Figura 4.7 – Inclinação do assento (altura do assento na frente) . . . . .	121
Figura 4.8 – Diâmetros dos aros de propulsão utilizados no equipamento de prescrição	122
Figura 4.9 – Cambagem das rodas traseiras . . . . .	123
Figura 4.10–Centro de Gravidade . . . . .	124
Figura 4.11–Profundidade do encosto . . . . .	124
Figura 4.12–Altura do encosto . . . . .	125
Figura 4.13–Altura do garfo . . . . .	126
Figura 4.14–Inclinação do garfo . . . . .	126
Figura 4.15–Inclinação do quadro (estrutura principal) do equipamento de prescrição	127
Figura 4.16–Distância longitudinal entre os eixos das rodas traseiras e dianteira . . .	128
Figura 4.17–Inclinação do apoio da perna . . . . .	129
Figura 4.18–Largura do joelho . . . . .	130
Figura 4.19–Calibração dos ciclocomputadores na roda pela distância percorrida em relação ao tempo . . . . .	133
Figura 4.20– <i>Check-list</i> de apontamento das calibrações dos instrumentos de medição do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. . . . .	133
Figura 4.21–Calibração dos instrumentos de medição do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. . . . .	134
Figura 4.22–Ilustração do resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita na estrutura da cadeira de rodas de corrida. . . . .	135
Figura 4.23–Ilustração do resultado obtido para o deslocamento na estrutura da cadeira de rodas de corrida. . . . .	136

Figura 4.24–Representação gráfica das tensões equivalentes de von-Mises no suporte traseiro do assento. . . . .	137
Figura 4.25–Representação gráfica do deslocamento com deformação no suporte traseiro do assento. . . . .	138
Figura 4.26–Ilustração do resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita nas barras do assento do equipamento de prescrição. . . . .	139
Figura 4.27–Ilustração do resultado obtido para o deslocamento estrutural na análise feita nas barras do assento do equipamento de prescrição. . . . .	140
Figura 4.28–Representação gráfica das tensões equivalentes de von-Mises na estrutura de base do equipamento de prescrição . . . . .	141
Figura 4.29–Representação gráfica do deslocamento com deformação na estrutura de base do equipamento. . . . .	142
Figura 4.30–Nova configuração <b>Atleta 1</b> assumida pela estrutura da cadeira de rodas de corrida parametrizada. . . . .	144
Figura 4.31–Modificar Configurações para o diâmetro do aro de propulsão. . . . .	145
Figura 4.32–Parametrização da Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	146
Figura 4.33–Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida. . . . .	147
Figura 4.34–Equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida montado sem os estofamentos . . . . .	149
Figura 4.35–Equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida montado com os estofamentos . . . . .	150
Figura 4.36–Dispositivos de medição montados na parte frontal do equipamento. . . . .	151
Figura 4.37–Dispositivos de medição montados na parte intermediária do equipamento. . . . .	151
Figura 4.38–Dispositivos de medição montados na parte intermediária traseira do equipamento. . . . .	152
Figura 4.39–Dispositivos de medição montados na parte traseira do equipamento. . . . .	153
Figura 4.40–Dispositivos de segurança utilizados durante os experimentos. . . . .	155
Figura 4.41–Participante 1 acomodado sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. . . . .	156
Figura 4.42–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 1). . . . .	158
Figura 4.43–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 1). . . . .	159
Figura 4.44–Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 1. . . . .	160
Figura 4.45–Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 1). . . . .	162

Figura 4.46–Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 1). . . . .	163
Figura 4.47–Conjunto da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 1. . . . .	163
Figura 4.48–Participante 2 acomodado sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. . . . .	164
Figura 4.49–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 2). . . . .	165
Figura 4.50–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 2). . . . .	166
Figura 4.51–Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 2.	168
Figura 4.52–Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 2). . . . .	169
Figura 4.53–Haste onde ocorreu a falha no metal durante os testes experimentais. . .	170
Figura 4.54–Condições de contorno e carregamento na estrutura para análise da peça que falhou. . . . .	170
Figura 4.55–Malha gerada para a análise da peça que falhou. . . . .	171
Figura 4.56–Resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita na estrutura que falhou. . . . .	172
Figura 4.57–Detalhe do ponto onde ocorreu a máxima tensão de von-Mises na peça que falhou. . . . .	172
Figura 4.58–Resultado obtido para o deslocamento na análise feita na estrutura que falhou. . . . .	173
Figura 4.59–Condições de contorno e carregamento na estrutura para análise da nova peça. . . . .	174
Figura 4.60–Malha gerada para a análise da nova peça. . . . .	174
Figura 4.61–Resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita na estrutura com a nova peça. . . . .	175
Figura 4.62–Detalhe do ponto onde ocorreu a máxima tensão de von-Mises na nova peça.	176
Figura 4.63–Resultado obtido para o deslocamento na análise feita na estrutura reformada. . . . .	177
Figura 4.64–Peça do tubo principal de suporte ao garfo. . . . .	177
Figura 4.65–Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 2). . . . .	178
Figura 4.66–Conjunto montado da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 2. . . . .	179

Figura 4.67–Participante 3 acomodado sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. . . . .	180
Figura 4.68–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 3). . . . .	181
Figura 4.69–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 3). . . . .	182
Figura 4.70–Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 3.	183
Figura 4.71–Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 3). . . . .	184
Figura 4.72–Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 3). . . . .	185
Figura 4.73–Conjunto montado sem estofamento da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 3. . . . .	186
Figura 4.74–Participante 4 acomodada sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. . . . .	186
Figura 4.75–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 4). . . . .	188
Figura 4.76–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 4). . . . .	189
Figura 4.77–Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 4.	190
Figura 4.78–Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 4). . . . .	191
Figura 4.79–Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 4). . . . .	192
Figura 4.80–Conjunto montado da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 4. . . . .	193
Figura 4.81–Ilustração das duas posições que o Participante 5 ocupou durante os testes.	196
Figura 4.82–Protetor do braço utilizado pelo Participante 5. . . . .	197
Figura 4.83–Cambagem das rodas traseiras da cadeira de rodas de uso diário do Participante 5. . . . .	199
Figura 4.84–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 5). . . . .	200
Figura 4.85–Análise dimensional realizada em <i>software</i> de tratamento de mídias esportivas (Participante 5). . . . .	202
Figura 4.86–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 5). . . . .	204
Figura 4.87–Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 5.	205

Figura 4.88–Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 5). . . . .	206
Figura 4.89–Comparativo Global entre a cadeira de rodas do participante e o equipamento de prescrição (Participante 5). . . . .	208
Figura 4.90–Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 5). . . . .	209
Figura 4.91–Conjunto da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 5. . . . .	210
Figura 4.92–Ilustração do participante 6 acomodado no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. . . . .	211
Figura 4.93–Ilustração do participante 6 acomodado na sua cadeira de rodas de corrida utilizada para treinos. . . . .	211
Figura 4.94–Tomada de medidas da cadeira de rodas de corrida do participante 6. . .	212
Figura 4.95–Posição da altura do joelho no equipamento de prescrição. . . . .	213
Figura 4.96–Posicionamento da altura ideal do joelho por meio do preenchimento com espumas. . . . .	214
Figura 4.97–Parafusos de fixação do aro de propulsão nas rodas. . . . .	215
Figura 4.98–Participante 6 em posição de propulsão da cadeira de rodas de corrida. .	216
Figura 4.99–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 6). . . . .	218
Figura 4.100–Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 6). . . . .	220
Figura 4.101–Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 6.	221
Figura 4.102–Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 6). . . . .	222
Figura 4.103–Comparativo Global entre a cadeira de rodas do participante e o equipamento de prescrição (Participante 6). . . . .	223
Figura 4.104–Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 6). . . . .	224
Figura 4.105–Conjunto da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 6. . . . .	225
Figura 4.106–Ilustração do método da prancha de reação para determinação do Centro de Gravidade . . . . .	226
Figura 4.107–Centro de Gravidade medido na cadeira de corrida e no equipamento vazios.	226
Figura 4.108–Centro de gravidade nas posições um e dois na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição. . . . .	227

Figura 4.109-Centro de gravidade nas posições três e quatro na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição. . . . .	228
Figura 4.110-Análise estática na posição um na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição. . . . .	229
Figura 4.111-Análise estática na posição dois na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição. . . . .	229
Figura 4.112-Análise estática na posição três na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição. . . . .	230
Figura 4.113-Análise estática na posição quatro na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição. . . . .	230
Figura A.1-Aprovação do projeto de pesquisa submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). . . . .	245

## Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Redordes mundiais em corridas para atletas masculinos, em cadeiras de rodas classe T54 (linhas em branco) e atletas ambulantes (linhas em cinza)	27
Tabela 3.1 – Dimensões da guia linear (em mm)	56
Tabela 3.2 – Dimensões do carro (em mm)	56
Tabela 3.3 – Outras dimensões do conjunto linear (em mm)	57
Tabela 3.4 – Capacidade de carga e momentos do conjunto linear	57
Tabela 3.5 – Lista de peças da Figura 3.9	63
Tabela 3.6 – Lista de peças da Figura 3.11	67
Tabela 3.7 – Propriedades da Liga de Alumínio 6061 T6	68
Tabela 3.8 – Propriedades do ABS.	68
Tabela 3.9 – Propriedades do Aço SAE 1020	68
Tabela 3.10–Propriedades do Nylon (Technyl)	69
Tabela 3.11–Propriedades do Latão C260	69
Tabela 3.12–Características físicas da cadeira de rodas de corrida modelada	71
Tabela 3.13–Propriedades da malha gerada para a estrutura da cadeira de rodas de corrida	72
Tabela 3.14–Características físicas do suporte do assento	75
Tabela 3.15–Características físicas das barras do assento	76
Tabela 3.16–Características físicas da estrutura de base	77
Tabela 3.17–Propriedades da malha gerada para o suporte traseiro do assento	78
Tabela 3.18–Propriedades da malha gerada para as barras de apoio do assento	79
Tabela 3.19–Propriedades da malha gerada para a estrutura de base	80
Tabela 3.20–Exemplo de Tabela de Projeto conforme utilizada no projeto da cadeira de rodas de corrida. Fonte: próprio autor.	84
Tabela 4.1 – Estimativa de custos dos materiais utilizados na fabricação do equipamento de prescrição	114
Tabela 4.2 – Graus de liberdade e variação das variáveis de influência	118
Tabela 4.3 – Ajustes ergonômicos e antropométricos	119
Tabela 4.4 – Ferramentas utilizadas para ajustar as variáveis do Equipamento de Prescrição	131
Tabela 4.5 – Tabela de projeto da cambagem das rodas traseiras na cadeira de rodas de corrida.	145
Tabela 4.6 – Parametrização do Projeto	147



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	1
2	REVISÃO DA LITERATURA . . . . .	6
2.1	O Esporte em Cadeira de Rodas e as Deficiências Possíveis . . .	6
2.2	Anatomia de uma Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	8
2.3	Elegibilidade dos Atletas . . . . .	11
2.4	Classificação funcional em Corridas de Cadeiras de Rodas . . . .	12
2.5	Regras e Regulamentações do IPC para a Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	14
2.6	Esportes Adaptados (Paralímpicos) . . . . .	16
2.7	Tecnologias e Avanços nos Esportes Adaptados . . . . .	17
2.8	Engenharia e Tecnologia em Cadeiras de Rodas Esportivas . . . .	18
2.9	Avanços e Inovações em Cadeiras de Rodas de Corridas . . . . .	20
2.10	Recordes com Cadeiras de Rodas de Corrida . . . . .	26
2.11	Equipamentos para Avaliação e Treinamento de Usuários de Cadeiras de Rodas . . . . .	26
2.12	Equipamento Estático para Personalização de Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	31
2.13	Ensaio, Testes e Validações Realizadas com Cadeiras de Rodas de Corridas e Equipamentos Correlatos . . . . .	32
2.14	A influência da Ergonomia e das Configurações de Cadeiras de Rodas no Esporte . . . . .	35
2.15	Biomecânica do Movimento . . . . .	38
2.16	Aerodinâmica . . . . .	40
2.17	Projeto e Validação de um Ergômetro Incluindo uma Cadeira Configurável para Simulação e Avaliação de Desempenho de Corridas em Cadeira de Rodas . . . . .	42
2.18	Manufatura Aditiva - Processos . . . . .	47
2.18.1	Esteriolitografia . . . . .	48
2.18.2	Fabricação por Fusão de Filamento e Modelagem por Fusão e Deposição . . . . .	49
2.18.3	Representação Geométrica 3D para Manufatura Aditiva . . . . .	49
2.19	Manufatura Aditiva - Materiais . . . . .	50

2.20	Materiais Utilizados na Fabricação de Cadeiras de Rodas . . . . .	52
2.21	Automação por Parâmetros Utilizando Tabela de Projeto do Solidworks . . . . .	52
	<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .</b>	<b>54</b>
3.1	Definição das Guias Lineares e Carros Lineares . . . . .	54
3.2	Dimensionamento da Solda para a Chapa de Suporte da Guia Linear . . . . .	57
3.3	Desenvolvimento da Cadeira de Rodas de Corrida Parcialmente em Manufatura Aditiva . . . . .	58
3.4	Visão Geral das Partes do Equipamento de Prescrição . . . . .	60
3.5	Cálculos de Energia Cinética, Potência Mecânica e Trabalho Mecânico . . . . .	64
3.6	Visão Geral da Cadeira de Rodas de Corrida Otimizada e Parametrizada . . . . .	65
3.7	Modelagem Utilizando o Método dos Elementos Finitos . . . . .	67
3.8	Modelagem pelo Método dos Elementos Finitos da Cadeira de Rodas de Corrida Parametrizada . . . . .	69
3.9	Projeto do Equipamento de Prescrição . . . . .	73
3.10	Modelagem por Elementos Finitos do Equipamento de Prescrição	73
3.10.1	Importação da Geometria . . . . .	73
3.10.2	Geração das Malhas para Ensaio pelo Método dos Elementos Finitos . . . . .	77
3.10.3	Condições de Contorno e de Carregamento . . . . .	80
3.11	Processo de Prescrição da Cadeira de Rodas de Corrida Personalizada . . . . .	83
3.12	Automação por Parâmetros da Cadeira de Rodas de Corrida por Meio do Equipamento de Personalização . . . . .	84
3.12.1	Criação da Tabela de Projeto utilizando o Solidworks (Passo a Passo) . . . . .	86
3.13	Dispositivos de medição dos parâmetros de variáveis antropométricas dos atletas . . . . .	97
3.14	Protocolo de Avaliação para Concepção de uma Cadeira de Rodas de Corrida Utilizando o Equipamento para Personalização de Cadeiras de Rodas de Corrida . . . . .	97
3.14.1	Método da Coleta de Dados . . . . .	100

3.14.2	Verificação das Condições de Testes e Análise dos Potenciais Riscos e suas Consequências . . . . .	105
	<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>110</b>
4.1	Fabricação e Montagem do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	110
4.2	Particularidades da Estrutura do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	110
4.2.1	Dispositivo de Regulagem da Largura do Assento . . . . .	110
4.2.2	Mecanismo de Cambagem das Rodas Traseiras . . . . .	112
4.2.3	Lista de Materiais Utilizados na Fabricação e Montagem e seus Respective Custos . . . . .	113
4.2.4	Proteção das Peças por Galvanização . . . . .	117
4.3	Estrutura do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	117
4.4	Variáveis de Influência dos Ajustes do Equipamento de Prescrição	117
4.4.1	Ajustes Ergonômicos e Antropométricos . . . . .	118
4.4.2	Assento - Largura . . . . .	119
4.4.3	Assento - Altura Atrás . . . . .	120
4.4.4	Assento - Inclinação . . . . .	121
4.4.5	Aro de Propulsão - Diâmetro . . . . .	121
4.4.6	Cambagem . . . . .	122
4.4.7	Centro de Gravidade . . . . .	123
4.4.8	Encosto - Profundidade . . . . .	124
4.4.9	Encosto - Altura . . . . .	125
4.4.10	Garfo - Altura . . . . .	125
4.4.11	Garfo - Inclinação . . . . .	126
4.4.12	Tubo Principal - Inclinação . . . . .	127
4.4.13	Tubo Principal - Comprimento . . . . .	128
4.4.14	Apoio da Perna - Inclinação . . . . .	129
4.4.15	Largura do Joelho . . . . .	129
4.5	Ferramentas Necessárias para Ajustar as Variáveis de Influência	131
4.6	Aferição dos Instrumentos de Medição do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	131
4.7	Resultados da Modelagem por Elementos Finitos da Cadeira de Rodas de Corrida Parametrizada . . . . .	134

4.8	Resultados da Modelagem por Elementos Finitos do Equipamento de Prescrição . . . . .	136
4.9	Patentes . . . . .	142
4.10	Processo de Parametrização . . . . .	143
4.10.1	Geração de uma Nova Cadeira de Rodas a Partir das Configurações Criadas . . . . .	143
4.10.2	Parametrização da Cadeira de Rodas de Corrida . . . . .	146
4.11	Montagem do Equipamento de Prescrição de Cadeiras de Rodas de Corrida . . . . .	148
4.12	Personalização de Cadeiras de Rodas de Corrida: Estudos de Casos	153
4.12.1	Estudo de Caso: Participante 1 . . . . .	155
4.12.2	Estudo de Caso: Participante 2 . . . . .	164
4.12.3	Estudo de Caso: Participante 3 . . . . .	179
4.12.4	Estudo de Caso: Participante 4 . . . . .	186
4.12.5	Considerações Gerais em Relação aos Estudos de Caso Anteriores	193
4.12.6	Estudo de Caso: Participante 5 . . . . .	195
4.12.7	Estudo de Caso: Participante 6 . . . . .	210
4.12.8	Centro de Gravidade para o Participante 6 . . . . .	225
4.12.9	Análise Estática Utilizando o Kinovea . . . . .	228
5	CONCLUSÕES . . . . .	231
	REFERÊNCIAS . . . . .	235
	APÊNDICE A PROJETO DE PESQUISA SUBMETIDO AO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (CEP) .	245
	APÊNDICE A PATENTE: EQUIPAMENTO PARA PRESCRIÇÃO DE CADEIRA DE RODAS DE CORRIDA . . . . .	246
	APÊNDICE A PATENTE: CADEIRA DE RODAS DE CORRIDA ANATÔMICA OTIMIZADA E PARAMETRIZADA MODELADA PARA CONSTRUÇÃO UTILIZANDO MANUFATURA ADITIVA . . . . .	247
	APÊNDICE A FORMULÁRIO ANAMNESE DO PARTICIPANTE . . . . .	248

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

Segundo Faull e Jones (2018) após o sucesso dos Jogos Paralímpicos de Londres em 2012 e do Rio em 2016, houve um crescente interesse no paradesporto de alta performance e na participação de atletas com deficiência no esporte. Além disso houve também um crescimento no movimento paralímpico, bem como em pesquisas nesta área. Segundo os autores os Jogos de 2012 e de 2016 foram os maiores Jogos Paralímpicos da história.

O atletismo paralímpico foi uma das primeiras modalidades surgidas nos jogos paradesportivos, bem como as corridas em cadeira de rodas de corrida, que no início eram realizadas nas cadeiras de rodas de uso diário do competidor.

Nos primórdios das corridas em cadeira de rodas as competições eram limitadas a até 100 metros no formato de Slalom. Porém, com o passar do tempo foram realizadas diversas mudanças nas cadeiras de rodas utilizadas nas corridas, o que permitiu que as distâncias percorridas por estas cadeiras fossem sendo maiores. Atualmente, as características das cadeiras de rodas de corrida são sua relativa leveza, construção do equipamento sobre prescrição, disposição de roda única na frente com dispositivos de mudança de direção, entre outras características que buscam colaborar com o atleta na sua melhora de desempenho. Na Figura 1.1 é mostrado uma das primeiras cadeiras de rodas de corrida e um modelo de cadeira de corridas atual, dando destaque para uma cadeira de rodas de fibra de carbono utilizada nos jogos paralímpicos de 2016 que ocorreram no Rio de Janeiro (Figura 1.1b).



(a) Anos 1980



(b) Paralimpíadas Rio 2016

Figura 1.1 – Cadeiras de rodas de atletismo de diferentes épocas.

Fonte da Figura (a): Council (2014) e, Fonte da Figura (b):

<https://cdn.cnn.com/cnnnext/dam/assets/180419220610-mcfadden-rio.jpg>. Acesso em 25/07/2020.

Para se ter uma ideia das influências das alterações nas cadeiras de rodas de corrida, um levantamento feito por Bundon, Mason e Goosey-Tolfrey (2017) verificou que em 1983 os atletas campeões da maratona de Londres levaram, aproximadamente, 3 h 20 min (masculino) e 4 h 30 min (feminino) para finalizar a prova. Enquanto, em 2016 o tempo gasto foi de, aproximadamente 1 h 35 min (masculino) e 1 h 45 m (feminino). Aí também estão envolvidas as evoluções realizadas com o treinamento dos atletas, porém, é notório a diferença de tempo e o quanto as cadeiras de rodas de corrida evoluíram para colaborar com este ganho de desempenho.

Diversos pesquisadores que estudam os esportes paralímpicos desde os primeiros jogos paralímpicos, avaliaram as posições dos atletas em cadeiras de rodas esportivas, bem como a influência das dimensões ergonômicas e antropométricas no desempenho do esporte. Esses autores, encontraram resultados importantes que demonstram a influência destes parâmetros, como, a posição do centro de gravidade do atleta em relação ao eixo das rodas traseiras, cambagem das rodas traseiras, inclinação do assento, posição das pernas, entre diversas outras variáveis possíveis na cadeira de rodas. Assim, estes autores concluíram que as dimensões da cadeira de rodas esportiva aliadas às características ergo-antropométricas dos atletas podem ajudar a diminuir o desempenho do atleta ou aumentar. E isso vai depender de como estão configurados estes parâmetros que são individuais para cada sujeito. Inclusive, porque mesmo atletas com a mesma classe de deficiência, possuem características particulares para cada indivíduo.

Dessa forma, verifica-se a importância de se considerar as características físicas individuais de cada atleta para realizar a prescrição de uma cadeira de rodas esportiva. Assim, nota-se a necessidade de se desenvolver um método de prescrição de cadeiras de rodas que considere as

principais variáveis antropométricas e ergonômicas que influenciam no desempenho do atleta, e portanto seja possível prescrever o equipamento considerando os parâmetros ótimos para cada indivíduo. Logo, verifica-se que há carência de centros de pesquisa e desenvolvimento de equipamentos de avaliação e metodologias para prescrever cadeiras de rodas em geral, inclusive as esportivas. Nesse contexto, esse projeto foi desenvolvido no Centro Brasileiro de Referência em Inovações Tecnológicas para Esportes Paralímpicos (CINTESP.Br). O CINTESP.Br desenvolve uma gama de projetos relacionados à engenharia biomecânica, tecnologias assistivas e tecnologias esportivas, com uma linha de pesquisa voltada para os esportes adaptados. Assim, a equipe do CINTESP.Br conta com profissionais de áreas multidisciplinares como, fisioterapeutas, profissionais de educação física, odontologia, medicina, terapia ocupacional, enfermagem, engenharia mecânica, engenharia elétrica, engenharia biomédica, entre outras engenharias. Esta multidisciplinaridade permite que sejam feitos diversos estudos na área da saúde em conjunto com a engenharia, uns dando suporte aos outros.

Como está descrito na revisão, diversos trabalhos descrevem que o desempenho do atleta nos esportes em cadeira de rodas está intrinsecamente relacionado a adequação do atleta com a cadeira de rodas utilizada. Assim, devem ser consideradas medidas ergonômicas, antropométricas, dimensões biomecânicas do indivíduo, bem como segurança e conforto na utilização da cadeira.

A forma mais usual de prescrever cadeiras esportivas, atualmente, é o fabricante disponibilizar um formulário com as possibilidades de variações para o atleta (BLEAKNEY, 2004). Com um catálogo destes em mãos o atleta pode escolher as dimensões que deseja. Para realizar esta escolha, geralmente são feitas algumas medidas com réguas, trenas e fitas métricas no corpo do próprio usuário de cadeira de rodas e a prescrição é realizada com base nestas medidas.

Assim, o mais comum é o próprio usuário de cadeira de rodas sugerir os ajustes que serão utilizados na sua cadeira. Porém, isto é feito levando em consideração a experiência do sujeito. Assim, não é raro chegar a cadeira de rodas pronta para o atleta com dimensões que não se adequam corretamente ao seu corpo. E o que normalmente acaba acontecendo é o usuário realizar erros e acertos até que consiga a melhor configuração. Porém, isto demanda tempo e recursos até que se consiga algo "ideal".

Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar um novo equipamento de prescrição automatizada de cadeiras de rodas de corrida que leve em consideração as características ergonômicas e antropométricas do atleta. Este equipamento deverá simular uma cadeira de rodas de corrida. Dessa forma, o equipamento de prescrição deverá ser posicionado com as rodas apoiadas no chão de forma que ele possa se movimentar livremente em uma pista de corrida utilizando a propulsão dessas rodas. Alinhado a esse objetivo, o trabalho visa desenvolver um equipamento de prescrição que replique os principais parâmetros de uma

cadeira de rodas de corrida e assim permita construir uma cadeira de rodas de atletismo personalizada para cada atleta. Juntamente a isso, desenvolver um procedimento de prescrição parametrizado em tempo real a partir dos dados obtidos. Foi proposto também uma nova cadeira de rodas de corrida projetada com partes para serem construídas por manufatura aditiva.

Visando atingir os objetivos propostos, o trabalho foi desenvolvido em capítulos, da seguinte forma:

- Capítulo II - revisão da literatura a respeito da evolução histórica do esporte adaptado e atletismo em cadeira de rodas, as partes que compõem uma cadeira de rodas de corrida, elegibilidade e classificação de atletas no atletismo em cadeira de rodas de corrida, tecnologias nos esportes adaptados e em cadeira de rodas de corrida, inovações e avanços neste esporte, recordes e estatísticas de corridas com cadeira de rodas, equipamentos de avaliação e treinamento nos esportes adaptados, ergonomia e configurações de cadeiras de rodas esportivas, biomecânica e aerodinâmica no esporte em cadeira de rodas de corrida, materiais utilizados na fabricação de cadeira de rodas e, parametrização utilizando *softwares de modelagem 3D*;
- Capítulo III - materiais e metodologia do projeto, dimensionamento e desenvolvimento do equipamento de prescrição da cadeira de rodas de corrida, adequação do equipamento de prescrição para ser apoiado sobre os rodantes no chão, adequação das variáveis de ajuste ao equipamento com os rodantes no chão, fabricação, construção e montagem do equipamento, metodologia do projeto da cadeira de rodas de corrida parcialmente em manufatura aditiva, modelagem computacional pelo método dos elementos finitos do equipamento de prescrição e da cadeira de rodas de corrida, desenvolvimento e metodologia do procedimento de prescrição e parametrização, desenvolvimento do protocolo de avaliação para concepção de uma cadeira de rodas de corrida utilizando o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida, desenvolvimento das fichas de avaliação e formulários de prescrição, metodologia para a realização de modelagem por elementos finitos do equipamento de prescrição e da cadeira;
- Capítulo IV - resultados e discussão dos resultados, custos e materiais utilizados na fabricação do equipamento de prescrição, processos de fabricação utilizados, estrutura do equipamento de prescrição e variáveis de influência da parametrização, instrumentos e dispositivos de medição e calibração, resultados da modelagem computacional utilizando o método dos elementos finitos, procedimento de parametrização utilizando programa de modelagem 3D com tabela de projetos, parametrização da cadeira de rodas de corrida, montagem do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida, es-



tofamentos e dispositivos de segurança, estudos de caso para validação do equipamento de prescrição e da metodologia de prescrição, incidente ocorrido durante os testes experimentais e sua solução, mais estudos de casos, estudo de caso com atleta, considerações acerca dos estudos de caso;

- Capítulo V - conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

# CAPÍTULO II

## REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 O Esporte em Cadeira de Rodas e as Deficiências Possíveis

Conforme Council (2014) é provável que o primeiro evento esportivo em cadeira de rodas tenha sido o que aconteceu no Royal Star e Garter Home em Richmond, Surrey - Canadá em 1923, onde um grupo de ex-militares participou de uma competição em uma "corrida de obstáculos em Zig-Zag" utilizando seus triciclos primitivos, como sendo uma das competições de um dia de esportes que ocorria anualmente na casa. A Figura 2.6 mostra um registro fotográfico do evento à época.

A maioria dos atletas de cadeira de rodas apresenta lesões na medula espinhal; entretanto, atletas com deficiência de múltiplos membros devido a amputações ou deformidades congênitas, paralisia cerebral, poliomielite ou outros distúrbios neurológicos são elegíveis para competir nesta categoria. As condições experimentadas por atletas com lesões na medula espinhal podem ser aplicáveis a outros atletas em cadeira de rodas, dependendo da extensão da função do tronco e membros superiores, nível de sensibilidade e preservação da função intestinal e da bexiga (BEUTLER; CAREY, 2018, p. 61).

De acordo com Hoo, Latzka e Harrast (2018), desde as competições paralímpicas até os esportes recreativos, os esportes adaptados vem tendo um significativo crescimento em participação e popularidade nos últimos tempos. Um avanço importante do movimento paralímpico é a promoção da saúde, bem-estar e autoestima das pessoas com deficiência.

Para Willick e Webborn (2011) há um crescimento do número de oportunidades para indivíduos com deficiências físicas participarem de diversos níveis de esportes recreativos e competitivos. Além disso, existem inúmeras organizações voltadas ao esporte para deficientes, as quais fornecem informações, recursos e apoio para, praticamente todas as atividades

esportivas e de lazer. Os Jogos Paralímpicos são os maiores eventos organizados para atletas com deficiência física, e só perde em tamanho para os Jogos Olímpicos. Desde que foram criados, inicialmente como os Jogos de Stoke Mandeville em 1948, a participação nos Jogos Paralímpicos aumentou drasticamente. Isso refletiu um aumento considerável na participação de indivíduos com deficiência nos esportes em geral.

É datado do final do século XIX e início do século XX as práticas esportivas realizadas por pessoas com deficiência. No entanto, é considerado que os primeiros passos para se realizar os jogos paralímpicos internacionais vieram dos jogos realizados em Stoke Mandeville na Inglaterra pelo neurocirurgião alemão Ludwig Guttman (MELLO; WINCKLER, 2012). Sir Ludwig Guttman (1899–1980) é considerado o pai dos esportes adaptados competitivos. O Dr. Guttman era um neurologista na Grã-Bretanha que introduziu os esportes adaptados organizados para seus pacientes com lesões na medula espinhal como parte de seu programa de reabilitação. Ele fundou o Centro Nacional de Lesões da Coluna Vertebral no Hospital Stoke Mandeville, que hospedou seu Primeiro Torneio Anual de Stoke Mandeville em 28 de julho de 1948. Este evento foi realizado no mesmo dia da cerimônia de abertura dos Jogos Olímpicos de Londres de 1948. Ela consistia de 16 veteranos militares britânicos paralisados e mulheres envolvidas em uma competição de arco e flecha. Isto levou ao estabelecimento dos Jogos Internacionais Stoke Mandeville em 1952. Então, em 1960, os Jogos de Stoke Mandeville foram realizados ao mesmo tempo e local que os Jogos Olímpicos em Roma, Itália. Este foi considerado o primeiro dos Jogos Paralímpicos de Verão, no qual 400 atletas de 23 países participaram de 8 modalidades esportivas (LEE; UIHLEIN, 2019).

Para se ter uma ideia da grandeza dos Jogos Paralímpicos da atualidade, Tsukanov (2019) cita que as Paralímpiadas mais recentes realizadas no Rio de Janeiro, no Brasil, tiveram 4350 atletas de mais de 160 países competindo em 22 esportes diferentes.

Segundo Faull e Jones (2018) após o sucesso dos Jogos Paralímpicos de Londres em 2012 e do Rio em 2016, houve um crescente interesse no paradesporto de alta performance e na participação de atletas com deficiência no esporte. Além disso houve também um crescimento no movimento paralímpico, bem como em pesquisas nesta área. Segundo o autor os Jogos Paralímpicos de 2012 e de 2016 foram os maiores da história. Neste sentido Cruz e Blauwet (2018) também destaca que tem havido um grande crescimento da prática de esporte por pessoas com deficiência, tanto a nível da prática em comunidades básicas até os Jogos Paralímpicos.

De acordo com Bhambhani (2011) a plataforma para competições esportivas de elite para atletas com deficiência física são os Jogos Paralímpicos. O órgão que regulariza os Jogos Paralímpicos de Verão e de Inverno é o Comitê Paralímpico Internacional (IPC - *International Paralympic Committee*, em inglês). Os Jogos Paralímpicos, tanto de verão quanto de inverno, acontecem a cada quatro anos nas mesmas cidades dos Jogos Olímpicos.

De acordo com Churton e Keogh (2013) o principal objetivo dos atletas de corridas em cadeiras de rodas é alcançar e manter uma velocidade média acima da alcançada pelos seus oponentes.

Segundo Järveläinen (2008), para o usuário, a cadeira de rodas é a coisa mais importante. E nos esportes a cadeira de rodas sempre é personalizada de acordo com o propósito de cada atleta a fim de diminuir e evitar desvantagens causadas pelo posicionamento incorreto do indivíduo sobre o equipamento. Por isso, em todos os esportes sempre há uma cadeira de rodas projetada especificamente para aquele fim. Ainda de acordo com Järveläinen (2008) devem ser considerados diversos e diferentes fatores ao se projetar uma cadeira de rodas esportiva, como a antropometria do atleta, visto que estes fatores influenciam diretamente no desempenho em esportes com cadeiras de rodas.

As cadeiras de rodas utilizadas para recreação e esportes são projetadas e desenvolvidas especialmente para serem utilizadas em atividades esportivas, recreativas e de ginástica, como por exemplo, corridas, ciclismo, tênis, rugby e basquete. Essas cadeiras de rodas são fabricadas com materiais leves e normalmente têm posições de eixo e cambagem específicas e muito agressivas (HASNAN, 2018).

Segundo Edwards et al. (2018) os esportes adaptados estão expandindo as oportunidades de prática de atividades físicas e de seus benefícios aos atletas com deficiência física. E dentre os esportes adaptados a corrida em cadeira de rodas é o esporte mais popular e faz parte do movimento paralímpico desde o seu início.

## **2.2 Anatomia de uma Cadeira de Rodas de Corrida**

No guia escrito pela organização ATHLETICS FOR ALL (2014), está descrito que cada cadeira de rodas de corrida é construída sob encomenda de acordo com as medidas e habilidades individuais de cada atleta. De acordo com o guia o custo médio de um equipamento destes é de aproximadamente três mil dólares sem as rodas. E sua massa varia entre 17 lb (7,7 kg) a 20 lb (9,1 kg). O comprimento da estrutura pode variar de 68" (1 727,2 mm) a 74" (1879,6 mm). O diâmetro mais usual das rodas é de 20" (508 mm) para a dianteira e 28" (711,2 mm) para as traseiras. A durabilidade do equipamento para atletas de elite costuma ser de aproximadamente 3 000 milhas (4 828 km) ou de um a dois anos.

O guia elaborado pela organização ATHLETICS FOR ALL (2014), traz também um desenho esquemático de uma cadeira de rodas de corrida, onde mostra sua "anatomia" em detalhes (Fig. 2.1).

Na Figura 2.1 é possível verificar que o atleta utiliza um capacete semelhante aos utilizados em ciclismo, em vista de colisões e quedas que acontecem nesse esporte. Além disso, são

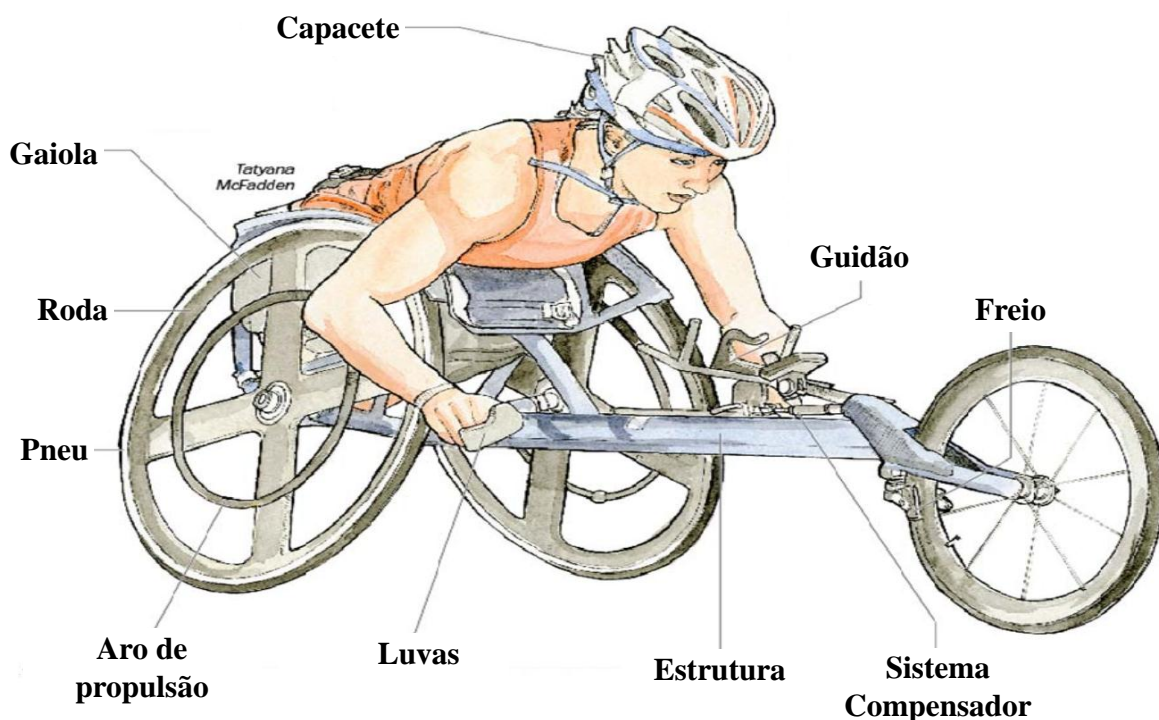


Figura 2.1 – Anatomia de uma cadeira de rodas de corrida.

Fonte: Adaptado de ATHLETICS FOR ALL (2014)

apresentados na figura, em sentido anti-horário, conforme ATHLETICS FOR ALL (2014), os seguintes itens:

**Gaiola:** Normalmente inclui o assento e os apoios para pés e joelhos. A gaiola, geralmente é de alumínio e soldada no local, e os atletas são posicionados de forma justa dentro dela.

**Roda:** A maioria dos atletas de elite utilizam rodas de fibra de carbono. Cada uma das rodas traseiras custa em média mais que 1 200 dólares cada. A cambagem das rodas traseiras é, em geral, de 11 a 15 graus de forma que isso evita que os atletas batam seus braços nos para-lamas. A Figura 2.2 representa a cambagem da roda de uma cadeira de rodas de corrida onde a letra grega  $\alpha$  representa o ângulo de cambagem.

**Pneu:** as cadeiras de rodas de corrida utilizam pneus semelhantes aos de bicicleta, com câmaras de ar embutidas.

**Aro de propulsão:** O anel de alumínio é revestido com borracha, geralmente de pneus, a fim de garantir maior atrito. Os atletas não agarram o aro de propulsão, de forma que para propulsionar a cadeira eles empurram o aro cerca de meia volta com a base de seus polegares e/ou primeiras articulações dos dedos.

**Luvas:** A técnica de propulsão é particular de cada atleta, por isso a maioria dos competidores confeccionam as próprias luvas. As luvas (feitas de plástico e borracha) apoiam-se nas articulações e proporcionam tração. Luvas molhadas podem ser bastante problemáticas, pois diminuem o atrito com o aro diminuindo a eficiência da propulsão.

**Estrutura:** Um tubo principal longo, com boa centralização do eixo com o centro de gravidade permitem uma melhor estabilidade, maior facilidade de controle e mais aerodinâmica em relação a cadeiras com quatro rodas.

**Sistema compensador:** atletas de corrida em cadeira de rodas não conseguem manobrar e propulsionar ao mesmo tempo, dessa forma esse mecanismo com mola mantém a roda dianteira em uma posição angular de giro utilizando um fim de curso, enquanto faz uma curva em uma pista de atletismo que contém o mesmo arco.

**Freio:** Corredores desaceleram e param as rodas traseiras atritando as luvas nos pneus ou aros de propulsão. Um freio semelhante ao de bicicleta irá parar a roda dianteira, se necessário, mas freia-la em alta velocidade pode fazer com que ela derrape e desgaste excessivamente fazendo-a ficar plana neste local.

**Guidão:** pequenas barras em forma de V ou U. Algumas vezes incluem tubos verticais para os corredores apoiarem seus pulsos.

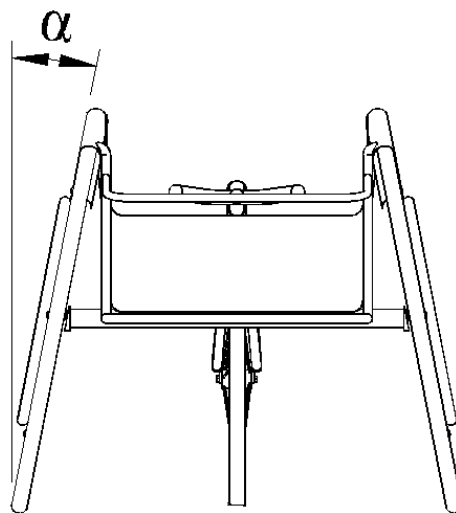


Figura 2.2 – Ângulo de cambagem na roda traseira (cadeira de rodas vista por trás).

### 2.3 Elegibilidade dos Atletas

O sistema de classificação do *World Para Athletics* tem duas finalidades principais, que são, primeiro **determinar a elegibilidade** para definir quem são os atletas elegíveis a competir nos eventos mundiais de atletismo e, segundo **alocar a classe esportiva** com o objetivo de definir metodologias padrão para direcionar os atletas elegíveis para suas classes esportivas. O propósito dessa alocação é permitir que os atletas que competirem em cada classe tenham limitações equivalentes (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

Para participar de competições no atletismo paralímpico a pessoa precisa ter um tipo de deficiência elegível. A deficiência deve ser considerada, suficientemente, grave para gerar um impacto no esporte de atletismo (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

Os Critérios Mínimos de Incapacidade (em inglês *Minimum Disability Criteria* - MDC) podem ser consultados no documento denominado *World Para Athletics Classification Rules and Regulations* disponível no site da World Para Athletics (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

São 10 (dez) os tipos de deficiências elegíveis. Dessas dez, oito são deficiências físicas, e as outras duas são visual e intelectual (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

De acordo com World Para Athletics (2019), os 10 (dez) tipos de deficiências são:

1. **Distrofia muscular:** neste caso a musculatura está total ou parcialmente paralisada, tanto nos membros, quanto no tronco. Pode ser em decorrência de espinha bífida, lesão medular ou poliomelite .
2. **Amplitude de movimento diminuída:** caracterizada por redução permanente em uma ou mais articulações, em decorrência de trauma, doença ou deficiência congênita (por exemplo, condições como artrogripose ou contratura articular resultante de trauma) .
3. **Deficiência nos membros:** caracterizada por ausência total ou parcial de ossos ou articulações, desde o nascimento ou em decorrência de algum trauma (por exemplo, amputação traumática), ou doença (por exemplo, amputação devido à algum câncer) .
4. **Ataxia:** caracterizada pela deficiência na coordenação muscular. Falta de coordenação muscular decorrente de problemas com as partes do sistema nervoso central que controlam o movimento e o equilíbrio. Próprio de condições como paralisia cerebral e lesão cerebral traumática .
5. **Atetose:** deficiência no controle de movimentos. Caracterizado por movimentos repetitivos, involuntários e mais ou menos contínuos ocasionados pela flutuação do tônus

muscular em decorrência de problemas no sistema nervoso central. Próprio de condições como paralisia cerebral .

6. **Hipertonía anormal:** característico de quem teve lesão cerebral traumática, paralisia cerebral e derrame. As características da deficiência são aumento anormal de tensão muscular com capacidade reduzida de alongar os músculos, rigidez nas articulações, movimentos lentos, má adaptação e equilíbrios posturais prejudicados, em decorrência de problemas no sistema nervoso central .
7. **Baixa estatura:** caracterizada pela altura em pé reduzida e comprimento dos membros também reduzidos causados por acondroplasia e osteogênese imperfeita.
8. **Diferença no comprimento das pernas:** deve haver uma diferença mínima no comprimento entre as duas pernas devido a doença, trauma ou condições congênitas.
9. **Deficiência visual:** a característica desta deficiência é a visão afetada e comprometida na estrutura ocular, no nervo ou vias ópticas, ou ainda, um comprometimento em parte do cérebro que controla a visão, o chamado córtex visual.
10. **Deficiência intelectual:** caracteriza-se por limitações nas funções intelectuais e no comportamento adaptativo. O diagnóstico deve ser realizado antes dos 18 anos.

## 2.4 Classificação funcional em Corridas de Cadeiras de Rodas

Segundo Vanlandewijck et al. (2011), após os Jogos Paralímpicos de Pequim (2008), no ano de 2009 o Comitê Paralímpico Internacional (IPC) endossou extensas revisões do Sistema de Classificação de Atletismo do IPC, as quais foram implementadas a partir dos Jogos Paralímpicos de Londres (2012).

A corrida em cadeira de rodas é um esporte de atletismo que faz parte do esporte paralímpico. As corridas podem ser curtas, médias ou longas (100, 200, 400 e 800 m, 1,5, 5 e 10 km, meia maratona e, maratona). Os atletas dessa modalidade são classificados em quatro diferentes classes: T51, T52, T53 e T54 (FUSS, 2009).

A classificação funcional no paraatletismo tem o objetivo de reduzir o impacto das deficiências elegíveis no resultado da competição. Dessa forma, após a avaliação os atletas são alocados em suas respectivas categorias de competição, denominadas **classes esportivas**, conforme o quanto o comprometimento da deficiência afeta o desempenho esportivo (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

De forma geral, os atletas que tenham um desempenho esportivo semelhante, participam das mesmas classes nas competições. O sistema é uma garantia de que atletas com



deficiência menos severa tenham alguma vantagem sobre seus concorrentes (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

A simbologia da classificação é composta por uma letra e dois números. Os números representam o grau de comprometimento da deficiência. Quanto menor o número dentro de cada tipo de deficiência, maior será o comprometimento, e vice-versa (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

Os esportes de atletismo são classificados em esporte de campo, com prefixo **F** (F de *Field*, em inglês). Ou esporte de pista, com prefixo **T** (T de *Track*, em inglês) (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

Assim, os atletas que correm em cadeiras de rodas competem em esportes de pista, e são classificados de T51 a T54 (Fig. 2.3) (deficiência de membros, diferença no comprimento das pernas, distrofia muscular ou amplitude de movimento diminuída) (WORLD PARA ATHLETICS, 2019).

Mais detalhes sobre cada classe são descritos abaixo, conforme World Para Athletics (2019) :

- T51 - Atletas que apresentam diminuição da força muscular nos ombros e dificuldade em esticar os cotovelos para a ação de empurrar necessária para a propulsão em corridas de cadeira de rodas. Não apresentam força muscular no tronco. A propulsão é conseguida em uma ação de puxar utilizando os músculos flexores do cotovelo e extensores do punho .
- T52 – Nessa classe os atletas utilizam os músculos do punho, cotovelo e ombro para propulsionar a cadeira de rodas. Os dedos tem pouca ou nenhuma força muscular e há uma perda na força muscular das mãos. Em geral, não há força muscular no tronco.
- T53 - Em geral os atletas dessa classe tem função completa dos braços, porém, não apresentam atividade muscular da coluna vertebral abdominal ou inferior.
- T54 – Nessa classe os atletas apresentam força muscular total nos músculos dos braços e alguns com força muscular total no tronco. Os atletas podem ter alguma função nas pernas.



Figura 2.3 – Atletas nas classes T51-T54 utilizam cadeiras de rodas de corrida nas competições.

Fonte: <https://shatorch.com/wp-content/uploads/2017/12/image.jpeg>

## 2.5 Regras e Regulamentações do IPC para a Cadeira de Rodas de Corrida

As regras descritas aqui são direcionadas ao esporte de corridas em cadeira de rodas de corrida para as classes T51 a T54.

Em todas as competições reconhecidas pela World Para Athletics (WPA)<sup>1</sup> a cadeira de rodas de corrida deve ser provida de duas rodas traseiras grandes e uma roda dianteira pequena (WORLD PARA ATHLETICS, 2020). Segundo a World Para Athletics (2020) todas as cadeiras de corrida devem ter um sistema de frenagem funcional com fins de segurança. E não é permitida a utilização de nenhum tipo de engrenagem ou alavanca mecânica para propulsionar a cadeira, bem como o uso de espelhos não é permitido em nenhuma corrida.

Para realizar curvas os atletas devem ser capazes de girar a roda dianteira para a direita e para a esquerda de forma manual e somente com dispositivos de direção mecânica com operação manual. Também não é permitido a utilização de carenagens ou dispositivos similares para melhorar o desempenho aerodinâmico (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

Nenhuma parte da cadeira de corridas, peças anexas ou acessórios podem incorporar algum meio de armazenamento de energia (energia elástica, por exemplo) com o propósito de obter ganho no desempenho (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

Durante o evento o atleta pode utilizar monitores de frequência cardíaca, de velocidade, de passada, de distância, entre outros, afixado nele ou na cadeira de rodas de corrida, desde

<sup>1</sup> A WPA é administrada pelo IPC sendo a federação internacional do atletismo paralímpico, sua sede atual é em Bonn na Alemanha.

que tal dispositivo não seja utilizado para se comunicar com outra pessoa (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

A menos que seja aprovado pela WPA e pela Delegação Técnica, nenhum dispositivo com função de transmissão para fins de apresentação ou transmissão do evento será permitido em competições reconhecidas pela WPA (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

De acordo com a World Para Athletics (2020) nenhuma parte da estrutura da cadeira de rodas de corrida ou quaisquer acessórios nela deve se estender para a parte dianteira do cubo da roda da frente e nem para trás do plano vertical mais atrás das rodas traseiras (incluindo o pneu traseiro). Além disso, a largura da estrutura e de qualquer um de seus acessórios não pode ultrapassar o plano inclinado dos aros de propulsão (ver Figura 2.4).

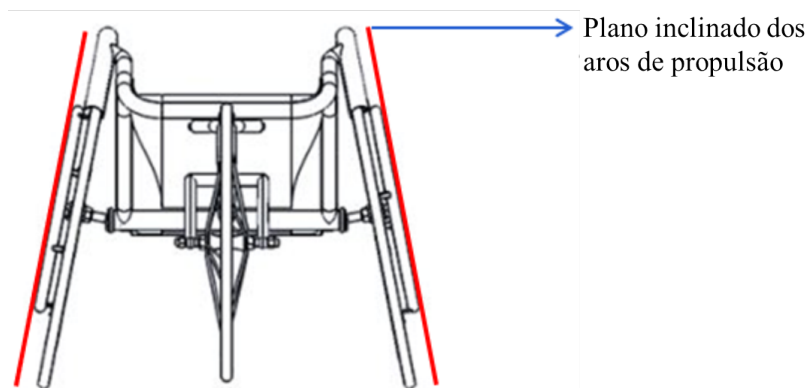


Figura 2.4 – Plano inclinado dos aros de propulsão.  
Fonte: (WORLD PARA ATHLETICS, 2020, p. 90)

Os juízes da sala de chamada inspecionarão todas as cadeiras de rodas de corrida para certificar que nenhum acessório esteja passando do plano inclinado dos aros de propulsão (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

A altura máxima do solo à parte inferior da estrutura da cadeira de rodas deve ser de 50 cm. A estrutura do chassi deve ser feita de um material que forneça estabilidade e rigidez suficientes para garantir a segurança. Com o propósito do atleta ficar em posição sentada o chassi da cadeira de rodas de corrida deve incorporar um assento. O uso de guardas laterais (para lamas) pode ser adicionado para proteger o atleta das rodas e deve estar em conformidade com a Regra relativa à Figura 2.4 (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

O diâmetro máximo da roda grande incluindo o pneu cheio não deve exceder 70 cm. O diâmetro máximo da roda pequena incluindo o pneu cheio não deve exceder 50 cm. É permitido apenas um aro liso e redondo (de propulsão) para cada roda grande. Para atletas T51/52 que possam ter alguma limitação em sua capacidade de estabilizar o pulso durante a propulsão, uma modificação deve ser permitida para que um aro e disco de roda possam ser fundidos e incorporados ao aro de propulsão. Nenhuma parte do corpo do atleta deve

ser presa ao aro de propulsão ou à roda. Todos os atletas competindo em cadeiras de rodas de corrida devem apenas impulsionar sua cadeira de corrida através da ação de empurrar exercida pelo(s) braço(s) do atleta. As extremidades inferiores (pernas e pés), ou qualquer prótese relevante, não estão autorizadas a tocar o solo para impulsionar o cadeira de corrida ou estabilizá-la (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

As cadeiras de rodas serão medidas e inspecionadas na Câmara de Chamada e, uma vez inspecionadas, não deverão ser retiradas da área de competição antes do início do evento. As cadeiras de rodas podem ser reexaminadas pelo Árbitro da Pista ou outros oficiais antes ou depois do evento. É responsabilidade dos atletas garantir que sua cadeira de rodas esteja de acordo com os requisitos estipulados acima. Nenhum evento deve ser atrasado enquanto o atleta faz ajustes em sua cadeira de rodas. Se um atleta deixar de cumprir esta Regra, ele não terá permissão para iniciar o evento e será mostrado nos resultados como DNS (Did Not Start - Não Deu Início) (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

Se o Árbitro acreditar que uma cadeira de rodas e/ou um atleta representam risco à segurança, ele está autorizado a excluir o atleta e/ou cadeira de rodas de um evento. Por segurança, os atletas devem proteger seus membros inferiores para que não caiam no chão e causem lesões (WORLD PARA ATHLETICS, 2020).

## 2.6 Esportes Adaptados (Paralímpicos)

Conforme Edwards Steven D. McNamee (2011), os Jogos Paralímpicos representam o auge da excelência esportiva para homens e mulheres com deficiência. Sendo este um fenômeno relativamente novo. Segundo o autor os primeiros jogos organizados sistematicamente para pessoas com deficiência ocorreram no Reino Unido em 1948, e dessa forma, o Movimento Paralímpico teve início quatro anos depois quando se juntaram atletas dos países baixos aos jogos, tornando-os internacionais. Conforme o tempo passou, os Jogos Paralímpicos passaram a acontecer paralelamente aos Jogos Olímpicos.

Esportes adaptados são uma potente ferramenta de reabilitação para pessoas com deficiência. Eles proporcionam melhoria nos níveis de saúde e bem-estar dos atletas (RICE, 2016).

Segundo Cardoso, Araujo e Oliveira (2018), o paradesporto é de suma importância para pessoas com deficiência para proporcionar melhor qualidade de vida e para a manutenção da saúde. De acordo com os autores "a prática regular de esportes para as pessoas com deficiência traz benefícios para a sua saúde física e mental melhorando sua condição cardiovascular, seu equilíbrio e coordenação motora". Além disso, melhora sua autoestima e autoconfiança devido a maior interação social que o esporte proporciona.

## 2.7 Tecnologias e Avanços nos Esportes Adaptados

Para MacDonald, Oprescu e Kean (2018) no campo do esporte, há uma necessidade de compreender melhor vários fatores que podem afetar os atletas e seu desempenho.

De acordo com Laferrier et al. (2012), apesar dos avanços significativos na disponibilidade e desenho de projeto das cadeiras de rodas de corrida, o ponto crítico ainda continua sendo a interface usuário/cadeira de rodas de corrida. Segundo os autores o assento deve se encaixar bem ao usuário. Além disso, a relação entre o usuário (suas mãos) e o aro de propulsão é um parâmetro ainda pouco compreendido e apresenta diversas oportunidades de melhorias. Laferrier et al. (2012) destacam que a interface do usuário com o aro de propulsão é influenciada por variáveis, como a posição do assento, a localização do eixo em relação ao ombro, o diâmetro do aro de propulsão e o diâmetro do tubo do aro de propulsão.

De acordo com Rice (2016), a utilização da tecnologia tem o potencial de impactar positivamente o sucesso nos esportes em cadeira de rodas.

Segundo Rice (2016) a partir dos dados coletados com o SW é possível avaliar melhorias do aro de propulsão para beneficiar o atleta durante as corridas. Assim, características como o diâmetro do aro de propulsão, a distância entre o aro de propulsão e a roda e até mesmo o diâmetro do tubo do aro de propulsão poderão ser ajustados para melhorar a performance do atleta de acordo com a análise dos dados registrados nos testes feitos com o *SmartWheel*<sup>TM</sup> (SW).



Figura 2.5 – *SmartWheel*<sup>TM</sup> com seis graus de liberdade para cadeira de rodas de corrida.  
Fonte: (RICE, 2016).

Segundo Cooper e Luigi (2014), esportes em cadeiras de rodas são uma ferramenta importante para a reabilitação de pessoas com deficiências severas. De acordo com os autores a busca por melhores desempenhos tem impulsionado o desenvolvimento e aplicação de no-

vas tecnologias nas cadeiras de rodas esportivas. Todo esse desenvolvimento demanda uma engenharia sofisticada para gerar avanços na tecnologia em equipamentos esportivos. No entanto, cadeiras de rodas com as melhores tecnologias não garantem um desempenho ótimo no esporte, pois o atleta deve estar bem treinado e ter afinidade com o equipamento para obter o sucesso esperado.

Em esportes paralímpicos, como corrida em cadeira de rodas, geralmente são utilizadas as mesmas tecnologias usadas em esportes olímpicos. Em alguns esportes paralímpicos, como nas cadeiras de rodas de corridas, a tecnologia se tornou algo essencial (FORTE; BARBOSA; MARINHO, 2015).

## 2.8 Engenharia e Tecnologia em Cadeiras de Rodas Esportivas

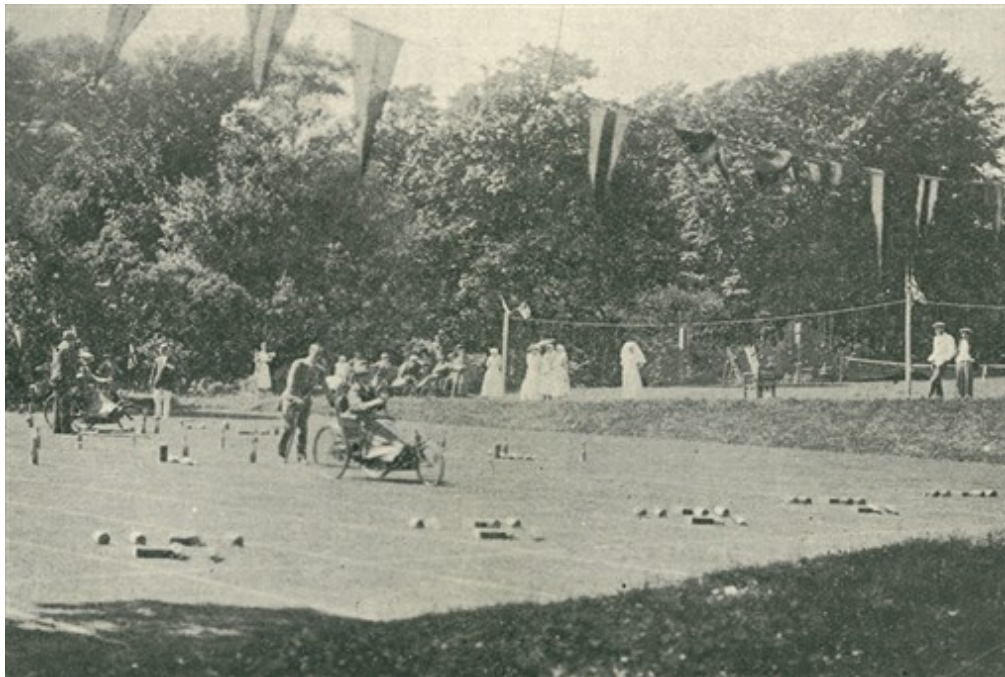


Figura 2.6 – Provável primeiro evento em cadeira de rodas que se tem registro, ocorrido em 1923.

Disponível em:

[http://www.mandevillelegacy.org.uk/images/uploaded/scaled/RSG5\\_zigzag1.jpg](http://www.mandevillelegacy.org.uk/images/uploaded/scaled/RSG5_zigzag1.jpg). Acesso em 16/01/2019.

De acordo com Cooper et al. (2018) nos países de baixa e média renda existem mais de 29 milhões de pessoas que necessitam de algum tipo de prótese ou órtese. Nesses países, de 20 a 100 milhões de pessoas precisam fazer uso de cadeira de rodas.

Segundo Cooper et al. (2018) alguns princípios básicos que são importantes a se considerar no projeto de cadeiras de rodas esportivas são o peso, a rigidez e a resistência mecânica,

as resistências ao movimento (resistência ao rolamento, resistência ao vento e, resistência interna) e, a ergonomia. A seguir uma breve explicação da importância de cada um desses fatores, segundo Cooper et al. (2018):

**Peso:** em esportes onde a velocidade e agilidade são importantes, o menor peso possível é essencial, pois o menor peso tende a reduzir a força necessária para impulsionar e manobrar a cadeira de rodas, fazendo com que ela fique mais rápida e ágil.

**Rigidez e resistência mecânica:** uma cadeira de rodas esportiva ideal seria muito leve, extremamente resistente e altamente rígida, no entanto, no projeto são necessárias algumas compensações para otimizar a rigidez, a resistência e o peso.

**Resistência ao movimento:** nos projetos de cadeiras de rodas esportivas onde o movimento é algo crítico, um dos objetivos é minimizar tais resistências. A resistência ao rolamento pode ser minimizada pela correta escolha de rodas, pneus e rolamentos, além do correto alinhamento das rodas. A resistência ao vento é relacionada com a aerodinâmica da cadeira de rodas. A resistência interna se refere a flexão ou movimento resultante do atleta se movendo sobre o assento, o assento se movendo em relação ao chassi e a torção e empenamento do chassi que causa um desalinhamento da roda ou a dissipação da energia do usuário pelo chassi.

**Ergonomia:** o objetivo biomecânico e ergonômico do projeto da cadeira de rodas esportiva é que o dispositivo e o usuário se tornem um só, em um nível subconsciente. Simultaneamente, o encaixe e posicionamento do usuário deve maximizar o controle e o movimento da cadeira de rodas em resposta ao movimento volitivo do usuário, com mínimo esforço fisiológico. Em geral a interface e interação do usuário com a cadeira de rodas são os desafios mais complexos do projeto.

Sobre esses fatores citados anteriormente, Cooper et al. (2018) destaca que eles devem ser considerados em conjunto com as capacidades (físicas, fisiológicas, características do sujeito) dos usuários, a segurança do usuário e outros participantes, e os objetivos do esporte. Os materiais, fabricação e técnicas de montagem são determinados por esses fatores, bem como as necessidades específicas do esporte e as habilidades do(s) usuário(s). Normalmente, fabricantes e montadores tendem a usar um conjunto padronizado de recursos para gerenciar custos e, em seguida, ter alguns aspectos personalizáveis para atender usuários individuais. Um ponto importante para o projeto de cadeiras de rodas esportivas é encaixar o assento com o mesmo cuidado que um sapato ou encaixe de prótese, e encaixar a geometria da cadeira com tanto cuidado quanto um ciclista profissional.

## 2.9 Avanços e Inovações em Cadeiras de Rodas de Corridas

De acordo com Masse, Lamontagne e O'riain (1992) nos anos 1980 foram observadas enormes melhorias nos recordes de corridas em cadeiras de roda. Segundo os autores essas melhorias no desempenho se devem, em parte, ao desenvolvimento de cadeiras de rodas melhores. Conforme Masse, Lamontagne e O'riain (1992) desde a introdução das corridas em cadeira de rodas nos anos 1940 ocorreram mudanças no equipamento, como: abaixar o assento, inclinar as rodas traseiras (cambagem) e mover seu eixo para frente, mudanças nos diâmetros das rodas e dos aros de propulsão, e além disso houveram diversas alterações na estrutura.

No trabalho realizado por Trudel et al. (1997) foi avaliado o efeito da cambagem das rodas traseiras na estabilidade da cadeiras de rodas. Os autores concluíram que na época a cambagem das cadeiras de rodas era associada erroneamente a acidentes de instabilidade que ocorriam com as cadeiras.

Segundo Rice et al. (2016), a partir da década de 1970 as cadeiras de rodas utilizadas em corridas passaram de um simples dispositivo de auxílio para um equipamento esportivo complexo, o que fez com que o treinamento e o desempenho dos atletas aumentasse. Conforme os autores o redesenho e progressão dos equipamentos esportivos são fatores que continuam contribuindo para o desempenho dos atletas. De forma semelhante ao ciclismo, as cadeiras de rodas de corrida atuais utilizam materiais rígidos e leves, além de posicionamento aerodinâmico do corpo e equipamento personalizado de acordo com a antropometria de cada atleta.

Conforme Mason, Woude e Goosey-Tolfrey (2013), diversos autores destacam que o desempenho do atleta em cadeira de rodas está diretamente relacionado à ergonomia. Assim, são importantes no desempenho do atleta o seu posicionamento em relação ao assento, a cambagem da roda traseira e, o tamanho das rodas e do aro de propulsão. No caso dos aros de propulsão o autor destaca que a relação de transmissão entre o aro de propulsão e a roda pode ser reduzido diminuindo o diâmetro do aro de propulsão.

No Brasil a única empresa que fabrica comercialmente cadeiras de rodas de corrida é a Alphamix com seu modelo Speed Racing (Figura 2.7). Este equipamento é fabricado em liga de alumínio e tem seu cockpit moldado às especificidades do atleta (ALPHAMIX, 2019).

A Figura 2.8 mostra uma cadeira de rodas de corrida *Invacare Top End Eliminator OSR* do fabricante *TOP END* que faz parte da companhia Invacare. Esse equipamento possui capacidade de carga para um atleta de até 113 kg. Fabricada por tubos de liga de alumínio 6061-T6 que é um material leve e resistente. Seu formato é desenhado para esportes de velocidade, de forma que a cadeira é estável, devido à cambagem nas rodas traseiras e possui um desenho aerodinâmico. O fabricante disponibiliza um formulário com diversas opções





Figura 2.7 – Cadeira de rodas de corrida Speed Racing da empresa nacional Alphamix.  
Disponível em: <http://alphamix.com.br//arquivos/produto/prod23.jpg>. Acesso em 16/01/2019.

de dimensões. O assento possui 3 opções de configuração. A cambagem pode variar de 11 a 15 graus de inclinação, sendo a cambagem de 11 graus a mais escolhida pelos atletas. A distância do encosto ao eixo traseiro (centro de gravidade) também pode variar até 76 mm. A distância entre as rodas traseiras pode ser escolhida entre uma gama de medidas que variam de 254 a 432 mm. A altura do assento pode variar de 381 a 508 mm em relação ao chão. Os diâmetros dos aros de propulsão são escolhidos entre 4 opções (305 a 405 mm), sendo o aro de 14 polegadas (355 mm) o mais utilizado (INVACARE CORPORATION, 2015).



Figura 2.8 – Cadeira de rodas de corrida do fabricante TOP END.

Disponível em:

[https://topendwheelchair.invacare.com/file/v4536626461701872225/general/TopEndHeroBannerHigh%20D\\_Roman\\_03.jpg](https://topendwheelchair.invacare.com/file/v4536626461701872225/general/TopEndHeroBannerHigh%20D_Roman_03.jpg). Acesso em 06/02/2019.

De acordo com Rice et al. (2011) a biomecânica da propulsão e a interface do usuário com

a cadeira de rodas são parâmetros essenciais ao desempenho do atleta.

Em geral as características básicas dos projetos de cadeiras de rodas esportivas têm permanecido as mesmas nos últimos anos. No entanto, a otimização geométrica da interface usuário/cadeira de rodas vem evoluindo significativamente. O processo de otimização dessa geometria pode ser complexo devido a uma série de fatores, que afetam as técnicas de propulsão, a eficiência, o gasto energético e a carga mecânica dos membros superiores. Assim, pesquisadores e fabricantes fazem uso das mais recentes tecnologias para melhorar o desempenho dos atletas e a prevenção de lesões (RICE, 2016).

Segundo Rice (2016) um exemplo de tecnologia de ponta colocada em prática, é evidente no desenvolvimento da cadeira de rodas de corrida projetada pela BMW.

O estúdio de desenvolvimento BMW Designworks, situado na Califórnia-EUA, desenvolveu uma cadeira de rodas de corrida feita em fibra de carbono para a equipe do atletismo paralímpico dos Estados Unidos utilizar nas Paralímpiadas Rio 2016. A princípio a BMW realizou uma varredura 3D com os atletas em suas atuais cadeiras de rodas e em seguida fez simulações aerodinâmicas (NEWCOMB, 2016).

De acordo com Newcomb (2016), a BMW utilizou fibra de carbono em lugar das tradicionais estruturas de alumínio, para aumentar a razão resistência/ peso e para melhorar a aerodinâmica, já que com a fibra de carbono são maiores as possibilidades de redesenho do contorno (forma) do equipamento. A Figura 2.9 apresenta uma visão lateral da cadeira de rodas de corrida desenvolvida pela BMW.



Figura 2.9 – Cadeira de rodas de corrida desenvolvida pela BMW.

Fonte: (NEWCOMB, 2016)

Frequentemente, as empresas tem adotado as mais recentes técnicas e tecnologias de engenharia para maximizar o potencial de cada atleta. Empresas como BMW, Honda, Nissan e *OX Engineering* usam materiais e técnicas sofisticadas para garantir um melhor

ajuste entre o usuário e a cadeira de rodas de corrida. Estes materiais e técnicas envolvem escaneamento 3D, manufatura aditiva, entre outros. Um exemplo é a Honda-Yachiyo que está desenvolvendo uma estrutura totalmente em fibra de carbono utilizando um método que avalia a antropometria do atleta de acordo com seu posicionamento na cadeira de rodas de corrida. Este método pode ser verificado no vídeo disponível no seguinte link: [www.youtube.com/watch?v=gq9JnkKWTfE&feature=youtu.be](http://www.youtube.com/watch?v=gq9JnkKWTfE&feature=youtu.be) (Acesso em: 29/05/2018) (COOPER et al., 2018).

No Japão a Honda-Yachiyo desenvolveram cadeiras de rodas de corrida utilizando fibra de carbono na sua estrutura. Na Figura 2.10 podem ser visualizados os modelos KIWAMI e IDOMI, os quais apresentam uma massa de 8000 gramas e 8500 gramas, respectivamente. Essa massa já considera com roda de carbono ultra leve instalada, a qual tem massa individual de 850 gramas sem o pneu e o aro de propulsão (YACHIYO, 2016). Para efeitos de comparação, a cadeira de rodas de corrida Invacare<sup>®</sup> Top End<sup>®</sup> Eliminator<sup>™</sup> OSR Racing Chair, fabricada com uma liga de alumínio, tem uma massa de aproximadamente 12 kg montada (INVACARE CORPORATION, 2011).



Figura 2.10 – Modelos KIWAMI (frente) e IDOMI (atrás) de cadeiras de rodas de corrida desenvolvidas pela Honda-Yachiyo.

Fonte: <https://www.yachiyo-ind.co.jp/lib/2018/03/kiwamiidomi1.jpg>. Acesso em: 29/05/2018

Medalhas paralímpicas tem sido dominadas tradicionalmente por nações ocidentais, em parte, devido a sua posição de vanguarda nos avanços tecnológicos no que tange os equipamentos voltados para o esporte paralímpico (HOWE, 2011).

Segundo Bundon, Mason e Goosey-Tolfrey (2017) desde os anos 1980 a evolução no desenho, configuração e na fabricação das cadeiras de rodas de corridas fizeram com que elas se

parecessem pouco com as cadeiras de rodas utilizadas nos primórdios das corridas em cadeiras de rodas. Isso fez com que houvesse uma melhoria considerável nos tempos de chegada nas provas de corrida em cadeira de rodas conforme pode ser visualizado na Figura 2.11.

De acordo com Bundon, Mason e Goosey-Tolfrey (2017) os três fatores principais que influenciam no desempenho dos atletas de corrida em cadeira de rodas são o atleta, a cadeira de rodas de corrida e, a interface do atleta com a cadeira de rodas. Ainda de acordo com os autores o fator que tem recebido menos atenção por parte dos estudiosos é a interface do atleta com a cadeira de rodas.

O objeto do trabalho realizado por Bundon, Mason e Goosey-Tolfrey (2017) foi realizar uma pesquisa qualitativa junto aos atletas, treinadores e fabricantes de cadeiras de rodas de corridas sobre sua percepção em relação aos diversos aspectos relacionados ao impacto do design e configuração das cadeiras de rodas sobre o desempenho dos atletas. Dentre os aspectos abordados estão a evolução das cadeiras de rodas, a adoção ou rejeição em relação a determinados projetos, a opinião sobre novos materiais e sugestões para pesquisas futuras baseadas em suas necessidades.

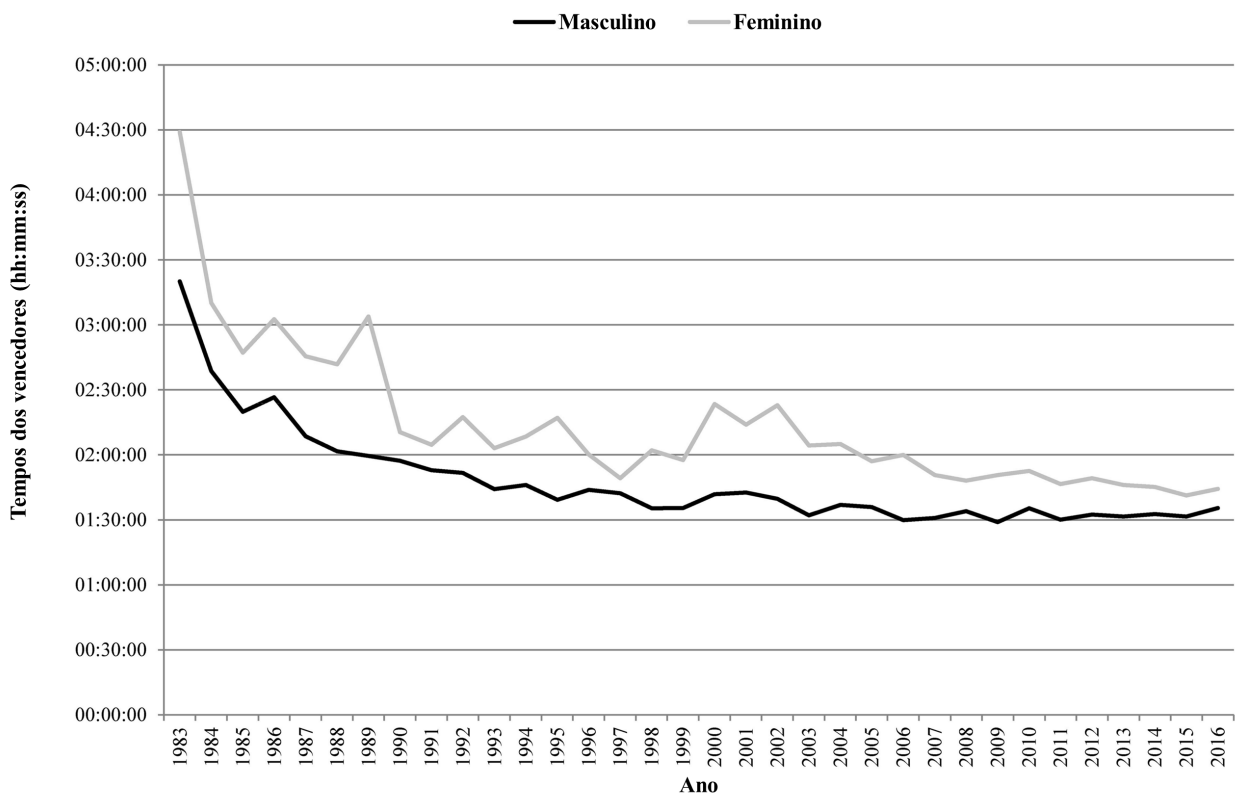


Figura 2.11 – Representação gráfica dos tempos dos campeões na maratona de Londres para os eventos masculino e feminino desde 1983.

Fonte: (BUNDON; MASON; GOOSEY-TOLFREY, 2017)

Como resultado do trabalho de entrevistas realizado por Bundon, Mason e Goosey-Tolfrey

(2017), quando os entrevistados foram perguntados sobre as rodas das cadeiras de corridas. Foram avaliados os três tipos mais comuns que são as rodas raiadas (Fig. 2.12a), as rodas de quatro raios (Fig. 2.12b) e, as rodas de disco (Fig. 2.12c). Todos responderam que sua percepção era de que as rodas de disco eram as mais rígidas e aerodinâmicas; as rodas de quatro raios são rígidas, mais leves e menos aerodinâmicas em relação às de disco; e as rodas raiadas são as mais leves e, menos rígidas e menos aerodinâmicas dentre as três, por isso são usadas pelos iniciantes no esporte.

Ainda na mesma pesquisa, em relação aos pneus os entrevistados consideraram mais importante a pressão do pneu do que a marca ou tipo utilizado. Eles foram unânimes em considerar que quanto maior a pressão dos pneus e mais rígidos estiverem, melhor será o desempenho nas corridas. No entanto, os atletas divergiram bastante em relação ao valor ideal da pressão nos pneus (BUNDON; MASON; GOOSEY-TOLFREY, 2017).

Nas entrevistas também foram abordados os rolamentos, e neste caso verificou-se que os atletas não tem um grande conhecimento que os levem a acreditar que um rolamento de cerâmica tem mais vantagem em relação a um rolamento de aço, por exemplo. Sendo assim, os atletas não tem um incentivo para trocar os rolamentos fornecidos pelo fabricante (BUNDON; MASON; GOOSEY-TOLFREY, 2017).

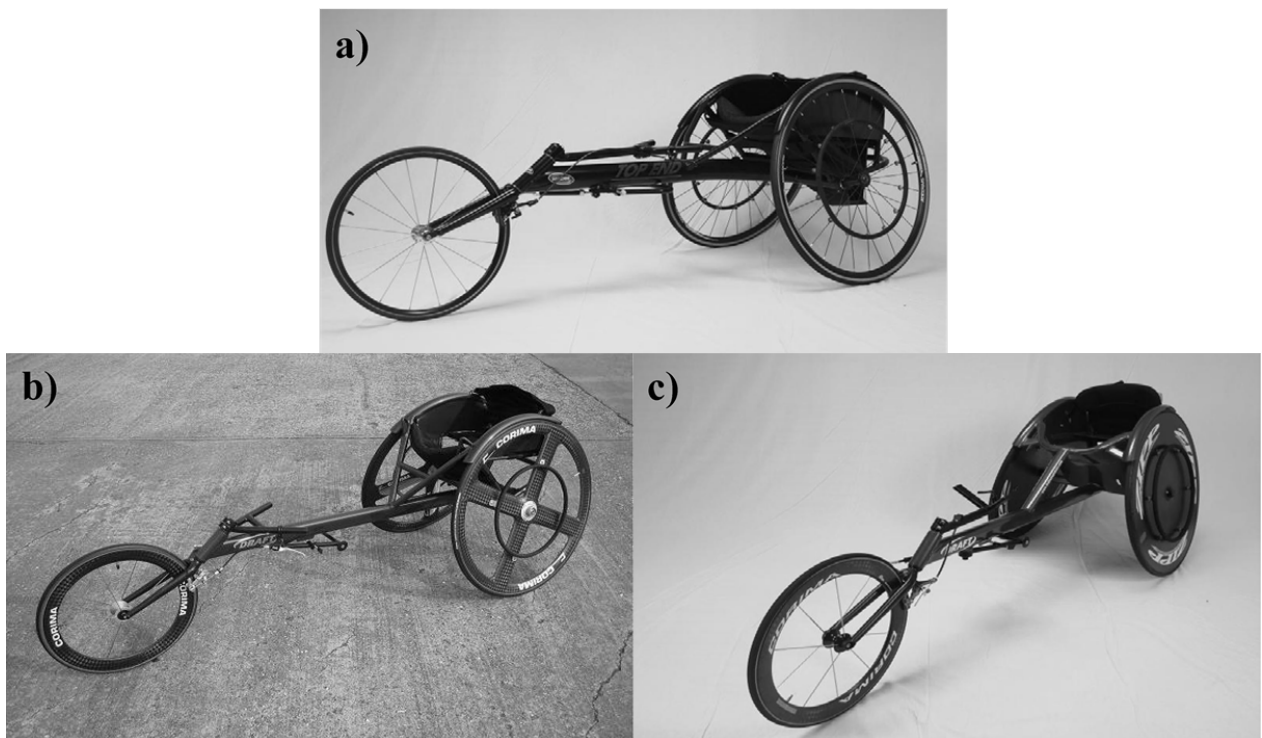


Figura 2.12 – Configurações das rodas de cadeiras de rodas de corrida (a) raiadas, (b) quatro raios, e (c) disco .

Fonte: (BUNDON; MASON; GOOSEY-TOLFREY, 2017)

## 2.10 Recordes com Cadeiras de Rodas de Corrida

De acordo com Chow e Chae (2000) em uma corrida de 100 m um atleta em cadeira de rodas de corrida parte de uma posição estacionária para uma velocidade máxima quando atinge cerca de 30 m a 50 m, mantém esta velocidade por 20 m a 40 m até desacelerar ao final da corrida.

Segundo Howe (2011) durante os anos 1980 o recorde mundial de corridas de 800 m com cadeiras de rodas situou-se em 1:41.73 minutos. Enquanto o recorde atual (na época em que foi escrito o artigo) é de 1:32.17 minutos.

Ainda de acordo com Howe (2011), os atletas de corrida em cadeira de rodas passaram a ser mais velozes ao longo do tempo, devido em parte, aos avanços nas tecnologias utilizadas nas cadeiras de rodas.

Segundo Marcellini (2018) não é possível comparar uma corrida a pé com uma corrida com cadeiras de rodas de corrida. De acordo com o autor a partir de distâncias de 400 e 800 metros corredores com cadeiras de rodas da classe T54 são mais rápidos que corredores ambulantes. Isso é verificado pelos recordes mundiais em corridas. A Tabela 2.1 mostra as diferenças entre os recordes mundiais de cada modalidade. As informações contidas na Tabela 2.1 foram extraídas dos sites do Comitê Paralímpico Internacional ((IPC, 2019)) e Associação Internacional de Federações de Atletismo ((IAAF, 2019)). Nesta tabela observamos os recordes mundiais de corridas para 100 m, 200 m, 400 m, 800 m, 1 500 m e 10 000 m, para atletas masculinos de cadeiras de rodas de corrida (linhas em branco) e atletas masculinos ambulantes (linhas em cinza). Nota-se nesta tabela que até 200 m quem obtém os melhores tempos são os atletas ambulantes, já para 400 m o tempo para ambos é equivalente. No entanto, após a distância de 800 m os atletas de corrida em cadeira de rodas obtém os melhores tempos, conforme citado por Marcellini (2018).

## 2.11 Equipamentos para Avaliação e Treinamento de Usuários de Cadeiras de Rodas

Existem atualmente alguns equipamentos utilizados para avaliação e treinamento de usuários de cadeira de rodas. Muitos deles são específicos, voltados para uma determinada modalidade esportiva. Nesta linha, existem equipamentos dotados de simulação computacional que buscam aproximar o usuário de uma realidade virtual. No entanto, muitos desses dispositivos utilizam a própria cadeira de rodas do usuário.

O equipamento resultado da invenção de Mayes e Burak (1997) foi projetado para treinamento e simulação de corridas em cadeira de rodas de corrida com três rodas. Para se realizar o treino, posiciona-se a cadeira de rodas sobre o dispositivo com a roda dianteira travada.

Tabela 2.1 – Redordes mundiais em corridas para atletas masculinos, em cadeiras de rodas classe T54 (linhas em branco) e atletas ambulantes (linhas em cinza)

<b>Distância (m)</b>	<b>Atleta</b>	<b>País de Origem</b>	<b>Tempo*</b>	<b>Data do Recorde</b>	<b>Local do Recorde</b>
100	Tahti, Leo Pekka	Finlândia	0:13,63	01/09/2012	Grã-Bretanha (Londres)
100	Usain Bolt	Jamaica	0:09,58	16/08/2009	Berlin (Estádio Olímpico)
200	Zhang, Lixin	China	0:24,18	12/09/2008	China (Beijing)
200	Usain Bolt	Jamaica	0:19,19	20/08/2009	Berlin (Estádio Olímpico)
400	Gharbi, Yassine	Tunísia	0:43,46	19/03/2018	Emirados Árabes Unidos
400	Wayde Van Niekerk	África do Sul	0:43,03	14/08/2016	Rio de Janeiro (Estádio Olímpico)
800	Romanchuk, Daniel	Estados Unidos	1:29,66	16/06/2018	Estados Unidos
800	David Rudisha	Quênia	1:40,91	09/08/2012	Londres (Estádio Olímpico)
1 500	Lakatos, Brent	Canadá	2:51,84	03/06/2017	Suíça
1 500	Hicham El Guerrouj	Marrocos	3:26,00	14/07/1998	Roma (Estádio Olímpico)
10 000	Hug, Marcel	Suíça	19:45,05	27/05/2017	Suíça
10 000	Kenenisa Bekele	Etiópia	26:17,53	26/08/2005	Bruxelas (Estádio Rei Balduino)

\* O tempo está expresso em Minutos:Segundos, Centésimos de Segundo

O aparato apresentado na Fig. 2.13 é dotado de dois roletes com diâmetros diferentes, e através de um dispositivo de regulagem acoplado à roda dianteira ele possibilita avançar ou retroceder a cadeira de rodas de acordo com o rolete no qual se deseja treinar. O rolete de trás é mais pesado e seu diâmetro é maior em relação ao outro. Adicionalmente, é possível acoplar um gerador de carga no rolo traseiro de forma a aplicar uma resistência rotacional.

Novais (2010) desenvolveu um equipamento denominado ERG-CR09, no Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Esse equipamento é um ergômetro para avaliação do condicionamento físico de usuários de cadeiras de rodas, o qual permitia avaliar pessoas com peso de até 1800 N. No entanto, como era o primeiro protótipo desta linha, possuía poucas regulagens e ajustes. Assim, em um trabalho posterior Vieira (2012) aprimorou o equipamento desenvolvendo o ergômetro denominado ERGO1. Este equipamento possui pesos e dimensões reduzidos em relação ao equipamento anterior. O novo equipamento foi projetado de forma a proporcionar maior conforto ao usuário. Além

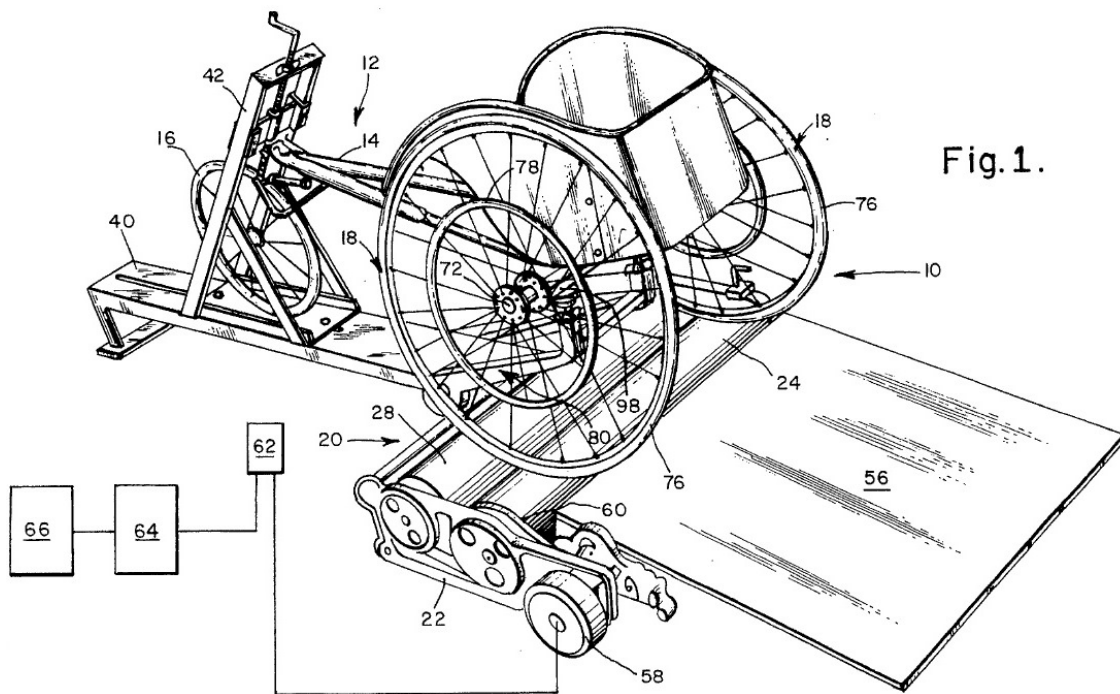


Figura 2.13 – Aparelho de treinamento de cadeira de rodas de corrida.  
 Fonte: (MAYES; BURAK, 1997)

disso, adicionou ajustes de ergonomia para o assento e encosto. De acordo com Vieira, Araujo e Santos (2014) neste segundo protótipo também houve a adição de volantes de inércia nos aros de propulsão do equipamento o que contribuiu para suavizar o sinal adquirido durante os testes de propulsão, além de impedir que a força de frenagem cause a interrupção abrupta do movimento, o que era comum no primeiro protótipo. Ainda segundo Vieira, Sousa e Araujo (2015) o protótipo ERGO1 continha um torquímetro que era utilizado para avaliar o desempenho dos indivíduos durante os testes realizados com o equipamento.

Lessard et al. (2013a) desenvolveram uma plataforma de laboratório para treinar atletas paralímpicos de cadeira de rodas de corrida da equipe de atletas Canadenses para os Jogos Paralímpicos de Londres 2012. Para isso foi projetado um ergômetro adaptado para cadeiras de rodas de corridas. Na Figura 2.14 é mostrado o exemplo de um atleta utilizando sua própria cadeira de rodas de corrida sobre a plataforma. A plataforma é constituída de roletes onde giram e são apoiadas as rodas traseiras da cadeira de rodas.

No trabalho realizado por Lessard et al. (2013a), após os atletas realizarem testes sobre suas próprias cadeiras de rodas de corrida, eles foram sentados sobre uma cadeira de rodas ajustável para estudar variações em um número de variáveis de otimização (Figura 2.15).

Posteriormente são comparados os resultados dos testes da cadeira de rodas do atleta com os da cadeira ajustável para saber onde podem ser realizadas melhorias (LESSARD et al., 2013a).



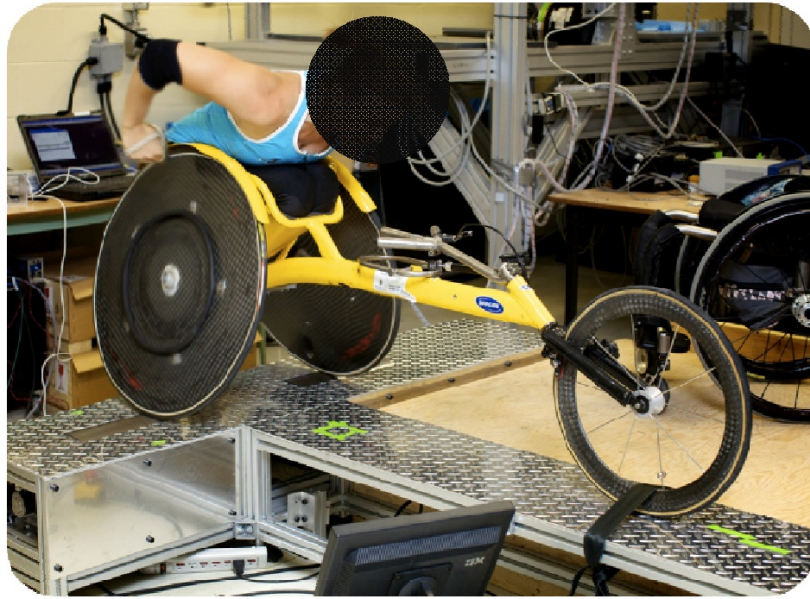


Figura 2.14 – Atleta com sua cadeira de rodas de corrida sobre o ergômetro .  
Fonte: Lessard et al. (2013a)

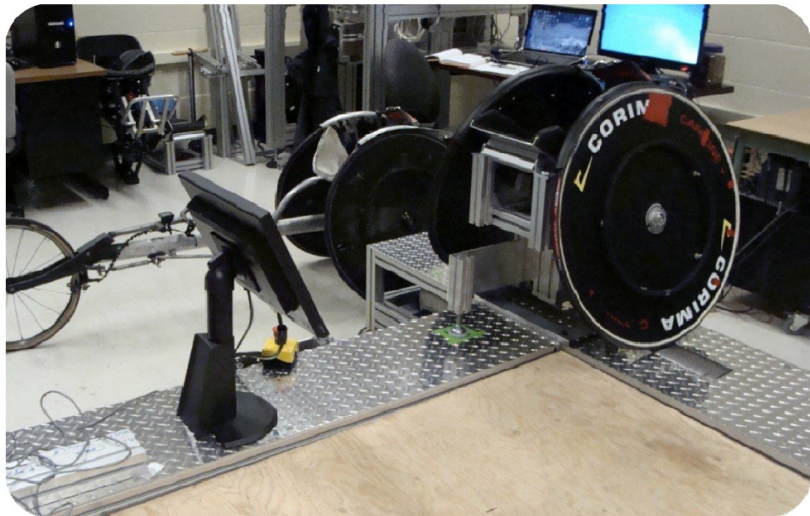


Figura 2.15 – Cadeira de rodas ajustável sobre um ergômetro.  
Fonte (LESSARD et al., 2013a).

No trabalho realizado por Chénier, Bigras e Aissaoui (2011) foi desenvolvido um novo modelo dinâmico de um sistema cadeira de rodas-usuário. Ele inclui os efeitos dinâmicos do momento de inércia vertical do sistema e da orientação das rodas dianteiras da cadeira de rodas. Um procedimento de caracterização também foi estabelecido, com base em uma regressão de mínimos quadrados dos parâmetros dinâmicos. Esta regressão é realizada a partir de dados de propulsão coletados em campo por rodas instrumentadas, quando o usuário está executando manobras simples. Foram comparados modelos dinâmicos do conjunto cadeira de rodas-usuário para caminhos retos (WSL) e para caminhos retos e curvilíneos (WSC).

Na validação do modelo WSC foram registrados os dados de cinética e cinemática de uma cadeira de rodas instrumentada com dois *SmartWheels* para dez indivíduos. Foram, então, comparados os dados de cinemática estimados a partir da WSL e os dados de cinemática medidos no modelo real WSC. Para os padrões em linha reta, os resultados foram equivalentes para WSL e WSC. No entanto, para os padrões curvilíneos, o modelo WSC é mais preciso.

No trabalho realizado por Chénier, Bigras e Aissaoui (2014) foi apresentado um novo ergômetro de cadeira de rodas desenvolvido como um robô háptico<sup>2</sup> de admissão controlada, o qual reproduz o modelo descrito no trabalho realizado por Chénier, Bigras e Aissaoui (2011), em tempo real. A imagem do protótipo utilizado pelo autor está representada na Figura 2.16.



Figura 2.16 – Protótipo do ergômetro desenvolvido por Chénier, Bigras e Aissaoui .  
Fonte: Chénier, Bigras e Aissaoui (2014)

Segundo os autores, os atletas que fizeram testes no ergômetro experimentaram uma realidade bem próxima da cadeira de rodas de corrida na pista de atletismo. De fato, conforme os autores a realidade virtual do equipamento reproduz, através da interface háptica, uma resultante de forças semelhante as forças da cadeira de rodas sobre o solo (CHÉNIER; BIGRAS; AISSAOUI, 2014).

Desenvolvido no *Veteran's Affairs Pittsburgh Healthcare System (VAPHS)* o *SmartWheel*<sup>TM</sup> (SW) é um equipamento de seis graus de liberdade acoplado à roda da cadeira de rodas de corrida (Figura 2.5). Ele é utilizado para registrar informações durante a propulsão, tais como força e momento de aplicação da força no aro de propulsão. O SW tem enorme potencial como ferramenta para estudar metodologias de treino, a interface do usuário com a cadeira de rodas, a performance e a deficiência do atleta (RICE, 2016).

<sup>2</sup> Sistemas hápticos oferecem interação com o ambiente virtual através de dispositivos e programas que permitem ao usuário sentir fisicamente as reações e os movimentos realizados no ambiente virtual. Os dispositivos fornecem sensação tátil e de força (OMAIA; MACHADO; MORAES, 2004).

Utilizando o ERGO1, Vieira et al. (2018) realizaram um trabalho onde foi utilizada realidade virtual para auxiliar no treinamento de usuários de cadeiras de rodas (Figura 2.17). O projeto está em fase de desenvolvimento, mas já foi colocado em testes tendo agradado o público que utilizou o equipamento de realidade virtual.



Figura 2.17 – Usuário testando a imersão no ambiente virtual sobre o ERGO1 .  
Fonte: (VIEIRA et al., 2018)

## 2.12 Equipamento Estático para Personalização de Cadeira de Rodas de Corrida

O equipamento apresentado na Figura 2.18 é um projeto realizado por Donegá (2015) durante o trabalho de mestrado. O presente trabalho foi desenvolvido pelo Centro Brasileiro de Referência em Inovações Tecnológicas para o Esporte Paralímpico (CINTESP.Br) (Fig. ??) no Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM) situado na Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Este equipamento foi projetado para realizar 22 regulagens de variáveis relacionadas ao esporte paralímpico de cadeira de rodas de corrida.

Uma das características deste projeto era o fato de o equipamento ser estático e se apoiar por meio de quatro pés sobre o solo. Dessa forma, a resistência ao rolamento durante os testes seria feita por meio de um sistema de resistência eletromagnético e um torquímetro, baseados nos sistemas desenvolvidos por Vieira, Araujo e Santos (2014) e Vieira, Sousa e Araujo (2015) para um ergômetro projetado para condicionamento físico de cadeirantes e atletas paradesportivos (VIEIRA, 2012).

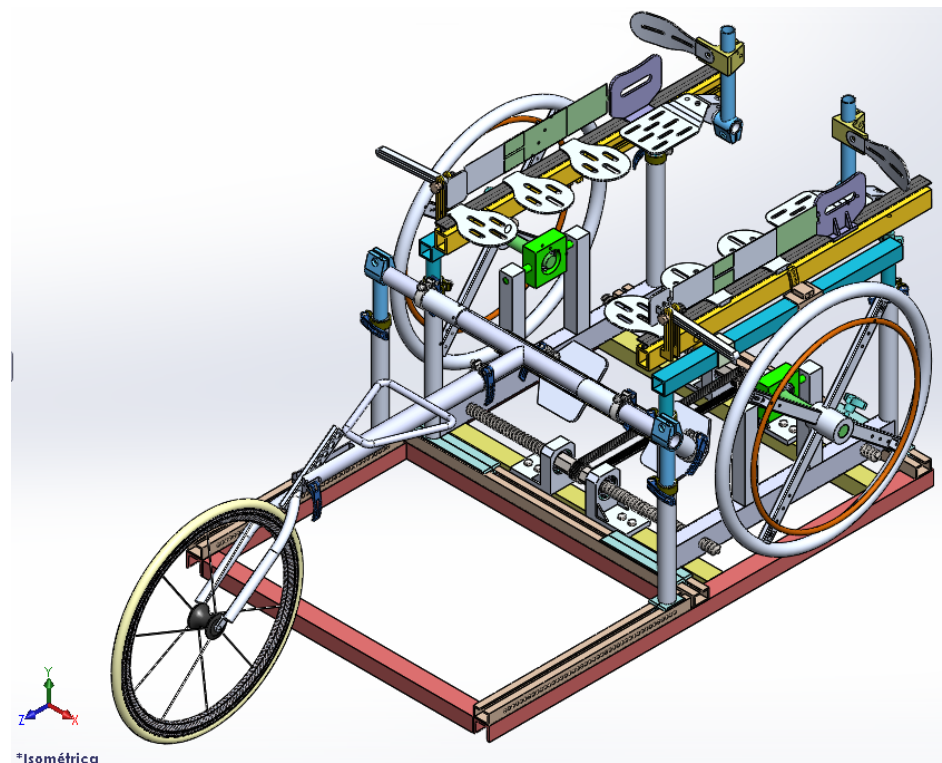


Figura 2.18 – Equipamento de personalização de cadeira de rodas de corrida desenvolvido no mestrado.

Fonte: (DONEGÁ, 2015)

Devido ao número de regulagens planejado para este protótipo, ele se mostrava ser um equipamento complexo de construir, o que nos levou a pensar em melhorias drásticas no projeto do doutorado.

O presente trabalho de doutorado foi realizado com base nos estudos feitos neste trabalho de mestrado.

### **2.13 Ensaios, Testes e Validações Realizadas com Cadeiras de Rodas de Corridas e Equipamentos Correlatos**

Liu et al. (2008) realizaram testes em 12 cadeiras de rodas manuais de estrutura rígida e fabricada com liga de titânio ultraleve. Essas 12 cadeiras estavam divididas em quatro modelos comerciais diferentes. Os testes foram realizados em conformidade com o Instituto Nacional de Padrões Americanos (ANSI) e com a Sociedade Norte Americana de Engenharia da Reabilitação e Tecnologia Assistiva (RESNA). Segundo Liu et al. (2008) o mercado oferece opções de cadeiras de rodas manuais fabricadas em titânio devido a serem leves e de pequenas dimensões. Nos testes todas as cadeiras de rodas foram aprovadas no teste de resistência ao impacto, porém seis cadeiras falharam no teste de resistência estática. Três cadeiras de

rodas foram bem sucedidas nos testes de fadiga, mas as cadeiras de rodas restantes falharam prematuramente. Segundo os autores, o resultado dos testes mostrou que os fabricantes precisam rever o design dessas cadeiras de rodas e realizar análises mais cautelosas antes da comercialização destes equipamentos.

Pelland-Leblanc et al. (2013) realizaram testes instrumentando uma cadeira de rodas de corrida, para comparar e validar um ergômetro para cadeiras de rodas de corrida. No seu trabalho Pelland-Leblanc et al. (2013) estimaram a potência instantânea na cadeira de rodas de corrida *versus* o ergômetro. Os testes foram feitos em uma corrida de 60 m. A aquisição de sinais foi realizada a partir de um encoder óptico montado em uma barra circular arrastada pela cadeira de rodas de corrida. Nesta mesma barra foi acoplado um sistema de transmissão de sinais via wireless BEI SwiftComm para transmitir as informações do encoder. A montagem final da cadeira de rodas pode ser vista na Figura 2.19.

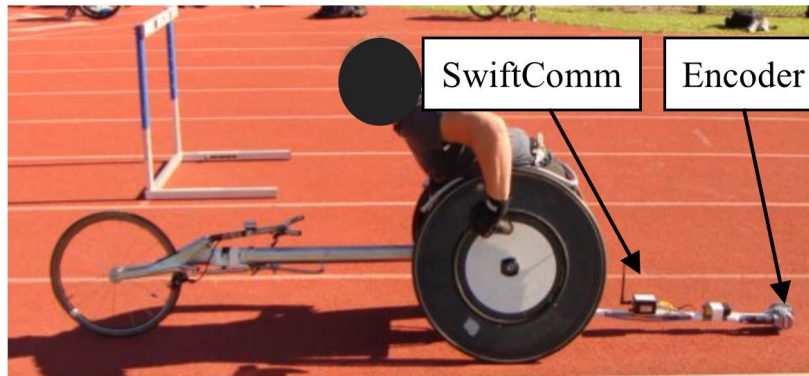


Figura 2.19 – Montagem do encoder na barra arrastada pela cadeira de rodas de corrida.  
Fonte (PELLAND-LEBLANC et al., 2013)

Nos testes realizados por Pelland-Leblanc et al. (2013), foi possível adquirir os dados de velocidade ( $v$ ) e aceleração ( $a$ ) de acordo com a posição ( $x$ ) (Equações 2.1 e 2.2).

$$v_i = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2\Delta t} \quad (2.1)$$

$$a_i = \frac{x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}}{\Delta t^2} \quad (2.2)$$

A fim de registrar a potência produzida pelo atleta, baseada nos dados medidos, foram estimadas as forças opostas ao movimento. Estas forças são compostas pelo arrasto aerodinâmico ( $F_A$ ) e a resistência ao rolamento ( $F_R$ ), apresentados nas Equações 2.3 e 2.4. E a potência instantânea pode ser representada pela Equação 2.5 (PELLAND-LEBLANC et al., 2013).

$$F_A = \mu_R mg + k_f mgv^2 \quad (2.3)$$

$$F_R = 0.5A\rho C_d v^2 \quad (2.4)$$

$$P = v(ma + F_A + F_R) \quad (2.5)$$

No trabalho realizado por Pelland-Leblanc et al. (2013), o tempo e o número de propulsões realizadas na cadeira de rodas de corrida e no ergômetro, foram estatisticamente próximas para completar a prova de 60 m.

Como pode ser observado na Figura 2.20, a potência instantânea resultante do exercício na cadeira de rodas de corrida, possui picos de amplitude em relação ao exercício realizado no ergômetro.

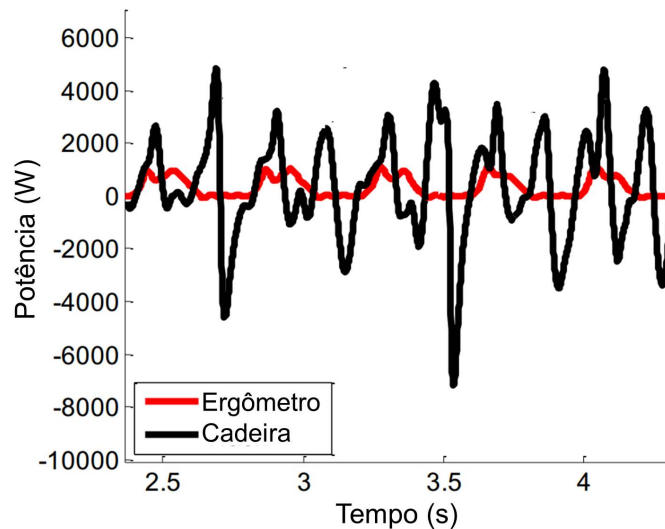


Figura 2.20 – Potência instantânea no ergômetro vs corrida em cadeira de rodas para cinco ciclos de propulsão.

Fonte: (PELLAND-LEBLANC et al., 2013)

Assim, neste trabalho os autores concluíram que medições da potência instantânea podem ser melhoradas, medindo-se as forças transmitidas diretamente do atleta para a cadeira de rodas.

Semelhante ao trabalho anterior, o objetivo do trabalho realizado por Lessard et al. (2013b) foi comprovar se o ergômetro projetado pelo grupo PERSEUS simularia condições reais de corrida e se a cadeira de rodas ajustável (também desenvolvida pelo PERSEUS), simularia condições reais de uma cadeira de rodas de corrida. A equipe PERSEUS é um grupo de pesquisa em performance humana e segurança, sediada na Universidade de Sherbrooke, Quebec, Canadá.

De acordo com Lessard et al. (2013b) verifica-se na literatura que existem três tipos de ergômetros usados para reproduzir a propulsão de cadeiras de rodas em laboratório. São eles, o de "rolamento livre", o de "unidade frenante" e de "unidade motora". Mas nenhum dos três tipos têm características (capacidades) necessárias para otimizar a posição do atleta na cadeira de rodas. Por essa razão, o grupo PERSEUS desenvolveu um ergômetro híbrido consistindo de um equipamento com rolete motorizado e com um simulador do tipo cadeira de rodas ajustável. Neste ergômetro pode ser utilizada a cadeira de rodas de corrida do atleta ou a cadeira de rodas ajustável, como já foi mencionado em Lessard et al. (2013a).

Ainda segundo Lessard et al. (2013b) o equipamento desenvolvido pelo grupo PERSEUS, permite reproduzir condições de pista, como forças de arrasto, atrito e inércia, inclusive é possível simular o efeito de empinar a roda dianteira da cadeira de rodas de corrida (*wheelie effect*).

Os testes foram realizados com um atleta de cadeira de rodas do time Canadense. Foram realizadas séries de corridas de 100 m e 400 m: a) na pista, ou no ergômetro usando a cadeira de rodas de corrida do atleta (validação pista-ergômetro), e b) no ergômetro usando a cadeira de rodas de corrida do atleta ou a cadeira de rodas de corrida ajustável, a qual foi definida para replicar exatamente a posição do atleta na cadeira de rodas (validação da cadeira de rodas ajustável) (LESSARD et al., 2013b).

Os resultados da validação apontaram que não houveram diferenças significantes entre a corrida na pista e no ergômetro. Permitindo, assim, que o ergômetro com rolos seja utilizado para simular condições reais de pista. Da mesma forma, a comparação entre a cadeira de rodas ajustável e a cadeira de rodas do atleta sobre o ergômetro com roletes, não apresentou diferença significativa, permitindo, portanto que a cadeira de rodas ajustável também seja utilizada para simular condições reais de corrida (LESSARD et al., 2013b).

Assim, segundo Lessard et al. (2013b), o ergômetro com a cadeira de rodas de corrida do atleta e a cadeira de rodas ajustável, podem ser utilizados para encontrar a posição ótima do atleta na cadeira de rodas. Dessa forma, pode ser produzida uma nova cadeira de rodas de corrida replicando a posição ótima para melhorar o desempenho do atleta sobre o ergômetro e nas corridas.

## **2.14 A influência da Ergonomia e das Configurações de Cadeiras de Rodas no Esporte**

A tese escrita por Mason (2011) investiga a configuração ergonômica das cadeiras de rodas com vistas na influência de vários parâmetros no desempenho em esportes de quadra (basquete, rugby e tênis).

Segundo Mason (2011) o maior avanço no projeto de cadeiras de rodas para esses esportes

foi a redução de massa, através do desenvolvimento de novos materiais mais leves. No entanto, houveram outras melhorias que influenciaram no desempenho do esporte. Por exemplo, o aumento do ângulo de cambagem das rodas traseiras, o posicionamento horizontal e vertical do assento, o tamanho das rodas traseiras.

A Figura 2.21 representa esquematicamente, o modelo que destaca a necessidade de uma abordagem interdisciplinar, mostrando que é importante a combinação dos fatores fisiológicos e biomecânicos associados à cadeira de rodas. Esses fatores influenciam o desempenho em cadeiras de rodas esportivas relacionado à ergonomia. Deseja-se mostrar, com essa figura, que esses fatores tem influência significativa na eficiência, segurança, saúde, conforto e desempenho na propulsão em cadeiras de rodas esportivas (MASON, 2011).



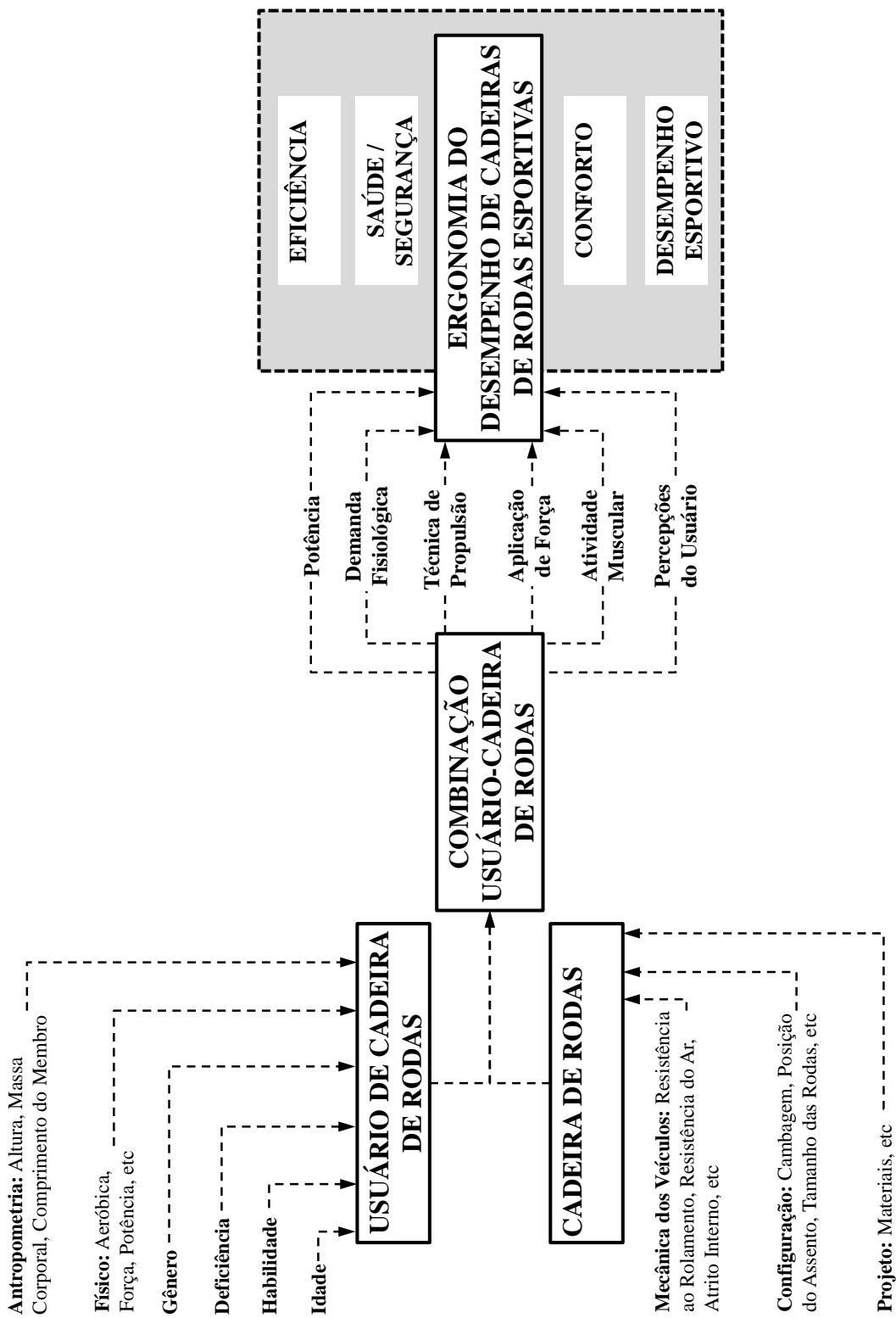


Figura 2-21 – Modelo conceitual ilustrando os fatores que influenciam a ergonomia do desempenho esportivo em cadeira de rodas.  
Traduzido de Mason (2011)

Segundo Druvert e Rusakievick (2012) a corrida em cadeira de rodas é um dos esportes para deficientes que é mais conhecido pelo público. A obtenção da correta posição do assento é muito importante para uma potência ótima na propulsão da cadeira de rodas de corrida. Os três pontos chave para a configuração da cadeira são a posição horizontal em relação ao eixo traseiro, o assento e a altura do joelho. A posição das pernas, o nível de comprometimento e o tamanho físico determinam duas posições de corrida: a posição sentada convencional e a posição ajoelhada (mais popular entre os atletas de ponta).

## 2.15 Biomecânica do Movimento

Boninger et al. (2000) realizaram um trabalho onde foi estudado o efeito da posição do eixo das rodas traseiras da cadeira de rodas em comparação à posição dos ombros durante a propulsão. Nesse estudo foi verificado que quanto menor a distância vertical entre os ombros e o eixo traseiro, melhor a biomecânica de propulsão da cadeira de rodas.

Costa et al. (2009) verificaram a partir de trabalhos anteriores que a utilização de diâmetros menores de aros de propulsão são favoráveis ao aumento da eficiência mecânica na propulsão da cadeira de rodas de corrida. Enquanto que diâmetros maiores podem ser um fator favorável ao menor desempenho devido à maior velocidade de mão que o atleta deve empurrar o aro de propulsão para obter uma maior velocidade de corrida.

Bussmann e Greguol (2012) realizaram um levantamento bibliográfico sobre trabalhos relacionados às técnicas de propulsão em cadeiras de rodas esportivas. Na revisão eles verificaram que na maioria dos trabalhos o foco estudado está no desempenho dos atletas relacionado com a forma que os indivíduos propulsionam as cadeiras. Além disso, a maioria das pesquisas são feitas com a modalidade de corrida em cadeira de rodas.

O ciclo de propulsão manual na cadeira de rodas de corrida é dividido em duas fase. Sendo a fase de propulsão e posteriormente de recuperação (FORTE; BARBOSA; MARINHO, 2015). Na Figura 2.22 é possível observar quatro tipos de propulsão, onde são apresentadas as fases de propulsão e recuperação.

Segundo Forte, Barbosa e Marinho (2015) a fase de propulsão é caracterizada pela força tangencial aplicada ao aro de propulsão, enquanto que a fase de recuperação é o período em que a mão retorna para a posição inicial de propulsão e não está em contato com o aro. A fase de recuperação pode representar até 67% do tempo de ciclo total de propulsão manual. A taxa de propulsão pode variar de 32 a 86 propulsões por minuto a uma velocidade de 6,58 m/s em cadeiras de rodas de corrida.

De acordo com Rice (2016) o sucesso nos esportes paralímpicos de cadeira de rodas depende de três fatores fundamentais: o atleta, a cadeira de rodas e a interação atleta/cadeira de rodas.

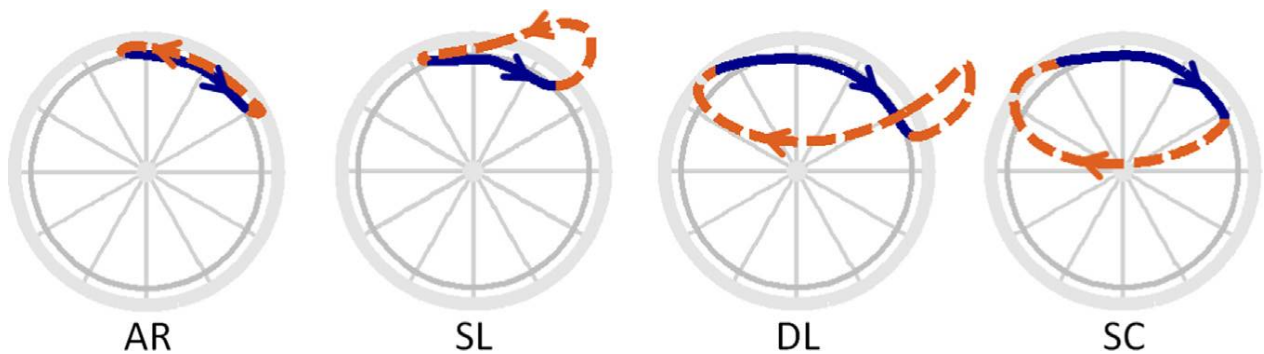


Figura 2.22 – Padrões de propulsão manual de cadeira de rodas. Os padrões são: Arco (AR), Loop Simples (SL), Loop Duplo (DL) e Semicircular (SC). A linha sólida representa a fase de propulsão, e a linha tracejada a fase de recuperação. A seta indica a direção de movimento da mão.

Fonte: (SLOWIK et al., 2016)

Cadeiras de rodas esportivas devem ser consideradas como uma extensão do corpo do atleta da mesma forma que um membro protético é considerado (RICE, 2016).

Rice (2016) afirma que o estudo do movimento de propulsão em cadeiras de rodas diárias é estudado intensamente por cientistas, enquanto que a cinética do movimento em cadeiras e rodas de corridas consta de um número limitado de estudos científicos, chegando a ser, segundo o autor, apenas dois artigos publicados sobre o assunto.

No trabalho realizado por Barbosa e Coelho (2017) foi estudada a biomecânica do movimento na corrida final dos 100 m em cadeira de rodas nos Jogos Paralímpicos de 2016 no Rio de Janeiro, Brasil. O estudo foi feito com um atleta finalista do Campeonato Mundial de 2015 e também finalista dos Jogos Paralímpicos de 2016 na prova de corrida de 100 m. O atleta participante competiu na categoria T52. As análises foram feitas utilizando análise de vídeo com o programa de análise Kinovea v.0.8.15. Durante os últimos 20 m de prova a média de velocidade do atleta foi de 6,97 m/s (na corrida de 100 m este é o intervalo de espaço onde a velocidade do atleta é maior), sendo que a maior velocidade instantânea foi de 7,01 m/s. De acordo com os resultados, os autores estimaram que o atrito de rolagem e a força de arrasto são responsáveis por 54% e 46%, respectivamente, pela resistência total ao movimento à máxima velocidade. Segundo os autores, os atletas podem reduzir a força de arrasto melhorando sua posição na cadeira de rodas de corrida, e utilizando roupas e capacetes mais aerodinâmicos. Em relação à força de arrasto, esta pode ser diminuída estudando os materiais utilizados na cadeira de rodas de corrida, e diminuindo a massa do equipamento.

Segundo Masson et al. (2016) aumentar a transferência de energia para a cadeira de rodas é uma das formas de aumentar o desempenho em corridas com cadeiras de rodas. Ainda, segundo os autores, algumas das variáveis que podem afetar esta transferência de energia são a antropometria do atleta, deficiência e capacidades neuromusculares e, o desenho do

equipamento.

De acordo com Lin et al. (2009) a investigação minuciosa da biomecânica durante a propulsão da cadeira de rodas ajuda a compreender o mecanismo das lesões e fornece informações para melhorar o projeto e a adaptação da cadeira de rodas.

Conforme Lin et al. (2009) é claro que os membros superiores do corpo humano tem grande amplitude de movimento e as estruturas das extremidades superiores humanas são projetadas principalmente para mobilidade, e não para suporte de peso. Devido a isso, as repetidas exigências da propulsão expõem os membros superiores a um estresse extraordinário. Ainda nesse sentido Sagawa et al. (2012) citam que em uma cadeira de rodas manual de uso diário o indivíduo pode realizar até 1 800 propulsões por dia e que a força de compressão em cada ombro durante a propulsão pode atingir 400 N, aproximadamente.

De acordo com Lin, Lin e Su (2009) a eficiência da força de propulsão dos membros superiores de um indivíduo usuário de cadeira de rodas, pode ser aumentada pela realização de treinamento.

No trabalho realizado por Novais et al. (2018) foi feita uma estimativa do nível de força na propulsão dos aros de propulsão de uma cadeira de rodas manual utilizando um modelo analítico aproximado. No estudo os resultados mostraram que a força efetiva aplicada ao aro de propulsão pode variar de 1,19 N a 4,72 N, no entanto, a força é dependente das condições angulares dos membros superiores.

No estudo realizado por Briley et al. (2020) foi analisada a biomecânica do movimento no uso de cadeiras de rodas diárias, comparando entre atletas e não-atletas. Com base no estudo realizado, os autores concluíram que apesar de os usuários de cadeira de rodas atletas realizarem mais atividade física que os outros usuários, eles propulsionam suas cadeiras de rodas de uso diário de forma semelhante aos outros. Assim, em muitos estudos realizados com usuários de cadeiras de rodas não é necessário dividir entre atletas e não-atletas.

## 2.16 Aerodinâmica

No trabalho realizado por Barbosa et al. (2016) o objetivo foi analisar diferentes posições do atleta para comparar as forças resistivas de movimento em relação à aerodinâmica. A hipótese levantada é que pequenas mudanças na posição corporal do atleta teriam influência na aerodinâmica do indivíduo e no atrito de rolagem. O estudo foi feito com um atleta finalista do Campeonato Mundial de 2015 e também finalista dos Jogos Paralímpicos de 2016 na prova de corrida de 100 m. O atleta participante competiu na categoria T52. As medições o atleta propulsionou a cadeira de rodas de corrida até certa velocidade, dando uma volta na pista, e ao final da volta ele deveria parar de propulsionar a cadeira e se posicionar de acordo com uma das três posições apresentadas na fig. 2.23. Sendo as posições (i) tronco na

posição vertical, (ii) torso na posição de corrida e pescoço em hiperextensão e, (iii) posição de corrida, mas com pescoço flexionado. Como resultado das medições, obteve-se que a posição (ii) apresentou menores valores médios de potência de saída (power output), gasto energético (energy cost) e, potência mecânica externa (externa mechanical power). Sendo seguida dos menores para os maiores valores, pela posição (iii) e (i), respectivamente. Ao final os autores chegaram a conclusão de que pequenas mudanças na posição da cabeça durante a corrida podem afetar em até 2% a potência de saída.



Figura 2.23 – As três posições adotadas pelo atleta.  
Fonte: (BARBOSA et al., 2016)

Segundo Forte et al. (2016) as forças resistivas em corridas em cadeira de rodas são a força de arrasto aerodinâmico e o atrito de rolamento. Assim, em vista da importância na aerodinâmica nestas corridas, o autor utilizou um método de análise conhecido como CFD (Computer Fluid Dynamics, em inglês) para comparar duas posições de cabeça e capacete de atletas em corridas, sendo as posições a um ângulo de ataque de  $0^{\circ}$  (atleta olhando para frente) e  $90^{\circ}$  (olhando para baixo). Após resultados os autores concluíram que a posição mais eficiente é a de  $0^{\circ}$ , onde o arrasto aerodinâmico é menor em comparação à posição de  $90^{\circ}$ .

No trabalho realizado por Forte et al. (2018) os autores realizaram um estudo avaliando a aerodinâmica em diferentes momentos do ciclo de braçada na propulsão da cadeira de rodas de corrida. Para a avaliação aerodinâmica foi realizada simulação fluidodinâmica computacional. Foram simuladas três posições do atleta: propulsão a 12h, propulsão a 18h e fase de recuperação (Figura 2.24). Os resultados mostraram que o menor arrasto a que foi submetido o atleta foi na fase de recuperação e o maior arrasto ocorreu na pegada do aro de propulsão (posição 12h).

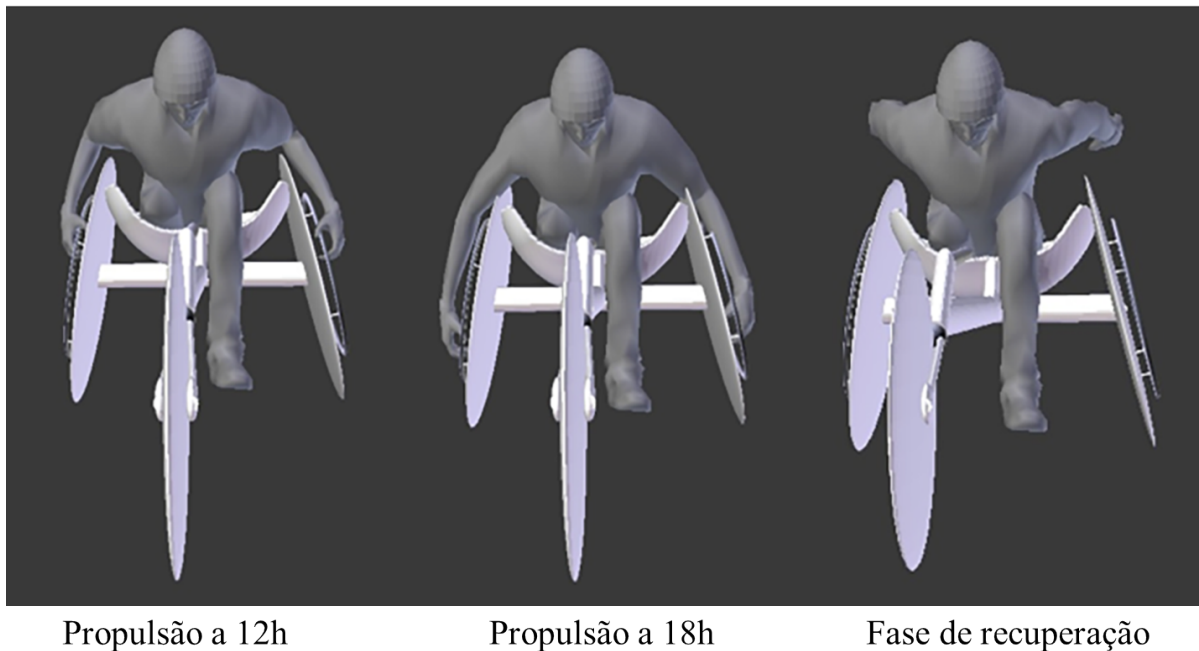


Figura 2.24 – As três posições em que foram feitas as simulações.  
 Fonte: (FORTE et al., 2018)

### **2.17 Projeto e Validação de um Ergômetro Incluindo uma Cadeira Configurável para Simulação e Avaliação de Desempenho de Corridas em Cadeira de Rodas**

O projeto de pesquisa do mestrado de Lessard (2013) visou melhorar o desempenho dos atletas de corrida em cadeira de rodas da equipe paralímpica canadense. Este mestrado foi desenvolvido em um grupo de pesquisa chamado PERSEUS (grupo de pesquisa em performance humana e segurança, sediado na Universidade de Sherbrooke, Quebec, Canadá).

Em seu trabalho Lessard (2013) desenvolveu um ergômetro de rolos inerciais acoplados a um servomotor. Além disso esse ergômetro pode receber tanto a cadeira de rodas de corrida do atleta como uma cadeira ajustável também desenvolvida neste projeto.

Segundo Lessard (2013), podem ser encontrados três formas básicas de avaliar o desempenho dos atletas em laboratório: posicionamento de cadeira de rodas sobre esteira com sistema resistivo de carga (Fig. 2.25), conjunto com posicionamento da cadeira de rodas sobre roletes de inércia com unidade frenante, sendo que os roletes podem ser comuns às duas rodas ou separado (Fig. 2.26), e simulador de cadeira com volante inercial e servo-motor (Fig. 2.27).

O que Lessard (2013) fez, foi desenvolver um equipamento híbrido que une um sistema de rolo inercial com um motorizado e um simulador de cadeira de rodas. Ou seja, esse sistema de rolos motorizados pode acomodar uma cadeira de rodas ajustável aos parâmetros antropométricos do utilizador, ou pode acomodar a cadeira de rodas de corrida do atleta.

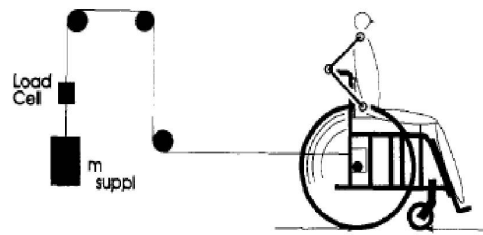


Figura 2.25 – Cadeira de rodas sobre esteira.  
Fonte (LESSARD, 2013)

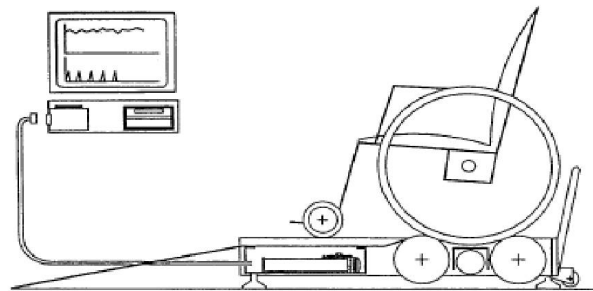


Figura 2.26 – Cadeira de rodas sobre roletes.  
Fonte (LESSARD, 2013)

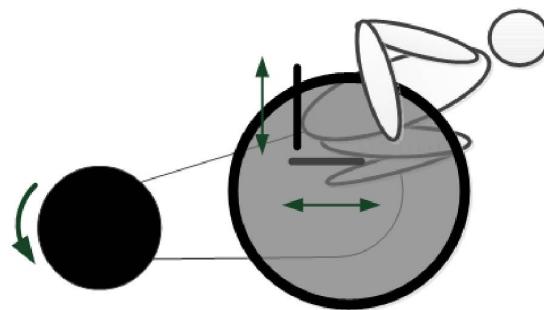


Figura 2.27 – Cadeira de rodas com servo-motor.  
Fonte (LESSARD, 2013)

Na Figura 2.28 é apresentado um esquema geral do equipamento desenvolvido por Lessard (2013), onde são apresentados os seguintes subsistemas:

1. Sistema de rolos dependentes do ergômetro;
2. Sistema de aquisição do ergômetro;
3. Estrutura do ergômetro;
4. Estrutura da cadeira ajustável;
5. Interface do usuário do ergômetro.

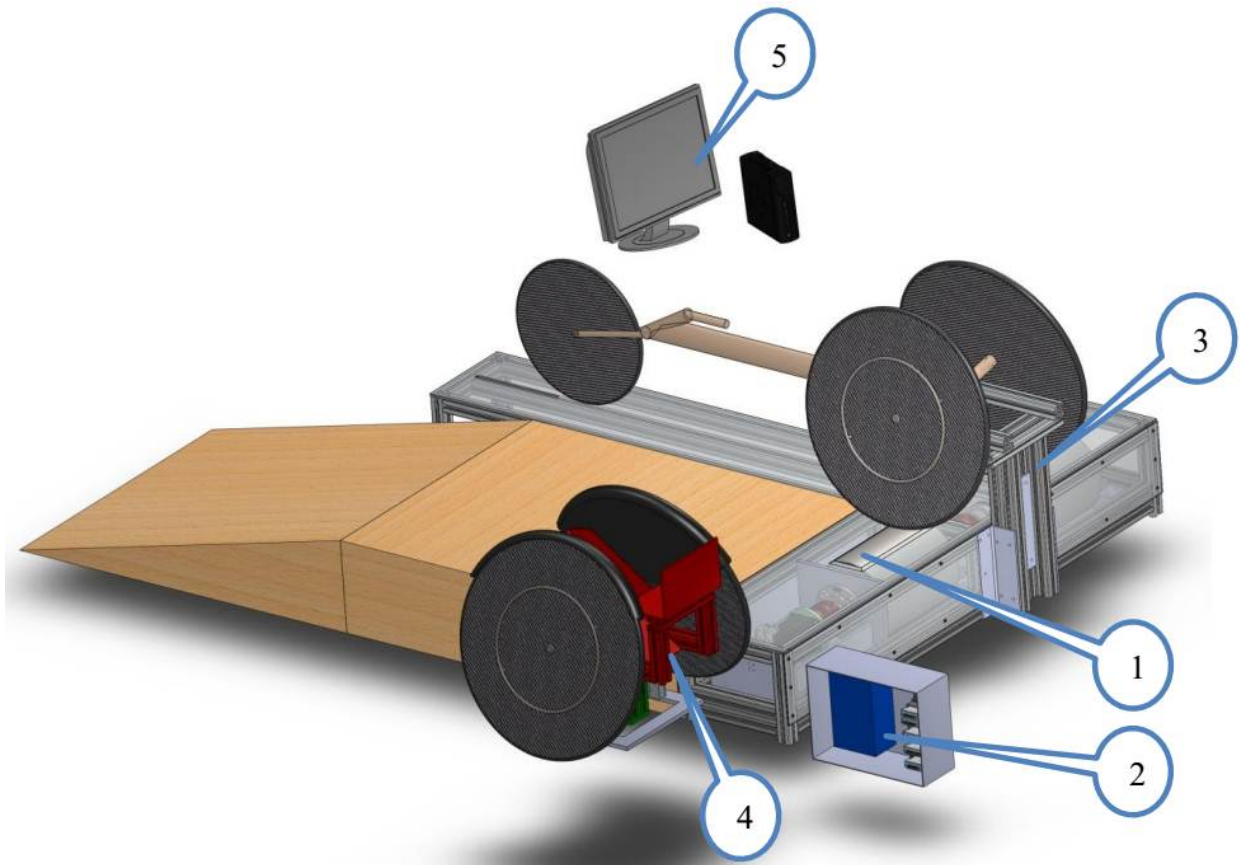


Figura 2.28 – Esquema geral do ergômetro e seus subsistemas.  
Fonte (LESSARD, 2013)

Além disso, as plataformas de acesso de madeira também são apresentadas na Fig. 2.28.

Como pode ser visto, na Figura 2.28 é mostrada uma cadeira de rodas típica de um atleta de corrida, presa à estrutura do ergômetro (3) e essa cadeira, por sua vez, está com as rodas traseiras apoiadas sobre os roletes (1) desenvolvidos para simular a resistência mecânica de testes do ergômetro. A cadeira de rodas de corrida pode ser substituída por uma cadeira de rodas ajustável (4). Assim, o equipamento pode simular situações tanto com a cadeira de rodas de corrida do atleta, tanto com uma cadeira configurável. Um sistema de aquisição (2) assegura a medição da potência útil transferida com cada impulso de alta velocidade. E um computador com monitor (5) permite ao usuário, atleta ou responsável pelo teste, a interagir com o sistema ((LESSARD, 2013)).

Segundo Lessard (2013) a utilização do assento ajustável permite a otimização experimental do processo de configuração da cadeira de rodas, o que não é possível realizar com uma cadeira de pista normal. No seu projeto, a cadeira ajustável é montada diretamente na estrutura do ergômetro e suas rodas traseiras são acopladas (apoiadas) sobre os rolos. A cadeira ajustável não tem roda dianteira.

O autor realiza a fabricação do assento personalizado de acordo com as medidas antro-



ométricas do atleta e esse assento é colocado na cadeira de rodas ajustável. A Figura 2.29 apresenta alguns exemplos de assento fabricados pelo autor (LESSARD, 2013).

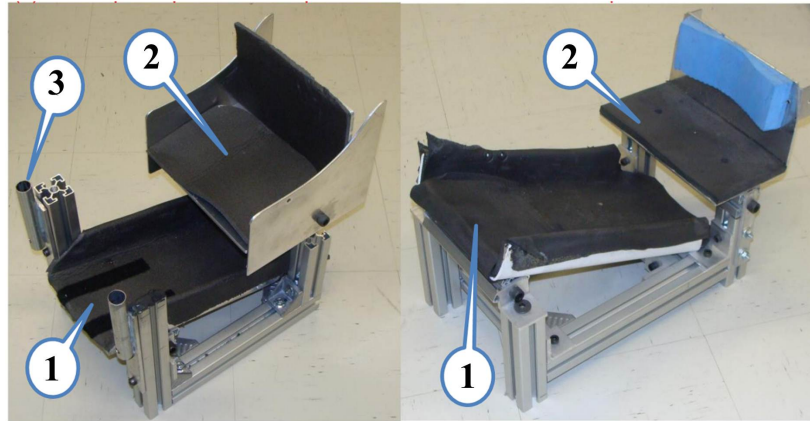
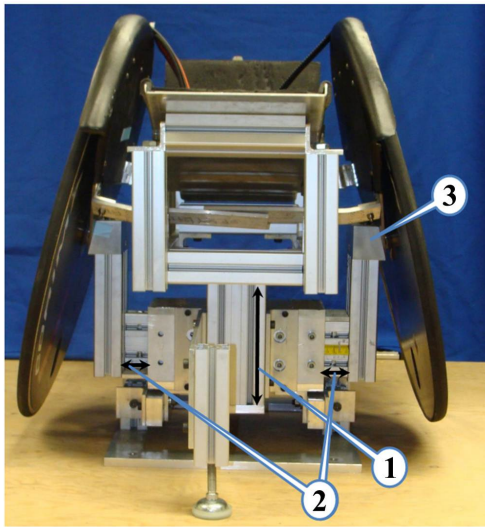


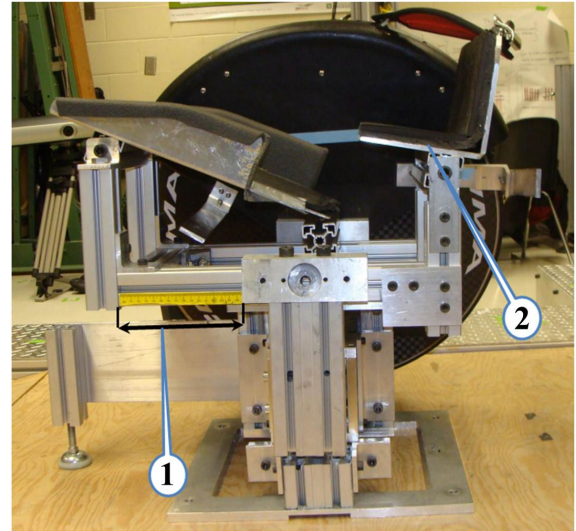
Figura 2.29 – Exemplo de assentos personalizados.  
Fonte (LESSARD, 2013)

O assento da Figura 2.29 é produzido em perfis de alumínio padrão de mercado, que possibilitam fazer ajustes posteriores para necessidades particulares de cada teste. A cadeira ajustável (Fig. 2.30), é projetada para atender as seguintes funções e especificações:

- Alterar a configuração de posição rapidamente;
- Ajustar o ângulo de inclinação do atleta;
- Posição anteroposterior do assento;
- Ângulo de cambagem da roda;
- Altura do assento;
- Largura das rodas (distância entre as rodas);



(a) Vista frontal



(b) Vista lateral

Figura 2.30 – Cadeira ajustável sobre ergômetro.

Fonte: (LESSARD, 2013)

Outra fase do projeto realizado por Lessard (2013), foi realizar a validação do equipamento. Onde realizou-se a verificação comparativa do desempenho do ergômetro em laboratório com o desempenho da cadeira de rodas do atleta em pista de corrida. Neste caso foi comparado também o desempenho da cadeira de rodas de corrida ajustável.

Nos testes realizados observou-se similaridade de resultados entre o ergômetro de laboratório, a cadeira de rodas de corrida ajustável e a cadeira de rodas de corrida de pista do atleta. Assim, Lessard (2013), constatou que é possível simular o desempenho obtido em pista com o ergômetro e a cadeira ajustável.

Dessa forma, foi possível transpor, diretamente, os resultados dos testes para o desempenho de pista, desde que seja fabricada a cadeira de corridas de acordo com a configuração selecionada na cadeira ajustável (LESSARD, 2013).

Segundo Lessard (2013), se por um lado não é possível simular totalmente, no ergômetro, uma corrida de pista devido a ausência da roda e direção dianteira, por outro lado é possível se obter uma boa repetibilidade dos testes de desempenho, facilitando assim, a otimização do posicionamento do atleta.

Ao final da dissertação, Lessard (2013) concluiu que a variabilidade das deficiências exige uma adaptação altamente personalizada das suas cadeiras de rodas de corrida. Como não existe um guia de referência para o posicionamento, os atletas fazem isso de forma empírica, resultando em altos custos de modificação e poucas melhorias efetivas. Além disso, medidas de desempenho diretamente na pista, são difíceis de implementar, devido a impossibilidade de controlar condições de tempo, temperatura e outros fatores externos. Em função disso, se justifica a necessidade de projetar um ergômetro e uma cadeira configurável.

Assim, como resultados do trabalho realizado por Lessard (2013), se obteve um ergômetro que não apresenta diferença significativa quando se mede o desempenho, comparando às situações de pista. No entanto, este ergômetro não simula a realidade das curvas de pista. Da mesma forma, a cadeira ajustável se mostrou realista em relação às corridas com a cadeira do atleta em pista. De acordo com o autor a cadeira ajustável contribuiu para a otimização das cadeiras de corridas dos atletas, pois com ela é possível alterar a configuração da cadeira de um atleta em poucas semanas, o que antes poderia levar anos.

O projeto realizado por Lessard (2013) faz parte de um conjunto de projetos nomeado de "Na pista de desempenho" da equipe PERSEUS, onde o ergômetro e a cadeira configurável são ferramentas básicas para o doutorado de Geneviève Masson que busca otimizar o desempenho do atleta, alterando sua configuração. Além disso, o ergômetro serviu para o projeto do mestre François Marcou para melhorar as luvas dos atletas. E será utilizado também por Jean-Philippe Pelland Leblanc, que irá caracterizar a propulsão dos atletas.

## 2.18 Manufatura Aditiva - Processos

"Manufatura aditiva (MA) é uma nova abordagem de processamento de materiais para criar peças ou protótipos camada por camada diretamente de um arquivo de CAD (*computer-aided design*)" (BOSE et al., 2018).

Segundo Volpato e Carvalho (2017) a nomenclatura do processo de Manufatura Aditiva já passou por diversas sugestões, porém a que mais persistiu foi a de prototipagem rápida. No entanto, a denominação que mais caracteriza esse processo de fabricação é Manufatura Aditiva. Apesar disso, para Volpato e Carvalho (2017) o público em geral tem uma aceitação melhor pelo termo Impressão 3D. Conforme Volpato e Carvalho (2017) outras denominações que foram ou são utilizadas para esse processo de fabricação, são:

- Manufatura por camada (*layer manufacturing*)
- Manufatura rápida (*rapid manufacturing*)
- Manufatura de bancada (*desktop manufacturing*)
- Manufatura crescendo material (*material inccress manufacturing*)
- Fabricação de forma livre (*solid freeform fabrication*)
- Manufatura instantânea (*instant manufacturing*)
- Manufatura digital direta (*direct digital manufacturing*)

### 2.18.1 Esteriolitografia

Segundo Stansbury e Idacavage (2016) a manufatura aditiva por meio de adição de camadas se iniciou com a fotopolimerização. Esta técnica teve seu início comercial por volta de 1986 com a introdução, no mercado, do aparelho de estereolitografia da 3D Systems. Neste aparelho regiões específicas da superfície com resina líquida fotossensível experimentam polimerização localizada por exposição a um laser Ultra Violeta (UV) rasterizado. Uma mesa de impressão é utilizada para suportar a peça e qualquer estrutura suspensa. A exposição do eixo xy de cada camada distinta pode ser modificada a medida que o eixo z evolui incrementalmente no processo de construção. A cada camada construída a mesa pode descer até menos de  $50\ \mu\text{m}$  ou menos para aplicações de alta resolução ou até  $200\ \mu\text{m}$  ou mais para peças de resolução padrão ou inferior. Quando a peça está completa, o excesso de resina é drenado e pode ser reutilizado. As partes construídas são lavadas para remover o excesso de resina e as estruturas de suporte são fisicamente removidas. Nesse processo cada camada da resina é transformada em estado sólido por meio de uma reação de cura.

Em geral as peças produzidas pelo processo de estereolitografia tem um bom acabamento, com baixa rugosidade superficial, tendo aparência similar às peças moldadas. O acabamento final pode ser feito com selantes, primers, tintas ou revestimentos metálicos. A Figura 2.31 contém uma representação esquemática de um dispositivo de estereolitografia (STANSBURY; IDACAVAGE, 2016).

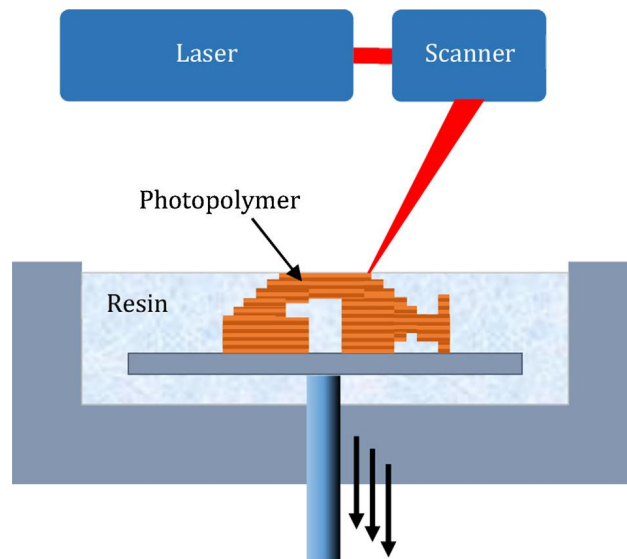


Figura 2.31 – Esquema de um processo de produção de peças utilizando um aparelho estereolitográfico (SLA), baseado em fotopolimerização.

Fonte: (STANSBURY; IDACAVAGE, 2016)

### 2.18.2 Fabricação por Fusão de Filamento e Modelagem por Fusão e Deposição

Segundo Balletti, Ballarin e Guerra (2017) a técnica de manufatura aditiva mais utilizada e amplamente divulgada é a Fabricação por Fusão de Filamento (*Fused Filament Fabrication* - FFF, em inglês) que nasceu a partir de outra técnica conhecida como Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling* - FDM, em inglês).

Tanto a técnica FFF quanto FDM se baseiam na estratificação de materiais plásticos líquidos (fundidos). Cada camada de fundido depositado é coberta pela camada seguinte formando superposições. O funcionamento é bem simples, um bocal é aquecido para fundir o material plástico (filamento) que pode ser movimentado nos três eixos, horizontalmente (eixos X e Y) e verticalmente (eixo Z) utilizando um motor controlado numericamente e comandado por um *software* CAM - Manufatura Auxiliada por Computador (*Computer-Aided Manufacturing*, em inglês). O filamento sólido de plástico é desenrolado de uma bobina de forma a passar por um bocal aquecido que funde o filamento a alta temperatura. Na Figura 2.32 é apresentado um esquema de motor que impulsiona o filamento, o qual é fundido e expelido pelo bocal de forma que o fluxo pode ser iniciado e parado (BALLETTI; BALLARIN; GUERRA, 2017).

Os movimentos da plataforma (mesa) de impressão e do bico de extrusão são realizados por motores controlados por uma placa com um driver por motor. Estes motores são utilizados pois garantem boa precisão e velocidade de movimento, além de um relativo elevado torque do motor (BALLETTI; BALLARIN; GUERRA, 2017). Ainda, segundo os autores, também é possível utilizar mais de um bico de impressão nas impressoras do tipo FFF e FDM com os quais é possível utilizar diferentes materiais e cores.

A qualidade de uma impressão utilizando FDM é inferior ao que é obtido com técnicas industriais que utilizam o laser, por exemplo. No entanto, a relação custo/benefício é o que torna esta técnica de manufatura aditiva a mais acessível ao público em geral (BALLETTI; BALLARIN; GUERRA, 2017).

### 2.18.3 Representação Geométrica 3D para Manufatura Aditiva

Segundo Foggiato e Silva (2017) para fabricar um objeto utilizando Manufatura Aditiva sempre é necessário uma representação geométrica tridimensional (3D) dos objetos a serem fabricados. O formato *STereoLithography* (STL) é o mais comumente utilizado, porém outras representações podem ser empregadas como, por exemplo *Common Layer Interface* (CLI) e *Additive Manufacturing Format* (AMF). Segundo o autor as geometrias são geradas de forma principal utilizando modelagem por sistemas CAD (*Computer-Aided Design*) 3D, além disso, também é possível obter os modelos por meio de *scanners* 3D, microtomografia, tomografia computadorizada, ressonância magnética, fotogrametria, ultrassonografia 3D, entre outros.

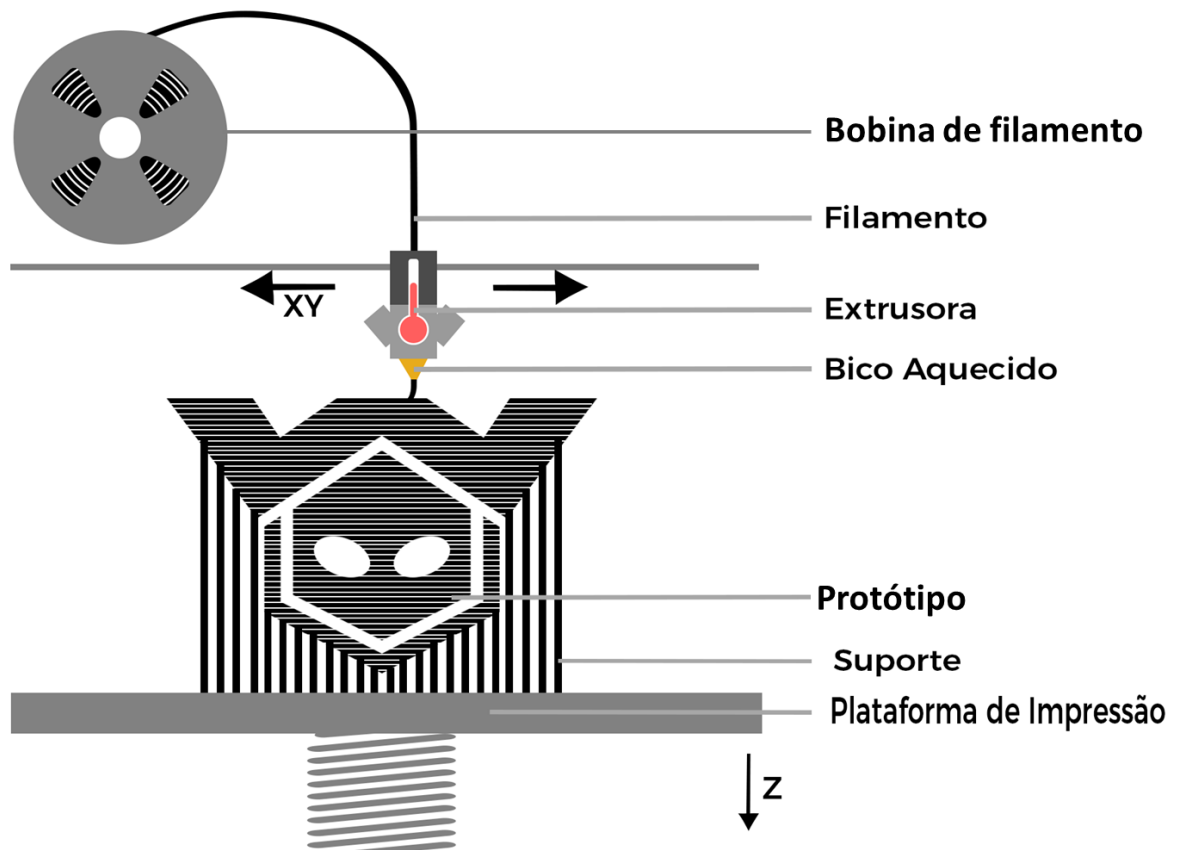


Figura 2.32 – Princípio de funcionamento de uma impressora 3D FDM.

Disponível em (adaptado de):

<https://www.wishbox.net.br/app/uploads/2017/02/fdm-technology.png>. Acesso em 27/12/2018.

No entanto, a modelagem por meio desses sistemas, necessita de correções posteriores por meio de sistemas CAD 3D.

## 2.19 Manufatura Aditiva - Materiais

Uma das funções da manufatura aditiva é confeccionar protótipos. Segundo Lee, An e Chua (2017) a prototipagem tem como objetivos testar a funcionalidade de uma peça, comunicar um conceito antes de realizar a fabricação do produto e validar ou verificar um projeto, principalmente no tocante a tempo e dinheiro, que são recursos limitados. Conforme o autor existem diversos materiais que podem ser utilizados na prototipagem, como termoplásticos, metais, fotopolímeros, dentre outros.

Segundo Bourell et al. (2017) para cada processo de fabricação a matéria prima utilizada deve ser compatível com o processo em questão, inclusive em tecnologias de Manufatura Aditiva. De acordo com os autores, para os processos de extrusão de material (FFF e FDM)

os termoplásticos amorfos são os materiais preferidos, devido as suas características de fusão. Esses polímeros, dos quais o ABS e o PLA<sup>3</sup> são os mais populares. Tanto o ABS como o PLA amolecem em uma ampla faixa de temperatura até a chamada temperatura de vidro, formando um material de alta viscosidade, sendo assim, ideal para extrusão de material através de um bocal.

De acordo com Shakoor et al. (2013) o PLA é um material sinterizado a partir do ácido láctico derivado do amido de milho. É o poliéster alifático mais comumente utilizado, que apresenta propriedades comparáveis aos plásticos convencionais derivados do amido de milho.

As propriedades térmicas e mecânicas do PLA são inadequadas para muitas aplicações mecânicas. No entanto, as deficiências nas propriedades mecânicas do PLA podem ser sanadas de varias formas, como a utilização de reforço e mistura de outros materiais. Por exemplo, o PLA pode ser misturado com policaprolactona (PCL) para aumentar sua flexibilidade, ou com polihidroxibutirato (PHB) para melhorar as propriedades de tração e biodegradabilidade (SHAKOOR et al., 2013). De acordo com Farbman e McCoy (2016) o PLA possui alongamento a ruptura de 3,8%, resistência à tração é de 57,8 MPa e o módulo de elasticidade é de 3,3 GPa e temperatura de transição vítrea é de 60-65 °C.

O acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) é um termoplástico e um copolímero que é usado para objetos rígidos. É constituído de 5-30% de butadieno, cerca de 50% de estireno e o restante é acrilonitrilo. A temperatura operacional máxima é entre 85 °C e 100 °C. A temperatura mínima de operação é de -35 °C. O ABS possui densidade típica de 1,05 g/cm<sup>3</sup>. Temperatura recomendada de impressão de 220 °C a 260 °C e velocidade de impressão de 30 mm/s a 70 mm/s. Também está sujeito ao envelhecimento se for exposto às condições climáticas (luz UV, oxigênio, umidade, calor) porque o polibutadieno estimula a oxidação do poliestireno. Isso causa descoloração e o plástico perde sua resistência mecânica. A fim de melhorar esta condição podem ser adicionados ao ABS estabilizadores UV (Ultra Violeta) (3D4MAKERS.COM, 2019). De acordo com Farbman e McCoy (2016) o ABS possui alongamento a ruptura de 20%, resistência à tração é de 44,81 MPa e o módulo de elasticidade é de 2,21 GPa e temperatura de transição vítrea é de 105 °C.

De acordo com a empresa 3DFila (2019) o TRITAN HT é um filamento de alta resistência e dureza projetado para impressão 3D (quando comparado a outros termoplásticos utilizado na Manufatura Aditiva). O material é um copoliéster durável resistente às altas temperaturas e pressão (quando comparado a outros termoplásticos utilizado na Manufatura Aditiva). Algumas características são sua maior flexibilidade em relação ao PLA e ABS; apresenta baixa contração e, dessa forma, pouco ou nenhum *warping*, sendo por isso ideal para grandes impressões. Ele pode ser riscado com mais facilidade que o ABS. Apresenta ótima resistência

---

<sup>3</sup> ABS é a sigla para acrilonitrila butadieno estireno (Acrylonitrile Butadiene Styrene, em inglês), e PLA é a sigla para Poliacido Láctico (Polylactic Acid, em inglês) (BOURELL et al., 2017).

química, como soluções alcalinas, ácidas e à água. Tem excelente aderência entre as camadas de impressão. Segundo a empresa a temperatura de transição vítrea é de 99 °C. De acordo com a empresa FILAMENT2PRINT (2020) a densidade do material é 1,27 g/cm<sup>3</sup>, a temperatura de impressão é 275-285 °C, o alongamento a ruptura é de 18%, a resistência à tração é de 45,51 MPa e o módulo de elasticidade é de 0,36542 GPa, a temperatura de amolecimento é de 100 °C e de fusão 255 °C.

## 2.20 Materiais Utilizados na Fabricação de Cadeiras de Rodas

A maioria das cadeiras de rodas é feita de alumínio, aço, ou liga de titânio, e algumas de compósito de fibra de carbono (COOPER, 1991).

Já na cadeira de rodas de atletismo, existem diversos materiais utilizados na fabricação da estrutura principal. Dentre os materiais, o mais utilizado atualmente é a liga de alumínio 6061 T6 (INVACARE CORP., 2012).

O Ácido Polilático (PLA) tem sido muito utilizado em manufatura aditiva para construir peças por meio de prototipagem por impressão 3D, sendo assim um possível material a ser aplicado na construção e cadeiras de rodas. De acordo com Jamshidian et al. (2010) as propriedades do PLA que merecem destaque são sua boa aparência, resistência mecânica, e baixa toxicidade. Alguns dos valores que o PLA apresenta são densidade de 1,25 g/cm<sup>3</sup>, módulo de elasticidade de 3500 MPa, coeficiente de Poisson de 0,36, limite de resistência a tração de 70 MPa, e limite de escoamento de 59 MPa.

Cota et al. (2010) realizaram simulações computacionais estruturais utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF) em uma cadeira de rodas de uso diário de modelo simples e comercial. Nas simulações foram utilizadas as propriedades de quatro materiais, sendo eles o aço SAE 1020, o alumínio, a fibra de carbono e a fibra de vidro. Originalmente a cadeira de rodas da qual se basearam as simulações, contém a estrutura em aço SAE 1020. Os resultados obtidos mostram que as tensões, da maior para a menor foram registradas para a fibra de carbono, fibra de vidro, aço SAE 1020 e, liga de alumínio. A massa de cada estrutura foi, da maior para a menor, 5,75 kg, 1,98 kg, 1,54 kg e, 1,30 kg, utilizando os materiais aço SAE 1020, alumínio, fibra de vidro e, fibra de carbono, respectivamente.

## 2.21 Automação por Parâmetros Utilizando Tabela de Projeto do Solidworks

"Uma tabela de projeto permite criar várias configurações de peças e montagens especificando parâmetros em uma planilha do Microsoft Excel embutida" (DASSAULT SYSTÈMES, 2019).

"A tabela de projeto é salva no documento do modelo e não é vinculada ao arquivo original do Excel. As alterações realizadas no modelo não são refletidas no arquivo original do Excel.



Entretanto, você pode vincular o documento do modelo ao arquivo do Excel" (DASSAULT SYSTÈMES, 2019).

Dentre os itens possíveis de serem controlados utilizando tabela de projeto, podem ser citados: dimensões, tamanho dos furos do Assistente de Furação, relações de esboço, recursos de montagens (dimensões, tamanho dos furos do Assistente de Furação), posicionamentos, e outros (DASSAULT SYSTÈMES, 2019).

# CAPÍTULO III

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia empregada na concepção estrutural do equipamento de prescrição e, da cadeira de rodas de corrida utilizando manufatura aditiva.

O equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida foi projetado com uma ampla gama de ajustes e componentes para auxiliar nestes ajustes, como roscas, parafusos, superfícies deslizantes, guias lineares, carrinho de selim de bicicleta, eixos, entre outros. E o seu conceito foi gerado a partir de uma cadeira de rodas de corrida comercial de alto rendimento.

A cadeira de rodas de corrida também foi concebida com base em uma cadeira de rodas comercial de alto rendimento. E suas dimensões são obtidas com base nas variações dos parâmetros do equipamento de prescrição. Sendo que, sua estrutura foi projetada e avaliada visando desenvolver uma parte por manufatura aditiva.

### 3.1 Definição das Guias Lineares e Carros Lineares

O cálculo das guias lineares foi feito considerando 180 kg como a carga máxima do atleta e mais 50 kg o total do equipamento. Portanto, a carga máxima do conjunto foi de 230 kg.

Assim, a carga de trabalho ( $P_C$ ) em cada guia linear, é calculada pela Eq. 3.1).

$$P_C = \frac{230}{2} = 115,0 \text{ kg} \quad (3.1)$$

De acordo com a OBR Equipamentos Industriais (2017, p. 5) "quando um momento é aplicado em uma guia linear, surgem forças que não são distribuídas uniformemente na guia. No sistema de guia linear, o Momento Estático Permissível ( $M_o$ ) é definido em três direções:  $M_P$ ,  $M_Y$  e  $M_R$ "(ver Fig. 3.1 e Tab. 3.4).

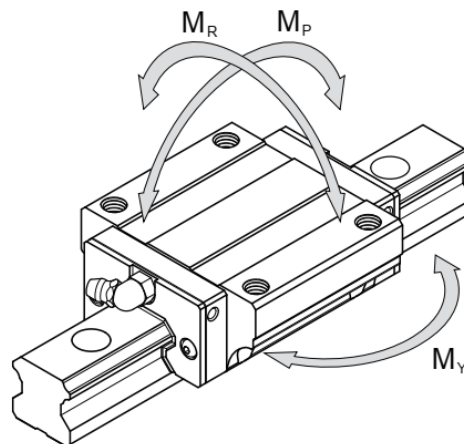


Figura 3.1 – Três direções do momento estático permissível em uma guia linear .  
 Fonte: (OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, 2017)

No equipamento de prescrição, as guias lineares serão utilizadas para posicionar o eixo da roda traseira no sentido longitudinal da cadeira de rodas de corrida. Assim, elas irão suportar a carga do atleta e do equipamento. Além disso, a distância entre o ponto que a roda fica apoiada e a linha de centro da guia linear, gera um momento torçor na guia no sentido de  $M_R$ . O maior ângulo de cambagem das rodas utilizadas neste equipamento é de  $16^\circ$ . E neste ângulo é gerado o maior momento no sentido de  $M_R$ . Assim, conforme pode ser visto na figura 3.2, a distância entre a linha de centro da guia linear e o ponto onde a roda toca o chão, é de 222,5 mm. Portanto, o cálculo do momento  $M_R$  se deu de acordo com a Equação 3.2), onde foi adotado um valor de 0,25 m para a distância.

$$M_R = 115 \cdot 0,25 \approx 28,75 \text{ kgfm} \quad (3.2)$$

Com as informações obtidas pelas Equações 3.1 e 3.2, foi definido a guia linear e o carro de acordo com o que é apresentado nas Tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

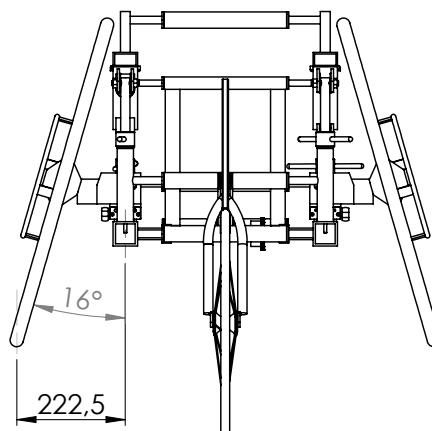


Figura 3.2 – Maior distância entre o apoio da roda no chão e a linha de centro da guia linear.

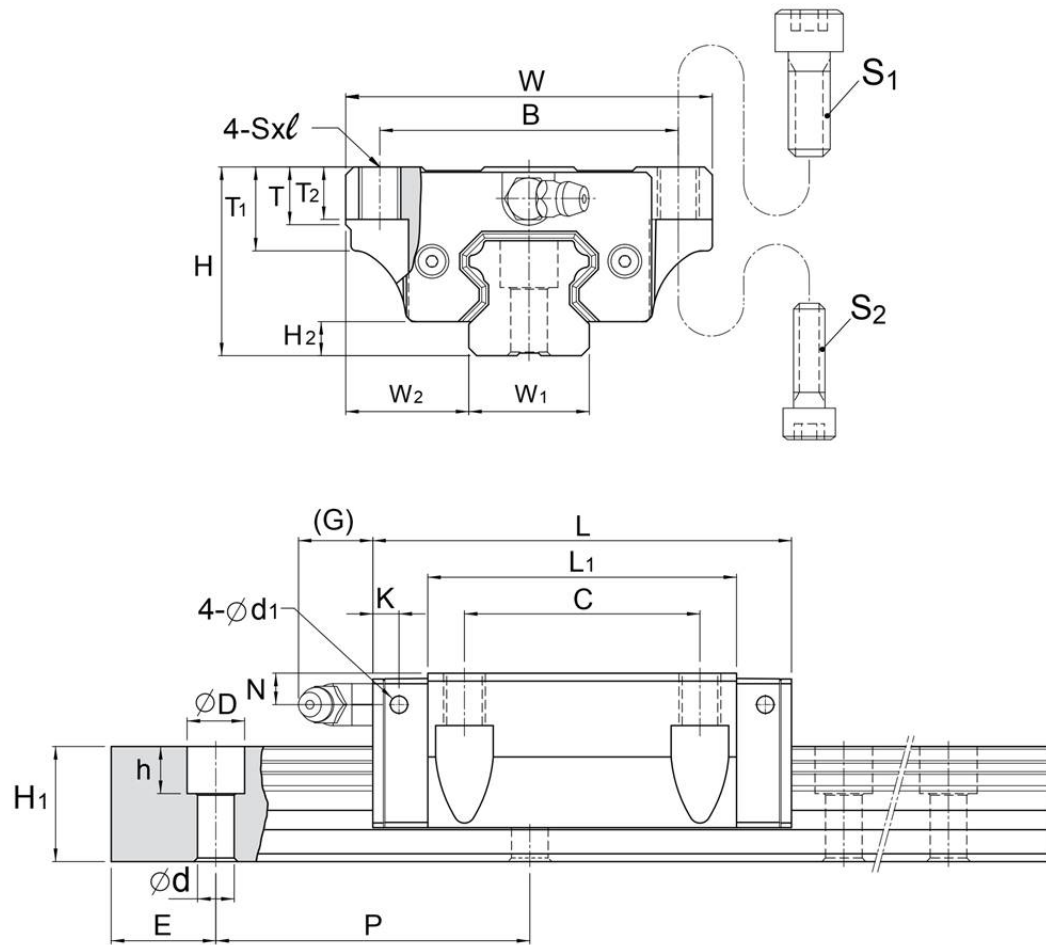


Figura 3.3 – Desenho esquemático do conjunto OBR<sup>®</sup> montado .

Fonte: (OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, 2017)

Na Figura 3.3 verifica-se o desenho esquemático do conjunto OBR<sup>®</sup> montado. Faz parte deste conjunto uma guia linear e um carro.

Nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 podem ser verificadas as dimensões das duas guias lineares (sendo 400 mm de comprimento cada) e dos dois carros para as guias lineares.

Tabela 3.1 – Dimensões da guia linear (em mm) .

Fonte: (OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, 2017)

<i>Modelo</i>	$W_1$	$H_1$	$P$	$D$	$h$	$d$
MSA 25 E (R)	23	22	60	11	9	7

Tabela 3.2 – Dimensões do carro (em mm) .

Fonte: (OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, 2017)

<i>Modelo</i>	$B$	$C$	$L_1$	$T$	$T_1$	$T_2$	$N$	$G$	$K$	$d_1$	<i>Engraxadeira</i>
MSA 25 E	57	45	59	11	16	10	6	12	5,8	3,3	G-M6

Tabela 3.3 – Outras dimensões do conjunto linear (em mm) .

Fonte: (OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, 2017)

<i>Modelo</i>	<i>H</i>	<i>W</i>	<i>L</i>	<i>W<sub>2</sub></i>	<i>H<sub>2</sub></i>	<i>Parafuso S<sub>1</sub></i>	<i>Parafuso S<sub>2</sub></i>
MSA 25 E	36	70	81,6	23,5	6,5	M8	M6

Tabela 3.4 – Capacidade de carga e momentos do conjunto linear .

Fonte: (OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, 2017)

<i>Modelo</i>	<i>Capacidade de Carga</i>		<i>Momento Estático</i>		
	<i>Dinâmica</i>	<i>Estática</i>	<i>M<sub>P</sub></i>	<i>M<sub>Y</sub></i>	<i>M<sub>R</sub></i>
	<i>C (kgf)</i>	<i>C<sub>0</sub> (kgf)</i>	<i>(kgf.m)</i>	<i>(kgf.m)</i>	<i>(kgf.m)</i>
MSA 25 E	2810	4240	39	39	48

### 3.2 Dimensionamento da Solda para a Chapa de Suporte da Guia Linear

No dimensionamento da solda em questão são consideradas as mesmas cargas atuantes na guia linear.

Figura 3.4

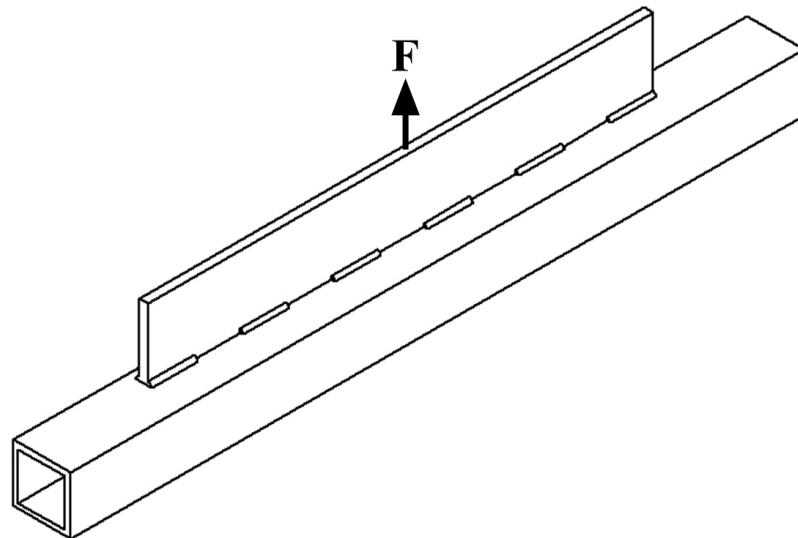


Figura 3.4 – Desenho esquemático da chapa soldada no tubo quadrado.

Os dimensionamentos a seguir foram realizados com base nos critérios da norma ABNT NBR 8800:2008 (Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

Visto que a carga de trabalho ( $P_C$ ) em cada guia linear, é dada pela Eq. 3.1, têm-se que ( $P_C$ ) = 115,0 kg em cada chapa de suporte. Assim, a força ( $F$ ) em cada chapa é dada pela Eq. 3.3.

$$F = 115 \times 9,81 = 1,13 \text{ kN} \quad (3.3)$$

Para os cordões de solda foram considerados eletrodos E60, os quais são especificados com resistência a tração do metal da solda de 60 ksi ( $f_w = 60 \text{ ksi} = 415 \text{ MPa} = 41,5 \text{ kN/cm}^2$ ) (Tabela A.4 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008)). Tanto a chapa, quanto o tubo quadrado são feitos de aço SAE 1020, o qual é especificado com resistência ao escoamento de ( $f_y = 250 \text{ MPa} = 25,0 \text{ kN/cm}^2$ ) (Tabela A.1 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008)).

De posse destas informações, foi calculado o Esforço Solicitante de Cálculo ( $S_d$ ) admitindo Carga Variável de Utilização ( $\gamma_f = 1,5$ ) como coeficiente de segurança. O cálculo foi dado pela Eq. 3.4.

$$S_d = \gamma_f \times F = 1,5 \times 1,13 = 1,70 \text{ kN} \quad (3.4)$$

Dimensionando para solda de filete e admitindo filete de solda com valor mínimo de perna de acordo com a Tabela 10 da ABNT NBR 8800:2008, utilizaremos  $b = 3 \text{ mm}$  (0,3 cm). Assim, calculando a resistência ( $R_d$ ) do metal da solda para solda intermitente, temos o resultado dado pela Eq. 3.5.

$$R_d = \frac{A_w(0,6 \times f_w)}{\gamma_{w2}} = \frac{0,7 \times 0,3 \times 40 \times (0,6 \times 41,5)}{1,35} = 170,4 \text{ kN} \quad (3.5)$$

onde  $A_w = 0,7 \times b \times l$ .

Assim, verifica-se que a resistência do metal de solda ( $R_d$ ) é cem vezes maior que o esforço solicitante de projeto ( $S_d$ ). Sendo, portanto, a solda resistente aos esforços a que será submetida.

### 3.3 Desenvolvimento da Cadeira de Rodas de Corrida Parcialmente em Manufatura Aditiva

O objetivo dessa etapa foi desenvolver um novo modelo de uma cadeira de rodas de corrida. As estruturas foram projetadas e avaliadas visando desenvolver uma parte da estrutura por manufatura aditiva. A proposta foi avaliar a resistência mecânica de cada uma das partes e “moldar” de forma efetiva, parametrizada e automatizada diversas partes da cadeira de rodas, como por exemplo, a região do assento, da propulsão, dentre outras. Estas configurações foram estudadas nesta etapa. As análises utilizarão técnicas de otimização e modelagem por elementos finitos.

O modelo foi desenhado utilizando como base medidas encontradas no manual do usuário e nos catálogos de peças da cadeira de rodas de corrida Top End (INVACARE CORPO-

RATION, 2011), (INVACARE CORPORATION, 2013a) e (INVACARE CORPORATION, 2013b).

Além disso, foram utilizadas medidas obtidas de cadeiras de rodas de corrida *Speed Racing*<sup>®</sup> disponibilizadas por uma equipe de atletismo em cadeira de rodas do SESI (Serviço Social da Indústria) de Uberlândia. A parte traseira do modelo, onde estão dispostos o quadro, o assento e o para-lamas das rodas traseiras, foi desenhada com base em perfis comerciais, tais como, tubos redondos, barras redondas e barras chatas, que são perfis utilizados comumente na construção de equipamentos e são encontrados comercialmente, como pode ser visto na Figura 3.5.

A parte frontal do modelo, constituída do garfo, guidão e tubo principal, foi desenhada em um formato aerodinâmico e com vistas à fabricação por meio de manufatura aditiva (Figura 3.5). Na Figura 3.6 verifica-se a estrutura montada com as rodas.

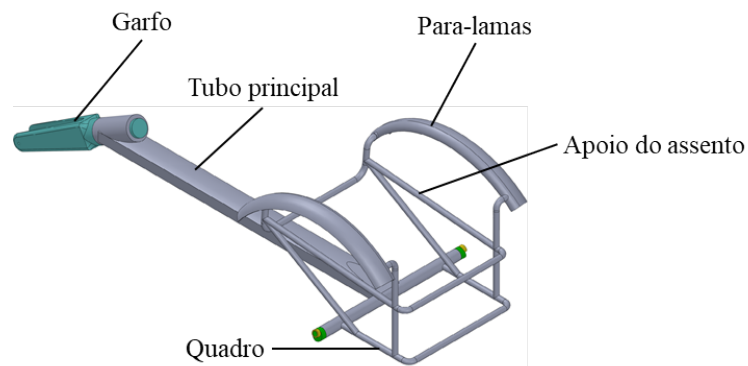


Figura 3.5 – Modelo da cadeira de rodas de corrida desenhado com partes a serem construídas por meio de manufatura aditiva.

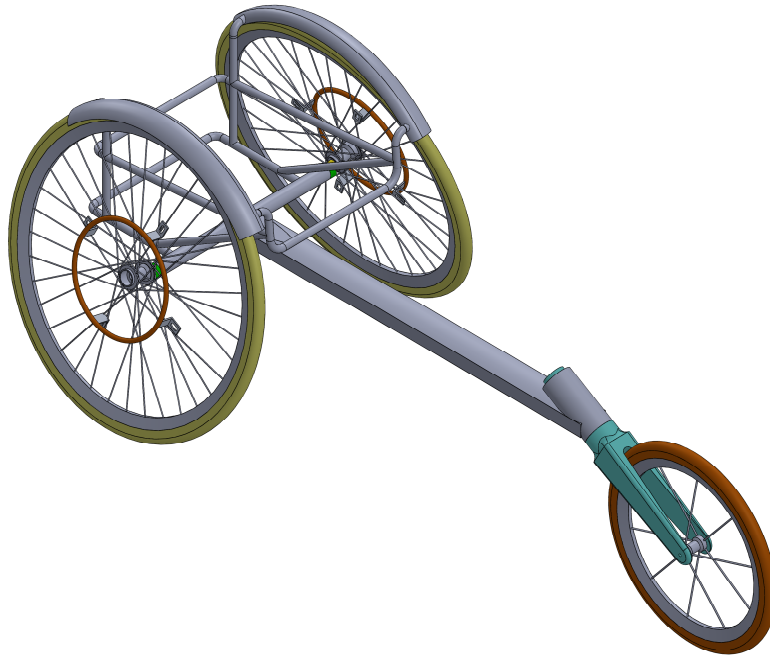


Figura 3.6 – Novo modelo da cadeira de rodas de corrida desenhado com as rodas.

### 3.4 Visão Geral das Partes do Equipamento de Prescrição

O equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida foi projetado com uma ampla gama de ajustes e componentes para auxiliar nestes ajustes, como roscas, parafusos, superfícies deslizantes, guias lineares, carrinho de selim de bicicleta, eixos, entre outros.

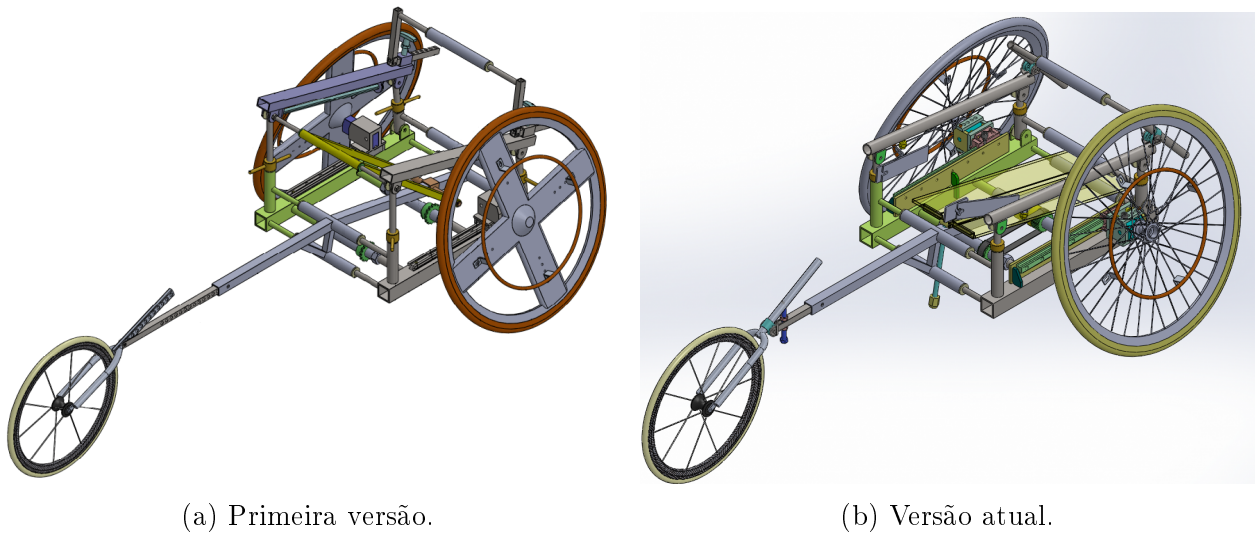
O projeto do equipamento buscou reproduzir as principais variáveis de ajustes importantes para a prescrição de uma cadeira de rodas de corrida.

O fato de o equipamento ser ajustável com 14 regulagens diretamente reproduzíveis em uma cadeira de rodas de corrida, não foi o maior desafio do projeto. O maior desafio foi projetar e construir todos estes ajustes com o equipamento rodando no chão como se fosse uma cadeira de rodas de corrida. Visto que dentre as variáveis de projeto o equipamento deveria ser, ao mesmo tempo robusto, rígido, deveria manter os ajustes centralizados com o plano longitudinal, suportar sua própria carga em conjunto com a carga de uma pessoa sobre o equipamento e acima de tudo movimentar no chão a partir das próprias rodas, semelhante a uma cadeira de rodas de corrida.

Na Figura 3.7 é apresentado o primeiro modelo (Figura 3.7a) projetado e a versão mais atual (Figura 3.7b). Durante o planejamento de produção até a efetivação final da fabricação houveram diversas alterações de projeto para este se ajustar às exigências do processo. Por exemplo, no projeto inicial estavam previstos blocos intercambiáveis com furações em diferentes ângulos para cada valor de ângulo de cambagem, e ao longo do desenvolvimento o projeto foi melhorado e o ângulo de cambagem passou a ser regulado de acordo com um



cilindro contendo um furo diferente para cada ângulo selecionado, com o qual basta retirar o pino de um furo e inserir em outro para modificar o ângulo. Outra mudança que pode ser citada é a sincronização entre os eixos de abertura da largura do assento; a princípio isso seria feito por meio de corrente, o que foi alterado posteriormente para uma correia sincronizadora. Existem diversas outras comparações que podem ser feitas entre o modelo inicial e o final, porém, observando as figuras nota-se que houve uma evolução, tanto visual, quanto de projeto a partir do que foi proposto no início.



(a) Primeira versão.

(b) Versão atual.

Figura 3.7 – Versões do equipamento de prescrição com as rodas no chão.

Para que o equipamento rodasse com as rodas apoiadas no chão, foram utilizadas rodas comerciais utilizadas em cadeiras de rodas de corrida. As rodas traseiras são facilmente destacáveis por meio de um eixo de engate rápido (Figura 3.8), o que facilita a desmontagem para transporte, bem como por outro motivo que seja necessário, como por exemplo retirar as rodas para fazer ajustes nos parâmetros durante os testes de prescrição.



Figura 3.8 – Eixo de engate rápido.

Na Figura 3.9 é mostrado um escopo geral do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Nesta figura algumas peças foram suprimidas para melhor visualização de suas partes. A Tabela 3.5 lista as partes principais do equipamento, destacadas e enumeradas na Figura 3.9.

Verifica-se pela Figura 3.9 que o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida é composto por uma estrutura principal da base (1) que é a estrutura central do equipamento e juntamente às estruturas de base lateral direita (5) e esquerda (6) formam a estrutura de base principal do equipamento. Além disso, compõem o equipamento uma roda dianteira (4) afixada a um garfo (3) que está afixado ao tubo que se ajusta e desliza por dentro do tubo frontal da estrutura principal, que é a estrutura de ligação garfo-base (2). O item (7) é referente ao fuso roscado de regulagem do apoio da perna onde, na sua ponta superior está afixado o apoio da perna (16). A correia dentada sincronizadora (8), a roda dentada sincronizadora (9) e, o eixo tubular com rosca interna (10), são responsáveis pelo movimento sincronizado e simétrico de abertura ou fechamento da largura do assento. O equipamento de prescrição é composto, ainda, por dispositivo de regulagem da largura do joelho (11), um par de guias lineares (12) e carro para guia linear (12.1) com os quais o conjunto das rodas traseiras podem ser movimentados para frente e para trás fazendo o ajuste do centro de gravidade. A barra de apoio do assento (13) dá todo o suporte para o estofamento do assento e, conseqüentemente, o atleta sentado. O conjunto de regulagem da cambagem (14). As porcas recartilhadas de latão reguladoras da altura e inclinação do assento (15). O apoio do encosto traseiro (17) responsável por dar segurança ao participante da pesquisa, por evitar que o mesmo tombe para trás. O item (18) é referente às rodas traseiras onde são parafusados os aros de propulsão (19).

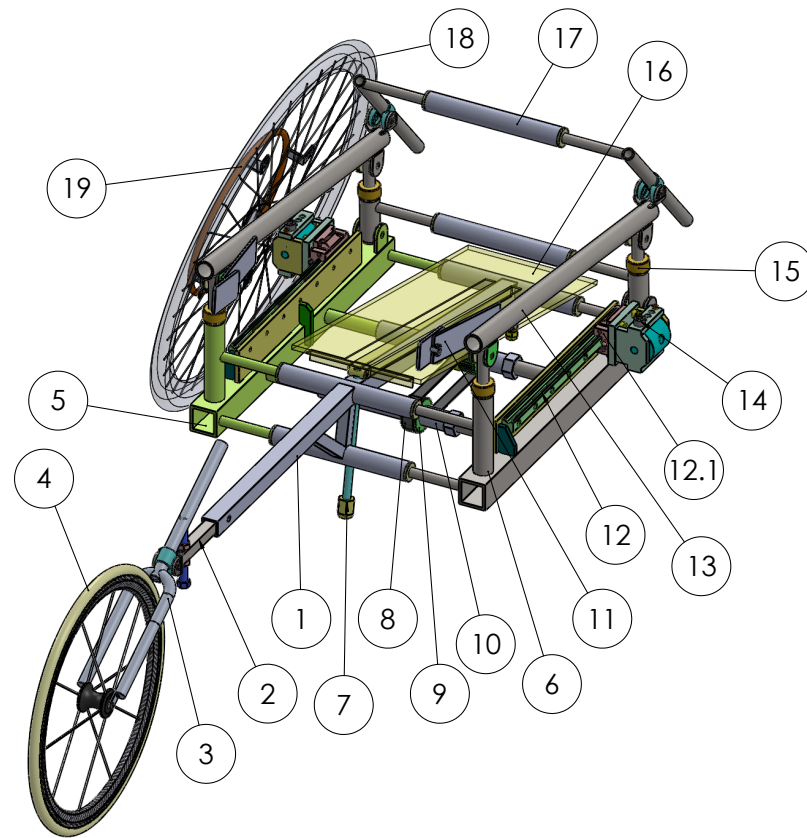


Figura 3.9 – Desenho esquemático da montagem do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Tabela 3.5 – Lista de peças da Figura 3.9

Item	Descrição	Quant.
1	Estrutura principal de base	1
2	Estrutura de ligação garfo-base	1
3	Garfo da roda dianteira	1
4	Roda dianteira	1
5	Estrutura de base lateral direita	1
6	Estrutura de base lateral esquerda	1
7	Regulagem do apoio da perna	1
8	Correia dentada sincronizadora	1
9	Roda dentada sincronizadora	2
10	Eixo tubular com rosca de variação da largura	2
11	Dispositivo de ajuste da largura do joelho	2
Continua na próxima página		

**Tabela 3.5 — Continuação da página anterior**

Item	Descrição	Quant.
12	Guia linear de ajuste do centro de gravidade	2
12.1	Carro acoplado à guia linear de ajuste do centro de gravidade	2
13	Barra de apoio para o assento	2
14	Conjunto de regulagem da cambagem	2
15	Regulador da altura e inclinação do assento	4
16	Apoio da perna	1
17	Apoio do encosto traseiro	1
18	Roda traseira de propulsão	2
19	Aro de propulsão	2

### 3.5 Cálculos de Energia Cinética, Potência Mecânica e Trabalho Mecânico

Quando um objeto se movimenta a partir de uma força aplicada a ele, tem-se um trabalho realizado sobre este objeto a partir de uma força aplicado sobre ele em uma determinada distância (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 1991). Dessa forma com base na definição dada, observa-se que é possível determinar a Energia Cinética despendida pelo atleta na propulsão do equipamento de prescrição, e assim, determinar parâmetros de desempenho em determinadas configurações.

Dessa forma, neste trabalho serão calculados a Energia Cinética, a Potência Mecânica e o Trabalho Mecânico com o objetivo de realizar comparativos nos resultados dos testes com o equipamento de forma que estas informações podem fornecer parâmetros para analisar o desempenho do atleta no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

A Energia Cinética é definida segundo Resnick, Halliday e Walker (1991) pela equação 3.6.

$$K = \frac{mv^2}{2} = [J] \quad (3.6)$$

onde  $m$  é a massa do objeto em [kg] e  $v$  é a velocidade em [m/s].

A energia cinética da partícula depende do quadrado da sua velocidade sendo, assim, sempre positiva. A sua unidade no Sistema Internacional (SI) é o joule, a unidade de medida do trabalho. A energia cinética é uma grandeza escalar: se uma partícula de massa  $m$  está se movimentando com velocidade  $v$  a sua energia cinética é dada pela Eq. 3.6, independentemente da direção segundo a qual a partícula esteja se movendo (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 1991, p. 124).

No caso de a energia cinética inicial de uma partícula ser diferente da final (velocidade inicial diferente da final), o trabalho é dado pela diferença entre  $K_f$  e  $K_i$ , conforme Eq. 3.7 (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 1991).

$$W = K_f - K_i = \Delta K = [J] \quad (3.7)$$

O trabalho  $W$  também pode ser definido como produto da força  $F$  pela distância  $d$ , no caso de uma força constante (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 1991). Porém, no caso de uma força variável o trabalho é dado pela Equação 3.8, onde se for utilizada a Segunda Lei de Newton é possível substituir  $F$  por  $ma$ , assim

$$W = \int_{x_f}^{x_i} F(x)dx = \int_{x_f}^{x_i} madx \quad (3.8)$$

Dessa forma quantidade  $ma \, dx$  pode ser reescrita na Equação 3.8 da seguinte forma:

$$madx = m \frac{dv}{dt} dx = m \frac{dx}{dt} dv = mv dv \quad (3.9)$$

Portanto, substituindo a Eq. 3.9 na Eq. 3.8

$$W = \int_{v_f}^{v_i} mv dv = m \int_{v_f}^{v_i} v dv = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (3.10)$$

A Equação 3.11 é referente a Potência Mecânica.

$$P_m = \frac{dW_T}{\Delta t} = \frac{J}{s} = [W] \quad (3.11)$$

onde a potência mecânica é dada pelo trabalho em função do tempo (NORTON, 2004).

### 3.6 Visão Geral da Cadeira de Rodas de Corrida Otimizada e Parametrizada

A cadeira de rodas de corrida modelada possui uma proposta de um quadro ergonômico, onde sua geometria favoreça a propulsão e estabilidade do atleta. Esta estrutura foi modelada tendo como base estudos sobre ergonomia e sobre propulsão (conforme apresentado ao longo do texto da revisão bibliográfica), entre outras informações.

Assim, os contornos geométricos anatômicos que são disponibilizados ao atleta após a prescrição da cadeira de rodas de corrida estão diretamente relacionados ao conforto e desempenho do indivíduo no esporte.

O modelo apresenta uma massa total estimada em 10,76 kg (Figura 3.10), sem o guidão, o freio e os estofamentos. Assim, a massa teórica do equipamento está bem próxima de cadeiras comerciais (citadas na revisão) com massas variando de 8,00 kg a 12,00 kg ou mais.

Propriedades de massa da Cadeira de Rodas de Corrida Parametrizada		
Massa = 10 758,16 g		
Volume = 3 984 504,85 mm <sup>3</sup>		
Área de superfície = 1 320 432,33 mm <sup>2</sup>		
Centro de massa ( mm )		
X = 346,68		
Y = -40,82		
Z = 898,00		
Eixos principais de inércia e momentos de inércia principais ( g · mm <sup>2</sup> )		
Tomado no centro da massa		
I <sub>x</sub> = (1,00; -0,08; 0,00)	P <sub>x</sub> = 147 567 115,44	
I <sub>y</sub> = (0,00; -0,00; -1,00)	P <sub>y</sub> = 1 459 504 383,15	
I <sub>z</sub> = (0,08; 1,00; -0,00)	P <sub>z</sub> = 1 488 714 130,59	
Momentos de inércia ( g · mm <sup>2</sup> )		
Obtido no centro de massa e alinhado com o sistema de coordenadas de saída		
L <sub>xx</sub> = 156 597 587,00	L <sub>xy</sub> = - 109 679 718,12	L <sub>xz</sub> = - 192,02
L <sub>yx</sub> = - 109 679 718,12	L <sub>yy</sub> = 1 479 683 659,03	L <sub>yz</sub> = 198,49
L <sub>zx</sub> = - 192,02	L <sub>zy</sub> = 198,49	L <sub>zz</sub> = 1 459 504 383,15
Momentos de inércia ( g · mm <sup>2</sup> )		
Tomados no sistema de coordenadas de saída		
I <sub>xx</sub> = 8 849 957 889,40	I <sub>xy</sub> = - 261 909 515,46	I <sub>xz</sub> = 3 349 240 790,25
I <sub>yx</sub> = -261 909 515,46	I <sub>yy</sub> = 11 448 130 022,90	I <sub>yz</sub> = -394 316 050,93
I <sub>zx</sub> = 3 349 240 790,25	I <sub>zy</sub> = - 394 316 050,93	I <sub>zz</sub> = 2 770 435 391,62

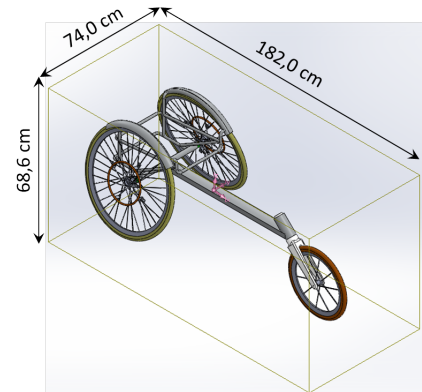


Figura 3.10 – Propriedades geométricas da cadeira de rodas de corrida.

Na Figura 3.11 verifica-se um escopo geral do conjunto da cadeira de rodas de corrida parametrizada, e a Tabela 3.6 a lista de peças referente à esta figura.

Verifica-se na Figura 3.11 que a cadeira é composta de um tubo frontal (1), o qual é acoplado à estrutura do assento (7), a qual possui um eixo tubular onde é acoplado o eixo de acoplagem rápida da roda de propulsão (2), este eixo é intercambiável devido à possibilidade de se variar a cambagem com a sua troca. No eixo (2) é acoplada a roda traseira (3), composta de pneu, aro, raios, eixo e rolamento, e à roda traseira é afixado o aro de propulsão (6). No tubo frontal (1) é posicionado o garfo da roda dianteira (4) onde são acoplados o guidão e freio. E no garfo (4) é afixada a roda dianteira. A estrutura do assento (7) é composta de tubos onde são afixados as tapeçarias que compõem o assento, o apoio da perna e o apoio do encosto traseiro.

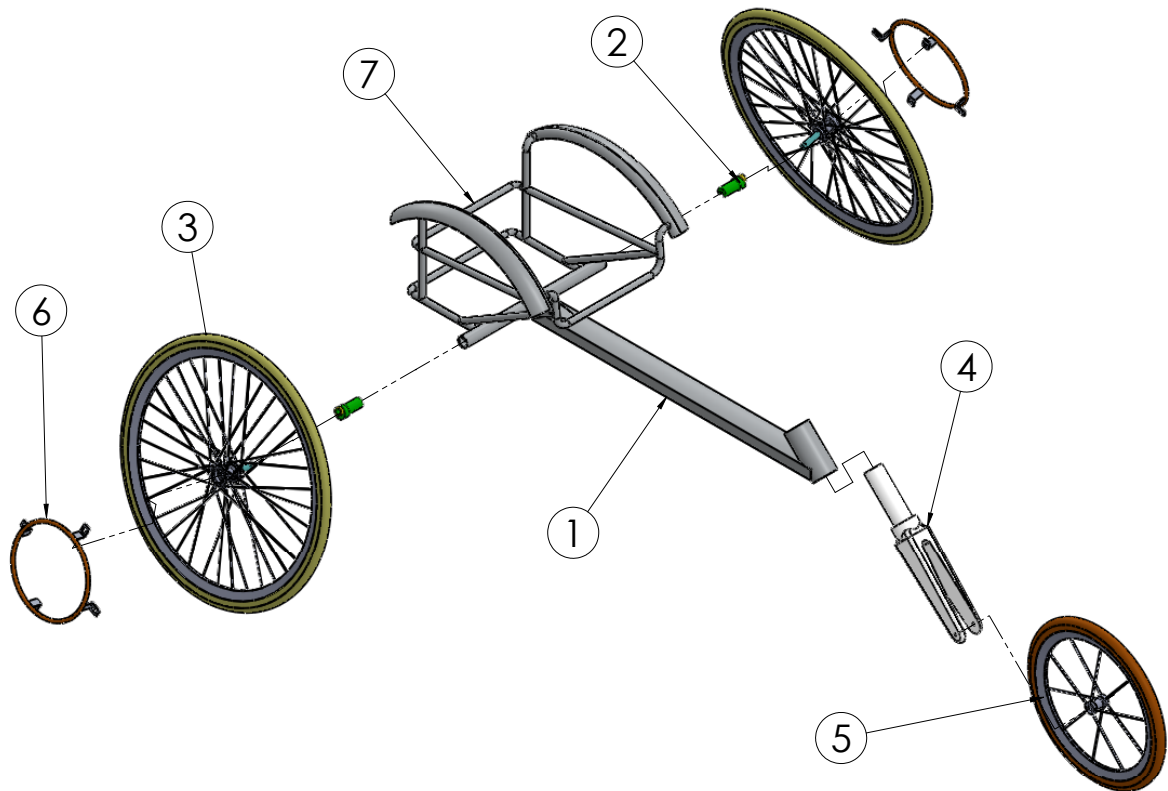


Figura 3.11 – Desenho esquemático da montagem da cadeira de rodas de corrida.

Tabela 3.6 – Lista de peças da Figura 3.11

Item	Descrição	Quant.
1	Tubo frontal	1
2	Eixo de acoplamento rápido da roda de propulsão	2
3	Roda traseira de propulsão	2
4	Garfo da roda dianteira	1
5	Roda dianteira	1
6	Aro de propulsão	2
7	Estrutura do assento (gaiola)	1

### 3.7 Modelagem Utilizando o Método dos Elementos Finitos

A análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) tem a função de avaliar a estrutura para verificar se esta suporta as solicitações mecânicas sem ser danificada. Assim, o método de análise estrutural identifica o nível de tensões equivalentes que a estrutura analisada suporta em decorrência da carga aplicada sobre ela.

Os materiais utilizados nas análises foram o alumínio 6061 T6F e o plástico ABS, para a cadeira de rodas de corrida. Para o equipamento de prescrição foram utilizados os materiais Liga de Aço SAE 1020, o Nylon 6.6 (conhecido, também, por Technyl) e, a liga de latão C260. Nas Tabelas 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 e, 3.11, são apresentadas as propriedades destes materiais. No equipamento de prescrição o Nylon foi utilizado para fazer buchas, em especial nos locais onde uma barra deveria deslizar dentro de um tubo. Assim, para facilitar o deslize e evitar o desgaste, foram utilizadas buchas de Nylon nestes locais.

Tabela 3.7 – Propriedades da Liga de Alumínio 6061 T6

Fonte: (CALLISTER, 2008)

<i>Propriedades</i>	<i>Liga de Alumínio 6061-T6</i>
Densidade	2,70 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidade	69.000 MPa
Coefficiente de Poisson	0,33
Limite de Escoamento	276 MPa
Limite de Resistência à Tração	310 MPa

Tabela 3.8 – Propriedades do ABS.

Fonte:

<https://studentcommunity.ansys.com/thread/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-material/>.

Acesso em 29/06/2020

<i>Propriedades</i>	<i>ABS</i>
Densidade	1,04 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidade	2.390 MPa
Coefficiente de Poisson	0,399
Limite de Escoamento	41,4 MPa
Limite de Resistência à Tração	44,3 MPa

Tabela 3.9 – Propriedades do Aço SAE 1020 .

Fonte: (CALLISTER, 2008)

<i>Propriedades</i>	<i>Liga de Aço SAE 1020</i>
Densidade	7,85 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidade	207.000 MPa
Coefficiente de Poisson	0,30
Limite de Escoamento	210 MPa
Limite de Resistência à Tração	380 MPa

Nas simulações realizadas para este trabalho foram utilizadas cargas de 180 kg. Esta carga está superdimensionada, e já é utilizada em trabalhos anteriores ((CARDOSO, 2015) (DONEGÁ, 2015) (CARDOSO, 2020)), por isso foi utilizada esta mesma carga para seguir o



Tabela 3.10 – Propriedades do Nylon (Technyl)

Fonte: (CALLISTER, 2008)

<i>Propriedades</i>	<i>Nylon 6.6</i>
Densidade	1,14 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidade	3.790 MPa
Coefficiente de Poisson	0,39
Limite de Escoamento	83 MPa
Limite de Resistência à Tração	94,5 MPa

Tabela 3.11 – Propriedades do Latão C260

Fonte: (CALLISTER, 2008)

<i>Propriedades</i>	<i>Latão C260</i>
Densidade	8,50 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidade	97.000 MPa
Coefficiente de Poisson	0,34
Limite de Escoamento	125 MPa
Limite de Resistência à Tração	340 MPa

padrão. Junto a essa carga foi aplicada a aceleração da gravidade de 9,8066 m/s<sup>2</sup>. Assim a força aplicada foi o produto da massa de 180 kg pela aceleração da gravidade.

Na análise realizada foram suprimidas algumas peças que não exerceriam função relevante na análise de tensões pelo método de elementos finitos, uma vez que estas partes aumentariam o custo computacional da simulação (tempo de hora máquina).

### 3.8 Modelagem pelo Método dos Elementos Finitos da Cadeira de Rodas de Corrida Parametrizada

Após a finalização da modelagem da cadeira de rodas de corrida com partes desenhadas para fabricação utilizando manufatura aditiva, realizou-se a análise estática estrutural pelo método de elementos finitos (MEF), objetivando-se investigar a resistência mecânica da estrutura e os pontos críticos prováveis de falha devido aos carregamentos estáticos.

As análises virtuais pelo Método dos Elementos Finitos foi realizada no *software* ANSYS®.

No caso da cadeira de rodas de corrida parametrizada, o material atribuído à estrutura da parte traseira para a análise foi a liga de alumínio 6061 com têmpera do tipo T6. Essa liga se caracteriza por possuir alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e boa conformabilidade. Já na parte dianteira e no garfo foi atribuído o material ABS, o qual apresenta uma massa específica relativamente baixa.

Após implementar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais na biblioteca de materiais do *software*, foi carregada a geometria importada do modelo CAD (*Computer Aided Design* - Desenho Assistido por Computador). Antes de realizar o carregamento da geometria,

o modelo foi salvo em um formato do tipo *Parasolid* (\*.x\_t), devido à aceitação favorável que o *software* de simulação tem em relação a este tipo de arquivo. Quando o arquivo é importado para o tipo *Parasolid* ele se torna um binário ou de texto *Parasolid*.

Em virtude de a geometria da estrutura da cadeira de rodas de corrida ser relativamente simples, foi realizada uma análise estrutural da montagem da gaiola do assento (*cage*, em inglês), a estrutura frontal do tubo principal e o garfo dianteiro. Na Figura 3.12 é apresentada esta configuração geométrica carregada no programa de simulação.

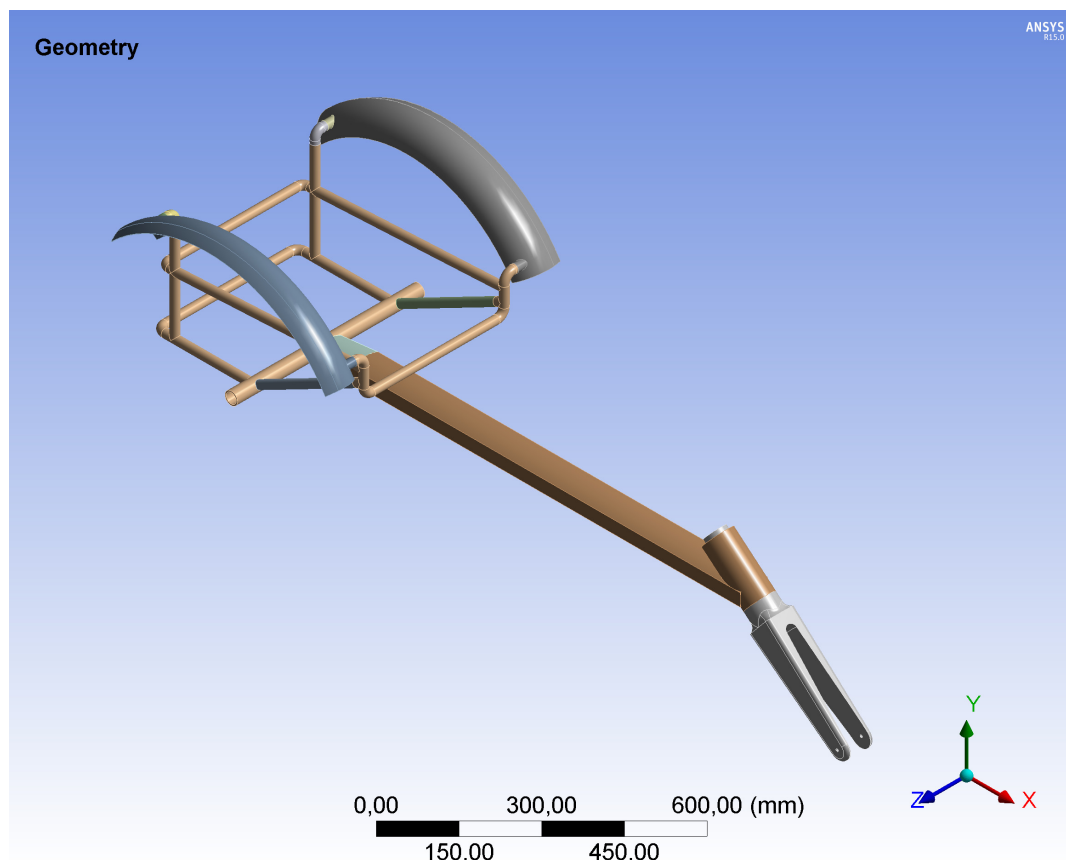


Figura 3.12 – Importação da geometria da cadeira de rodas de corrida.

Após carregar a geometria e esta ser reconhecida pelo programa, foi feita a verificação e reconhecimento das topologias para posteriormente ser realizada a geração da malha. As topologias são representadas por diferenças entre esboços e planos do modelo, além de extrusões, emendas, filetes e chanfros.

Antes de realizar a geração da malha, foram atribuídos os materiais para cada corpo definido no carregamento da geometria. Após fazer a importação da geometria e atribuição dos materiais, foi possível obter as características físicas do modelo, conforme a Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Características físicas da cadeira de rodas de corrida modelada

Característica	Valor
Volume	4.901.500,00 mm <sup>3</sup>
Massa	3,175 kg
Dimensão em X	1634,00 mm
Dimensão em Y	601,74 mm
Dimensão em Z	602,57 mm

A configuração da malha de elementos foi realizada para um maior refinamento e padrão de convergência entre seus elementos e nós. Na Figura 3.13 verifica-se o resultado da malha gerada para a geometria em questão.

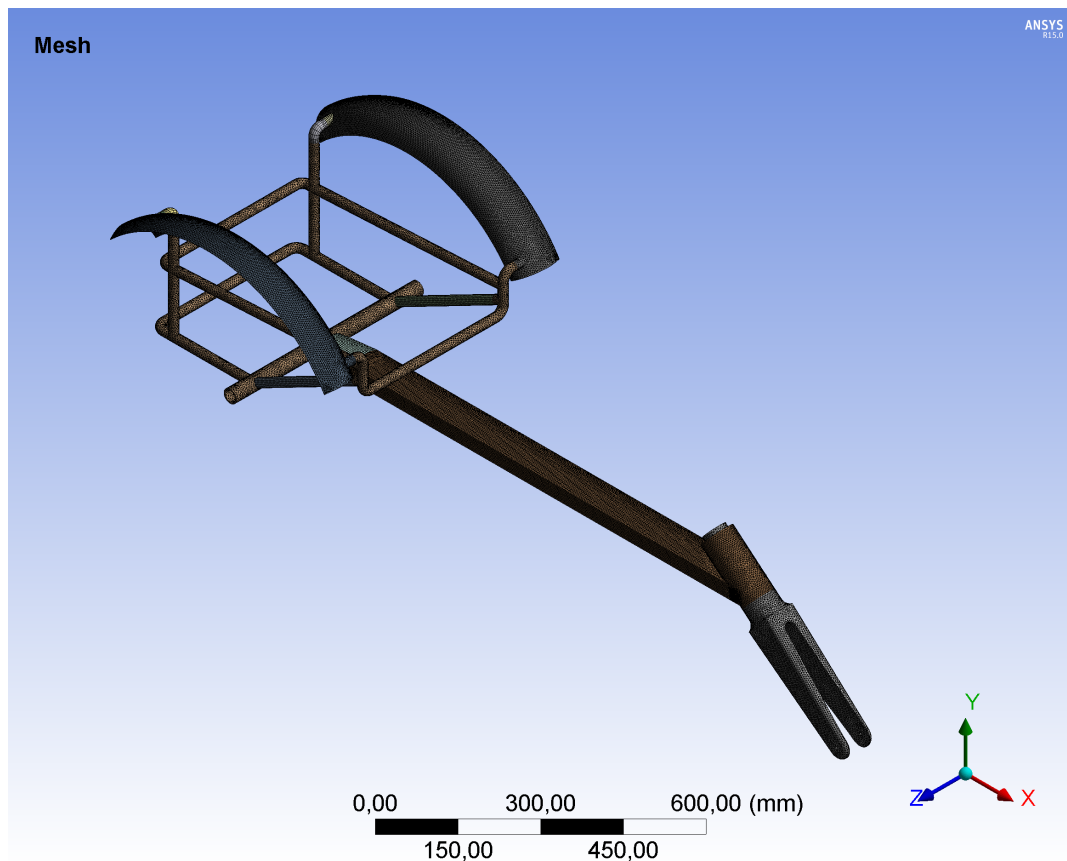


Figura 3.13 – Malha gerada para a estrutura da cadeira de rodas de corrida.

Na geração da malha procurou-se chegar a uma boa convergência de elementos com um alto grau de refinamento. O nível de refinamento alcançado possibilita resultados mais precisos e confiáveis. A Tabela 3.13 mostra as informações das propriedades da malha gerada para a estrutura da cadeira de rodas. Na sequência foram atribuídas as condições de contorno e de carregamento no conjunto.

Tabela 3.13 – Propriedades da malha gerada para a estrutura da cadeira de rodas de corrida

Propriedades da Malha	
Volume da geometria	4.901.500,00 mm <sup>3</sup>
Elementos	342.758
Nós	634.293
Temperatura	22 °C
Escala	mm, kg, N, s

Na sequência foram configuradas as condições de contorno do modelo. Os engastamentos foram realizados nos eixos das rodas, os quais dão sustentação para este conjunto. Estes pontos podem ser verificados na Figura 3.14 (pontos B e C). E, por conseguinte, as rodas se apoiam no chão.

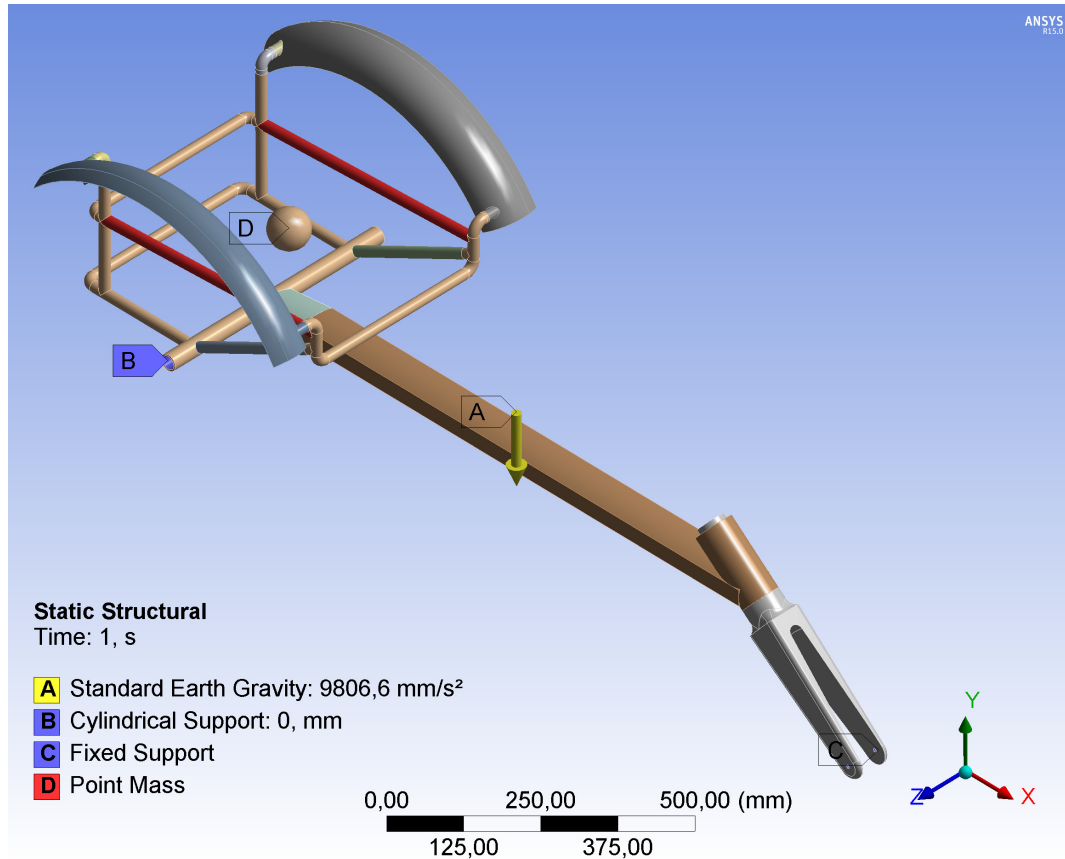


Figura 3.14 – Condições de contorno e carregamento utilizados na análise feita na estrutura da cadeira de rodas de corrida.

Posteriormente, foi configurado o carregamento, o qual foi definido em uma carga estática superdimensionada de 180 kgf (ponto D da Figura 3.14) distribuída sobre os tubos onde são apoiados os assentos em tapeçaria do equipamento, e consequentemente, onde a massa do atleta exercerá maior força no equipamento. Junto à carga, foi adicionada a condição

de aceleração da gravidade (ponto A ilustrado na Figura 3.14) no valor de  $9,8066 \text{ m/s}^2$ , posicionada sobre o centro de gravidade da geometria.

### 3.9 Projeto do Equipamento de Prescrição

O equipamento para prescrição de cadeira de rodas de corrida foi concebido com diversas variáveis de ajustes, de forma que estas sejam utilizadas para gerar o projeto de uma cadeira de rodas de corrida e posteriormente realizar sua fabricação.

### 3.10 Modelagem por Elementos Finitos do Equipamento de Prescrição

Aqui são apresentadas as avaliações realizadas por simulação virtual no modelo do equipamento de prescrição utilizando o método dos elementos finitos (MEF).

Nesta análise, bem como na construção do equipamento, foram utilizadas as propriedades dos materiais Aço Estrutural SAE 1020, Nylon 6.6 (Technyl) e latão.

#### 3.10.1 Importação da Geometria

A seguir são apresentadas as geometrias analisadas utilizando simulação virtual pelo método dos elementos finitos (MEF). Por motivos de economia de tempo, energia de homem e máquina e para tornar o processo mais detalhado e simplificado, e devido ao equipamento de prescrição possuir montagem modular, as geometrias são apresentadas em módulos, conforme realizadas as análises.

Assim, basicamente, os módulos foram divididos em três partes, sendo elas o Suporte Traseiro do Assento, as Barras de Apoio do Assento e, a Estrutura de Base do Equipamento.

Após implementar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais na biblioteca do *software*, foi carregada a geometria importada do modelo desenhado em *software* CAD. Antes de realizar o carregamento da geometria, o modelo foi salvo em um formato do tipo Parasolid (\*.x\_t), devido à aceitação favorável que o *software* de simulação tem em relação a este tipo de arquivo. Quando o arquivo é importado para o tipo Parasolid ele se torna um binário ou de texto Parasolid.

Na Figura 3.15 nota-se a configuração geométrica carregada no *software* para a realização da simulação do suporte traseiro do assento.

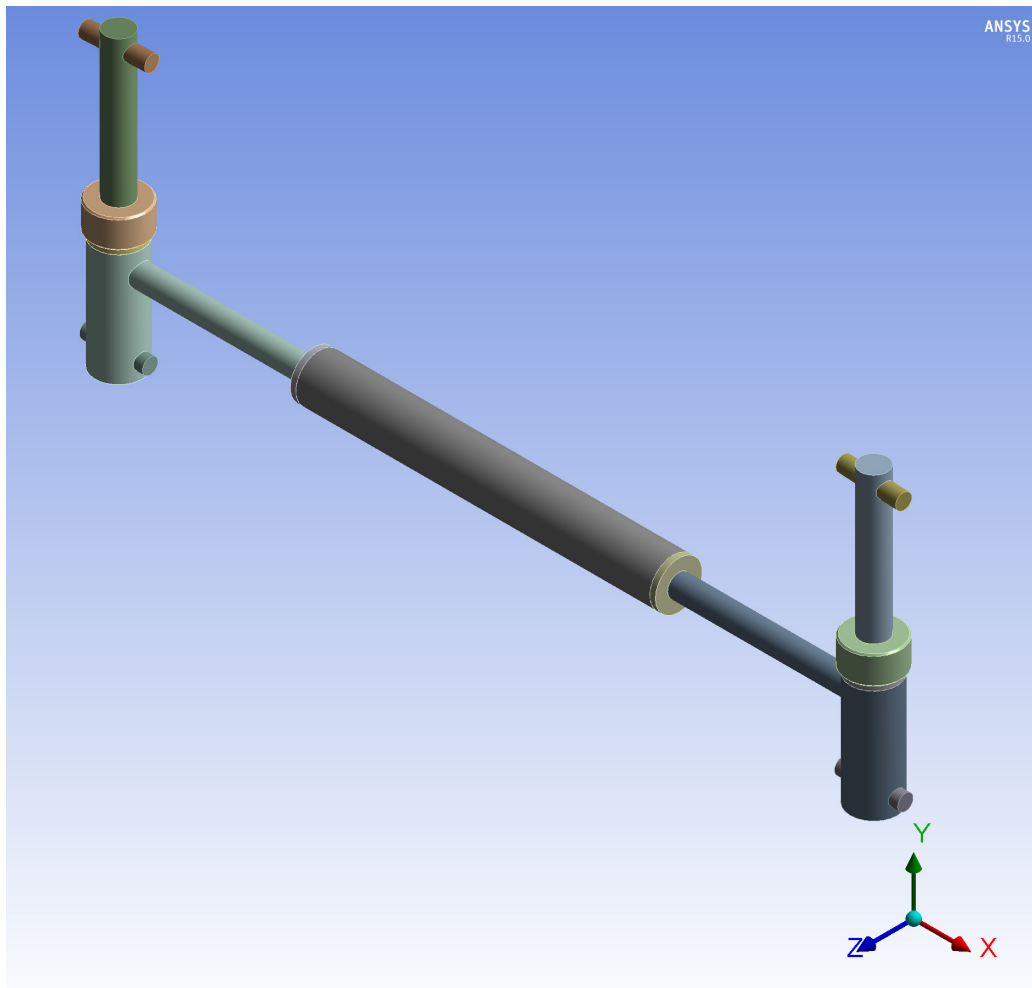


Figura 3.15 – Geometria do suporte traseiro do assento importada para o *software* de MEF.

Com a geometria carregada e reconhecida pelo programa, é realizado o reconhecimento e verificação das topologias com vistas ao próximo passo, que é a geração das malhas. As topologias são caracterizadas por diferenças entre planos e esboços do modelo, bem como emendas, extrusões, chanfros e filetes.

Outra informação que deve ser configurada antes de gerar a malha, é a atribuição de materiais. No momento de carregar a geometria, o *software* faz o reconhecimento dos corpos presentes no modelo carregado. Assim, para cada um destes corpos deve ser atribuído o material característico de cada um. Com essa atribuição, se torna possível obter características físicas do modelo, conforme apresentado na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Características físicas do suporte do assento

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Volume	373.190 mm <sup>3</sup>
Massa	2,50 kg
Dimensão em X	583,26 mm
Dimensão em Y	208,00 mm
Dimensão em Z	38,10 mm

Com as propriedades mecânicas e físicas dos materiais carregados nas bibliotecas do programa de simulação, foi importada a geometria das barras do assento, conforme Fig. 3.16. As barras do assento são as peças principais de apoio do atleta quando posicionado sentado no equipamento.

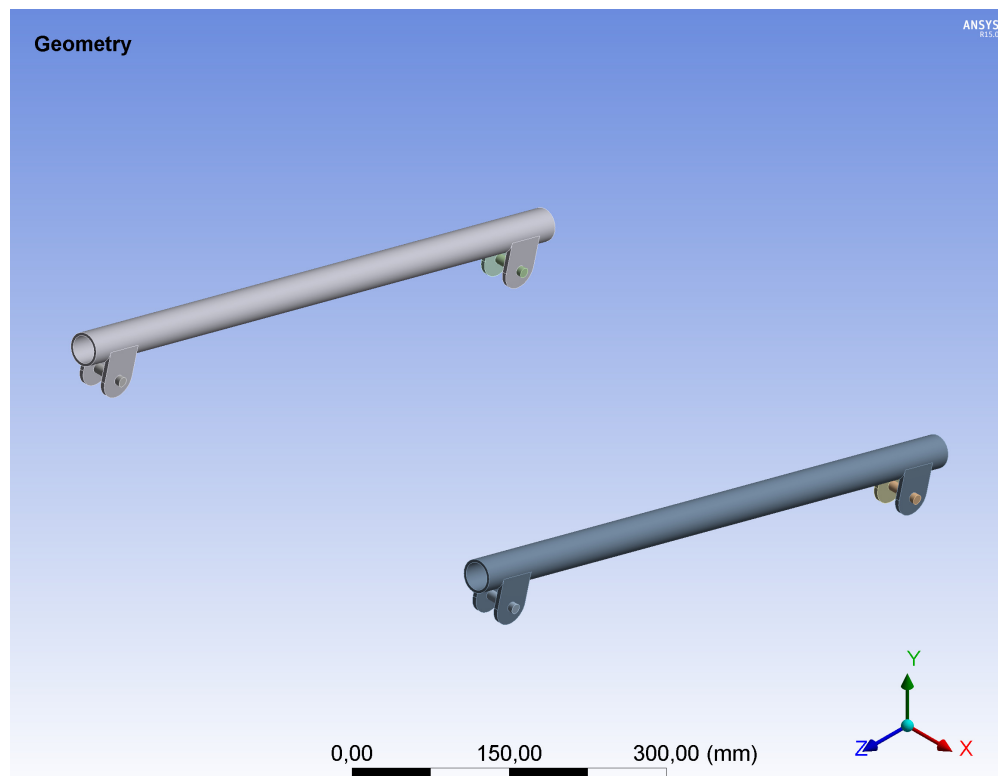


Figura 3.16 – Geometria das barras do assento importada para o software de MEF.

Com a geometria carregada e reconhecida pelo *software*, as topologias foram compartilhadas e verificadas para suceder à geração de malhas.

Também foram atribuídos os materiais aos corpos carregados e reconhecidos pelo programa. As características geométricas das barras do assento podem ser observadas na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 – Características físicas das barras do assento

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Volume	422.130 mm <sup>3</sup>
Massa	3,31 kg
Dimensão em X	575,00 mm
Dimensão em Y	220,20 mm
Dimensão em Z	627,29 mm

Após as propriedades mecânicas e físicas dos materiais terem sido carregadas nas bibliotecas do programa de simulação, a geometria da estrutura de base do equipamento de prescrição foi carregada para o programa, conforme Fig. 3.17. A estrutura de base consiste da parte do equipamento que sustentará o peso de todo o restante da estrutura, juntamente com o peso do indivíduo sobre o equipamento.

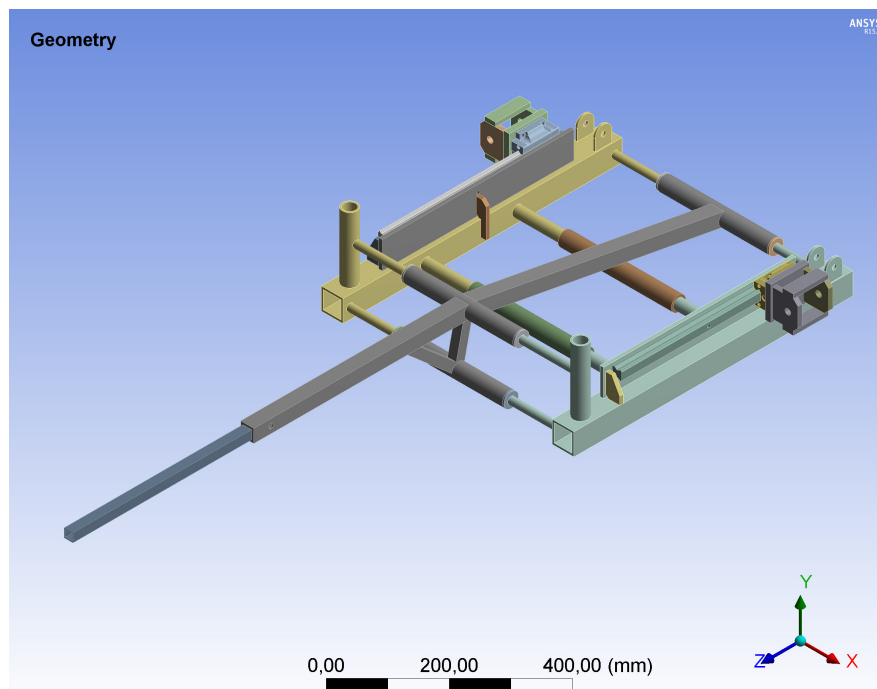


Figura 3.17 – Geometria da estrutura de base do equipamento de prescrição importada para o software de MEF.

Com a geometria carregada e reconhecida pelo *software*, as topologias foram compartilhadas e verificadas para suceder à geração de malhas.

Além disso, foram atribuídos os materiais aos corpos carregados e reconhecidos pelo programa. A Tabela 3.16, lista as características físicas da presente configuração da estrutura de base do equipamento de prescrição.



Tabela 3.16 – Características físicas da estrutura de base

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Volume	4.029.500 mm <sup>3</sup>
Massa	30,86 kg
Dimensão em X	729,40 mm
Dimensão em Y	200,00 mm
Dimensão em Z	1510,70 mm

### 3.10.2 Geração das Malhas para Ensaio pelo Método dos Elementos Finitos

A configuração da malha de elementos foi realizada para um maior refinamento e padrão de convergência entre seus elementos e nós. A Figura 3.18 mostra o resultado da malha gerada para a geometria do suporte traseiro do assento.

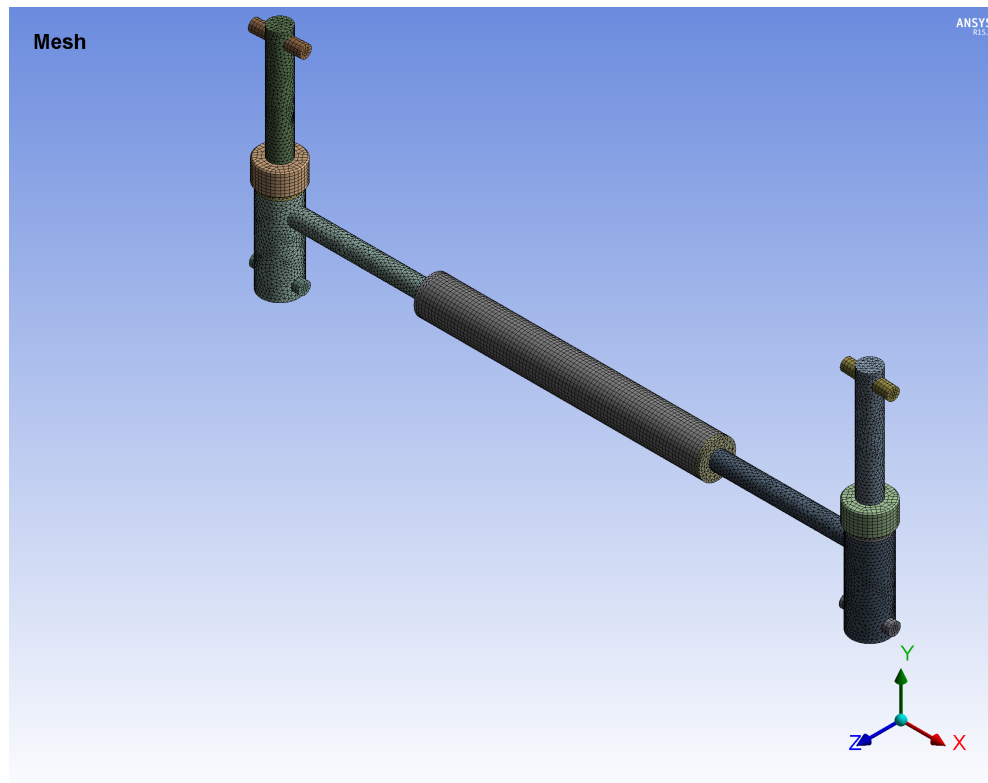


Figura 3.18 – Malha de elementos gerada para a simulação por MEF do suporte traseiro do assento

Tabela 3.17 – Propriedades da malha gerada para o suporte traseiro do assento

<i>Propriedades da Malha</i>	
Volume da geometria	373.190,00 mm <sup>3</sup>
Elementos	89.033
Nós	179.683
Temperatura	22 °C
Escala	mm, kg, N, s

A próxima estrutura ensaiada é apresentada na Figura 3.19. Esta figura mostra o resultado da malha gerada para a geometria das barras de apoio do assento, utilizadas na estrutura do equipamento de prescrição. A configuração da malha de elementos foi realizada para um maior refinamento e padrão de convergência entre seus elementos e nós.

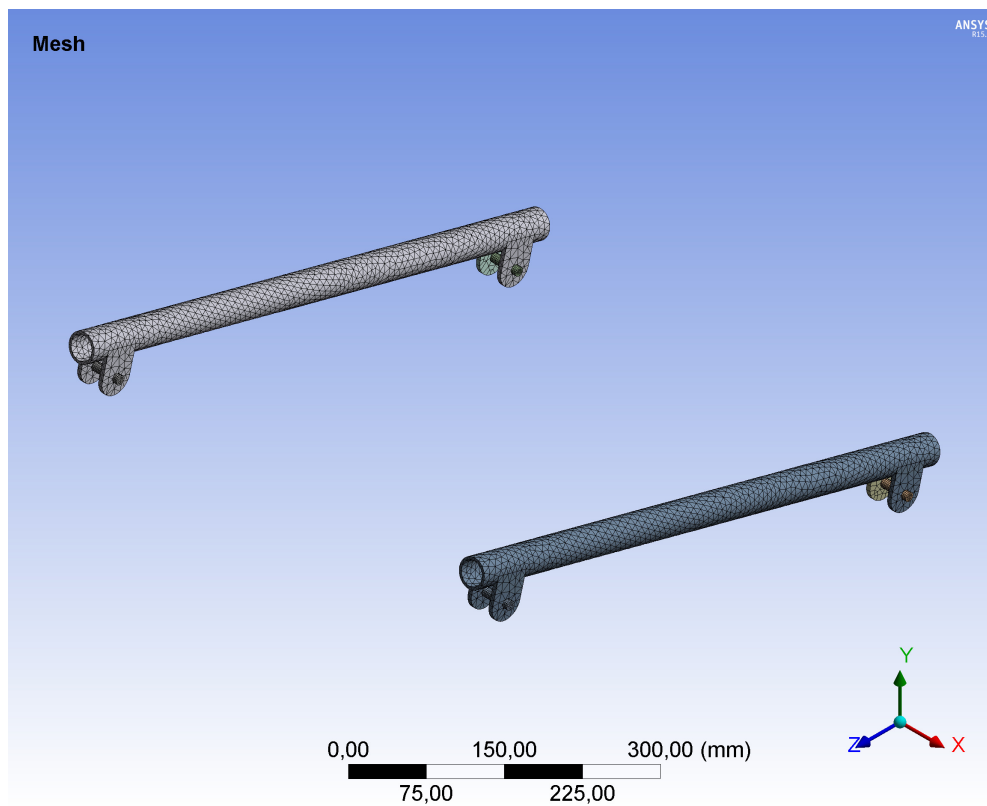


Figura 3.19 – Malhas geradas nas barras de assento do equipamento de prescrição.

Na Tabela 3.18 constam as informações das propriedades da malha gerada para a estrutura das barras de apoio do assento.

Tabela 3.18 – Propriedades da malha gerada para as barras de apoio do assento

<i>Propriedades da Malha</i>	
Volume da geometria	422.130 mm <sup>3</sup>
Elementos	18.324
Nós	46926
Temperatura	22 °C
Escala	mm, kg, N, s

A próxima estrutura ensaiada é apresentada na Figura 3.20. Esta figura mostra o resultado da malha gerada para a geometria da estrutura de base do equipamento de prescrição. A configuração da malha de elementos foi realizada para um maior refinamento e padrão de convergência entre seus elementos e nós.

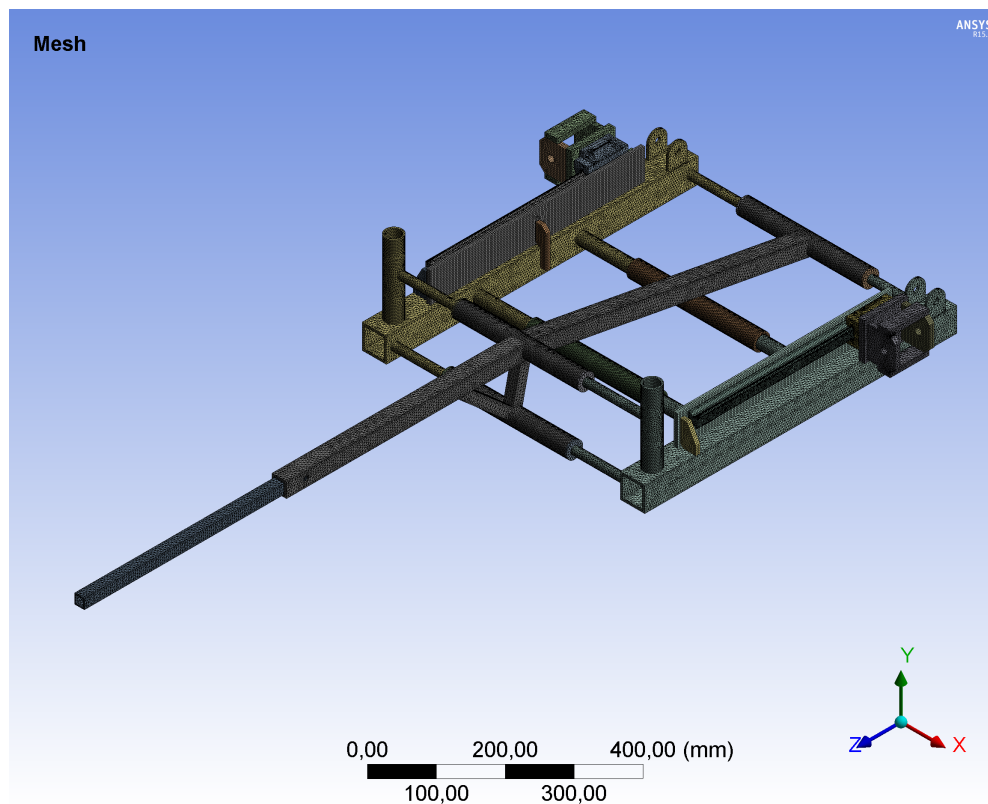


Figura 3.20 – Malhas geradas na estrutura de base do equipamento de prescrição.

Na Tabela 3.19 verifica-se as informações das propriedades da malha gerada para a estrutura de base do equipamento de prescrição. Nota-se pela tabela apresentada que foi distribuída uma média de um elemento para cada sete milímetros cúbicos da geometria.

Tabela 3.19 – Propriedades da malha gerada para a estrutura de base

<i>Propriedades da Malha</i>	
Volume da geometria	4.029.500 mm <sup>3</sup>
Elementos	581.066
Nós	1.133.595
Temperatura	22 °C
Escala	mm, kg, N, s

Na sequência foram atribuídas as condições de contorno e de carregamento para os módulos das estruturas analisadas.

### 3.10.3 Condições de Contorno e de Carregamento

Em todas as estruturas, primeiramente foi atribuída a condição de contorno e em seguida o carregamento utilizada na estrutura.

Assim, conforme pode ser visto na Figura 3.21, a condição de contorno envolve o engastamento nos dois pinos inferiores da estrutura (ponto B), os quais fornecem sustentação ao equipamento neste módulo.

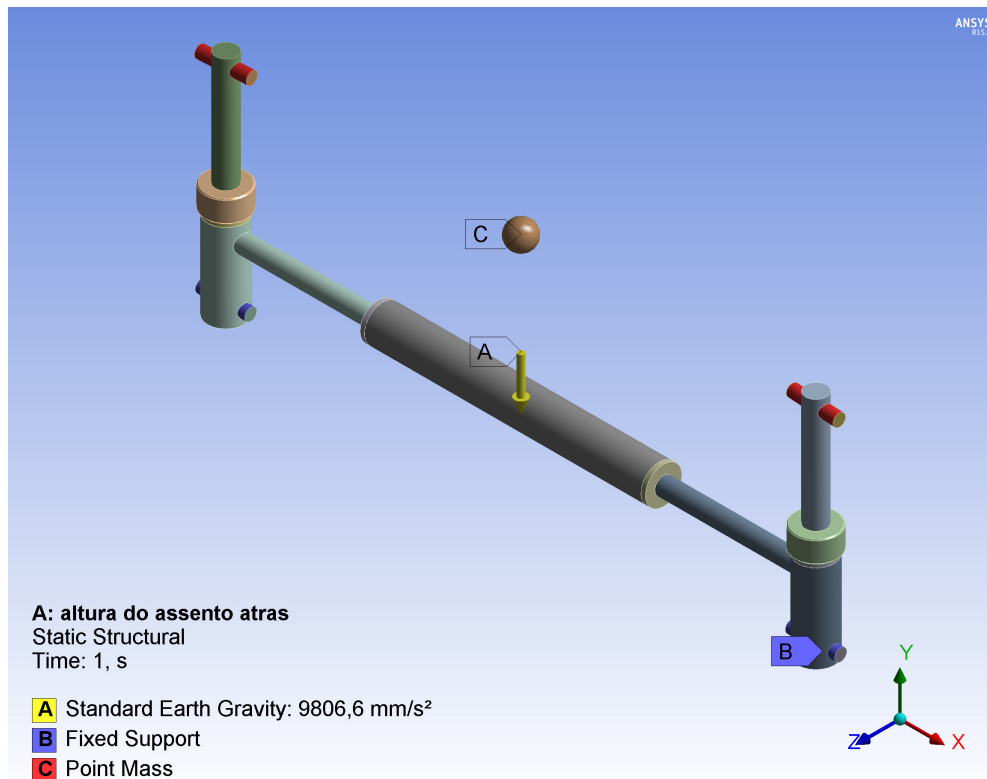


Figura 3.21 – Representação gráfica das condições de contorno e condições de carregamento aplicadas ao suporte traseiro do assento.

Na sequência foram configuradas as condições de carregamento, o qual foi definido em uma carga superdimensionada de 180 kgf (ponto C da Figura 3.21) distribuída sobre os dois pinos superiores mostrados na figura. Nestes pinos são apoiadas as barras de apoio do assento. Junto à carga, foi adicionada a condição de aceleração da gravidade (ponto A ilustrado na Figura 3.21) no valor de  $9,8066 \text{ m/s}^2$ , posicionada sobre o centro de gravidade da geometria.

A estrutura das barras de apoio do assento está apresentada na Figura 3.22, a condição de contorno compreende o engastamento nos quatro pinos inferiores da estrutura (ponto B), os quais fornecem sustentação à carga posicionada sobre o assento.

Na sequência foram configuradas as condições de carregamento, o qual foi definido em uma carga superdimensionada de 180 kgf (ponto C da Figura 3.22) distribuída sobre as barras de apoio do assento. Junto à carga, foi adicionada a condição de aceleração da gravidade (ponto A ilustrado na Figura 3.22) no valor de  $9,8066 \text{ m/s}^2$ , posicionada sobre o centro de gravidade da geometria.

As barras de apoio do assento mostradas na Figura 3.22) suportam a carga do participante da pesquisa, visto que é ali onde são apoiados os assentos em tapeçaria do equipamento, e consequentemente, onde a massa do atleta exercerá maior força.

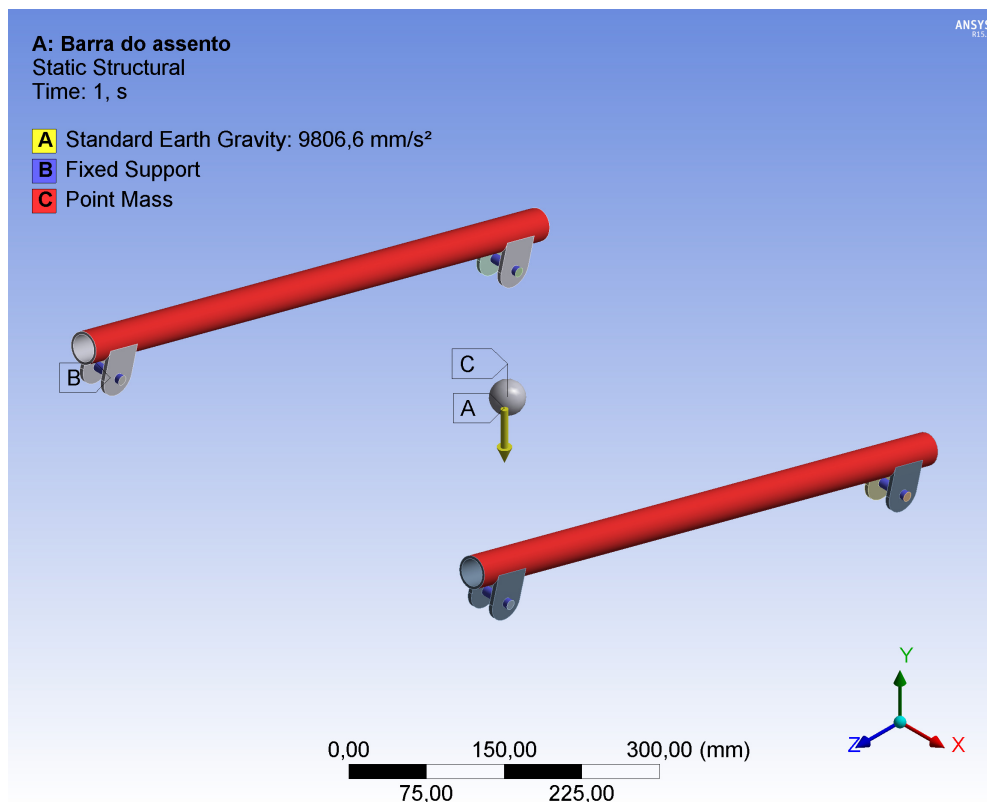


Figura 3.22 – Representação gráfica das condições de contorno e condições de carregamento aplicadas a barra de apoio do assento.

A estrutura de base do equipamento está apresentada na Figura 3.23, a condição de contorno compreende o engastamento nos furos que dão sustentação ao eixo de cambagem das rodas (ponto C), os quais fornecem sustentação à carga posicionada sobre o equipamento somado ao peso da estrutura do equipamento. Também foi feito um engastamento na parte frontal da estrutura (ponto B), onde se localiza o garfo do equipamento, o qual apoia a roda dianteira do conjunto todo. Vale ressaltar, que nos outros módulos da estrutura estava sendo aplicada uma carga superdimensionada de 180 kgf, porém, parte da estrutura que fica localizada sobre esta base foi suprimida nesta análise. Assim, para compensar esta parte suprimida, à análise desta parte do equipamento foi acrescentada uma carga de 20 kgf.

Esclarecido esse ponto, a sequência foi a configuração das condições de carregamento, o qual foi definido em uma carga superdimensionada de 200 kgf (ponto D da Figura 3.23) como um ponto de massa distribuída sobre os apoios que dão sustentação às partes do assento. Junto à carga, foi adicionada a condição de aceleração da gravidade (ponto A ilustrado na Figura 3.23) no valor de  $9,8066 \text{ m/s}^2$ , posicionada sobre o centro de gravidade da geometria.

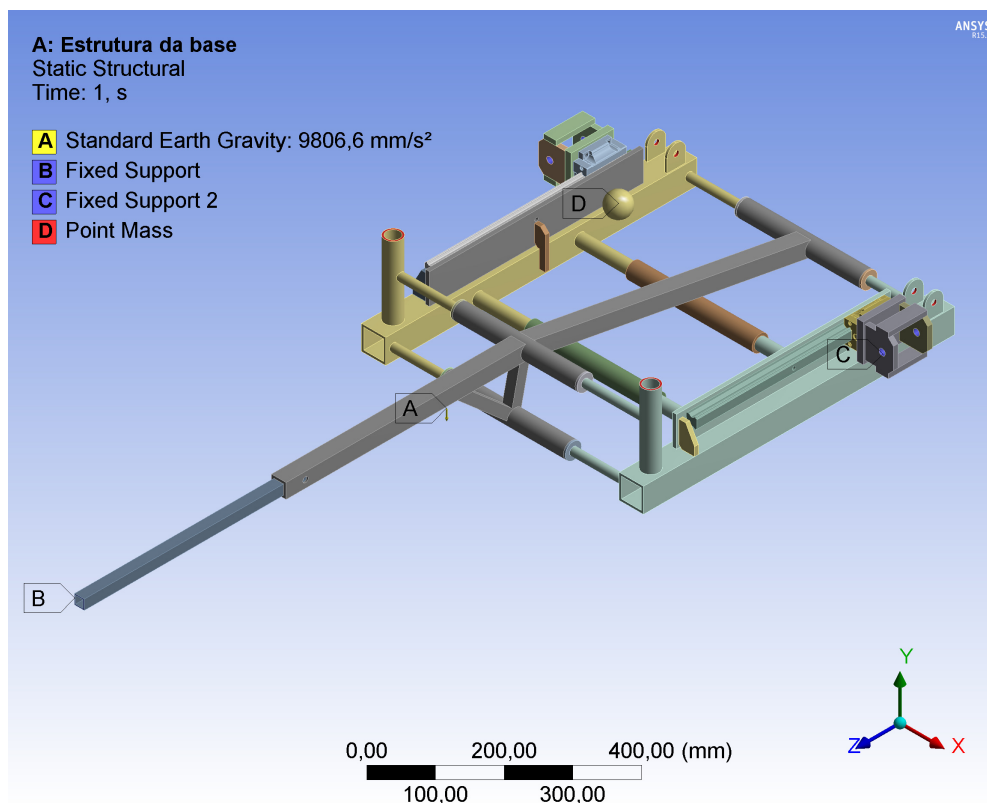


Figura 3.23 – Representação gráfica das condições de contorno e condições de carregamento aplicadas à estrutura de base do equipamento.

### 3.11 Processo de Prescrição da Cadeira de Rodas de Corrida Personalizada

Na Figura 3.24 é apresentada uma visão geral sobre o procedimento de prescrição utilizando o aplicativo de parametrização da cadeira de rodas de corrida. Conforme explicado mais a frente de forma detalhada, basicamente, é utilizado o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida para realizar os testes e avaliações das medidas e parâmetros do atleta. Com isso, é gerado um banco de dados com o qual o sistema de aquisição é alimentado e gera o modelo de uma cadeira de rodas personalizada. Com este modelo ajustado, são geradas as fichas de prescrição e fabricação da cadeira de rodas de corrida personalizada para cada atleta.

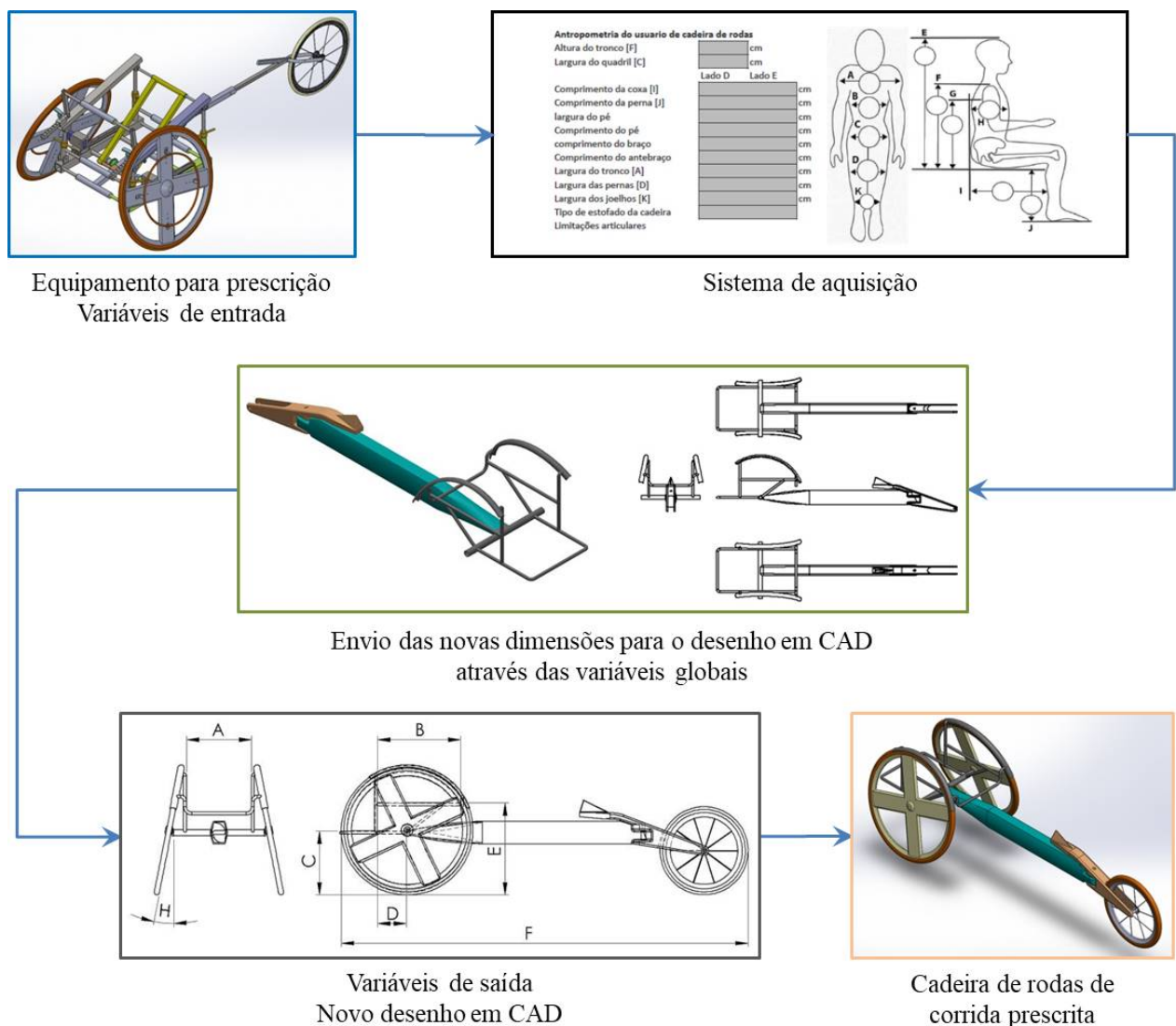


Figura 3.24 – Fluxograma de prescrição de uma cadeira de rodas de corrida. Fonte: próprio autor.

### 3.12 Automação por Parâmetros da Cadeira de Rodas de Corrida por Meio do Equipamento de Personalização

A automação da parametrização da Cadeira de Rodas de Corrida será feita utilizando uma ferramenta contida no *software* Solidworks. Esta ferramenta é denominada **Tabela de Projeto**. Para se gerar esta tabela de projeto, é necessário que seja feito primeiramente o desenho em 3D do objeto que se deseja parametrizar. A tabela de projeto pode ser gerada durante a execução do desenho, ou após o desenho estar finalizado. Assim, para que seja possível criar a Tabela de Projeto, é necessário que antes sejam criadas dimensões e a estas devem ser dadas denominações que serão identificadas na tabela. Por exemplo, a dimensão denominada pelo Solidworks como **D1@Esboço17** é a dimensão relativa à altura do assento. Assim, foi adicionado a denominação **Altura do assento** à descrição que passou a corresponder por **Altura do assento@Esboço17** na tabela de projeto (Tabela 3.20). Outra informação que pode ser observada na tabela de projeto é no canto superior direito, onde sempre vem descrito **Tabela de projeto de:** e na frente o nome do arquivo correspondente à tabela. Neste caso o nome do arquivo é **Cad II** (Tabela 3.20).

Tabela 3.20 – Exemplo de Tabela de Projeto conforme utilizada no projeto da cadeira de rodas de corrida. Fonte: próprio autor.

Tabela de projeto de: Cad II				
	Altura do assento@Esboço17	Inclinação do assento@Plano3	Largura do assento@Esboço6	Profundidade do assento ao eixo@Esboço13
Valor predeterminado	150	85	360	165
Personalizada	120	75	250	120

Para cada dimensão inserida em uma Tabela de Projeto aparece, primeiramente o valor



correspondente à medida utilizada ao se realizar o desenho. Assim, na Tabela 3.20 este valor aparece com a descrição **Valor predeterminado**, e todas as dimensões contidas nesta linha são os valores utilizados no momento em que foi feito o desenho pela primeira vez. Logo abaixo é possível inserir diversas linhas com opções de medidas para cada dimensão. Como é possível verificar na Tabela 3.20, foi inserida uma linha denominada **Personalizada** onde foram inseridas medidas diferentes daquelas definidas na linha **Valor predeterminado**. E assim, é possível inserir a quantidade desejada de linhas abaixo onde pode-se repetir as medidas anteriores ou modificá-las conforme desejado. Neste trabalho são mantidas apenas as linhas **Valor predeterminado** e **Personalizada**, onde para cada equipamento, após a avaliação realizada com o atleta, são feitas inserções de valores na linha personalizada, a qual terá as medidas que serão utilizadas para o projeto final da cadeira de rodas personalizada.

Conforme mostrado na Figura 3.25 quando se deseja alterar os parâmetros em uma Tabela de projeto basta que se selecione a configuração desejada na Tabela de projeto e escolha a opção **Exibir configuração**, assim é possível escolher a configuração pretendida para utilizar no modelo desenhado.

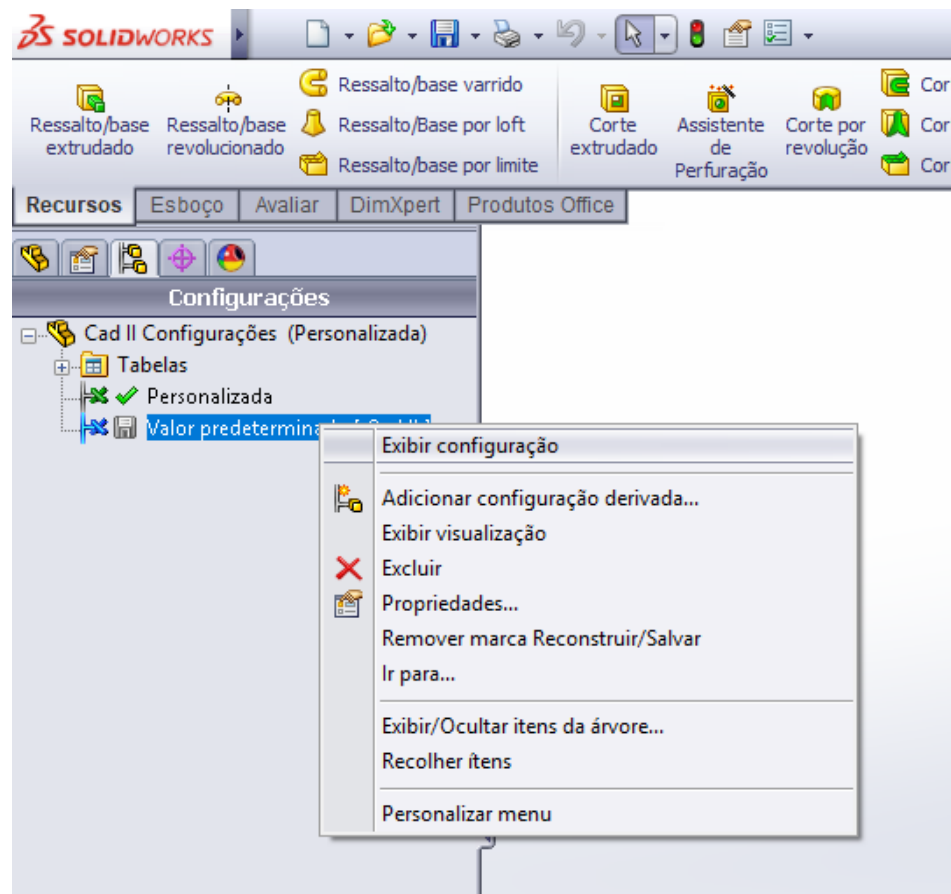


Figura 3.25 – Realização da troca de configuração pela Tabela de projeto do Solidworks.  
Fonte: próprio autor.

### 3.12.1 Criação da Tabela de Projeto utilizando o Solidworks (Passo a Passo)

Durante a criação do modelo são definidas várias dimensões para as partes do modelo que está sendo criado. Como no exemplo da Figura 3.26, verifica-se uma dimensão de 360,00 mm definida com a ferramenta **Dimensão inteligente** do programa Solidworks. Esta dimensão tem uma denominação, que neste caso vemos ser chamada de **D1@Esboço6**; essa denominação é um código atribuído pelo *software* para identificar cada dimensão contida no modelo. A denominação apresentada pode ser acrescentada de alguma identificação, a qual será utilizada posteriormente na Tabela de Projetos. Assim, neste caso vamos denominar esta dimensão de **Largura do assento** (Fig. 3.27). Desta forma, o nome completo desta dimensão será **Largura do assento@Esboço6** (Fig. 3.28), o que permitirá ser identificada com mais facilidade na Tabela de Projetos do Solidworks. Após clicar em OK, o modelo segue sendo criado normalmente (Fig. 3.29). Assim, em cada dimensão que se pretende identificar para a Tabela de Projeto, é importante identificar com uma denominação particular para diferenciar e inserir na tabela no momento de sua inserção no projeto.

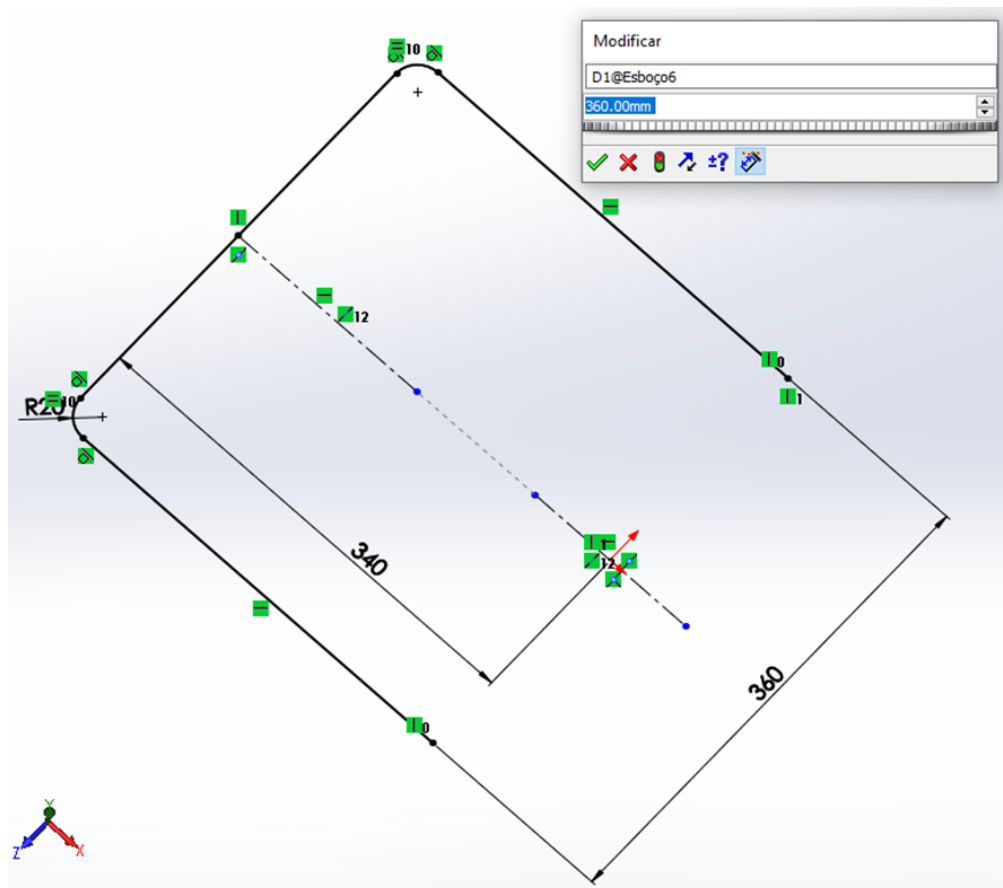


Figura 3.26 – Dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor.

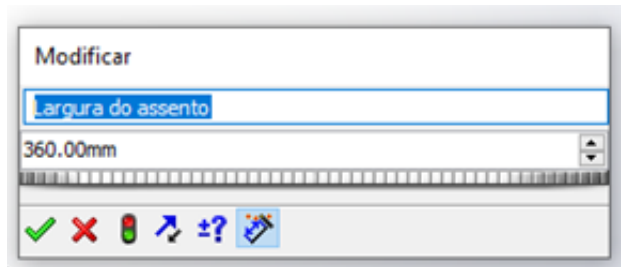


Figura 3.27 – Renomeação da dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor.

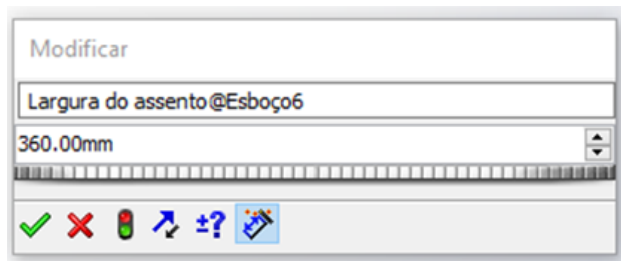


Figura 3.28 – Nome completo da dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor.

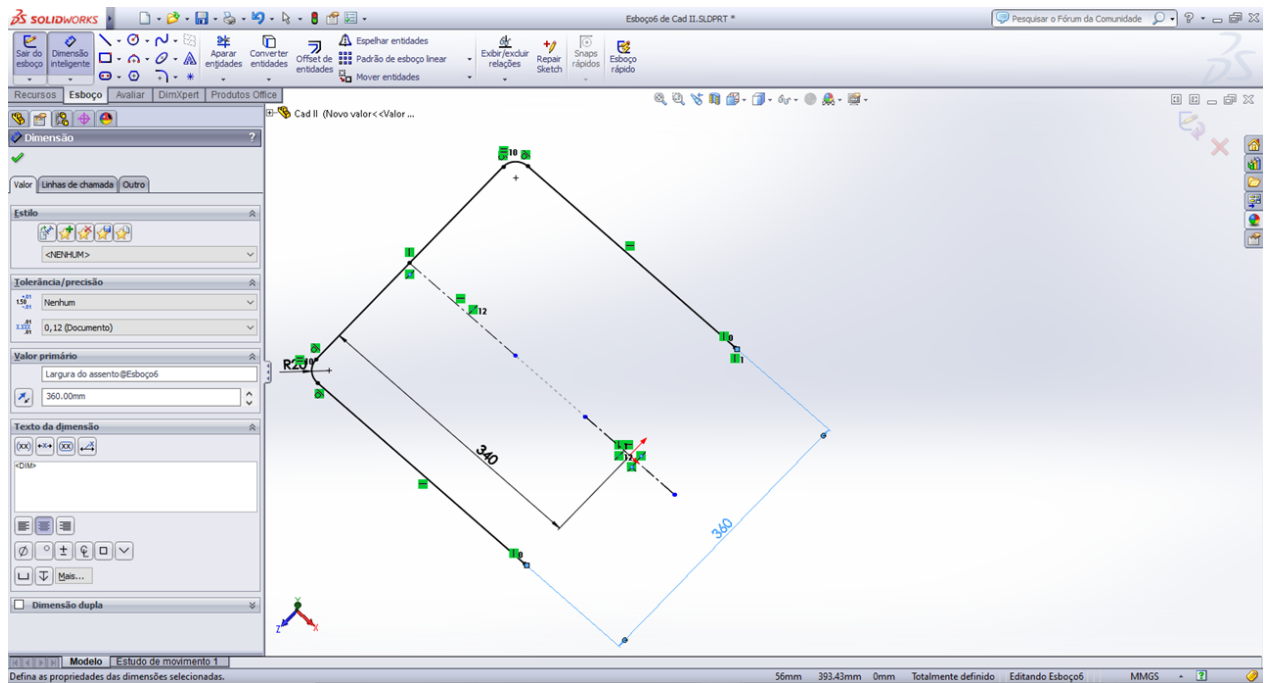


Figura 3.29 – Dimensão definida no programa de modelagem. Fonte: próprio autor.

O próximo passo, após a identificação das dimensões, é inserir a Tabela de projeto. Para isso, basta realizar os seguintes passos no programa:

1. No menu principal clicar em **Inserir**;
2. Arrastar o cursor para baixo e clicar em **Tabelas**;
3. Selecionar **Tabela de projeto** (Fig. 3.30);

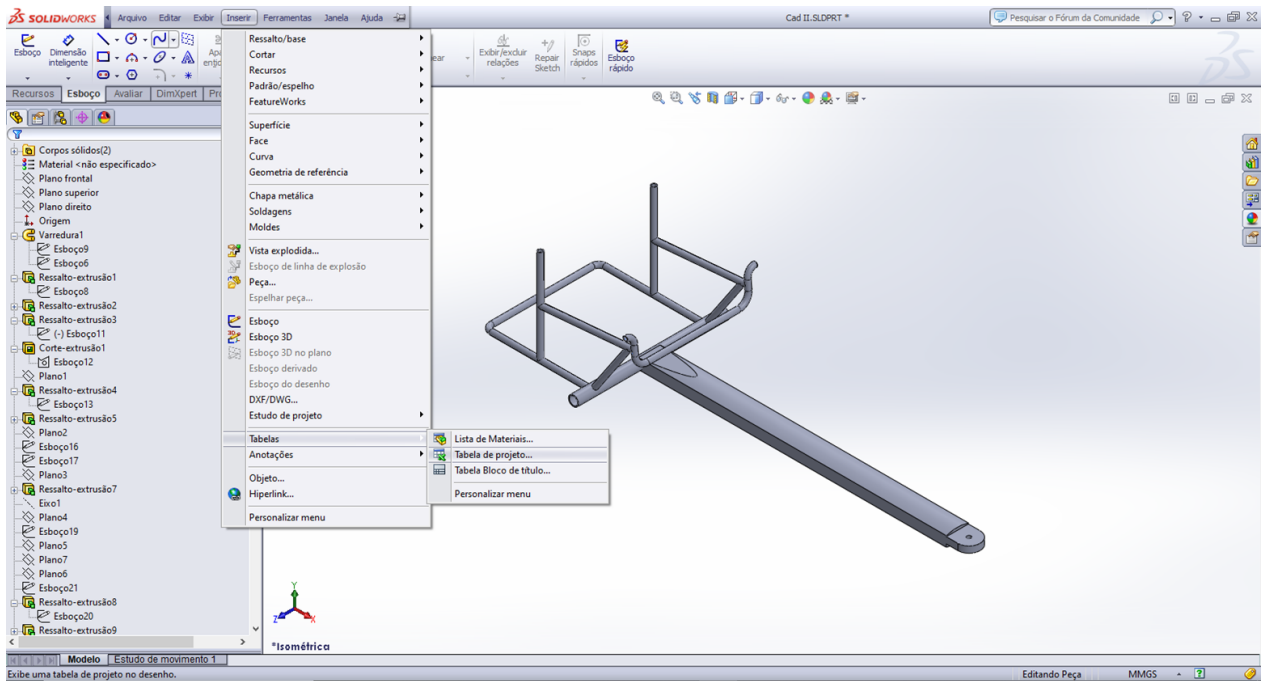


Figura 3.30 – Localização da ferramenta **Tabela de projeto** no *software*.

4. Ao clicar em **Tabela de projeto** o programa abre uma caixa de diálogo onde será selecionada a opção **Criar automaticamente** (Fig. 3.31). Esta opção direciona para a pergunta de quais dimensões você deseja incluir na tabela de projeto;
5. Assim, selecione a opção **Criar automaticamente** e clique em **OK** (o símbolo de **OK** no Solidworks é apresentado no formato da letra **V** na cor verde, enquanto **Cancelar** é um **X** vermelho);

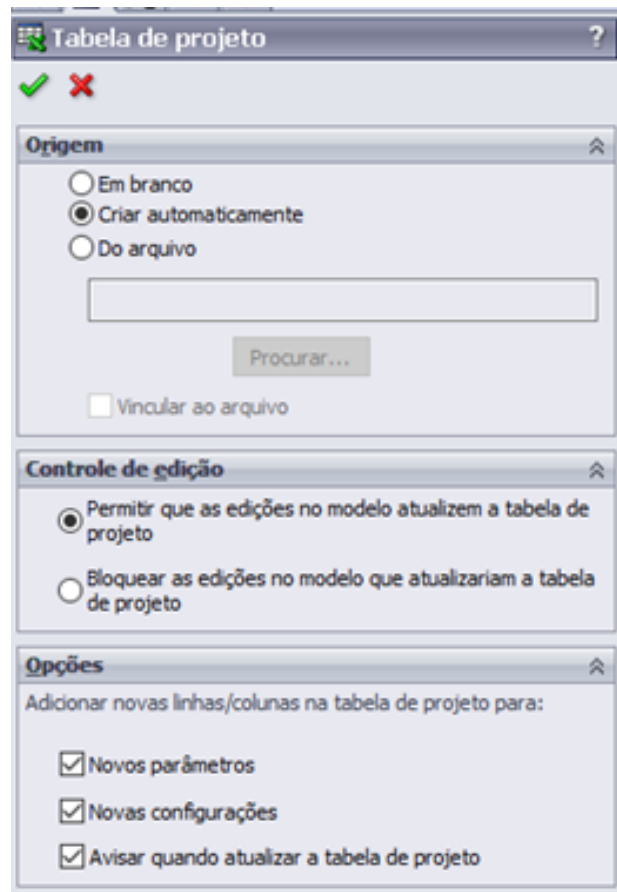


Figura 3.31 – Caixa de diálogo **Dimensões** da **Tabela de projeto**.

6. Será aberta uma janela no programa contendo todas as dimensões acrescentadas no desenho desde seu início até o momento da criação da Tabela de Projeto. Nesta janela devemos selecionar todas as dimensões que desejamos que estejam contidas na Tabela de Projeto (Fig. 3.32). Nota-se na figura apresentada a dimensão **Largura do assento@Esboço6** criada anteriormente. Para selecionar as dimensões desejadas basta clicar na dimensão, segurar o botão **ctrl** do teclado e ir rolando a lista para baixo e clicando nas outras dimensões desejadas. Finalizando a seleção das dimensões, clique em **OK**;

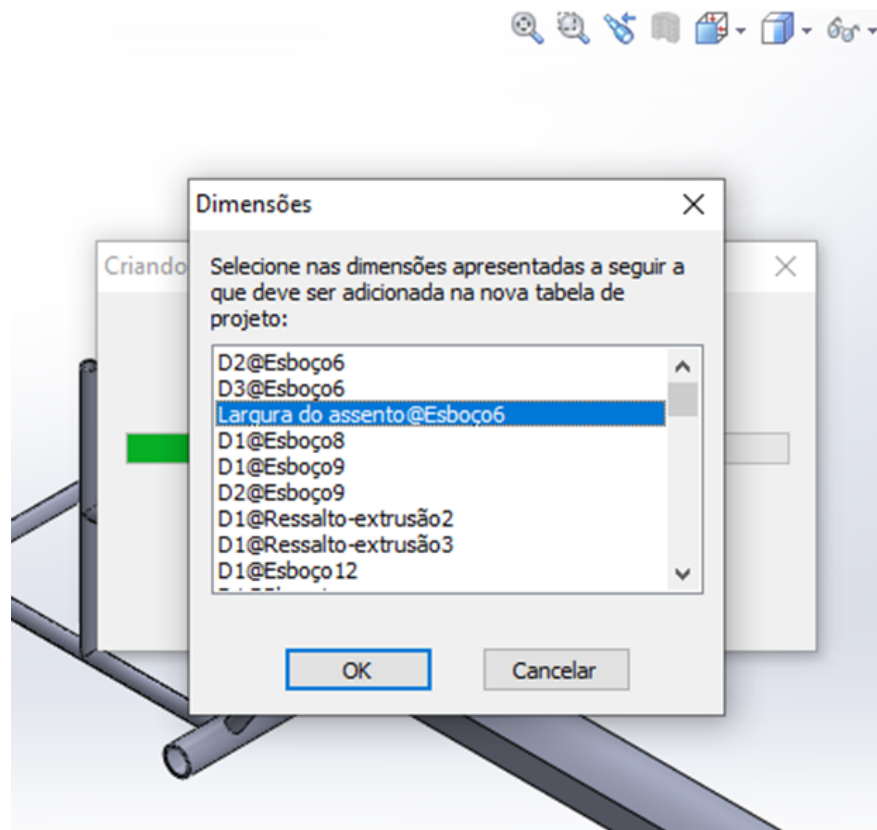


Figura 3.32 – Janela de seleção das dimensões para a Tabela de Projeto.

7. Após clicar em **OK** a Tabela de Projeto aparecerá na tela do *software* como uma planilha do **Excel** (Fig. 3.33). Nota-se nesta planilha que na parte superior temos o título da Tabela de Projeto (Tabela de projeto de: Cad II), logo abaixo temos as dimensões selecionadas para a Tabela de Projeto (denominações com o símbolo @), e na parte mais inferior da planilha temos as medidas numéricas de cada dimensão. Estas medidas estão com uma denominação **Padrão** e são as medidas que foram utilizadas para construir o modelo no programa de desenho. Dessa forma, é possível criar novas configurações nas linhas abaixo do **Padrão**;

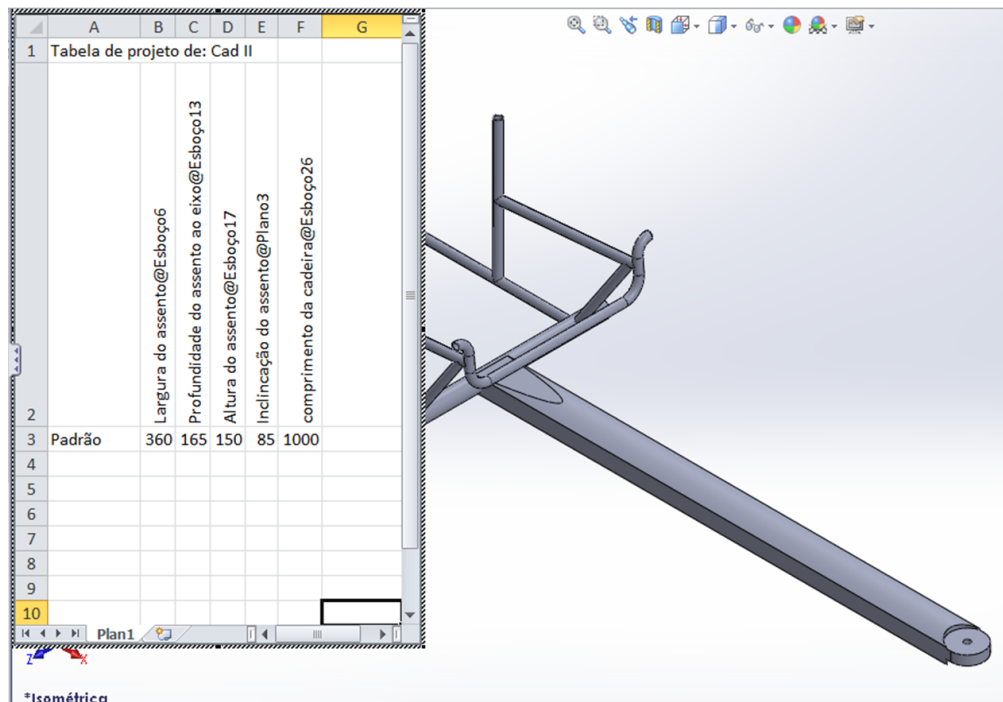


Figura 3.33 – Tabela de Projeto criada no Solidworks.

8. Na Figura 3.34 nota-se que foram criadas (apenas como exemplo) mais três configurações, sendo denominadas de **Maior**, **Médio** e **Menor**. Estas novas configurações são criadas de forma simples, bastando apenas clicar na célula da planilha e digitar o valor desejado;

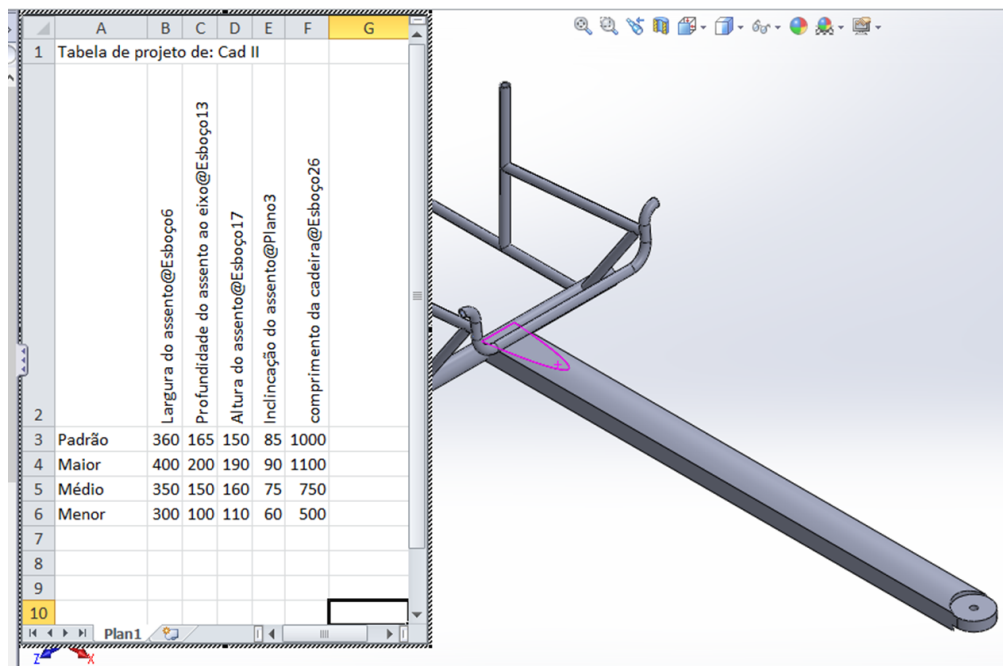


Figura 3.34 – Configurações adicionais na Tabela de Projeto criada.

- Após finalizar a edição da planilha basta clicar na janela de desenho para fechar a planilha e encerrar a criação da Tabela de Projeto. No caso de terem sido criadas novas configurações, após clicar na janela de desenho, a planilha será fechada e o Solidworks apresentará uma janela onde serão listadas as configurações adicionadas à Tabela (Fig. 3.35). Assim, basta conferir as novas configurações e clicar em **OK**;

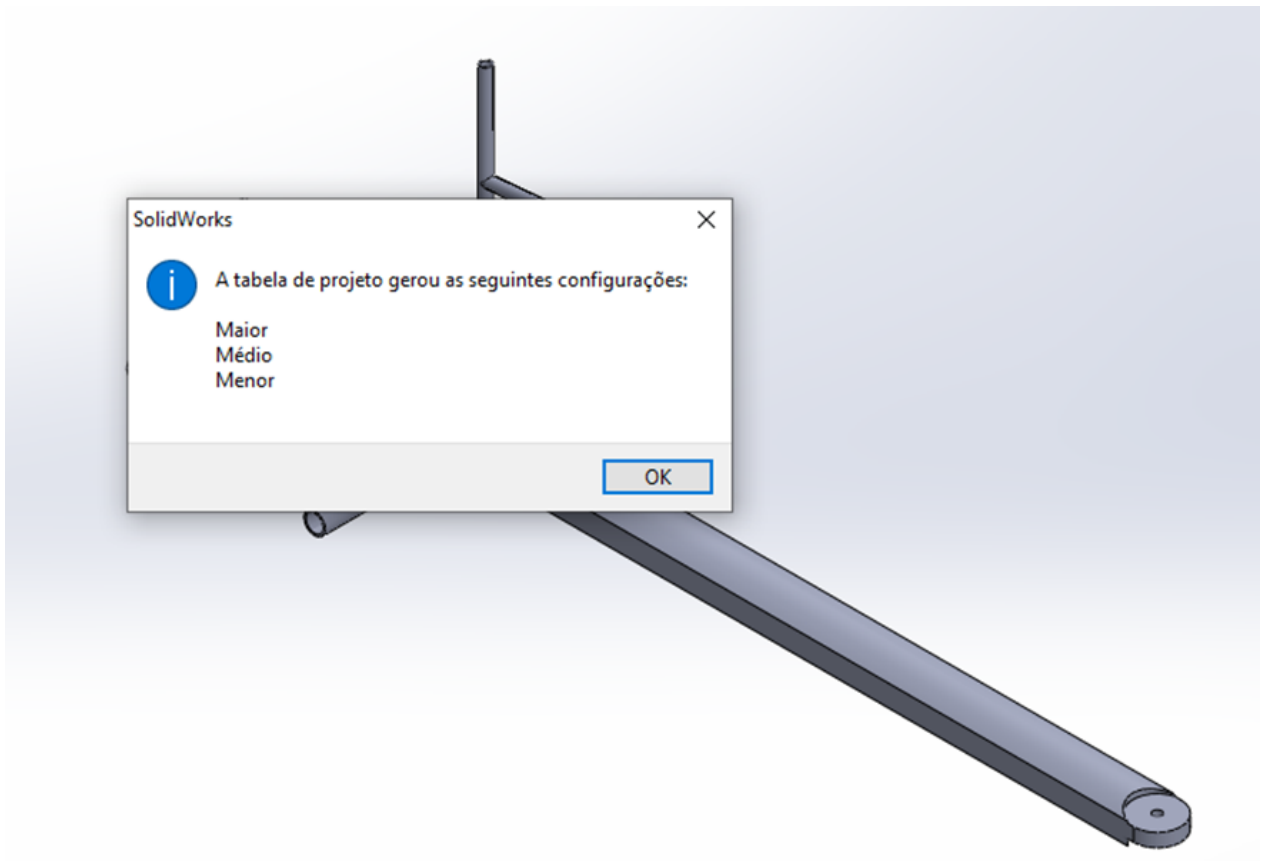


Figura 3.35 – Comunicado do Solidworks acerca das novas configurações.

- Para exibir alguma das configurações criadas, basta ir no Menu da **Área da Árvore do *Feature Manager*** no Solidworks, e selecionar o *Configuration Manager* (Fig. 3.36);



## ConfigurationManager

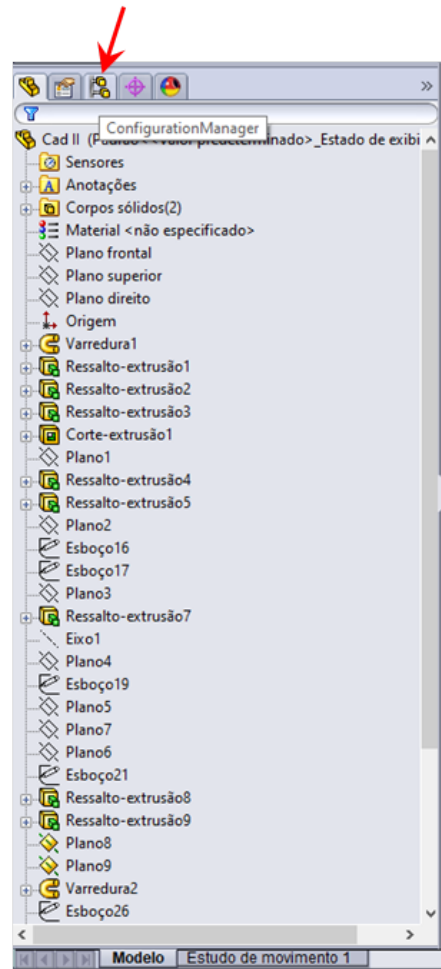


Figura 3.36 – Área da Árvore do *Feature Manager* no Solidworks, também denominada Árvore de Projetos.

11. Ao selecionar o *Configuration Manager* serão apresentadas todas as configurações criadas na Tabela de Projetos anteriormente (Fig. 3.37);

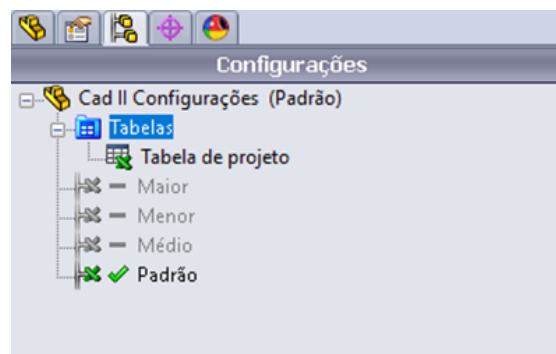
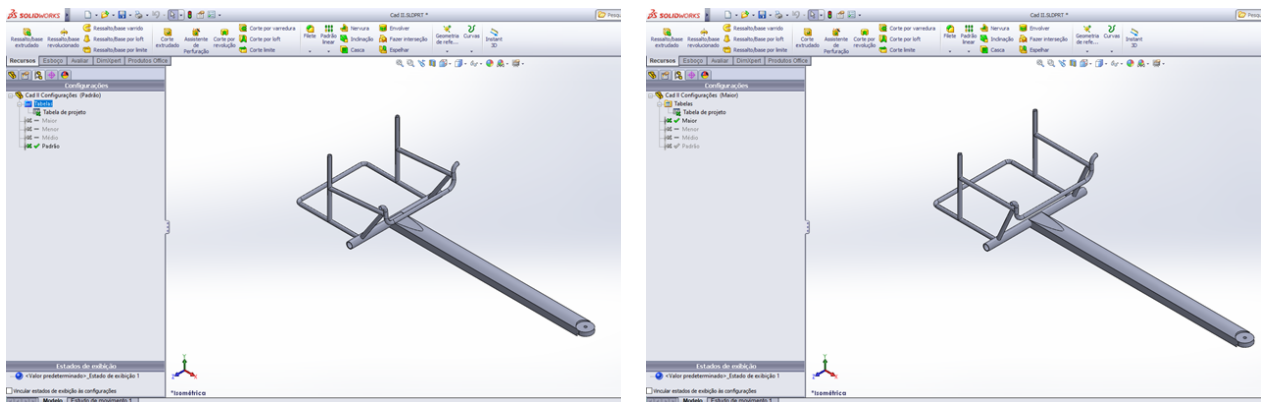


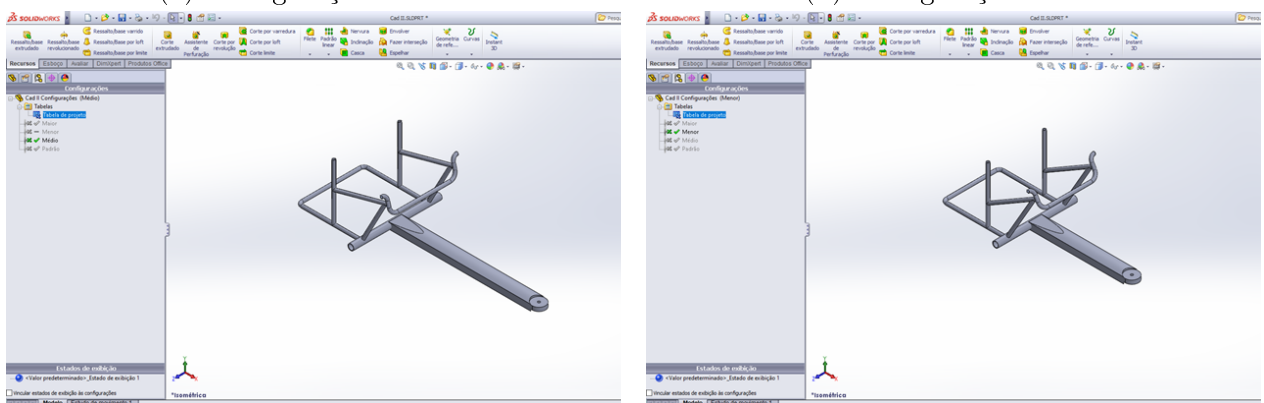
Figura 3.37 – Lista das configurações criadas na Tabela de Projeto.

12. Para seleccionar cada uma das configurações disponíveis, basta dar um clique duplo sobre a configuração desejada. Assim, a configuração ficará em destaque com a cor verde e o modelo tomará as dimensões adotadas para aquela configuração (Fig. 3.38);



(a) Configuração Padrão

(b) Configuração Maior



(c) Configuração Médio

(d) Configuração Menor

Figura 3.38 – Exemplos das configurações criadas na Tabela de Projeto

13. Outra forma de alterar as dimensões é editar a Tabela de Projeto. Para fazer isso, basta clicar com o botão direito do *mouse* sobre **Tabela de Projeto** no *Configuration Manager* e seleccionar **Editar tabela** (Fig. 3.38);

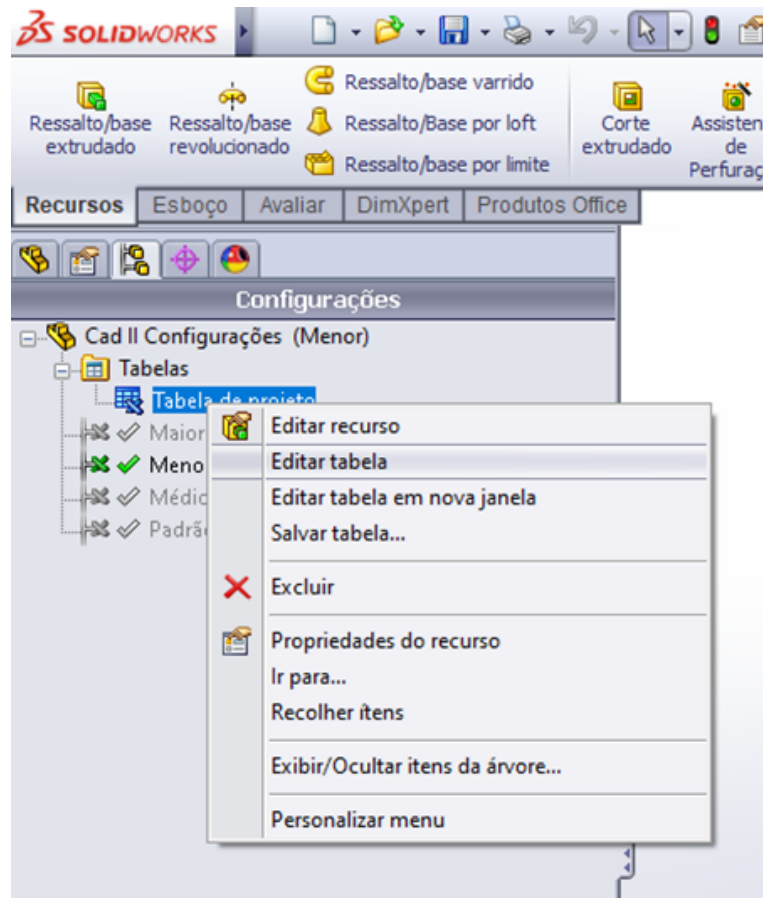


Figura 3.39 – Edição da Tabela de Projeto.

14. Dessa forma, a planilha da Tabela de Projeto se abrirá com todas as informações e configurações constantes dela e, assim, nesta planilha as configurações existentes poderão ser editadas, ou poderá ser criada uma nova configuração. Na Figura 3.40 pode ser visualizado que foi criado uma configuração com medidas diferentes das anteriores, a qual foi denominada como **Nova**. Após a edição da Tabela de Projeto, basta clicar na janela de desenho que ela será fechada. Assim, com a Tabela de Projeto fechada podemos ver uma **Nova** configuração existente, que ao ser selecionada faz com que o desenho assuma as medidas inseridas nela (Fig. 3.41);

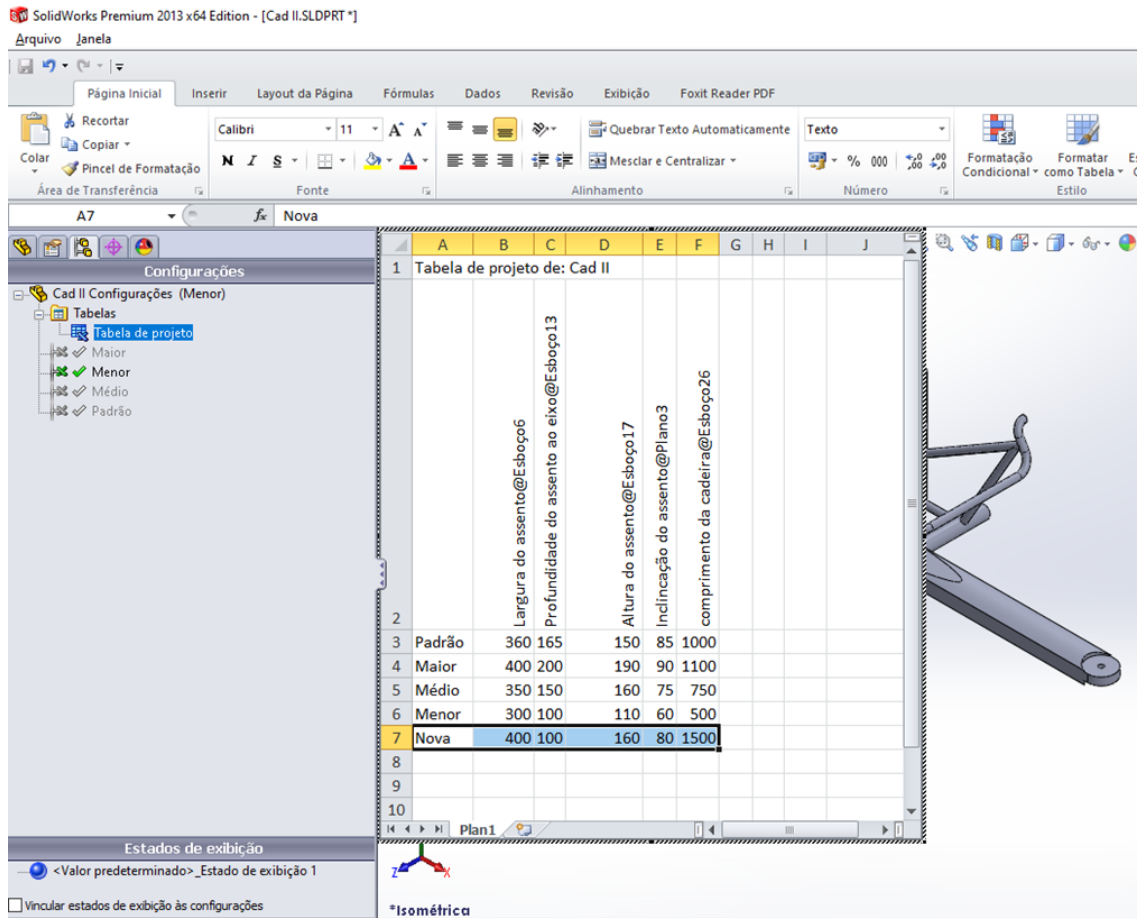


Figura 3.40 – Alteração das informações na Tabela de Projeto.

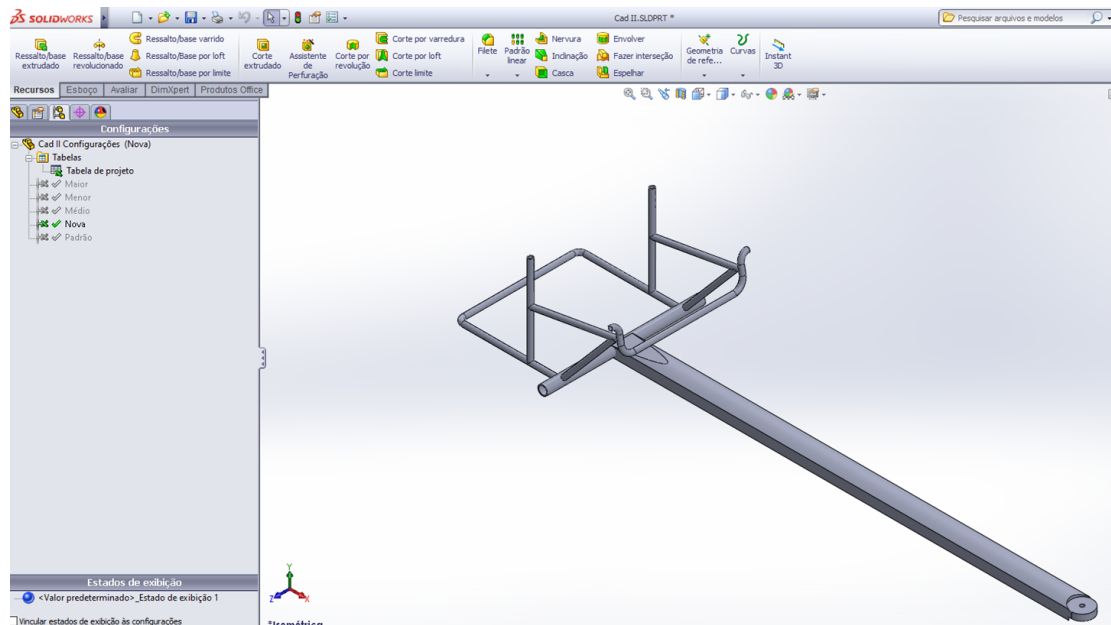


Figura 3.41 – Configuração Nova na Tabela de Projeto.

Com a configuração selecionada na Tabela de Projeto, o projetista/desenhista pode gerar os desenhos de fabricação e de montagem utilizando as dimensões atuais selecionadas na Tabela de Projeto, de acordo com a configuração atual selecionada.

### 3.13 Dispositivos de medição dos parâmetros de variáveis antropométricas dos atletas

Para definir as medidas que serão utilizadas na cadeira de rodas de corrida, o Equipamento de Prescrição utiliza dispositivos graduados e niveladores. A Figura 3.42 apresenta alguns dispositivos de medição utilizados no Equipamento de Prescrição.

A Figura 3.42a apresenta um instrumento de nivelamento que garante que o equipamento ou parte deste esteja devidamente alinhado com o plano da superfície em que esteja posicionado. O inclinômetro representado pela Figura 3.42b é utilizado para medir a inclinação do dispositivo em relação a um plano de referência predefinido. E a Figura 3.42c mostra uma régua graduada que é posicionada nos dispositivos do equipamento para definir medidas lineares.

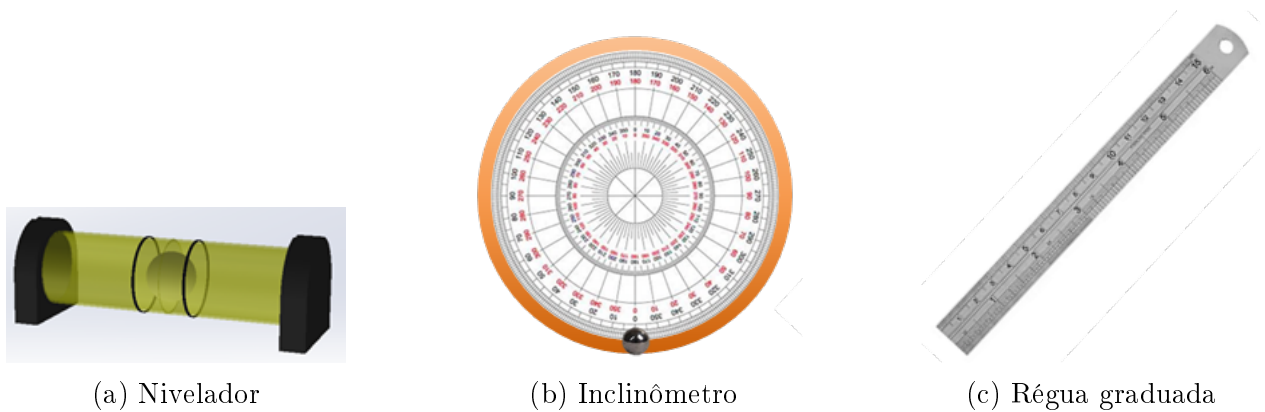


Figura 3.42 – Sistema de medição e controle de ajustes utilizado no Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida.

Fonte: (CARDOSO, 2020)

### 3.14 Protocolo de Avaliação para Concepção de uma Cadeira de Rodas de Corrida Utilizando o Equipamento para Personalização de Cadeiras de Rodas de Corrida

Alguns pontos específicos da metodologia apresentada a seguir foram baseados no trabalho realizado por Cardoso (2020). Na pesquisa deste autor é realizada a prescrição para cadeiras de rodas de vida diária e de outros esportes, como basquetebol.

O fluxograma da Figura 3.43 demonstra a sequência de determinação de medidas antropométricas, regulagens no equipamento de personalização e extração de parâmetros otimizados.

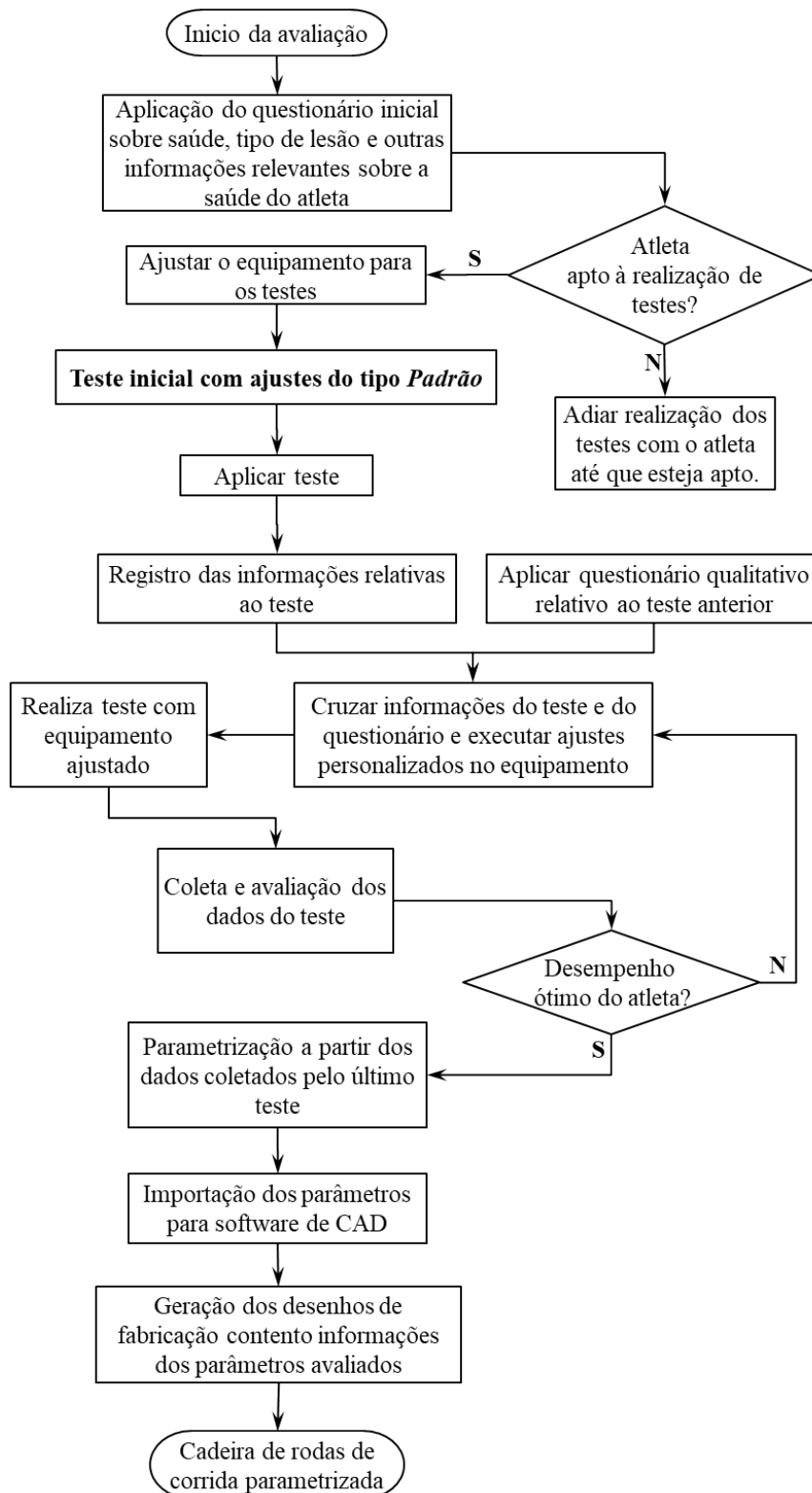


Figura 3.43 – Fluxograma de parametrização de uma cadeira de rodas de corrida. Fonte: próprio autor.

Como pode ser verificado no fluxograma citado, o equipamento deve ser ajustado previ-

amente ao início dos testes de forma que seja realizada uma configuração prévia dos ajustes disponíveis no equipamento e de forma a ser feita uma avaliação rápida das condições deste para identificar e sanar possíveis riscos apresentados previamente aos experimentos. Nesta etapa, também, deve ser feita a higienização do equipamento e estofados. Após realizar estes ajustes e verificações segue-se para a etapa de transferência do participante da pesquisa. A transferência deve ser feita de forma segura e confortável, bem como a acomodação do indivíduo no assento do equipamento de prescrição. Com o atleta posicionado sobre o equipamento, são feitos testes de propulsão para verificar a adequação do participante aos ajustes pré-estabelecidos, bem como seu desempenho frente àqueles ajustes. Após realizar esta análise inicial e todas as avaliações necessárias, utilizando os formulários pertinentes, são feitos novos ajustes nos parâmetros mais desconfortáveis e com isso é obtida nova configuração. Com esta nova configuração são feitos novos testes de propulsão e novas avaliações. Este procedimento é repetido até que o participante se sinta confortável com todos os ajustes e em conjunto obtenha um resultado positivo nos testes de propulsão.

Finalizada esta fase de experimentos e com os formulários preenchidos os pesquisadores e o participante têm em mãos uma lista de dados de acordo com as dimensões e ajustes personalizados para o atleta, utilizando o equipamento de prescrição. Estes dados alimentarão um sistema parametrizado em CAD, o qual ajustará a geometria da cadeira de rodas de corrida para as dimensões ótimas ao atleta.

Assim, o desenho parametrizado em CAD assumirá as configurações dimensionais do projeto personalizado específico para aquele indivíduo. É possível o atleta realizar simulações dos ajustes da cadeira em tempo real pelo programa de CAD de forma a determinar a prescrição automatizada. Com isso são geradas fichas de prescrição e fabricação da cadeira de rodas de corrida personalizada, a partir do aplicativo do sistema de aquisição. Assim, o protocolo de prescrição é concluído e finalizado.

Na Figura 3.43 tem-se o processo protocolar da prescrição detalhado em um fluxograma.

### **3.14.1 Método da Coleta de Dados**

O processo de coleta dos dados experimentais é realizado com vistas em avaliar as medidas ergonômicas e antropométricas do participante e realizar registros qualitativos relacionados à sensação psicomotora do indivíduo ao propulsionar o equipamento de prescrição com vistas à parametrização da cadeira de rodas de corrida.

Dessa forma, para alcançar esses objetivos, são utilizados formulários conforme os que são apresentados a seguir.

O formulário ilustrado no Apêndice D apresenta uma ficha utilizada para coleta de dados fisiológicos do indivíduo. Neste formulário é feita a Anamnese em detalhes do seu quadro



clínico. É neste documento, também, que é avaliada a realidade de uso da cadeira de rodas do atleta.

Visto que os documentos de coleta de dados dos atletas não podem conter nenhum campo que possa identificar o participante da pesquisa, a Anamnese é o único documento que tem a identificação do participante para possíveis rastreamentos futuros e este fica restrito aos pesquisadores. Para dar uma identificação que possa rastrear o participante nos outros formulários, é identificado com uma Identificação Numérica do Paciente, conforme visto no Apêndice D.

O procedimento de realizar anamnese é bastante comum de ser realizado pelos profissionais da saúde para conhecer melhor o seu paciente, do ponto de vista do diagnóstico inicial de doenças. Desta forma, a anamnese neste trabalho tem a função de fazer uma triagem inicial do participante dos experimentos, de forma que este primeiro formulário guiará a condução das próximas etapas. Segundo Cardoso (2020, p. 104), "Durante a anamnese algumas informações importantes podem ser reveladas, até então ignoradas pelo paciente por julgá-las triviais. Estes registros determinam aspectos importantes da fisiologia do paciente que influenciam no modelo da cadeira de rodas."

Os formulários de Coleta de Dados Experimentais, ilustrados nas figuras 3.44, 3.45, 3.46 e 3.47 são preenchidos pelo profissional que realizará a prescrição.

Todo o procedimento de coleta de dados e entrevista é realizado com o participante acomodado na estrutura do equipamento de prescrição, como uma condição de apreciação simultânea à exposição experimental, em tempo real. As apreciações devem levar o participante a concordar ou não com as proposições: **Este é o meu ajuste preferido!!!** para cada ajuste assumido pela configuração e **Tive uma sensação realística de propulsão!!!**. E em seguida fazer a mesma reavaliação considerando as condições globais de configuração modelada. Assim, o participante estaria contribuindo com uma avaliação tanto pontual quanto global da efetividade do método de prescrição proposto (CARDOSO, 2020, p. 105).

Os formulários apresentados nas Figuras 3.44 e 3.45 foram baseados nos formulários utilizados por Cardoso (2020) e adaptados para o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Nestes formulários são coletados os dados quali-quantitativos antropométricos e ergonômicos relacionados aos ajustes ideais regulados no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. O formulário representado na Figura 3.45 é utilizado em conjunto com o da Figura e 3.45, e serve para avaliar as condições de regulagem dos parâmetros mais favoráveis ao atleta durante a propulsão da cadeira de rodas de corrida.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)												
ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	Este é o meu ajuste preferido!!!									
			LEITURA 1	PERCEPÇÃO	LEITURA 2	PERCEPÇÃO	LEITURA 3	PERCEPÇÃO	LEITURA 4	PERCEPÇÃO	LEITURA 5	PERCEPÇÃO
A	Assento - largura	mm										
B	Assento - altura atrás	mm										
C	Assento - inclinação (altura frente)	grau										
D	Aro de propulsão - diâmetro	mm										
E	Rodas traseiras - cambagem	grau										
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	mm										
G	Encosto - profundidade	mm										
H	Encosto - altura	mm										
I	Garfo - altura	mm										
J	Garfo - inclinação	grau										
K	Tube principal - inclinação	grau										
L	Tube principal - comprimento	mm										
M	Apoio da perna - inclinação	grau										
N	Joelho - Largura	mm										

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 3.44 – Formulário de coleta de dados quali-quantitativos antropométricos e ergonômicos.

AJUSTE	PROPULSÃO				PERCEPÇÃO PSICOMOTORA				
	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo [s]	Distância percorrida [m]	"TIVE UMA SENSAÇÃO REALÍSTICA DE PROPULSÃO"				
Leitura 1					1	2	3	4	5
Leitura 2					1	2	3	4	5
Leitura 3					1	2	3	4	5
Leitura 4					1	2	3	4	5
Leitura 5					1	2	3	4	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 3.45 – Formulário de coleta de dados quali-quantitativos da propulsão do equipamento de prescrição.

O formulário apresentado na Figura 3.46 foi baseado no formulário utilizado por Cardoso (2020) e adaptado para o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Neste formulário são coletados os dados quali-quantitativos da percepção psicomotora global rela-

cionados aos ajustes ideais regulados no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)						
ITEM	PROPOSIÇÕES DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL DA ESTRUTURA MODELADA	PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL				
		Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!				
1	Eu me sinto seguro nesta acomodação	1	2	3	4	5
2	Eu me sinto confortável nesta acomodação	1	2	3	4	5
3	Eu me sinto bem nesta acomodação	1	2	3	4	5
4	Esta é a acomodação que eu sempre desejei da minha cadeira de rodas de corrida	1	2	3	4	5
5	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período de até uma hora	1	2	3	4	5
6	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período superior a uma hora	1	2	3	4	5
7	Eu sinto meu corpo harmonizado à estrutura de acomodação	1	2	3	4	5
8	Todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao meu corpo	1	2	3	4	5
9	Eu recomendaria essa metodologia para terceiros, sem o menor receio	1	2	3	4	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 3.46 – Formulário de coleta de dados quali-quantitativos da percepção psicomotora global.

Da mesma forma como feito por Cardoso (2020), os tópicos utilizados para arguir o usuário de cadeira de rodas foram estruturados em primeira pessoa. Dessa forma, o entrevistado se sentirá em uma atitude reflexiva em relação às proposições direcionadas a ele. Os tópicos apresentado no formulário serão exibidos ao participante tão logo ele realize os testes com o equipamento de prescrição, de forma que seja preenchido na sequência do experimento. Sempre que necessário e o participante solicitar, os termos técnicos incompreendidos deverão ser explicados ao indivíduo de forma que ele tenha mais clareza na resposta ao formulário.

O formulário apresentado na Figura 3.47 será utilizado para avaliar o desempenho da simulação da cadeira de rodas de corrida com o seu modelo de cadeira de rodas de corrida ou pessoal que está sendo utilizado atualmente. Este formulário compara o conforto, segurança, adequação ergonômica e sensação de compatibilidade física entre a cadeira de rodas atual e a cadeira de rodas simulada.

AJUSTE		CADEIRA DE RODAS ATUAL				CADEIRA DE RODAS SIMULADA PELO EQUIPAMENTO DE PRESCRIÇÃO			
		CONFORTO	SEGURANÇA	ADEQUAÇÃO ERGONÔMICA	SENSAÇÃO DE COMPATIBILIDADE FÍSICA	CONFORTO	SEGURANÇA	ADEQUAÇÃO ERGONÔMICA	SENSAÇÃO DE COMPATIBILIDADE FÍSICA
A	Assento - largura								
B	Assento - altura								
C	Assento - inclinação								
D	Aro de propulsão								
E	Rodas traseiras - cambagem								
F	Rodas traseiras - centro de gravidade								
G	Encosto - profundidade								
H	Encosto - altura								
I	Garfo - altura								
J	Garfo - inclinação								
K	Tubo principal - inclinação								
L	Tubo principal - comprimento								
M	Apoio da perna - inclinação								
N	Joelho - largura								

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 3.47 – Formulário comparativo entre a cadeira de rodas atual do indivíduo e a cadeira de rodas simulada pelo equipamento de prescrição.

Da mesma forma que no trabalho realizado por Cardoso (2020) aqui foi utilizada a *Escala de Likert* para avaliar os aspectos qualitativos em relação ao conforto e satisfação do usuário com a acomodação global ao equipamento de prescrição e seus ajustes.

A **Escala de Likert** é uma técnica desenvolvida pelo psicólogo Rensis Likert em 1932, com o objetivo de determinar uma resposta psicométrica mais fiel às atitudes mentais ou apreciações de um indivíduo. O seu procedimento se baseia na apresentação de um conjunto de dimensões de atitudes para o qual os inquiridos têm de indicar um grau de concordância em relação às proposições feitas. É também a técnica mais adotada em pesquisas de opinião. Ao ser inquirido por um questionário dirigido, o participante especifica o seu nível de concordância ou discordância para com determinada proposição (CARDOSO, 2020, p. 106).

Corroborando com a metodologia utilizada por Cardoso (2020), neste processo de prescrição foi utilizada uma entrevista dirigida com foco em avaliar qualitativamente o posiciona-

mento do indivíduo sobre o equipamento de prescrição e, conseqüentemente, sobre a cadeira de rodas de corrida. Visto que, o objetivo aqui é verificar o nível de satisfação, conforto, segurança e qualidade da acomodação proporcionados pelo equipamento de prescrição configurado para o modelo personalizado da cadeira de rodas de corrida parametrizada. Isso se deve ao fato de que a parametrização possui relação direta com as condições anatômicas e antropométricas do indivíduo. Assim, o que se busca com a prescrição personalizada é gerar um modelo de cadeira de rodas de corrida ergonomicamente ideal e que possibilite a melhor sensação de acomodação possível ao usuário final.

Portanto, se é notório para o pesquisador que tipo de apreciações necessitam-se medir, sabem-se claramente os limites da percepção qualitativa que se deseja observar, e daí o questionário dirigido. Questionários dirigidos não são comuns em pesquisas qualitativas, uma vez que, este tipo de pesquisa objetiva coletar a máxima amplitude de correlações intuitivas realizadas pelo entrevistado em relação ao objeto da pesquisa (CARDOSO, 2020, p. 107).

### 3.14.2 Verificação das Condições de Testes e Análise dos Potenciais Riscos e suas Conseqüências

É importante compreender que a pesquisa apresenta fatores de medição que são objetivos, de acordo com as condições reais das medidas ergonômicas e antropométricas do atleta. E alguns fatores são mais subjetivos, como a percepção do indivíduo em relação ao conforto dos ajustes realizados. No entanto, estas avaliações se complementam para convergir em um ponto ótimo na regulagem dos parâmetros de ajustes do equipamento e, conseqüentemente, da cadeira de rodas de corrida.

Na Figura 3.48 é apresentado, na forma de exemplo, os fatores da pesquisa considerados objetivos e os fatores subjetivos.

**"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)**

Este é o meu ajuste preferido!!!

ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	LEITURA 1	PERCEPÇÃO	LEITURA 2	PERCEPÇÃO	LEITURA 3	PERCEPÇÃO	LEITURA 4	PERCEPÇÃO	LEITURA 5	PERCEPÇÃO
A	Assento - largura	mm										
B	Assento - altura atrás	mm										
C	Assento - inclinação (altura frente)	grau										
D	Aro de propulsão - diâmetro	mm										
E	Rodas traseiras - cambagem	grau										
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	mm										
G	Encosto - profundidade	mm										
H	Encosto - altura	mm										
I	Garfo - altura	mm										
J	Garfo - inclinação	grau										
K	Tubo principal - inclinação	grau										
L	Tubo principal - comprimento	mm										
M	Apoio da perna - inclinação	grau										
N	Joelho - Largura	mm										

Fatores objetivos

Fatores subjetivos

Figura 3.48 – Correlação entre as percepções do atleta quanto às medições do equipamento de prescrição.

Os ajustes que serão feitos no equipamento de prescrição para se ajustar ao atleta são resultados das necessidades ergonômicas e antropométricas do indivíduo. Dessa forma, são determinações realizadas pela anatomia do indivíduo impostas pelo seu biótipo para a concretização da modelagem. Ao mesmo tempo que a percepção do indivíduo em relação ao conforto e acomodação, é percebida pelo participante de acordo com seus processos cognitivos.

Vale ressaltar que o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida é dotado de estofados e tapeçarias confeccionados de forma a proteger o participante contra proeminências estruturais e cantos vivos, da mesma forma que uma cadeira de rodas de uso diário possui revestimentos e protetores. Assim, é importante que o atleta se sinta confortável em relação à sua acomodação no equipamento, e os possíveis desconfortos sejam resultados, apenas de ajustes desconfigurados.

Um dos efeitos que podem ocorrer com o participante posteriormente à realização dos testes é a ativação de uma percepção física diferenciada na relação do seu corpo com a cadeira de rodas de corrida. Assim, como forma de agradecer o indivíduo pela participação na experiência, os resultados dos formulários e relatórios estarão à disposição do atleta caso ele queira. E com esses documentos em mãos ele poderá fazer uso das informações ali constantes nas encomendas de suas cadeiras de rodas de corrida futuras.

Em qualquer relatório e formulário experimental ou exposição dos resultados da pesquisa ora apresentadas, deve-se tomar o cuidado de preservar a identidade do participante. Além disso, o método de pesquisa utilizado nos testes e experimentos realizados não poderá acarretar nenhum tipo de malefício moral, social, psicoemocional, fisiológico, espiritual ou intelectual ao participante. Por esse motivo, os testes da pesquisa são realizados em ambiente privativo e controlado, de forma a proteger o participante de exposições degradantes e constrangimentos. O método deve garantir que haja reprodutibilidade e repetibilidade com precisão e exatidão, de forma a evitar a realização de inúmeros testes que levam o participante ao cansaço, fadiga e exaustão.

- a) **Transferência do participante para o equipamento de prescrição:** deverá ser realizada a transferência do participante da sua cadeira de rodas de uso diário para o equipamento de prescrição. Em geral, os atletas que praticam a modalidade de corrida em cadeira de rodas, possuem certa habilidade em realizar esta transferência por conta própria. No entanto, no momento da realização dos testes a equipe pesquisadora disponibilizará de um assistente que dará todo o suporte à transferência. Além disso, este assistente fornecerá apoios manuais para que a transferência ocorra com segurança e conforto. A estrutura do equipamento de prescrição, bem como, o ambiente controlado de pesquisa é dotado de condições de suporte e apoio a locomoção e transferência de

forma segura e confortável do indivíduo participante da pesquisa.

O atleta será solicitado a comparecer aos testes da pesquisa com roupas confortáveis e com o mínimo de exposição possível do corpo, visto que no procedimento de posicionamento dos dispositivos de medição, coleta de dados e transferência do participante, podem ocorrer toques interpessoais ou manipulação física.

O equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida foi projetado e construído de forma que os seus ajustes sejam realizados de forma ágil e fácil. Assim, o equipamento é dotado de diversos dispositivos travantes, como blocagens e pinos roscados, de forma que uma vez posicionados os ajustes eles sejam travados e permaneçam nestas posições de forma segura e confiável. Além de garantir a segurança do participante, estas travas garantem que as medidas das variáveis se mantenham precisas para obter sua leitura.

Os ajustes do equipamento de prescrição são dotados de escalas contínuas de posicionamento, constituídas em uma faixa discreta de amplitude.

Sempre que o participante desejar experimentar posições diferentes e com as medidas dos ajustes diferentes, deve ocorrer a transferência do indivíduo para a sua cadeira de rodas de uso diário, os novos ajustes são realizados pelos pesquisadores, e após ser feito isso e serem travados os ajustes nas novas posições, é realizada a transferência do participante de volta para o equipamento de prescrição. Assim, isto dará a possibilidade ao indivíduo de experimentar e avaliar diversas configurações de ajustes no equipamento.

- b) **Medidas de segurança contra falhas na estrutura:** de forma a prevenir contra falhas na estrutura, quedas e avarias, que podem por em risco a segurança do indivíduo participante dos testes, foram realizadas análises mecânicas estruturais pelo método dos elementos finitos. Nas análises foi utilizada como base de carga a força peso de 1800 N, da mesma forma que a utilizada em trabalhos semelhantes (CARDOSO, 2015; DONEGÁ, 2015; CARDOSO, 2020). O projeto da estrutura visou ter, além da segurança em suportar as cargas para a qual foi projetada, também foi preocupação dar rigidez e estabilidade com segurança.
- c) **Considerações sobre os riscos físicos dos indivíduos participantes dos testes:** o momento da transferência do participante da sua cadeira de rodas para o equipamento de prescrição, e vice-versa, é um dos mais críticos. Neste instante, em decorrência da perda de equilíbrio, o atleta pode cair e ter lesões. Além disso, neste instante podem ocorrer pancadas e batidas que venham a gerar traumas e lesões, durante este procedimento. Sempre haverá riscos e vai existir. No projeto prevemos a segurança do equipamento se suporta se é seguro a sua utilização e outros, mas prevenir quedas é difícil. Alguns cuidados que foram tomados, foi a inserção de ponteiras redondas

nas pontas de tubos, o arredondamento da cabeça de parafusos, a utilização de estofados e partes cobertas com espumas e couro, e a utilização de matéria prima (tubos e perfis) com formatos redondos, dentre outros. Todos esses cuidados sempre visando a segurança do usuário do equipamento.

Mesmo com todos os cuidados que foram tomados para evitar riscos aos envolvidos nos testes, a probabilidade de ocorrer acidentes não é nula. Assim, é de suma importância que os profissionais atuantes na prescrição, no momento dos testes, estejam atentos de forma rigorosa aos procedimentos experimentais de forma a minimizar falhas e transtornos ao participante.

Há, também, o risco de cansaço e fadiga do participante em função das atividades físicas necessárias para avaliação nos testes de prescrição. Assim, é relevante a necessidade do acompanhamento de profissionais da saúde capacitados a monitorar os atletas durante os testes. Bem como, é importante haver um planejamento dos testes para não sobrecarregar o participante nos experimentos.

Considerando que o equipamento não tem por objetivo realizar testes ou monitoramentos ergométricos, e sim a prescrição de cadeira de rodas de corrida, o atleta não necessitará chegar ao limiar do esforço físico durante os testes. O importante no momento da condução do equipamento será o conforto que o atleta sente ao propulsionar a cadeira, bem como, o quanto determinada posição pode melhorar o seu desempenho como atleta. Assim, vale ressaltar que o indivíduo poderá aplicar cargas mais intensas a seu próprio critério e que os registros de tempo e distância servirão como parâmetros junto com outros para medir a eficiência de um posicionamento, e não será critério exclusivo. Outro ponto importante, é que o participante será, sempre, monitorado por profissionais da saúde durante os testes. E qualquer necessidade de encaminhar o participante a uma unidade de saúde durante o experimento, será garantido pela equipe de pesquisa de forma gratuita.

- d) **Considerações sobre os riscos psicológicos aos participantes:** um dos primeiros riscos psicológicos que pode ser citado é o receio do participante na realização da transferência. Este receio envolve o risco de queda ou algum tipo de trauma físico durante a transferência. A própria experiência de realização dos testes pode gerar algum tipo de ansiedade, temor, desconfortos com preocupações, além do risco de frustração mediante alguma expectativa criada pelo participante e, não atendida. Pode ocorrer algum tipo de angústia, também, em decorrência do reconhecimento de algumas características físicas, proporcionadas pelos testes, das quais o indivíduo não tinha conhecimento ou compreensão até aquele momento. Podem ser citados nessa classe de riscos o cansaço mental e a fadiga psicológica no momento da realização dos experimentos. Em vista



destas possibilidades, é importante que os experimentos sejam planejados e organizados de forma a monitorar constantemente o estado psicológico do atleta durante os experimentos.

A utilização da técnica de *Likert* no sistema de coleta de dados, onde são apresentadas afirmativas direcionadas para o participante responder com seu grau de concordância, ajuda a minimizar situações de indignação pessoal na entrevista, exposição da intimidade, choques culturais, comentários e questionamentos invasivos, oportunidades de violações sexistas, espirituais, sociais ou xenofóbicas. Além disso, é imprescindível a necessidade de o pesquisador estabelecer uma relação de *rapport* junto ao participante da pesquisa. Conforme Cardoso (2020, p. 112) "O *rapport* é uma técnica induzida pelo entrevistador para desenvolver uma ligação de empatia entre as partes." Basicamente, consiste em o pesquisador criar uma relação de confiança com o participante.

Ao gerar empatia entre o participante e o pesquisador, isto favorece em melhores resultados para os testes visto que, ao ficar tenso psicologicamente o atleta pode (inconscientemente) provocar tensões nos músculos, as quais podem influenciar diretamente nas medidas do corpo e da propulsão, vindo a prejudicar os resultados dos testes.

Vale ressaltar, que se for necessário inserir alguma ilustração experimental (foto) nos resultados da pesquisa, o participante terá sua identidade protegida por meio de edições gráficas de forma a ocultar traços que o identifiquem como, por exemplo, características físicas, tatuagens, marcas específicas, entre outros).

Um dos resultados do processo de prescrição será a emissão de um banco de dados contendo as dimensões personalizadas características para cada atleta. O banco de dados gerado será utilizado para alimentar informações na Tabela de Projetos do Solidworks®, que contém todas as dimensões predefinidas e ao se alimentar esta tabela o projeto da cadeira de rodas de corrida será automaticamente ajustado para as medidas dimensionadas àquele atleta.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fabricação e Montagem do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida

### 4.2 Particularidades da Estrutura do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida

#### 4.2.1 Dispositivo de Regulagem da Largura do Assento

A Figura 4.1 apresenta toda a parte traseira do equipamento de prescrição. Na figura podem ser destacados os itens que fazem parte, especificamente, do dispositivo de abertura ou fechamento transversal da estrutura para fins de aumentar ou diminuir a largura do assento. O dispositivo de regulagem é composto por um fuso frontal e um fuso traseiro.

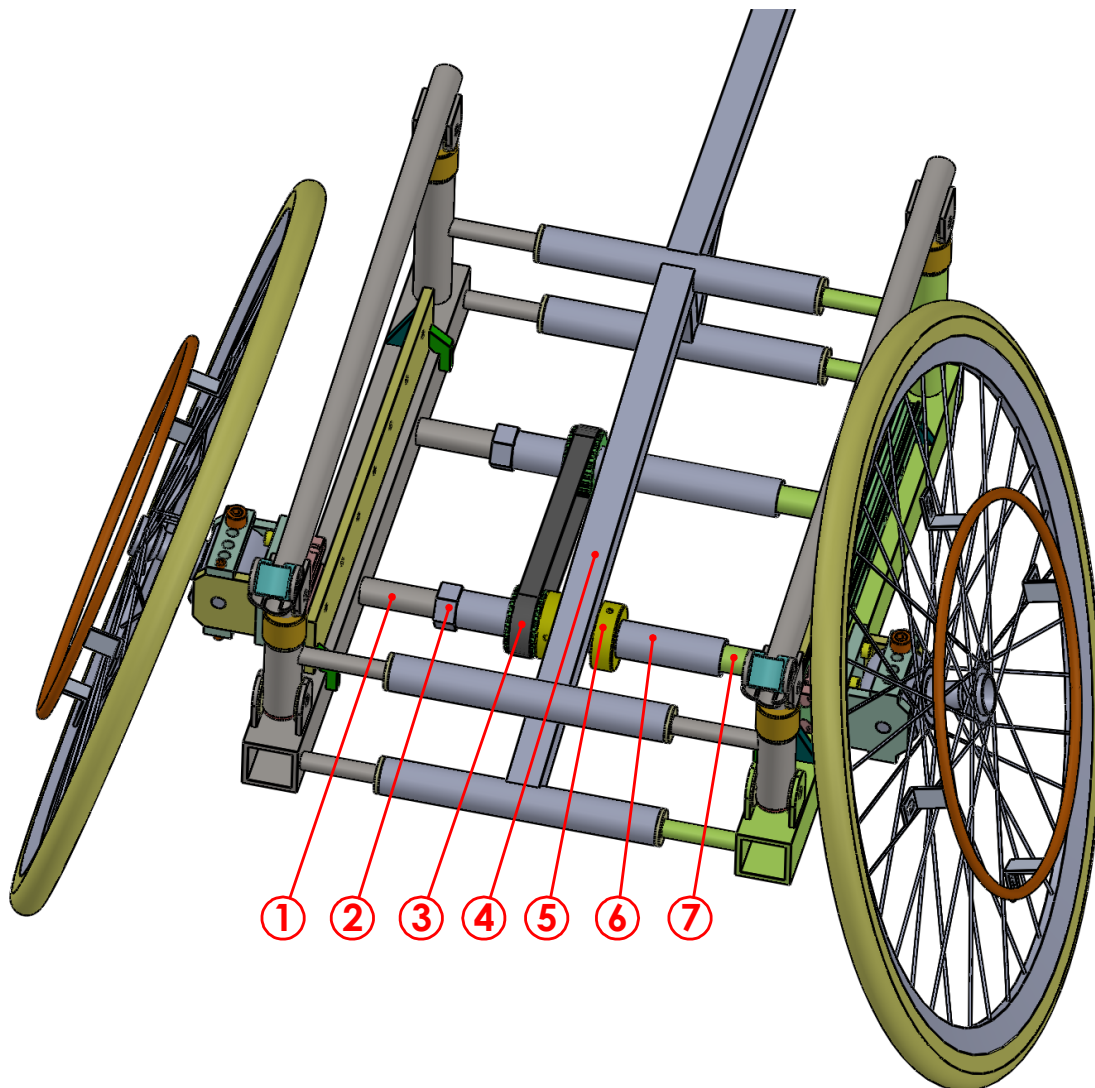


Figura 4.1 – Visão geral do dispositivo de regulação da largura do assento.

Os dois fusos possuem, basicamente, a mesma composição. O único item da Figura 4.1 que não compõem os dois conjuntos de fusos, é a **peça 5**. Cada fuso é composto por uma barra roscada com rosca direita (**item 1**), e outra com rosca esquerda (**item 7**). Ambas, as barras roscadas, estão fixadas por meio de solda ao tubo quadrado da estrutura lateral. O **item 2** é uma porca sextavada e está soldada ao tubo redondo (**item 6**). Em cada ponta do **item 2** há filetes de rosca interna, onde uma ponta é constituída de rosca direita e a outra ponta, de rosca esquerda. Estas roscas são 1"UNC (*Unified Thread Standard*) 8 fios por polegada (FPP). Ou seja, a cada volta completa da rosca cada lado avança 3,175 mm. Dessa forma, ao girar este tubo roscado (**item 6**), as extremidades se movimentam no mesmo sentido, porém, em direções opostas, o que faz com que haja a abertura ou fechamento simultâneo das laterais do equipamento. Assim, ao dar uma volta completa no **item 2** o conjunto do assento avança 6,35 mm. O **item 3** é composto por uma correia sincronizadora que faz a

ligação entre a polia sincronizadora fixada no fuso traseiro e a outra afixada no fuso dianteiro. As polias sincronizadoras contém furo interno igual ao diâmetro externo do tubo (**item 6**), e são afixadas ao tubo por meio de um parafuso de aperto que é rosqueado em um furo com rosca na polia, no sentido perpendicular ao seu eixo longitudinal. O **item 5** (buchas) é afixado ao tubo (**item 6**) da mesma forma como as polias. sua função é manter o chassi intermediário (**item 4**) centralizado no sentido transversal. Por isso, as buchas (**item 5**) são posicionadas encostadas ao chassi intermediário.

Todo esse conjunto explicado na Figura 4.1, faz parte do dispositivo de abertura e/ou fechamento da largura do assento. Assim, a variação da abertura transversal da estrutura é realizada utilizando uma chave de boca encaixada em uma das duas porcas sextavadas (**item 2**). Com a chave, gira-se esse conjunto de forma a aumentar ou diminuir a abertura da largura do assento.

#### 4.2.2 Mecanismo de Cambagem das Rodas Traseiras

Na Figura 4.2 são apresentadas duas imagens que ilustram o sistema de cambagem utilizado no Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida.

O **item 1**, representado nas figuras, mostra a fileira de furos da parte externa do dispositivo. Esta fileira de furos está alinhada de forma colinear ao longo do eixo do dispositivo de cambagem.

O **item 2**, mostrado nas figuras, representa os furos da peça interna do dispositivo. A furação desta peça foi realizada de forma que os furos fossem feitos com variação angular de 1 (um) grau entre um furo e outro. Assim, tanto na Figura 4.2a, quanto na Figura 4.2b, nota-se uma diferença na posição entre os furos ao longo do eixo longitudinal do dispositivo. Isso se deve ao fato de existir este deslocamento angular entre um furo e outro.

Dessa forma, ao se alinhar um furo da peça interna com a correspondente furação da peça externa, o conjunto fica disposto em um ângulo específico. Nota-se nas figuras que, somente, um furo da peça interna se encontra alinhado ao furo da peça externa. Assim, é este o ângulo de cambagem que está selecionado neste dado momento. No caso, o furo que está alinhado é o da Figura 4.2a, que se encontra totalmente à esquerda e acima da imagem. Para posicionar os outros furos, a partir desta imagem, a peça interna deve ser girada no sentido horário. O furo posicionado nesta imagem está a 16 graus a partir do plano vertical. A cada um grau que a peça interna for girada no sentido horário, este ângulo será diminuído em um grau. Assim, se girarmos mais um grau teremos 15 graus, se girarmos mais dois graus a partir do ponto inicial, termos 14 graus, e assim por diante, até alcançarmos o último furo que posiciona os 10 graus de inclinação em relação ao plano vertical.

Uma observação importante em relação à Figura 4.2, é que a Figura 4.2a apresenta o

dispositivo na posição de trabalho, e a Figura 4.2b foi girada em 90 graus no sentido horário, em relação a Figura 4.2a, por motivos didáticos, para mostrar os três furos de baixo.

Para maior segurança, o furo **item 1** é constituído de uma rosca, enquanto o furo **item 2** é totalmente liso. Assim, ao ser introduzido no furo, o pino (Fig. 4.3) é rosqueado ao furo da peça externa (furo **item 1**) de forma que dificulta a saída do pino e evita acidentes durante a utilização do equipamento.

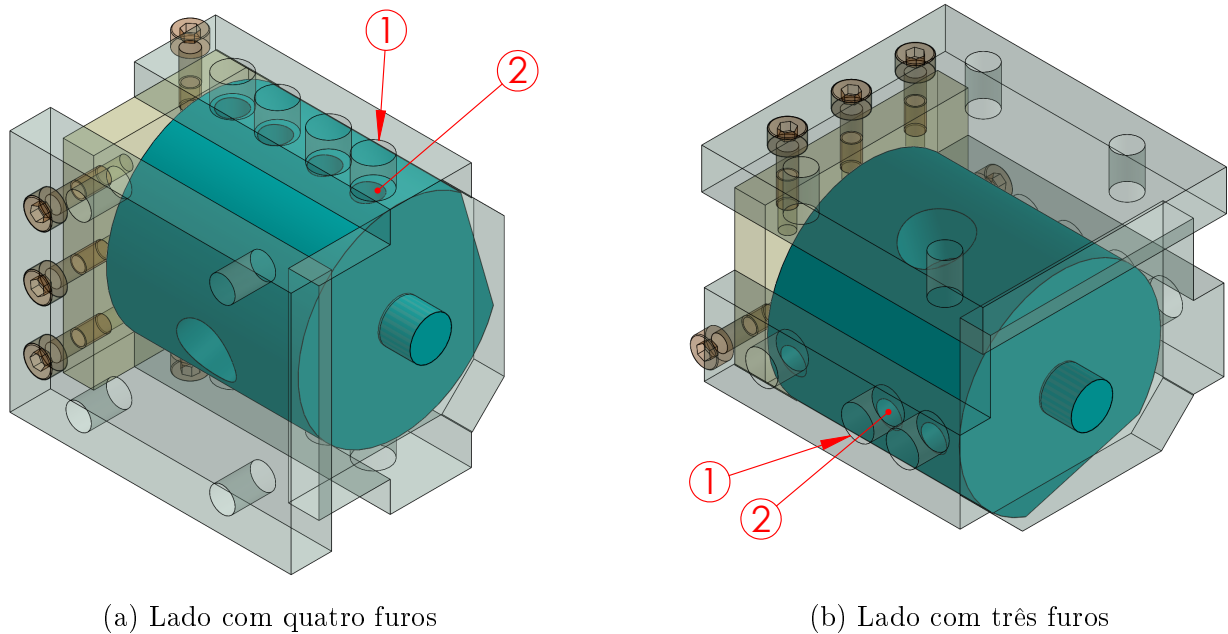


Figura 4.2 – Posicionamento dos ângulos de cambagem

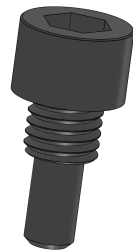


Figura 4.3 – Pino de travamento da cambagem.

#### 4.2.3 Lista de Materiais Utilizados na Fabricação e Montagem e seus Respectivos Custos

A Tabela 4.1, apresenta os materiais e uma estimativa aproximada dos custos com eles para a construção do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Tabela 4.1 – Estimativa de custos dos materiais utilizados na fabricação do equipamento de prescrição

Item	Material	Valores (R\$)
1	Guia linear MSA25R x 400 mm (2 peças)	513,84
2	Carro para guia linear MSA 25ESSFCN (2 peças)	571,12
2	Blocagem de selim (4 peças)	25,00
A1	Cubo Ortobras 36 furos para cadeira de rodas (2 peças)	74,00
A2	Rolamento 06002-2Z/C3 SKF (4 peças)	40,00
2	Rolamento 61901-2Z NKE (2 peças)	48,00
A3	Eixo Quik traseiro diâm. 15 mm (2 peças)	84,00
A4	Roda traseira montada (2 peças)	449,00
3	Maçaneta Logan Alumínio (Manete) (par)	29,00
3	Carrinho de Selim (castanha) (2 peças)	20,00
3	Cabo de freio	4,00
3	Conduíte preto teflon MTS (para cabo do freio)	3,00
3	Freio de alumínio tipo Escorpião	32,00
B1	Correia sincronizadora 240L	40,00
B2	Polia sincronizadora passo L (3/8") (2 peças)	50,00
2	Tubo industrial redondo 1,5" #14	81,29
2	Barra redonda Tecnil diâmetro 32 mm	63,36
2	Tubo retangular 30x50x1/8"	255,64
2	Tubo industrial redondo 1" #11 (3,00 mm)	25,13
2	Tubo hidráulico diâmetro 10 x 1,5 mm	711,84
2	Tubo DIN 2440 diâmetro 1/2" (21,3 mm) x 2,65 mm	15,00
2	Barra redonda trefilada SAE 1045 diâm. 3/8"	16,26
2	Peças cortadas em máquina de corte a plasma	71,00
7	Chapa laminada 3/16" (2 kg)	42,00
2	Tubo Schedule 40 diâmetro 1"	238,50
2	Barra redonda Tecnil diâmetro 35 mm	137,25
2	Barra redonda Tecnil diâmetro 40 mm	10,98
2	Barra redonda latão diâmetro 1.1/2"	194,97
2	Barra chata 2.1/2"x 1/4"	15,00
9	Barra chata 3/8"x 2.1/2"	13,10
2	Barra redonda laminada SAE 1020 diâm. 3/8"	10,92

Continua na próxima página

Tabela 4.1 — Continuação da página anterior

Item	Material	Custo total (R\$)
2	Barra redonda laminada SAE 1020 diâm. 1/2"	5,75
2	Barra redonda laminada SAE 1020 diâm. 5/8"	47,11
2	Barra redonda laminada SAE 1020 diâm. 3/4"	80,43
2	Tubo quadrado 50 x 50 x 4,75 mm	200,00
2	Tubo quadrado 30 x 30 x 1/8"	140,00
2	Tubo quadrado 20 x 20 x #14 (2,00 mm)	56,02
2	Barra roscada 3/4"x 1000 mm zincada	28,00
2	Barra roscada 1"UNC 8 fpp	49,71
2	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno 12.9 Rosca Inteira M5 x 0,8 x 40 mm (8 peças)	1,83
2	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno 12.9 Rosca Inteira M6 x 1,0 x 20 mm (14 peças)	4,06
2	Parafuso cabeça sextavada grau 8.8 Rosca Inteira M8 x 1,25 x 12 mm (8 peças)	1,36
2	Parafuso cabeça sextavada grau 8.8 Rosca Inteira M8 x 1,25 x 30 mm (2 peças)	0,75
2	Parafuso cabeça sextavada grau 8.8 Rosca Parcial M10 x 1,5 x 30 mm (1 peça)	0,90
2	Parafuso cabeça sextavada grau 8.8 Rosca Parcial M10 x 1,5 x 55 mm (1 peça)	0,99
2	Parafuso cabeça sextavada grau 8.8 Rosca Parcial M10 x 1,5 x 60 mm (4 peças)	4,19
2	Parafuso cabeça sextavada grau 8.8 Rosca Parcial M10 x 1,5 x 70 mm (2 peças)	2,47
2	Parafuso cabeça sextavada grau 8.8 Rosca Parcial M10 x 1,5 x 80 mm (2 peças)	2,93
2	Porca sextavada M8 x 1,25 mm	0,16
2	Porca sextavada M10 x 1,5 mm	1,37
2	Porca sextavada autotravante M10 x 1,5 mm	3,57
2	Porca sextavada 1"UNC 8 fpp	5,60
4	Adesivo para inclinômetro	10,00
4	Latinhas plásticas 5x2 para inclinômetro	8,00
4	Nível de plástico (5 peças)	15,50
Continua na próxima página		

**Tabela 4.1 — Continuação da página anterior**

Item	Material	Custo total (R\$)
2	Galvanização de aproximadamente 50 kg	142,50
2	Couro sintético	51,00
2	Cola de sapateiro	22,00
2	Linha de costura	5,00
2	Espuma de assento	15,00
2	Espuma vinílica acetinada (EVA)	20,00
88	<b>Sub Total</b>	<b>4 811,40</b>

Nos custos do equipamento se destacam os gastos realizados com as rodas. Neste caso, a roda dianteira foi, gentilmente, emprestada pela equipe de atletismo do SESI Gravatás de uma cadeira de rodas de corrida que não estava sendo utilizada por eles naquele momento. Porém se fosse adquirida com o fornecedor, a Roda dianteira 20" (20" Front Racing Wheel) completa custaria R\$ 2250,00 a unidade.

Outro destaque é para as rodas traseiras. É possível verificar pela Tabela 4.1 que o custo das duas rodas traseiras foi de, aproximadamente, R\$ 647,00 (itens A1, A2, A3 e A4 da Tab. 4.1) após sua montagem em uma loja especializada em montagem de rodas para bicicletas. Caso esta compra fosse realizada com o fornecedor oficial de rodas para cadeiras de rodas de corrida, o valor a ser pago teria sido algo em torno de R\$ 2800,00 o par de rodas completas. Ressalta-se que algumas peças, para a montagem destas rodas, foram adquiridas em uma loja de equipamentos para cadeiras de rodas e as outras partes foram adquiridas na bicicletaria que montou as rodas. Tanto o pneu, quanto o aro utilizado na montagem desta roda, são do mesmo modelo, tamanho e marca daqueles utilizados na cadeira de rodas de corrida que a equipe de atletismo do SESI Gravatás utilizam.

Outro item que também teve o custo de projeto reduzido foi a polia do item B2, pois estas peças foram obtidas em loja de peças usadas. No caso de se obter estas peças novas o custo seria de, pelo menos, o dobro do valor gasto.

Deve-se considerar, também, que alguns materiais utilizados no equipamento foram reaproveitados do estoque da oficina do Laboratório de Projetos Mecânicos. Desta forma, é possível considerar algo em torno de 5% a 10% a mais no valor total apresentado na Tab. 4.1. É importante observar que o custo de materiais é apenas uma parte dos gastos envolvidos no desenvolvimento do projeto. Para tornar esse levantamento mais completo seria necessário considerar os custos de desenvolvimento do projeto, de hora máquina, de mão de obra, custos de patente e outros.



#### 4.2.4 Proteção das Peças por Galvanização

Para proteger as peças da corrosão e desgaste, optou-se por recobri-las com galvanização por imersão a quente (galvanização a fogo), visto que o contato entre algumas partes do equipamento poderia danificar a pintura mais rapidamente do que a galvanização.

Na Figura 4.4 é mostrado as peças do equipamento galvanizadas, antes e após a montagem do conjunto.



(a) Peças galvanizadas desmontadas



(b) Peças galvanizadas montadas

Figura 4.4 – Visão geral das peças que foram galvanizadas

### 4.3 Estrutura do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida

O protótipo do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida foi concebido para efetuar 14 regulagens. A seguir são apresentadas todas as partes do equipamento e como funcionam as diversas regulagens.

Também são apresentados os resultados de algumas soluções específicas referentes ao projeto. Além disso, serão apresentadas em detalhes os resultados e discussões da avaliação numérica pelo método de elementos finitos.

#### 4.4 Variáveis de Influência dos Ajustes do Equipamento de Prescrição

Na Tabela 4.2, são apresentadas as faixas dos vários ajustes projetados, bem como suas respectivas unidades de medida. Nesta tabela também são apresentadas as variações ( $\Delta$ ) entre o Limite Inferior (LI) e o Limite Superior (LS). Estes limites foram definidos de acordo com informações obtidas junto a fabricantes de cadeiras de rodas de corrida.

Além disso, a Tabela 4.2, representa os GDL's (Graus de Liberdade) de cada variável, onde X, Y e Z indicam o eixo de direção do ajuste, e os símbolos indicam que o sentido do ajuste é linear ao longo do eixo ( $\leftrightarrow$ ) ou é angular, ou seja, gira em torno do eixo ( $\odot$ ).

Tabela 4.2 – Graus de liberdade e variação das variáveis de influência

Item	Variáveis de Influência (Unidade de Medida)	LI	LS	$\Delta$	GDL's
1	Assento - Largura (mm)	280	480	200	$\leftrightarrow X$
2	Assento - Altura atrás (mm)	135	195	60	$\leftrightarrow Y$
3	Assento - Inclinação (graus)	0	15	15	$\circlearrowleft X$
4	Aro de propulsão - Diâmetro (mm)	254	406	152	$\leftrightarrow ZY$
5	Cambagem (graus)	10	16	6	$\circlearrowleft Z$
6	Centro de gravidade (mm)	0	318	318	$\leftrightarrow Z$
7	Encosto - Profundidade (mm)	20	270	240	$\leftrightarrow Z$
8	Encosto - Altura (mm)	60	300	240	$\leftrightarrow Y$
9	Garfo - Altura (mm)	340	740	400	$\leftrightarrow Y$
10	Garfo - Inclinação (graus)	0	90	90	$\circlearrowleft X$
11	Tubo Principal - Inclinação (graus)	80	95	15	$\circlearrowleft X$
12	Tubo Principal - Comprimento (mm)	1020	1850	830	$\leftrightarrow Z$
13	Apoio da perna - Inclinação (graus)	10	50	40	$\circlearrowleft X$
14	Largura do joelho (mm)	0	470	470	$\leftrightarrow X$

#### 4.4.1 Ajustes Ergonômicos e Antropométricos

As variáveis de ajuste apresentadas na Tabela 4.2 podem ser divididas de acordo com suas características de ajustes e como seus resultados geram algum tipo de influência sobre o corpo ou pelo corpo do indivíduo. Assim, podemos dividir em **Ajuste Antropométrico** ou **Ajuste Ergonômico**.

Segundo Añez (2000) a Antropometria é uma ciência que estuda a medida física do corpo humano, enquanto a Ergonomia estuda diversos fatores relacionados à adaptação do trabalho ao homem, por exemplo, a relação de conforto com o ambiente de trabalho. No entanto, a antropometria é uma das disciplinas estudadas na ergonomia, visto que, os estudos ergonômicos dependem diretamente das dimensões corpóreas para sua realização.

Dessa forma, neste trabalho são considerados **Ajustes Antropométricos** aqueles relacionados diretamente às dimensões corpóreas do indivíduo, como por exemplo a largura do assento, a qual é inerente à largura do quadril do participante, e tem como função principal a acomodação deste no assento da cadeira de rodas de corrida. Já os **Ajustes Ergonômicos**, em geral tem relação com as medidas antropométricas do indivíduo mas, além disso, são correlacionados com algum parâmetro de conforto, desempenho, e alteração de algum aspecto subjetivo na relação do participante com o equipamento ou cadeira de rodas. Um

exemplo de ajuste ergonômico é a cambagem, a qual possibilita um acesso mais seguro ao aro de propulsão, bem como uma maior estabilidade da cadeira de rodas de corrida durante sua movimentação.

Com base no que foi explicado anteriormente, a Tabela 4.3, apresenta uma lista das variáveis e classifica cada uma como **Ergonômica** ou **Antropométrica**.

Tabela 4.3 – Ajustes ergonômicos e antropométricos

Item	Variáveis de Influência	Característica
1	Assento - Largura	Ajuste antropométrico
2	Assento - Altura atrás	Ajuste ergonômico
3	Assento - Inclinação	Ajuste ergonômico
4	Aro de propulsão - Diâmetro	Ajuste ergonômico
5	Cambagem	Ajuste ergonômico
6	Centro de gravidade	Ajuste ergonômico
7	Encosto - Profundidade	Ajuste antropométrico
8	Encosto - Altura	Ajuste antropométrico
9	Garfo - Altura	Ajuste ergonômico
10	Garfo - Inclinação	Ajuste ergonômico
11	Tubo Principal - Inclinação	Ajuste ergonômico
12	Tubo Principal - Comprimento	Ajuste ergonômico
13	Apoio da perna - Inclinação	Ajuste ergonômico
14	Largura do joelho	Ajuste antropométrico

É importante destacar que as variáveis **Encosto - Profundidade** e **Encosto - Altura** tem uma função muito mais voltada à segurança do participante durante a utilização do equipamento do que, propriamente dito, uma função de ajuste para ser realizada na cadeira de rodas de corrida. Esta função de segurança visa dar um apoio (limite) para as costas do indivíduo, evitando que este caia para trás quando assentado no equipamento de prescrição.

No entanto, como função secundária a posição do encosto é utilizada para dar apoio a tapeçaria que será utilizada para parametrizar a profundidade do assento. Esta profundidade é medida pela posição da tapeçaria sobre a barra do assento. Assim, deve ficar claro que não é utilizada nenhuma etiqueta ou régua de medição no encosto, pois a única medição que é auxiliada por ele tem uma régua graduada posicionada em outro dispositivo do equipamento. A função mais importante do encosto é a de dar segurança ao atleta posicionado sobre o equipamento de prescrição.

#### 4.4.2 Assento - Largura

Esta variável é utilizada para ajustar a largura do assento de acordo com a largura do quadril do atleta. Abrange a abertura transversal da estrutura. Sua variação é realizada

através de um fuso roscado localizado na parte inferior do equipamento de prescrição. Na Figura 4.5, é representada esta variação de ajuste.

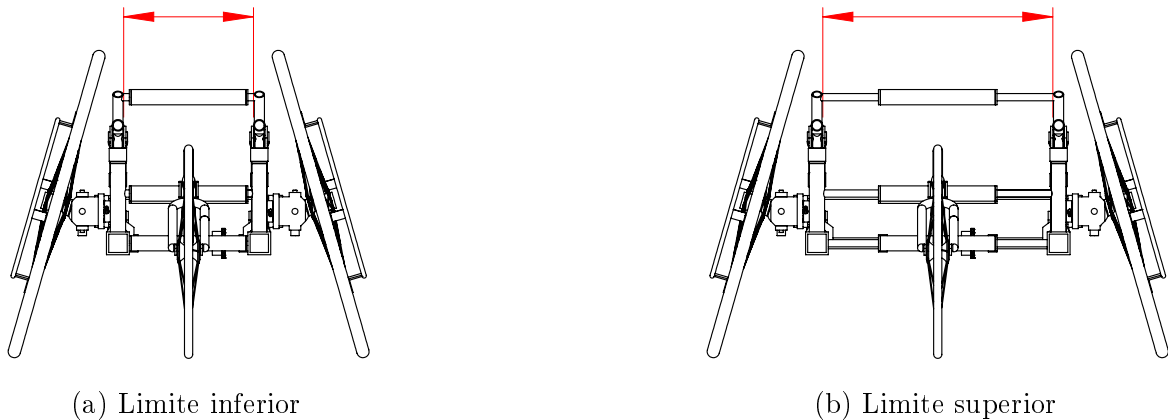


Figura 4.5 – Largura do Assento

Possui variação de 200 mm, sendo a abertura mínima de 280 mm (Figura 4.5a) e a máxima 480 mm (Figura 4.5b). Apresenta grau de liberdade linear ao longo do eixo X. Ao ajustar a largura do assento à medida do quadril do atleta, o equipamento possibilita uma melhor estabilidade do indivíduo sobre o equipamento.

#### 4.4.3 Assento - Altura Atrás

Esta variável é utilizada para ajustar a altura do assento. Verifica-se na Figura 4.6, esta variação de ajuste.

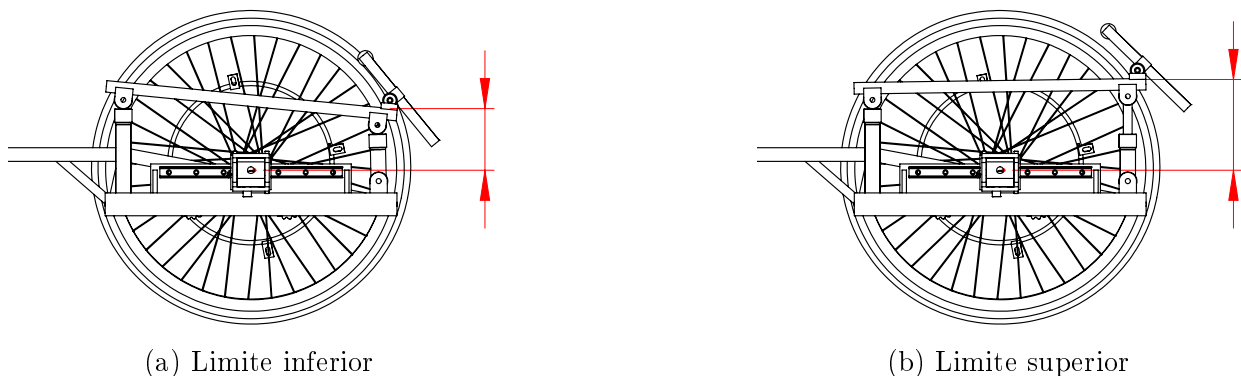


Figura 4.6 – Altura do assento atrás

Possui variação de 60 mm, sendo a altura mínima 135 mm (Figura 4.6a) e a altura máxima 195 mm (Figura 4.6b). Apresenta grau de liberdade linear ao longo do eixo Y. O ajuste da

altura do assento proporciona o posicionamento da altura do ombro do atleta em relação ao aro de propulsão.

#### 4.4.4 Assento - Inclinação

Esta variável é utilizada para ajustar a inclinação. Verifica-se na Figura 4.7, esta variação de ajuste.

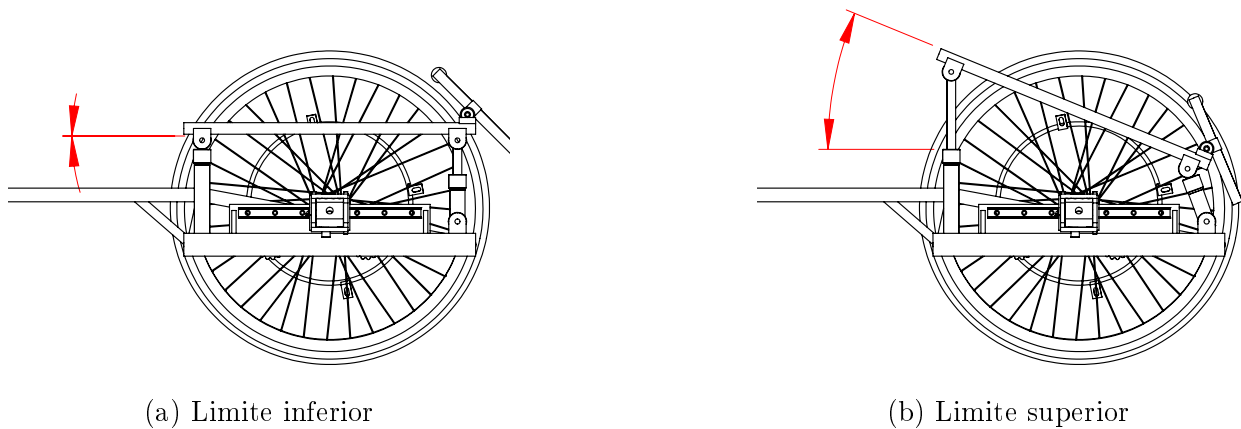


Figura 4.7 – Inclinação do assento (altura do assento na frente)

O ângulo de inclinação do assento, neste equipamento, é ajustado pela variação da altura na frente. Assim, ao variar esta altura o eixo de giro está posicionado na parte de trás do assento, o que faz com que o assento se incline.

Possui variação de 15 graus, sendo a inclinação mínima 0 graus (Figura 4.7a) e a máxima 15 graus (Figura 4.7b). Apresenta grau de liberdade rotacional em torno do eixo X. O ajuste da inclinação do assento proporciona estabilidade e firmeza ao atleta para tocar a cadeira.

#### 4.4.5 Aro de Propulsão - Diâmetro

Esta variável é utilizada para ajustar o diâmetro do aro de propulsão. Verifica-se na 4.8, esta variação de ajuste.

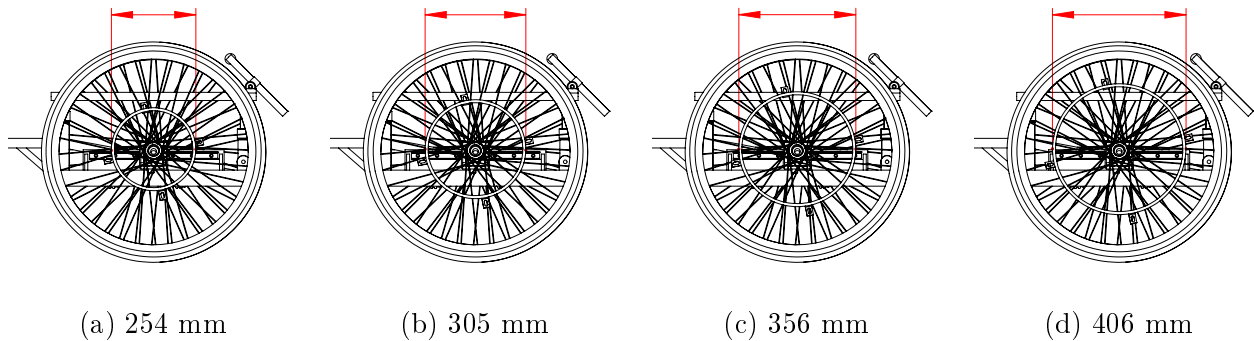


Figura 4.8 – Diâmetros dos aros de propulsão utilizados no equipamento de prescrição

O diâmetro do aro de propulsão está disponível em 4 medidas, que podem ser encontradas comercialmente. Sua variação ocorre entre 254 mm (10 polegadas) e 406 mm (16 polegadas). Assim, do menor para o maior diâmetro, estão disponíveis as medidas de 254 mm (10 polegadas) (Figura 4.8a), 305 mm (12 polegadas) (Figura 4.8b), 356 mm (14 polegadas) (Figura 4.8c) e, 406 mm (16 polegadas) (Figura 4.8d). A escolha adequada do diâmetro do aro de propulsão permite maior eficiência na propulsão da cadeira de rodas. Esse diâmetro está relacionado com o torque aplicado às rodas e ao comprimento do braço do atleta. Assim, a escolha do diâmetro de aro apropriado tem relação direta com a extenuação do atleta e o esforço realizado para tocar a cadeira.

#### 4.4.6 Cambagem

Esta variável é utilizada para ajustar a inclinação da roda. É definida como a inclinação da roda em relação ao plano vertical. A Figura 4.9, representa esta variação de ajuste.

O ângulo de cambagem é considerado positivo quando a parte superior da roda se inclinar para dentro. Dessa forma, a variação do ângulo de cambagem disponível neste equipamento é definido de acordo com uma furação disponível no cubo de cambagem. Neste cubo estão disponíveis sete furos que definem desde o ângulo de 10 graus até 16 graus.

Neste equipamento há possibilidade de selecionar os ângulos de 10 graus (Figura 4.9a), 11 graus (Figura 4.9b), 12 graus (Figura 4.9c), 13 graus (Figura 4.9d), 14 graus (Figura 4.9e), 15 graus (Figura 4.9f) e, 16 graus (Figura 4.9g).

Uma das principais funções da cambagem é a estabilidade da cadeira de rodas, evitando seu tombamento lateral. Além disso, como função secundária, a cambagem facilita o acesso da mão do atleta ao aro de propulsão fixado na roda traseira da cadeira de rodas de corrida.

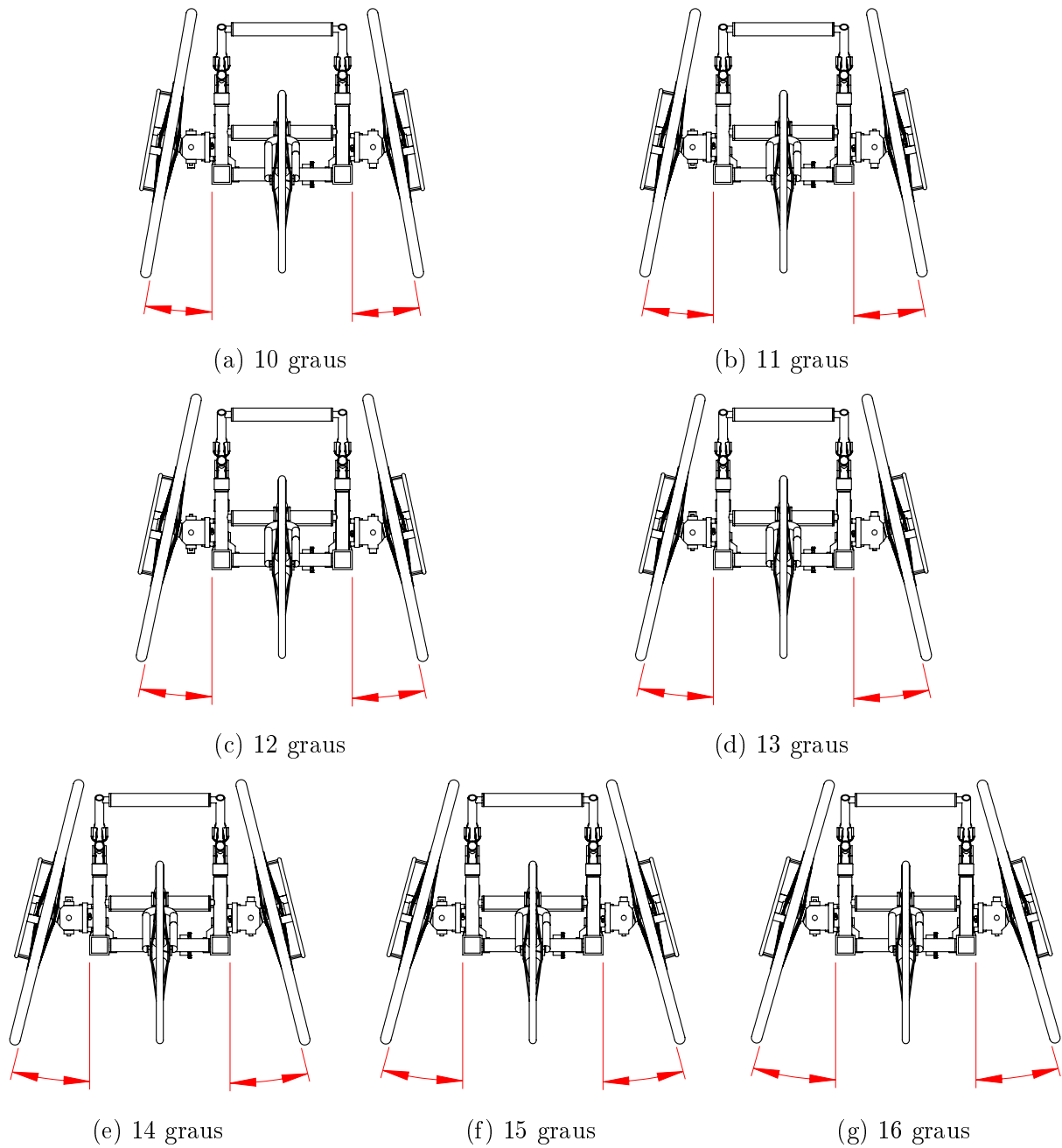


Figura 4.9 – Cambagem das rodas traseiras

#### 4.4.7 Centro de Gravidade

Esta variável é utilizada para ajustar a posição do assento em relação ao eixo do aro de propulsão. Verifica-se na 4.10, esta variação de ajuste.

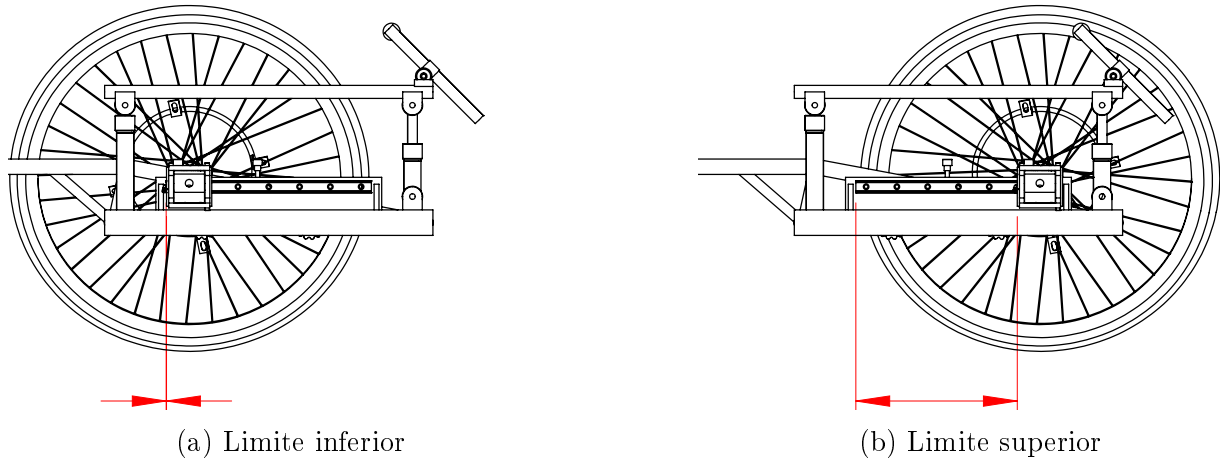


Figura 4.10 – Centro de Gravidade

Possui variação de 318 mm. Seu limite inferior é de 0 mm (Figura 4.10a), e a superior de 318 mm (Figura 4.10b). Possui grau de liberdade que varia linearmente ao longo do eixo Z. A correta posição do centro de gravidade influencia positivamente no desempenho da propulsão da cadeira de rodas de corrida. Além disso, se for ajustado de forma inadequada, pode causar o tombamento do atleta com o equipamento para trás.

#### 4.4.8 Encosto - Profundidade

Esta variável é utilizada para ajustar a posição do encosto em relação ao assento, no sentido longitudinal. Verifica-se na 4.11, esta variação de ajuste.

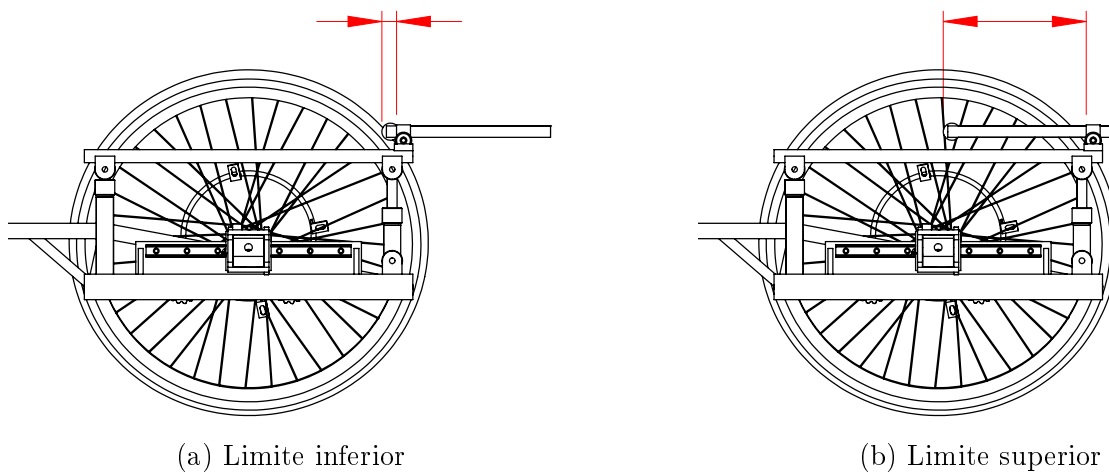


Figura 4.11 – Profundidade do encosto

Possui variação de 240 mm. Seu limite inferior é de 20 mm (Figura 4.11a), e a superior de 270 mm (Figura 4.11b). Possui grau de liberdade que varia linearmente ao longo do eixo



Z. A posição do encosto influencia a posição do centro de gravidade e, conseqüentemente, o desempenho da propulsão da cadeira de rodas de corrida. Assim, quando alterado, muda o centro de gravidade sobre o equipamento.

#### 4.4.9 Encosto - Altura

Esta variável é utilizada para ajustar a posição da altura do encosto em relação ao assento. Verifica-se na 4.12, esta variação de ajuste.

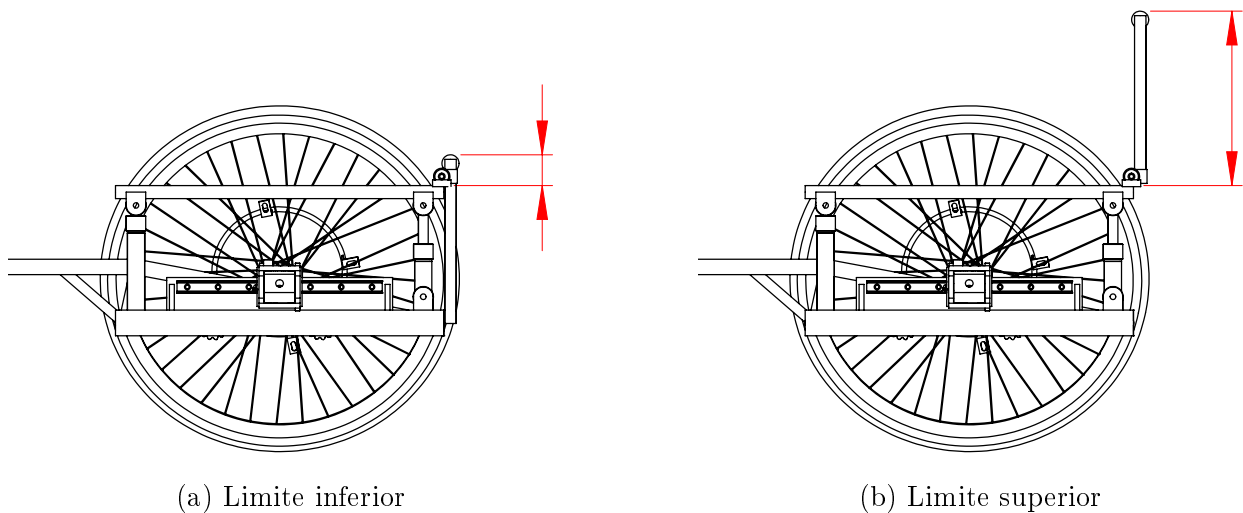


Figura 4.12 – Altura do encosto

Possui variação de 240 mm. Seu limite inferior é de 60 mm (Figura 4.12a), e a superior de 300 mm (Figura 4.12b). Possui grau de liberdade que varia linearmente ao longo do eixo Y.

#### 4.4.10 Garfo - Altura

Esta variável é utilizada para ajustar a posição da altura do garfo. Ou seja, a distância do eixo da roda dianteira a ponta do tubo principal. Verifica-se na 4.13, esta variação de ajuste.

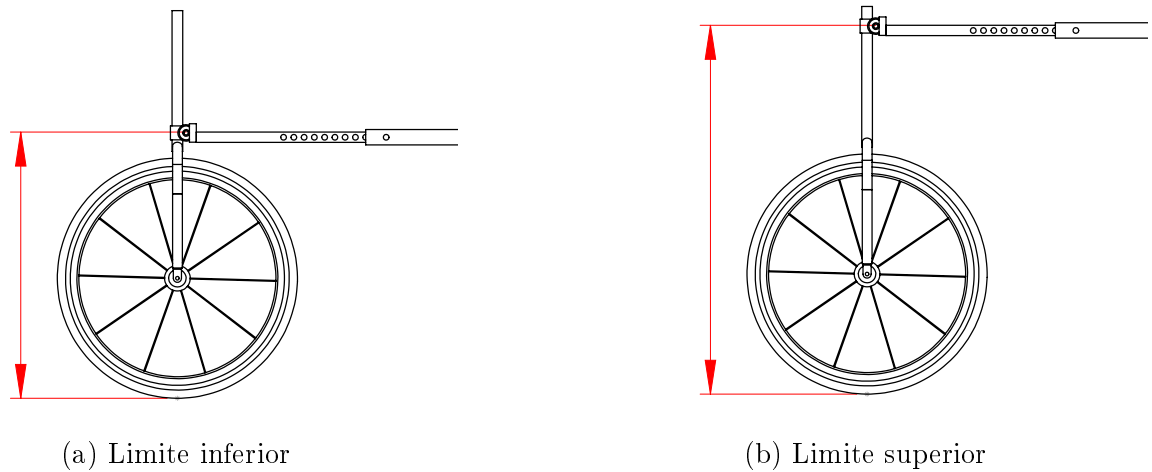


Figura 4.13 – Altura do garfo

Possui variação de 400 mm. Seu limite inferior é de 340 mm (Figura 4.13a), e a superior de 740 mm (Figura 4.13b). Possui grau de liberdade que varia linearmente ao longo do eixo Y.

#### 4.4.11 Garfo - Inclinação

Esta variável é utilizada para ajustar o ângulo de inclinação do garfo. Verifica-se na 4.14, esta variação de ajuste.

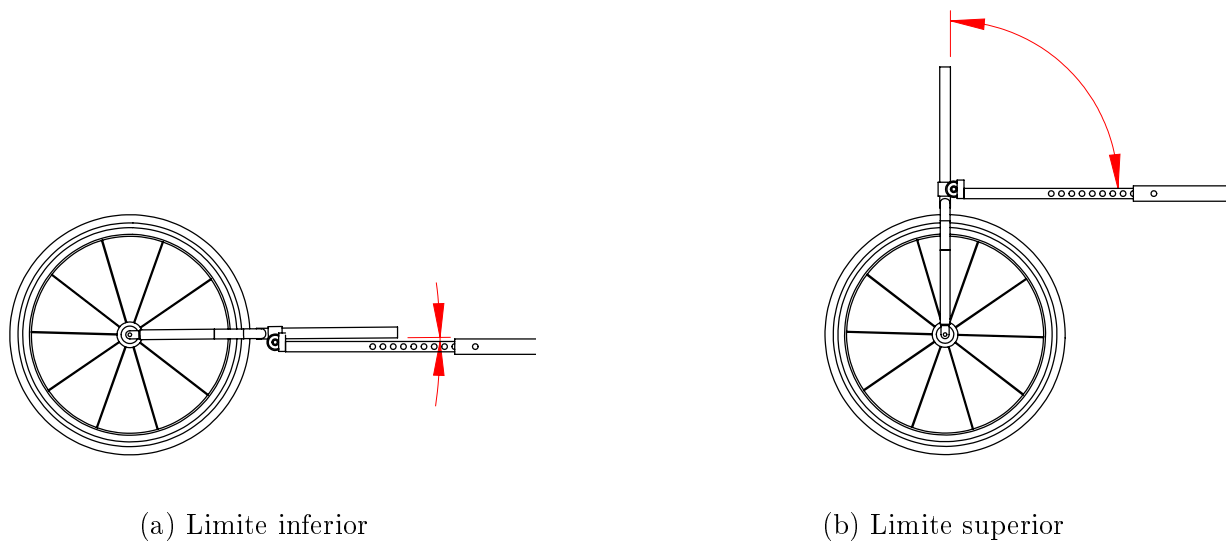


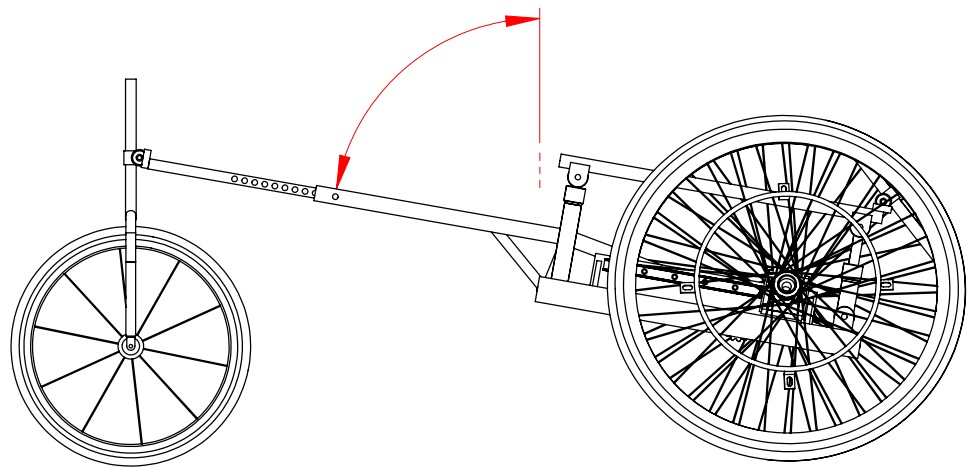
Figura 4.14 – Inclinação do garfo

Possui variação de 90 graus. Seu limite inferior é de 0 graus (Figura 4.14a), e superior de 90 graus (Figura 4.14b). Possui grau de liberdade que varia rotacionalmente em torno do

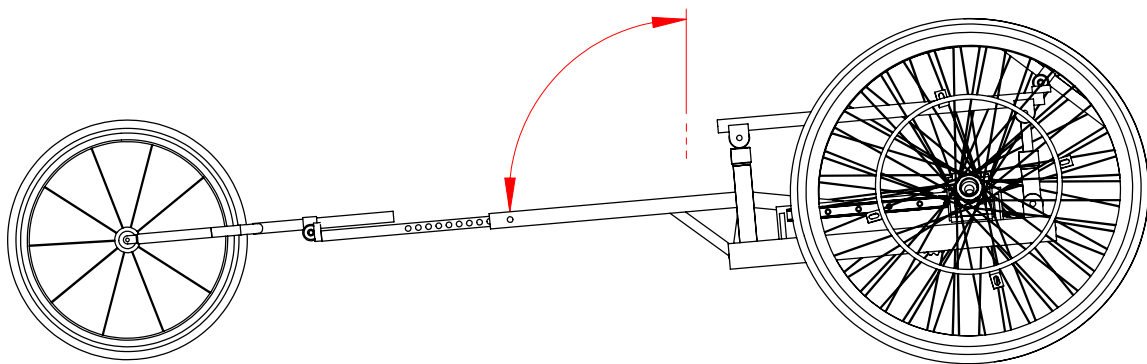
eixo X.

#### 4.4.12 Tubo Principal - Inclinação

Esta variável é utilizada para ajustar o ângulo de inclinação do Tubo Principal (quadro do equipamento), o qual é interdependente de duas variáveis. Estas duas variáveis são a Altura do Garfo e a Inclinação do Garfo. Isto significa que o ângulo de inclinação do tubo principal é ajustado ao se ajustar a inclinação e altura do garfo. Verifica-se na 4.15, esta variação de ajuste.



(a) Limite inferior



(b) Limite superior

Figura 4.15 – Inclinação do quadro (estrutura principal) do equipamento de prescrição

Possui variação de 15 graus. Seu limite inferior é de 80 graus (Figura 4.15a), e superior de 95 graus (Figura 4.15b). Possui grau de liberdade que varia rotacionalmente em torno do eixo X. O eixo de rotação desta inclinação se encontra na roda traseira do equipamento.

Existe a possibilidade de variar mais o Limite Superior, porém, quanto maior for este limite, maiores serão as chances de o atleta tombar para trás junto com a cadeira de rodas de corrida.

A variação desta variável influencia na estabilidade e segurança do equipamento durante sua utilização.

#### 4.4.13 Tubo Principal - Comprimento

Esta variável é utilizada para ajustar a distância entre os eixos das rodas traseiras e a dianteira. Verifica-se na 4.16, esta variação de ajuste.

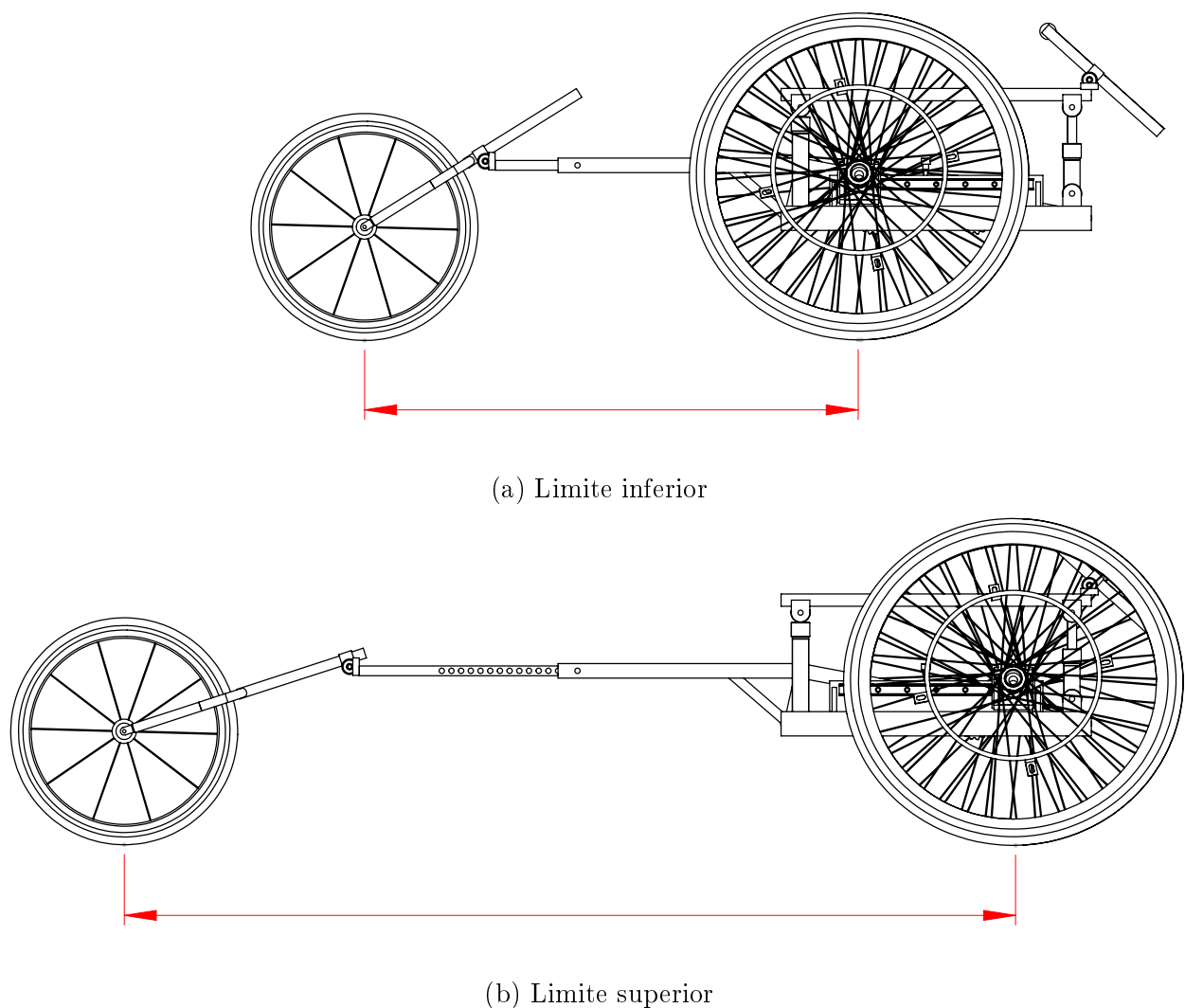


Figura 4.16 – Distância longitudinal entre os eixos das rodas traseiras e dianteira

Possui variação de 830 mm. Seu limite inferior é de 1020 mm (Figura 4.16a), e superior de 1850 mm (Figura 4.16b). Possui grau de liberdade que varia linearmente ao longo do eixo

Z. A altura do tronco do atleta e o comprimento de seu braço associados à possibilidade ou não de movimentar o tronco, influenciam no tamanho desta variável.

A variação do centro de gravidade e das variáveis do garfo (altura e inclinação) influenciam, diretamente, no resultado desta distância.

#### 4.4.14 Apoio da Perna - Inclinação

Esta variável tem a função de ajustar a inclinação da parte inferior da perna e, conseqüentemente, deixar mais alto o joelho. Verifica-se na Figura 4.17, a variação deste ajuste.

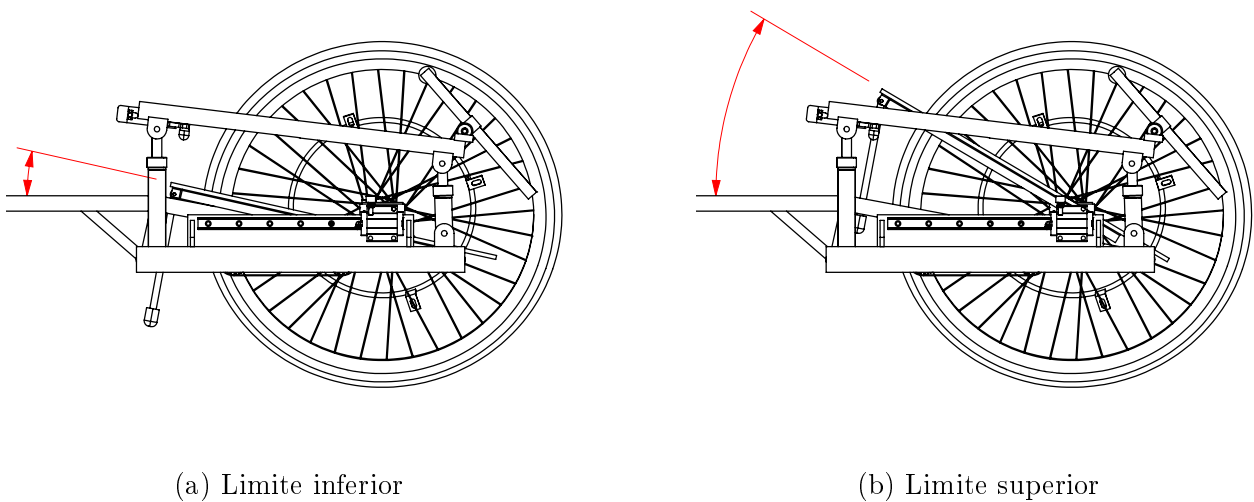


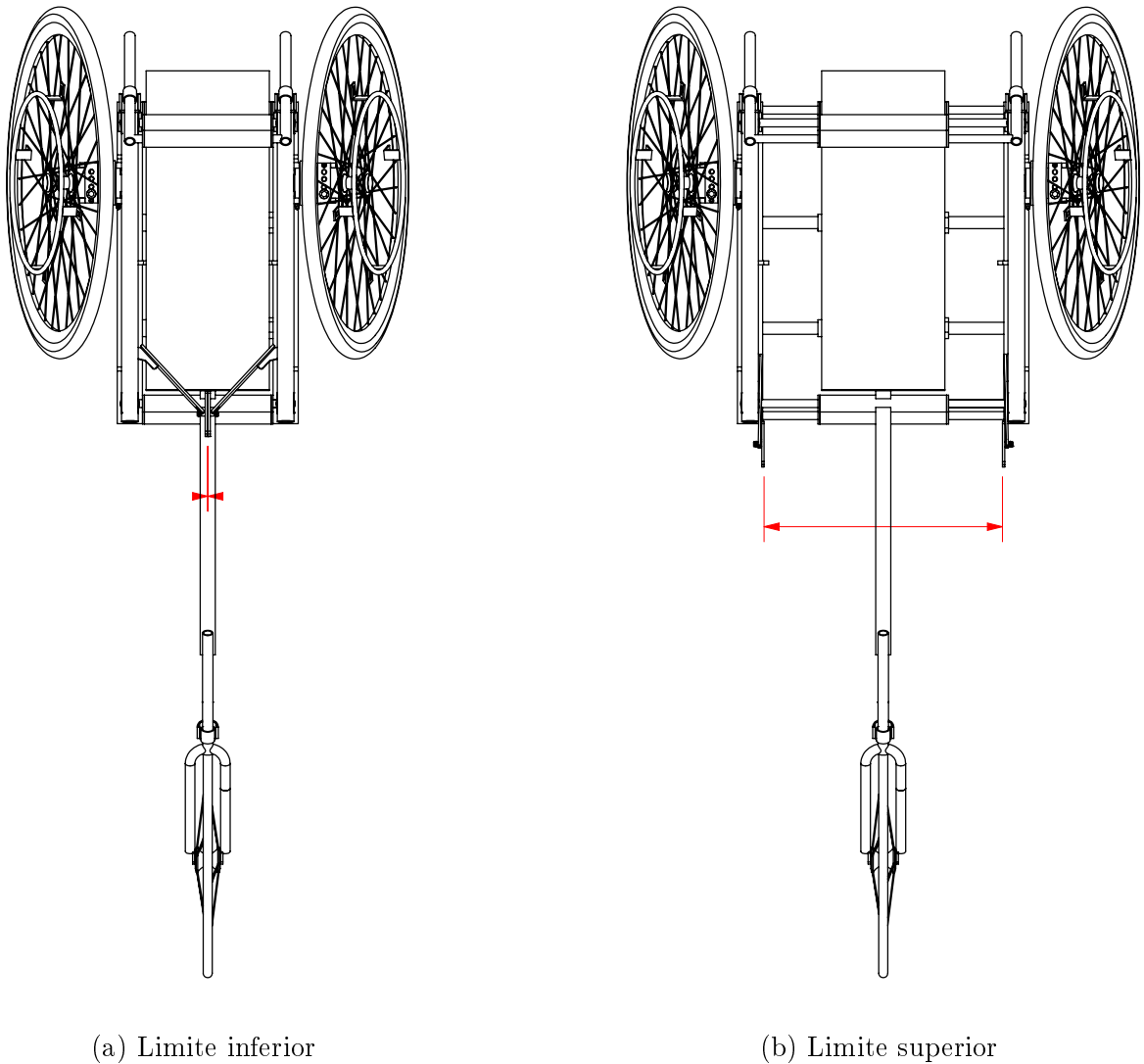
Figura 4.17 – Inclinação do apoio da perna

Possui variação de 40 graus. Seu limite inferior é de 10 graus (Figura 4.17a), e superior de 50 graus (Figura 4.17b). Possui grau de liberdade que varia rotacionalmente em torno do eixo X. O eixo de rotação desta inclinação se encontra na haste roscada localizada à frente da prancha de apoio. Ao rotacionar esta haste é realizada a variação do ângulo da prancha que está apoiada em uma haste, com eixo longitudinal horizontal, na parte de trás do equipamento de prescrição.

A correta regulagem deste ajuste auxilia a dar maior firmeza e estabilidade ao atleta durante a propulsão da cadeira de rodas de corrida.

#### 4.4.15 Largura do Joelho

Esta variável tem a função de juntar os joelhos e tomar as medidas da largura dos dois joelhos juntos. Esta variação de ajuste pode ser visualizada na Figura 4.18.



(a) Limite inferior

(b) Limite superior

Figura 4.18 – Largura do Joelho

Possui variação de 470 mm. Seu limite inferior é de 0 mm (Figura 4.18a), e superior de 470 mm (Figura 4.18b). Possui grau de liberdade que varia linearmente ao longo do eixo X. Esta largura é considerada de acordo com os joelhos, visto que a largura do quadril é maior do que esta medida, e desta forma ocorre um afunilamento de trás para frente, considerando a largura do quadril para a largura dos joelhos.

O ajuste da largura do Joelho para ficar na medida justa (mínima possível) colabora para a estabilidade do atleta sobre a cadeira de rodas de corrida.

Durante a utilização do equipamento de prescrição será passada uma fita de pano unindo os dois joelhos, para colaborar na utilização deste ajuste.

#### 4.5 Ferramentas Necessárias para Ajustar as Variáveis de Influência

A Tabela 4.4, apresenta uma lista das variáveis de influência e as respectivas ferramentas mecânicas necessárias para realizar a regulagem/alteração de suas medidas. Basicamente, as ferramentas utilizadas são chaves de boca, chaves hexagonais (Allen) e, chave de fenda cruzada (Philips). Algumas variáveis podem ser reguladas de forma manual. Outras podem ser tanto manual, quanto com ferramenta. Assim, na Tabela 4.4, onde está escrito somente **Manual** trata-se de ajustes que não necessitam de nenhuma ferramenta adicional e são feitos apenas com as mãos.

Tabela 4.4 – Ferramentas utilizadas para ajustar as variáveis do Equipamento de Prescrição

Item	Variável de Influência	Ferramenta
1	Assento - Largura	Chave de boca 36 mm
2	Assento - Altura atrás	Manual
3	Assento - Inclinação	Manual
4	Aro de propulsão - Diâmetro	2 Chaves de fenda cruzada PH3 (Philips)
5	Cambagem	2 Chaves hexagonal (Allen) 3/8" (9,525 mm)
6	Centro de gravidade	2 Chaves hexagonal (Allen) 4 mm
7	Encosto - Profundidade	2 Chaves de boca 1/2" (12,7 mm)
8	Encosto - Altura	2 Chaves de boca 1/2" (12,7 mm)
9	Garfo - Altura	Chaves de boca 1/2" (12,7 mm) e uma 19 mm
10	Garfo - Inclinação	2 Chaves de boca 1/2" (12,7 mm) e uma 19 mm
11	Tubo Principal - Inclinação	Chaves de boca 1/2" (12,7 mm) e 19 mm
12	Comprimento do tubo principal	Chaves de boca 14 e 17 mm
13	Apoio da perna - Inclinação	Manual e Chave de boca 1" (25,4 mm)
14	Largura do joelho	Manual e Chave de boca 19 mm

#### 4.6 Aferição dos Instrumentos de Medição do Equipamento de Prescrição de Cadeira de Rodas de Corrida

O equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida é provido de ajustes parametrizados que utilizam instrumentos de medição, apropriados para garantir a máxima precisão e exatidão das avaliações realizadas utilizando o equipamento de prescrição. Em virtude disso, é proposto a realização de procedimentos de calibração destes instrumentos. A

realização destas calibrações demanda um tempo estimado em aproximadamente 50 minutos, mas pode variar de 30 a 60 minutos dependendo das condições prévias do equipamento.

O equipamento de prescrição é dotado de 14 regulagens independentes com dispositivos de medição próprios a cada uma. Além disso, possui um sistema de ciclocomputador para medições junto à roda dianteira. Ciclocomputadores são instrumentos utilizados em bicicletas e cadeiras de rodas de corrida. Quando foram inventados sua função era registrar o número de voltas das rodas e converter isso em distância percorrida (era chamado de ciclômetro). Atualmente, os ciclocomputadores registram um número maior de informações como, distância percorrida, velocidade média, máxima e mínima, tempo, percurso, e outras informações.

Para realizar a calibração dos dispositivos e ajustes parametrizados, é necessário estar munido de niveladores, goniômetro, régua graduada e trena. Com estes instrumentos é possível fazer as aferições dos dispositivos instalados no equipamento.

Nos casos de ajustes que descrevem grau de liberdade linear ao longo de algum eixo ou plano, os dispositivos de medição podem ser aferidos e calibrados utilizando uma régua ou trena graduada (de preferência milimetrada), e deve ser feita a equiparação das leituras com seus instrumentos.

Para os ajustes de graus de liberdade caracterizados por rotações em torno de algum eixo, as calibrações devem ser feitas com a ajuda de goniômetros e niveladores, onde os dispositivos de medição instalados no equipamento de prescrição, devem ser ajustados para rotação ou inclinação nula. Os dispositivos do tipo inclinômetro devem ser equiparados com as medições do goniômetro.

A aferição do ciclocomputador deve ser feita associada à trajetória percorrida pela circunferência da roda dianteira.

O ciclocomputador já vem com um sistema próprio de aferição de fábrica. Para realizar a aferição da sua medição de velocidade, basta aferir a velocidade média. Para isso os registros devem ser reiniciados (reset) e contados a partir de um marco inicial posicionado em um ponto zero da roda. Depois disso, iniciar um giro completo na roda correspondente ao perímetro dela, que descreverá uma distância linear ( $\Delta d$ ) e, ao mesmo tempo cronometrar o tempo para se realizar este giro. A distância percorrida pelo tempo cronometrado é o que determinará a velocidade média, a qual deverá ser compatível com o valor registrado pelo ciclocomputador (Figura 4.19).



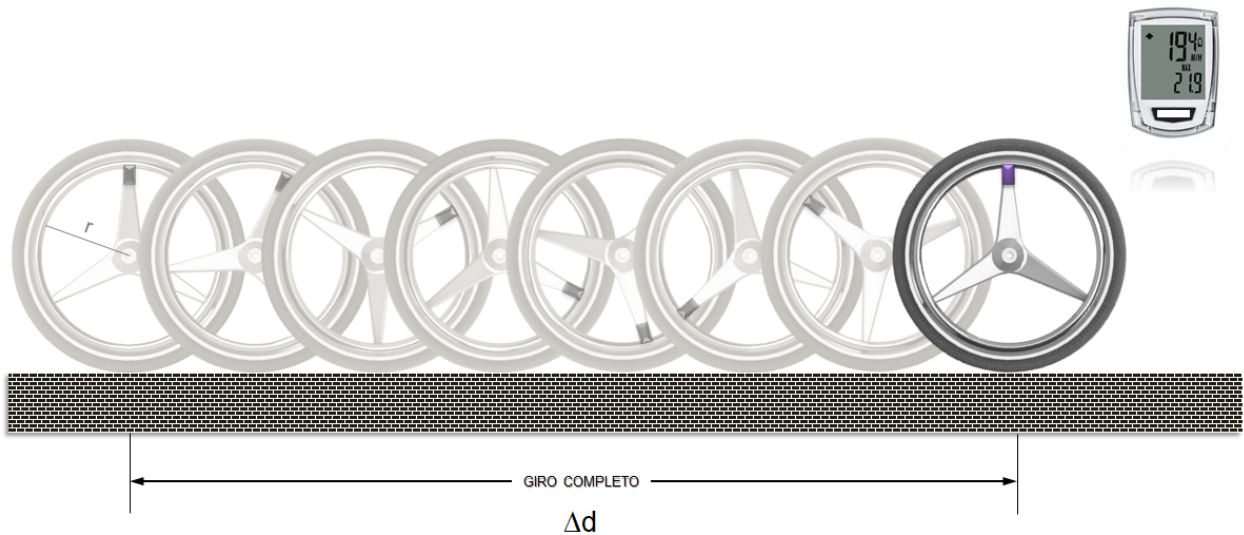


Figura 4.19 – Calibração dos ciclocomputadores na roda pela distância percorrida em relação ao tempo .

Fonte: (CARDOSO, 2020)

Cada dispositivo verificado (aferido) deve ser monitorado por meio de uma lista de verificação para garantir que todos os dispositivos foram devidamente calibrados.

Dessa forma, na Figura 4.20 é apresentado o modelo do *check-list* utilizado na conferência das calibrações realizadas com os dispositivos de medição instalados no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

<i>Check-list</i> de conferência das calibrações dos instrumentos de medição do CRWheel		
Item	Conferido	Instrumento
A	<input type="checkbox"/>	Régua graduada da largura do assento
B	<input type="checkbox"/>	Régua graduada da altura do assento
C	<input type="checkbox"/>	Inclinômetro de esfera da inclinação do assento
D	<input type="checkbox"/>	Inclinômetro de esfera da cambagem
E	<input type="checkbox"/>	Régua graduada do centro de gravidade
F	<input type="checkbox"/>	Régua graduada de profundidade do assento
G	<input type="checkbox"/>	Régua graduada de comprimento da cadeira
H	<input type="checkbox"/>	Inclinômetro de esfera do apoio da perna
I	<input type="checkbox"/>	Inclinômetro de esfera da inclinação do garfo
J	<input type="checkbox"/>	Régua graduada da altura do garfo
K	<input type="checkbox"/>	Inclinômetro de esfera da inclinação global da estrutura
L	<input type="checkbox"/>	Ciclocomputador de distância percorrida e velocidade

Figura 4.20 – *Check-list* de apontamento das calibrações dos instrumentos de medição do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Verifica-se na 4.21 é apresentado um esquema diretamente relacionado com o *check-list* apresentado na Figura 4.20, onde são indicados os posicionamentos de cada item/dispositivo

de medição utilizado no equipamento de prescrição.

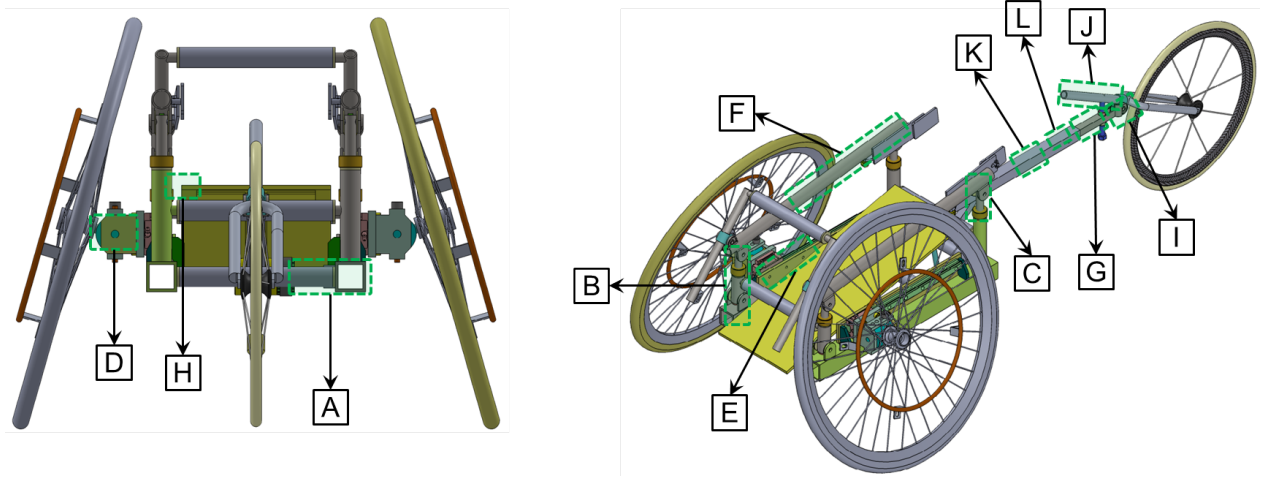


Figura 4.21 – Calibração dos instrumentos de medição do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

#### 4.7 Resultados da Modelagem por Elementos Finitos da Cadeira de Rodas de Corrida Parametrizada

O projeto estrutural da cadeira de rodas de corrida foi validado utilizando a modelagem por elementos finitos considerando os níveis de tensão. Nota-se pela Figura 4.22 que a máxima tensão equivalente de von-Mises a que a estrutura foi submetido é da ordem de 170,6 MPa. Esta tensão é 62% da tensão de escoamento do alumínio 6061-T6 (276 MPa) e está localizada em uma pequena área, onde o movimento de compressão do alumínio gera encruamento modificando a estrutura cristalina do material e com a recristalização causa o aumento das discordâncias na estrutura cristalina e, conseqüentemente, aumenta a resistência neste ponto. Além disso, a carga aplicada na análise está superdimensionada de forma a garantir um ganho de segurança nos resultados. Além disso, como é possível verificar pela figura, onde foi aplicado o material ABS as tensões são da ordem de, pelo menos, 50% menores que a tensão de escoamento deste material, e por conseqüência também está seguro.

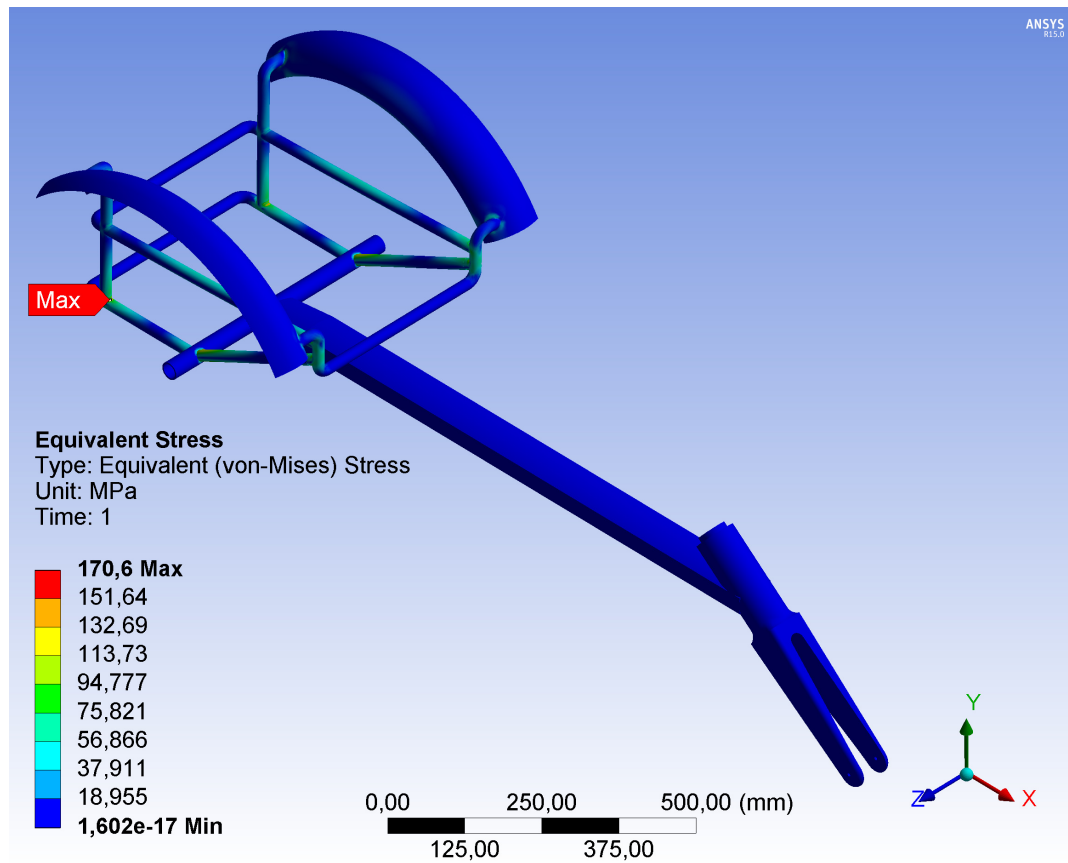


Figura 4.22 – Ilustração do resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita na estrutura da cadeira de rodas de corrida.

Como pode ser visto na Figura 4.23 o deslocamento máximo foi de 4,2 mm, e ocorreu na região mais afastada do para-lama. Segundo Cardoso (2020) há uma estimativa de que os deslocamentos mais críticos se iniciam a partir de 3,0 mm. Porém, neste caso o ponto de deslocamento máximo pode ocorrer com determinada facilidade em virtude da flexibilidade existente nesta peça em específico.

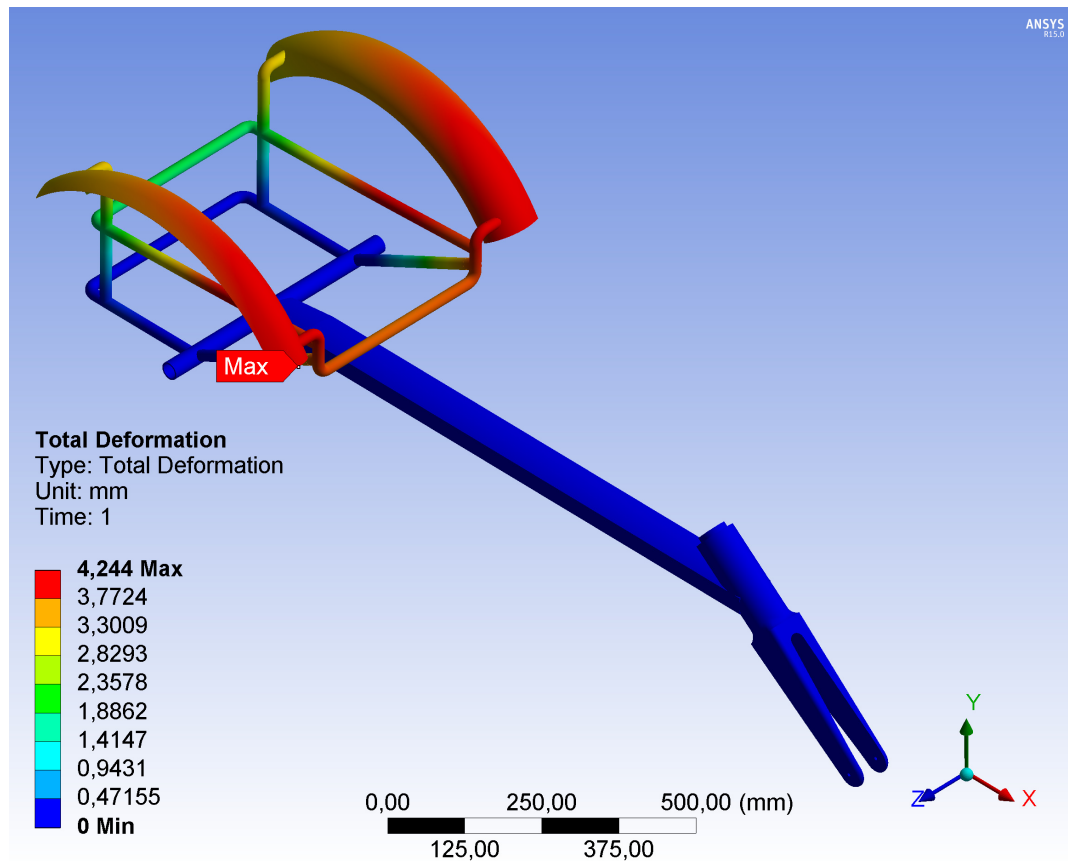


Figura 4.23 – Ilustração do resultado obtido para o deslocamento na estrutura da cadeira de rodas de corrida.

#### 4.8 Resultados da Modelagem por Elementos Finitos do Equipamento de Prescrição

As estruturas analisadas para o equipamento de prescrição apresentaram resultados satisfatórios em relação à tensão resultante na análise pelo método dos elementos finitos.

Nota-se na Figura 4.24 da estrutura do suporte traseiro do assento, que a máxima tensão equivalente de von-Mises a que a estrutura foi submetido é da ordem de 13,8 MPa. O limite de escoamento do aço é 210 MPa. Assim, esta tensão é quinze vezes menor do que a tensão limite de escoamento. Dessa forma, é possível considerar que a estrutura irá suportar com folga as tensões à que será submetida.

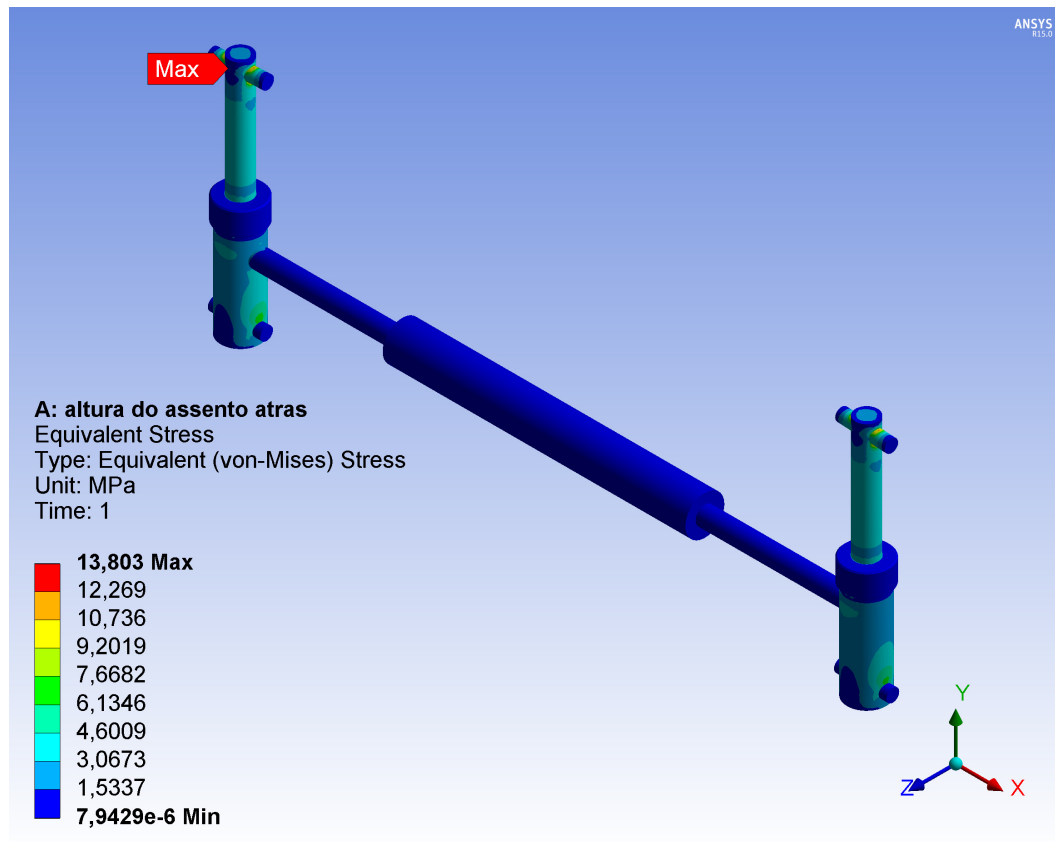


Figura 4.24 – Representação gráfica das tensões equivalentes de von-Mises no suporte traseiro do assento.

Como pode ser visto na Figura 4.25 o deslocamento máximo no suporte traseiro do assento foi de 0,007 mm ( $7 \mu\text{m}$ ). Este deslocamento é pequeno o suficiente para ser menor que os 3,00 mm considerados críticos, conforme citado por Cardoso (2020).

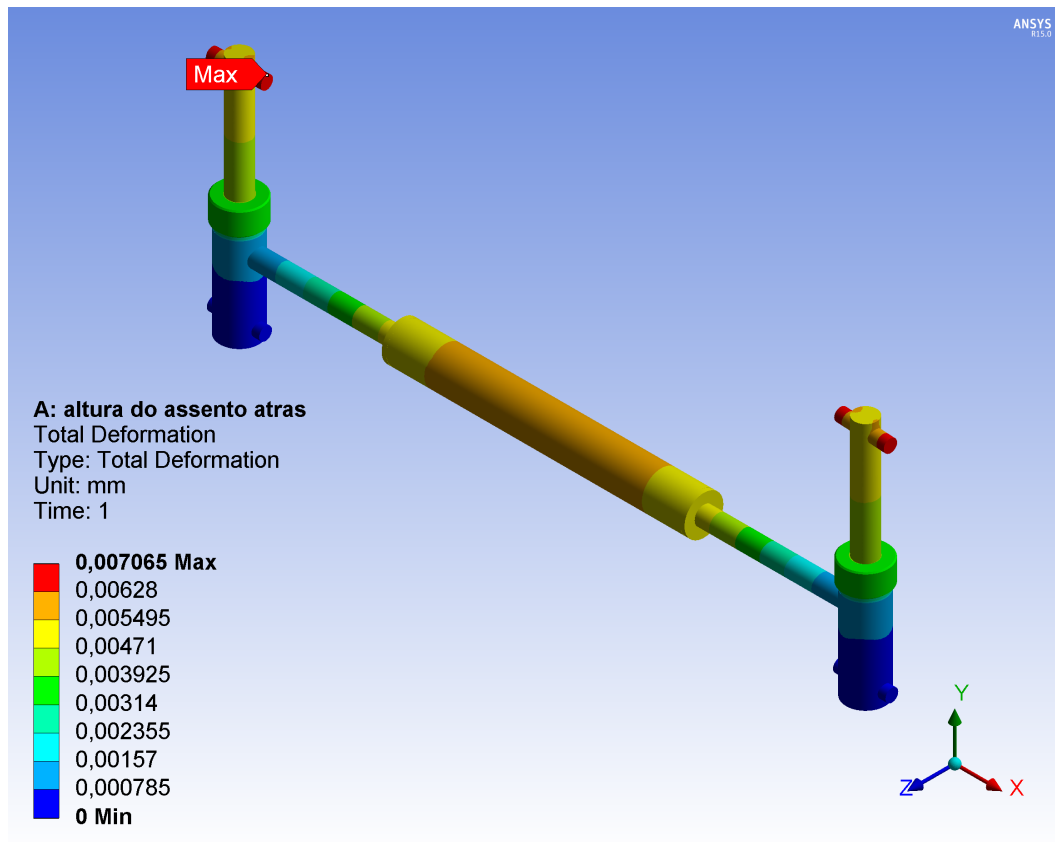


Figura 4.25 – Representação gráfica do deslocamento com deformação no suporte traseiro do assento.

É possível verificar na Figura 4.26 que esta apresenta os resultados para as tensões equivalentes de von-Mises, conforme simulado no *software* de elementos finitos. Neste caso a tensão máxima encontrada foi de 38,16 MPa em um ponto pequeno na estrutura. Como estas barras são de Aço SAE 1020, sua tensão limite de escoamento é de 210 MPa. Assim, a tensão máxima é 5,5 vezes menos que a tensão limite de escoamento do material. Considerando que a carga aplicada está superdimensionada, é possível afirmar que a estrutura suporta os carregamentos previstos na modelagem.

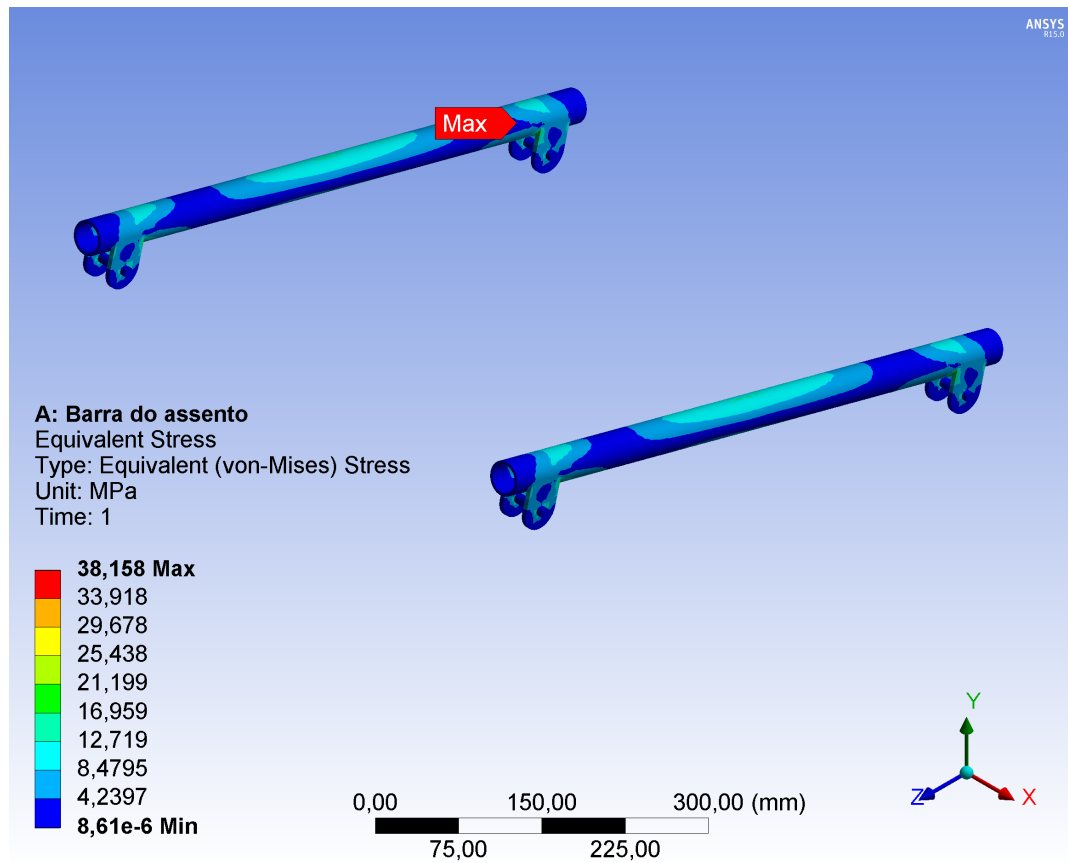


Figura 4.26 – Ilustração do resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita nas barras do assento do equipamento de prescrição.

Verifica-se na Figura 4.27 o deslocamento máximo nas barras do assento ensaiadas pelo MEF, onde o maior valor foi de 0,079 mm (79  $\mu$ m). Este deslocamento é menor que os 3,00 mm considerados críticos.

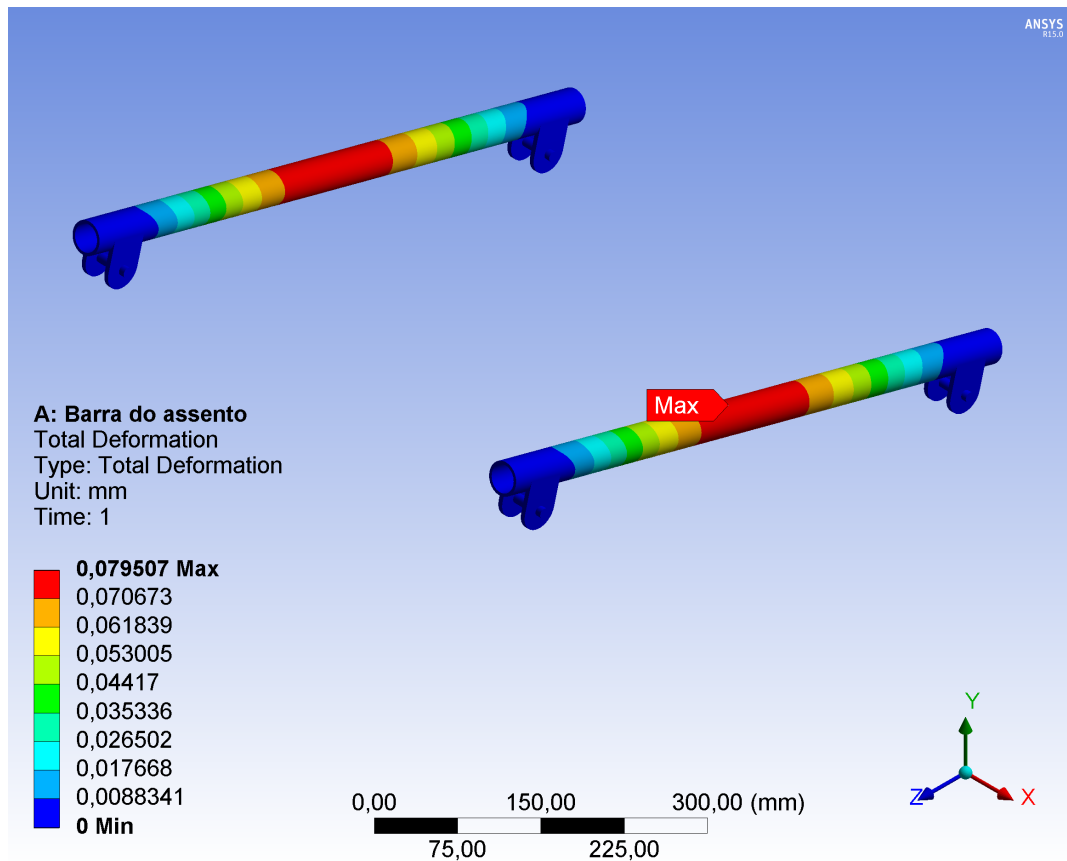


Figura 4.27 – Ilustração do resultado obtido para o deslocamento estrutural na análise feita nas barras do assento do equipamento de prescrição.

Verifica-se na 4.28 os níveis das tensões equivalentes de von-Mises para a estrutura de base do equipamento de prescrição, conforme simulado no software de elementos finitos. Neste caso a tensão máxima encontrada foi de 100,03 MPa nos furos onde são apoiadas os cubos de cambagem da roda traseira. Esta tensão é 2,1 vezes menor que a tensão limite de escoamento do material (Aço SAE 1020). Assim, é possível notar que a tensão máxima a que este material pode ser submetido ficará abaixo do limite de escoamento, permanecendo na região elástica do material.



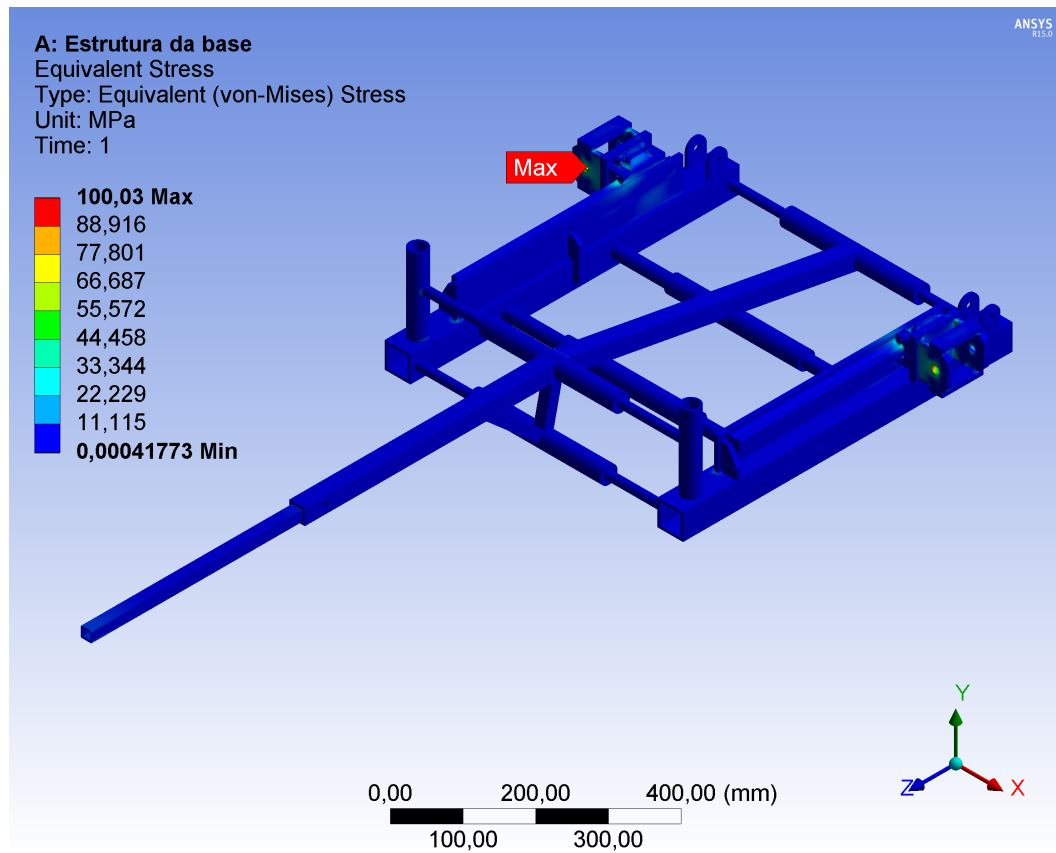


Figura 4.28 – Representação gráfica das tensões equivalentes de von-Mises na estrutura de base do equipamento de prescrição

Verifica-se na Figura 4.29 o deslocamento máximo na estrutura de base do equipamento de prescrição. O resultado ocorreu conforme o esperado, visto que o apoio das rodas (centro de gravidade) foi posicionado totalmente para trás, fazendo com que houvesse uma maior flexão na barra do tubo quadrado que vai até o garfo dianteiro. No entanto, apesar de ter ocorrido esta flexão, ela foi relativamente baixa, ficando com um valor máximo de 0,28 mm, o que é aproximadamente 10 vezes menor que os 3,00 mm adotados como sendo críticos.

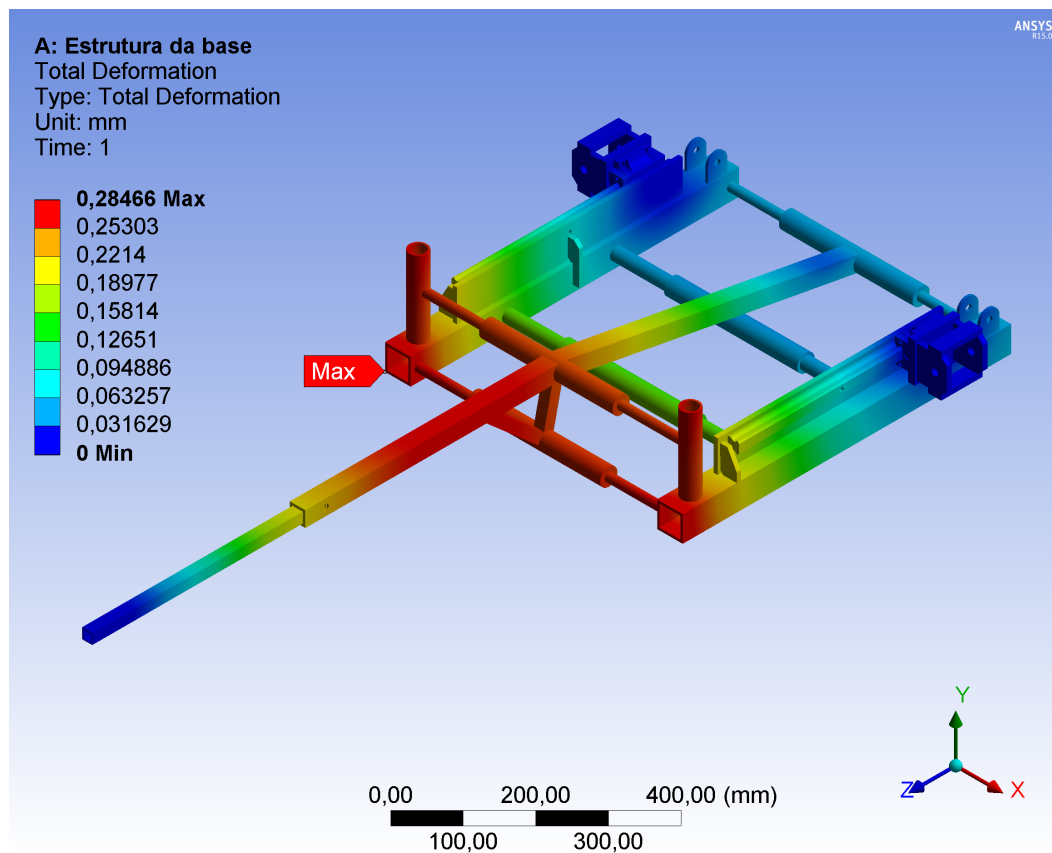


Figura 4.29 – Representação gráfica do deslocamento com deformação na estrutura de base do equipamento.

#### 4.9 Patentes

Como resultado deste trabalho, há dois pedidos em processo de depósito junto à Agência Intelecto da Universidade Federal de Uberlândia. Sendo um pedido para o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida, o qual tem como uma das novidades o fato de ser apoiado sobre rodas no solo e poder utilizar estas rodas para se locomover, diferente da versão anterior desenvolvida no mestrado, que tinha rodas, porém estas giravam livremente suspensas sobre uma plataforma apoiada no chão. Esse pedido está apresentado no Apêndice B.

O outro pedido de patente refere-se à nova cadeira de rodas de corrida. Que possui como inovação partes dos seus componentes desenvolvidos para serem construídos utilizando manufatura aditiva (Apêndice C).

## 4.10 Processo de Parametrização

### 4.10.1 Geração de uma Nova Cadeira de Rodas a Partir das Configurações Criadas

A geração do modelo de cadeira de rodas de corrida personalizada deve ocorrer utilizando as variáveis de influência contidas na Tabela 4.2. Após realizar os testes de prescrição com o atleta e definir as dimensões da nova cadeira, deve-se acessar dois modelos para gerar os novos desenhos com a inserção das novas medidas. A denominação dos dois modelos é a seguinte:

- **CAD II montada.SLDASM**, é o desenho do conjunto completo;
- **CAD II.SLDPRT**, é o desenho da estrutura principal (quadro) do equipamento;

No modelo **CAD II montada.SLDASM** é possível realizar os ajustes nas medidas do diâmetro do aro de propulsão e da inclinação da cambagem das rodas traseiras. E no modelo **CAD II.SLDPRT** são feitos os ajustes nas medidas das outras dimensões, sendo estas a largura do assento, o centro de gravidade, a altura do assento atrás, a inclinação do assento (alterada com a variação da altura do assento na frente), a profundidade do encosto, o comprimento da cadeira (pela variação do comprimento do tubo principal da cadeira), a inclinação do apoio da perna, a altura e inclinação do garfo e, conseqüentemente, a inclinação global da estrutura da cadeira de rodas de corrida. Verifica-se na Figura 4.30 a estrutura da cadeira ajustada automaticamente utilizando o processo de inclusão das dimensões obtidas na prescrição.

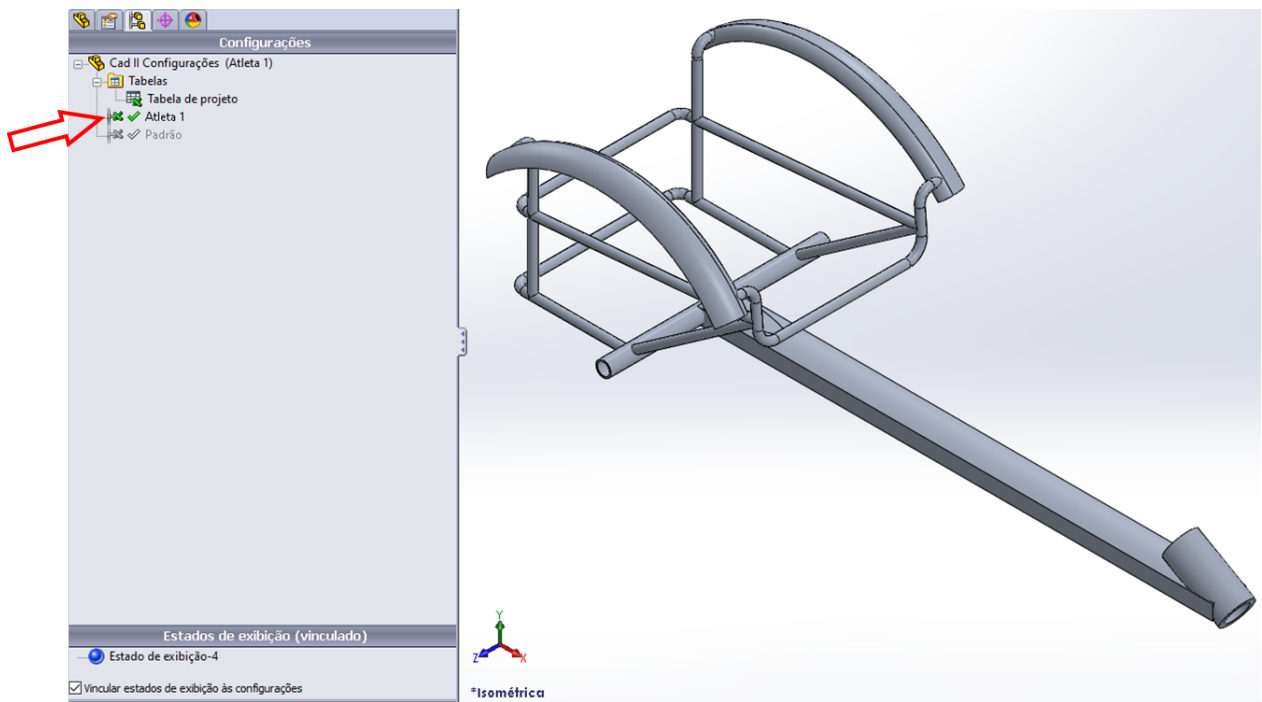


Figura 4.30 – Nova configuração **Atleta 1** assumida pela estrutura da cadeira de rodas de corrida parametrizada.

Existem dois parâmetros de ajuste do garfo, (inclinação e altura), quando estes dois parâmetros são alterados, conseqüentemente, uma terceira medida é alterada quando se modificam estas duas dimensões, que é a **inclinação do tubo principal** (ou inclinação da estrutura global da cadeira de rodas de corrida). Assim, esta dimensão (inclinação da cadeira de rodas de corrida) é interdependente destas outras duas dimensões.

Dentre as 14 configurações disponíveis nesta versão do equipamento de prescrição, duas são discretas, ou seja, suas dimensões são predefinidas e fixas. Estas duas configurações são a cambagem e o diâmetro do aro de propulsão. Dessa forma, a cambagem está dividida em sete ângulos diferenciados a cada um grau, iniciando pelo ângulo de 10 graus até 16 graus, ver Tabela 4.5.

Verifica-se na Figura 4.31 a configuração do diâmetro do aro de propulsão.

Tabela 4.5 – Tabela de projeto da cambagem das rodas traseiras na cadeira de rodas de corrida.

Tabela de projeto de: Cad II - Inseto cambagem	
	Cambagem@Esboço2
10 graus	10
11 graus	11
12 graus	12
13 graus	13
14 graus	14
15 graus	15
16 graus	16

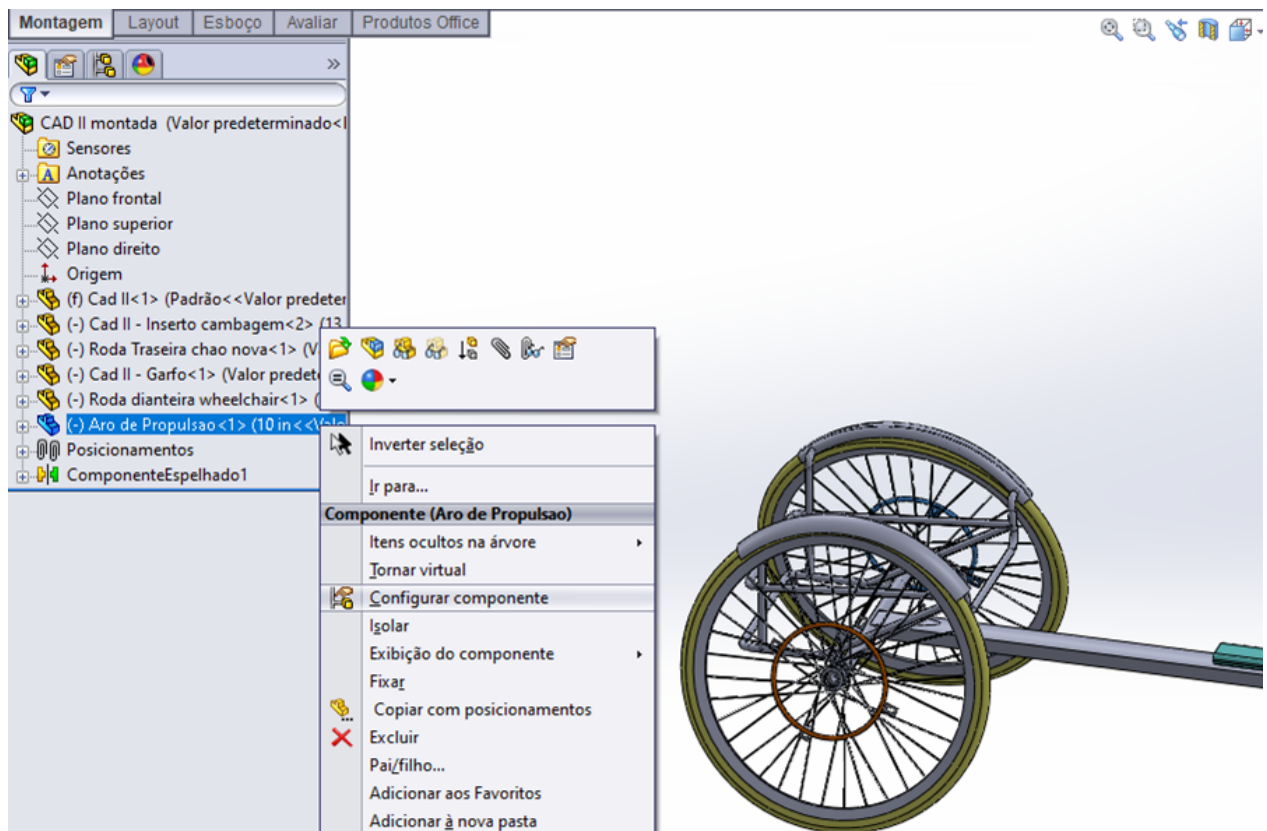


Figura 4.31 – Modificar Configurações para o diâmetro do aro de propulsão.

#### 4.10.2 Parametrização da Cadeira de Rodas de Corrida

A cadeira de rodas de corrida foi desenvolvida em um modelo parametrizado, o qual possibilita realizar ajustes precisos em seu escopo. Este modelo incorpora as medidas físicas antropométricas do atleta aos contornos estruturais da cadeira de rodas de corrida, replicando um modelo com uma estrutura personalizada às necessidades e ao melhor desempenho, acomodação e conforto do indivíduo.

O modelo da cadeira de rodas de corrida está apresentado na Figura 4.32, onde é mostrada uma visualização geral do equipamento montado com os acessórios (exceto estofamentos, para melhor visualização geral), e ao lado direito da figura vemos a estrutura geral ilustrada com algumas das dimensões parametrizadas.

O modelo de cadeira de rodas de corrida apresentado fornece uma experiência de personalização única e exclusiva, sendo diretamente relacionada com a prescrição pelo equipamento de prescrição e a cadeira de rodas de corrida personalizada.

Verifica-se na Tabela 4.6 a parametrização relacionada com as variáveis mostradas na Figura 4.33.

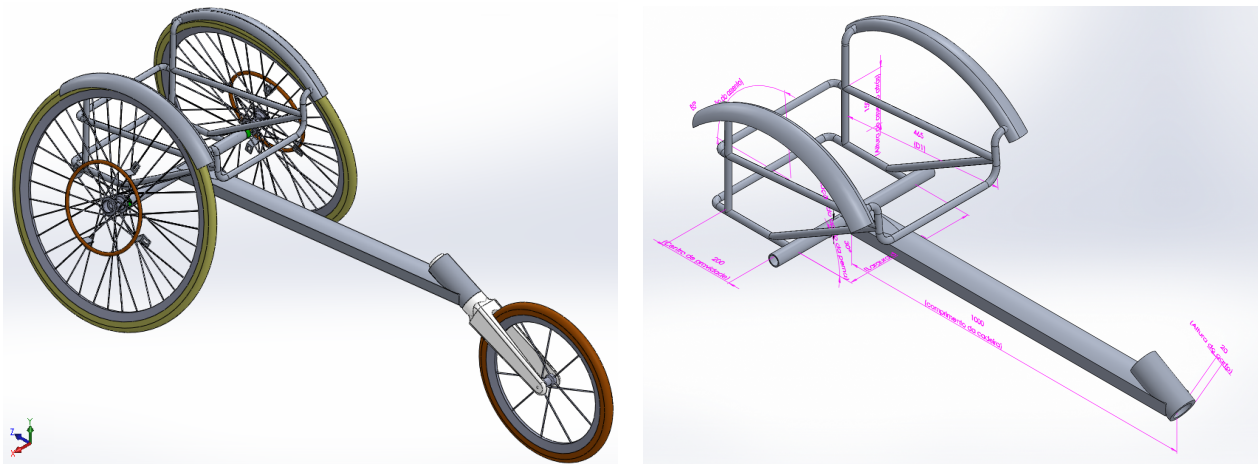


Figura 4.32 – Parametrização da Cadeira de Rodas de Corrida

Pode ser visto na Figura 4.33 que os parâmetros de ajuste dimensional da cadeira de rodas de corrida estão sendo visualizados de acordo com o seu plano de referência. Verifica-se, ainda, nesta figura que foram inseridos os parâmetros de ajuste da cadeira de rodas de corrida personalizada para a estrutura do assento e da parte frontal da cadeira (itens A ao J), para o aro de propulsão (item K) e para o inserto de cambagem (item L).

Tabela 4.6 – Parametrização do Projeto

Item	Dimensão Parametrizada	Unid	LI	LS	$\Delta$	GDL's (eixo)
A	Largura do assento	cm	26	48	22	Linear ao X
B	Altura do assento	cm	13	20	7	Linear ao Y
C	Inclinação do apoio da perna	graus	10	50	40	Rotacional em X
D	Centro de gravidade	cm	0	32	32	Linear ao Z
E	Comprimento do tubo frontal	cm	80	130	50	Linear ao Z
F	Altura do garfo	cm	2	18	16	Linear ao YZ
G	Afastamento das rodas traseiras	cm	5	15	10	Rotacional em X
H	Inclinação do assento	grau	0	15	15	Rotacional em X
I	Profundidade do assento	cm	32	67	35	Linear ao Z
J	Inclinação do garfo	grau	30	60	30	Rotacional em X
K	Diâmetro do aro de propulsão	cm	25,4	40,6	15,2	Linear ao ZY
L	Cambagem	grau	10	16	7	Linear ao XY

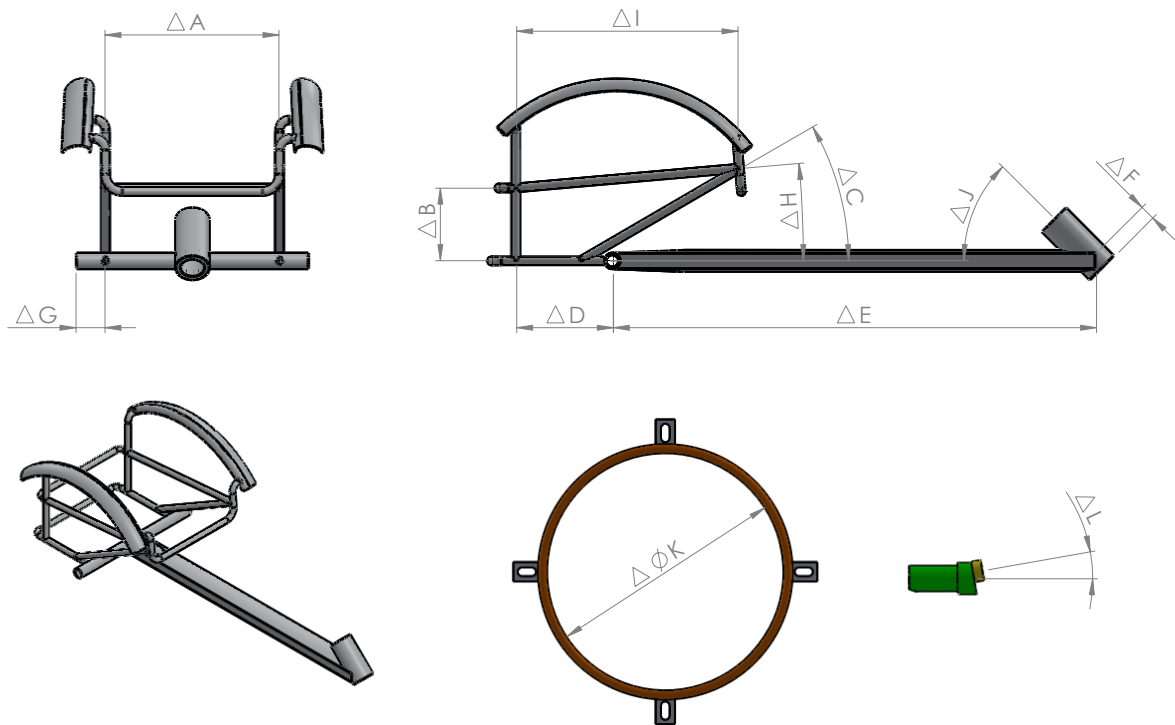


Figura 4.33 – Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida.

Verifica-se na Figura 4.33 que são ilustradas as parametrizações configuradas para as medidas da cadeira de rodas de corrida, conforme explicado mais em detalhes nos itens a seguir:

- Largura do assento ( $\Delta A$ ), o qual assume uma variação de 22 cm;
- Altura do assento ( $\Delta B$ ), ajustado a partir do eixo das rodas traseiras, o qual assume uma variação de 7 cm;
- A inclinação do apoio da perna ( $\Delta C$ ), possui variação angular de 40 graus;
- O centro de gravidade ( $\Delta D$ ) pode variar ao longo do comprimento do assento (profundidade do assento), e compreende a distância entre o encosto e o eixo da roda traseira, possuindo, em geral, um alinhamento relacionado ao ponto de equilíbrio do atleta. Possui variação de 32 cm;
- O comprimento do tubo frontal ( $\Delta E$ ) varia do eixo da roda traseira até o garfo e, possui variação de 50 cm;
- A altura do garfo ( $\Delta F$ ) compreende uma variação de 16 cm;
- O afastamento das rodas traseiras ( $\Delta G$ ) compreende a distância entre o cubo da roda e o quadro da cadeira de rodas de corrida e, possui variação de 10 cm;
- A inclinação do assento ( $\Delta H$ ) possui variação angular de 15 graus;
- A profundidade do assento ( $\Delta I$ ), que está relacionada ao comprimento do fêmur do atleta, possui variação de 35 cm;
- A inclinação do garfo ( $\Delta J$ ) possui variação de 30 graus;
- O diâmetro do aro de propulsão ( $\Delta K$ ) está relacionado ao seu tamanho em polegadas, assim, possui 4 possibilidades de tamanho, sendo 10, 12, 14 e 16 polegadas (25,4 cm, 30,5 cm, 35,6 cm e 40,6 cm, respectivamente);
- O parâmetro da cambagem ( $\Delta L$ ) também possui variações em 7 possibilidades entre 10 e 16 graus, variando a cada um grau.

#### 4.11 Montagem do Equipamento de Prescrição de Cadeiras de Rodas de Corrida

O equipamento de prescrição de cadeiras de rodas de corrida foi construído utilizando como matérias primas o aço SAE 1020. Algumas peças, como porcas manuais recartilhadas e buchas, foram feitas de latão. E outras peças onde haveria movimento de deslizamento entre peças, foram utilizadas buchas de nylon (technyl). O technyl também foi utilizado para fazer ponteiros de acabamentos dos tubos, com a função de tampar os tubos para fornecer maior segurança e para dar acabamento estético. As peças em aço foram galvanizadas, por meio do processo de galvanização por imersão a quente (galvanização a fogo). Além disso, foram



utilizados acessórios, como parafusos, porcas e arruelas de aço, blocagem de alumínio, rodas de alumínio com pneus e câmara de ar, rolamentos em aço, freio com peças de alumínio e cabo de aço, entre outros. Verifica-se na Figura 4.34 o equipamento montado, ainda sem os estofamentos.



Figura 4.34 – Equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida montado sem os estofamentos

Verifica-se na Figura 4.35 o equipamento montado com os estofamentos. A peça do apoio da perna, por exemplo, que é feita de madeira e revestida com espuma vinílica acetinada (EVA), espuma de assento e couro sintético, colados com cola de sapateiro. O assento de espuma também é feito por espuma revestida de EVA e couro sintético, costurados e colados. O assento possui uma fita larga montada em couro sintético e com fitas menores por dentro para dar sustentação. Esta fita do assento possui cintas adesivas de dupla-face em velcro de alta resistência, de forma que isso permite fazer o ajuste da largura do assento e também permite que a peça estofada do assento seja posicionada sobre o velcro de forma a ficar fixa. O equipamento possui cintas atreladas ao estofamento para dar maior segurança e firmeza ao atleta durante os testes. O equipamento completo com todos os acessórios e estofamentos apresentou uma massa de 59,2 kg.



Figura 4.35 – Equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida montado com os estofamentos

Após o equipamento ter sido montado e estofado, foram instalados os dispositivos de medição. O equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida foi provido de dispositivos medidos de inclinação (inclinômetros e níveis), régua graduada para dimensões lineares, e um ciclocomputador da marca Multilaser modelo Atrio BI043, capaz de fornecer informações, como, a velocidade máxima e média, distância, e tempo.

Foram utilizados dois modelos de régua graduada. Um modelo foi desenhado e impressas em material adesivo. O outro modelo de régua graduada foi obtido em loja de papelaria, régua milimetrada flexível. Os instrumentos de inclinação foram montados a partir de materiais de fácil obtenção no mercado, bem como os níveis de precisão. O ciclocomputador foi obtido em loja de equipamentos para bicicletas. Verifica-se na Figuras 4.36 a 4.39 estes dispositivos de medição instalados em seus devidos lugares. É interessante notar que alguns dispositivos, como inclinômetros, foram afixados utilizando peças feitas por manufatura aditiva em ABS.

Verifica-se na Figura 4.36 os dispositivos de medição instalados na região frontal do equipamento. Nota-se na figura a instalação de dois inclinômetros. O inclinômetro mais à frente é referente ao ângulo de inclinação do garfo. Já o inclinômetro mais atrás é sobre a inclinação global do equipamento. Também há duas régua graduada, uma relativa ao comprimento do garfo e a outra ao comprimento do tubo principal do equipamento. E por fim, ainda neste conjunto, é possível visualizar o ciclocomputador, que está posicionado em um local de fácil acesso e visualização, tanto para o atleta, quanto para o pesquisador que faz os experimentos, inclusive podem ser acompanhadas as informações em tempo real durante a corrida realizada nos testes pelo atleta. Um detalhe interessante, é que o inclinômetro da Figura 4.36 responsável pela inclinação global, pode ser retirado do local e encaixado em outra posição neste tubo, caso seja necessário.

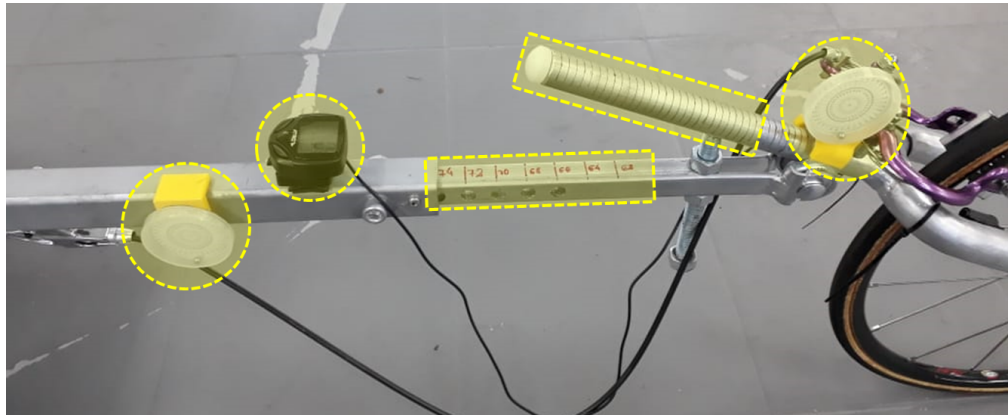


Figura 4.36 – Dispositivos de medição montados na parte frontal do equipamento.

Verifica-se na Figura 4.37 os dispositivos de medição instalados na posição dianteira do assento. É possível visualizar nas posições mais para fora que estão instalados os inclinômetros de verificação do ângulo do assento, e abaixo dos inclinômetros estão as réguas graduadas responsáveis por garantir que o ajuste da altura na frente fique na mesma medida linear nos dois lados do assento. Mais ao centro (abaixo do apoio da perna) está localizado o inclinômetro do apoio da perna. Em uma posição mais baixa do inclinômetro se encontra a régua de verificação da largura do assento e junto à ela um nível para verificar o nivelamento transversal do equipamento de prescrição. Ao lado deste nível e abaixo do tubo quadrado se encontra um outro nível utilizado para verificar o nivelamento longitudinal do equipamento. Estes níveis são úteis, também, na calibração dos inclinômetros presentes na estrutura.

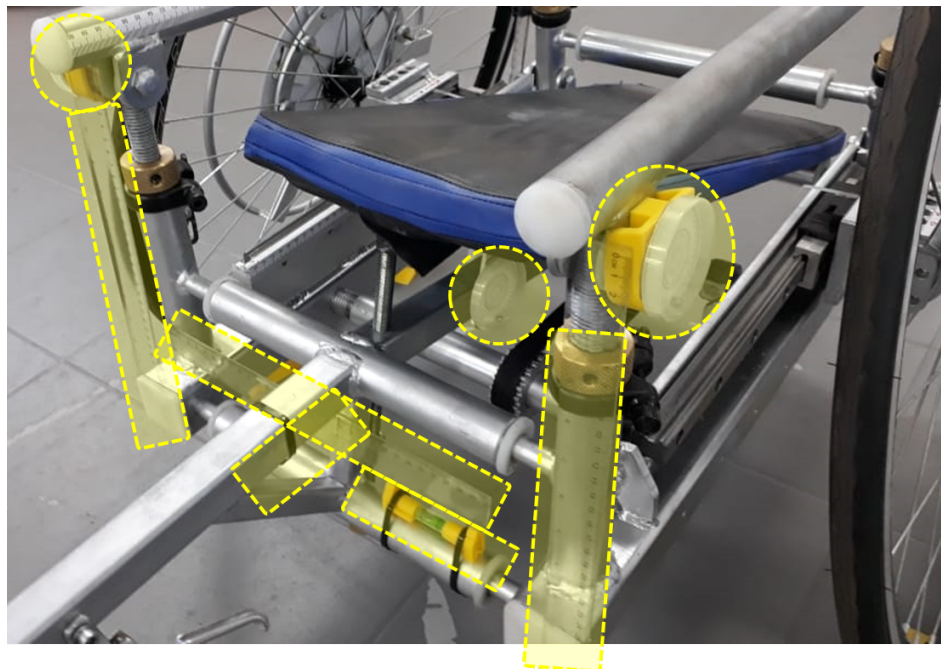


Figura 4.37 – Dispositivos de medição montados na parte intermediária do equipamento.

Verifica-se na Figura 4.38 os dispositivos de medição instalados ao lado do assento. Mais acima é possível verificar a régua graduada responsável por auxiliar a tomada de medidas da posição do assento. Mais abaixo (representada em um retângulo menor) está a identificação dos ângulos de cambagem (discretos). Neste caso, cada furo representa um ângulo. E o retângulo abaixo é a régua que dá a posição do centro de gravidade do eixo das rodas traseiras.

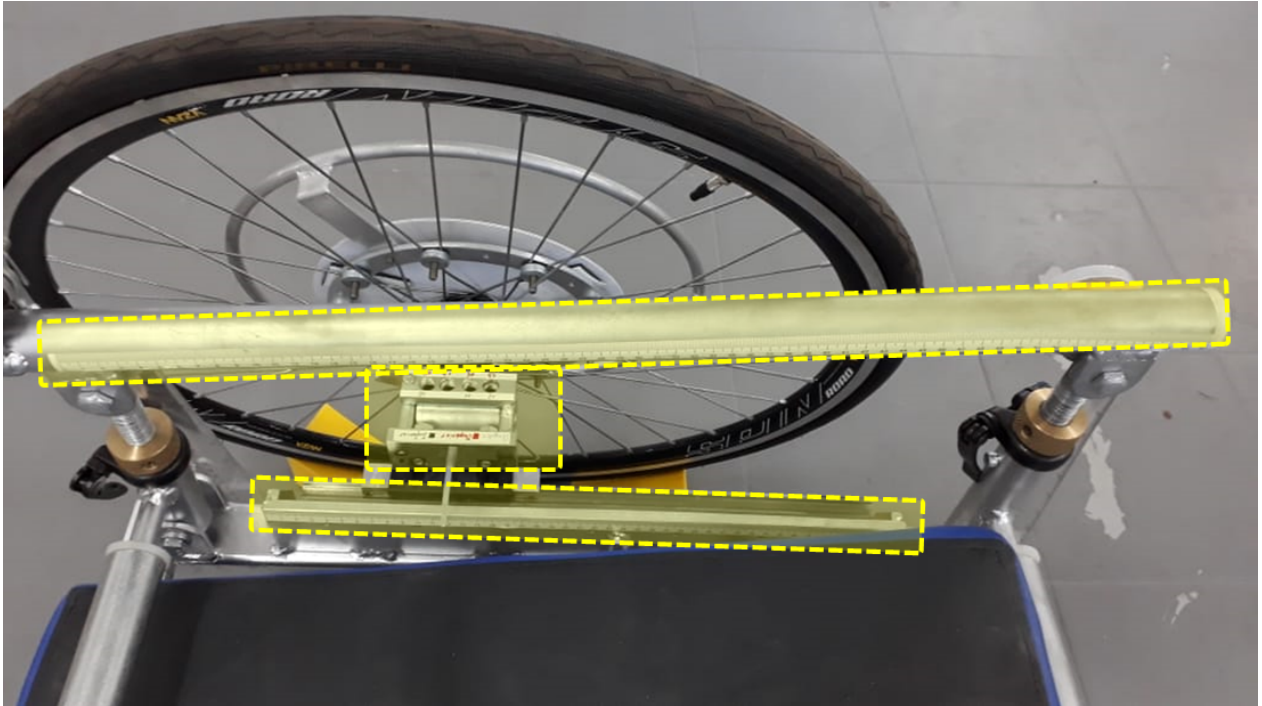


Figura 4.38 – Dispositivos de medição montados na parte intermediária traseira do equipamento.

Verifica-se na Figura 4.39 os dispositivos de medição instalados na parte traseira. Mais a esquerda da figura pode-se ver a régua graduada de posicionamento do encosto traseiro e mais ao lado a régua graduada de verificação e regulagem da altura do assento na parte de trás. Nesta figura o aro de propulsão tem um ponto destacado onde está identificado o diâmetro nominal de cada aro, para melhor identificação no momento da troca durante os testes.

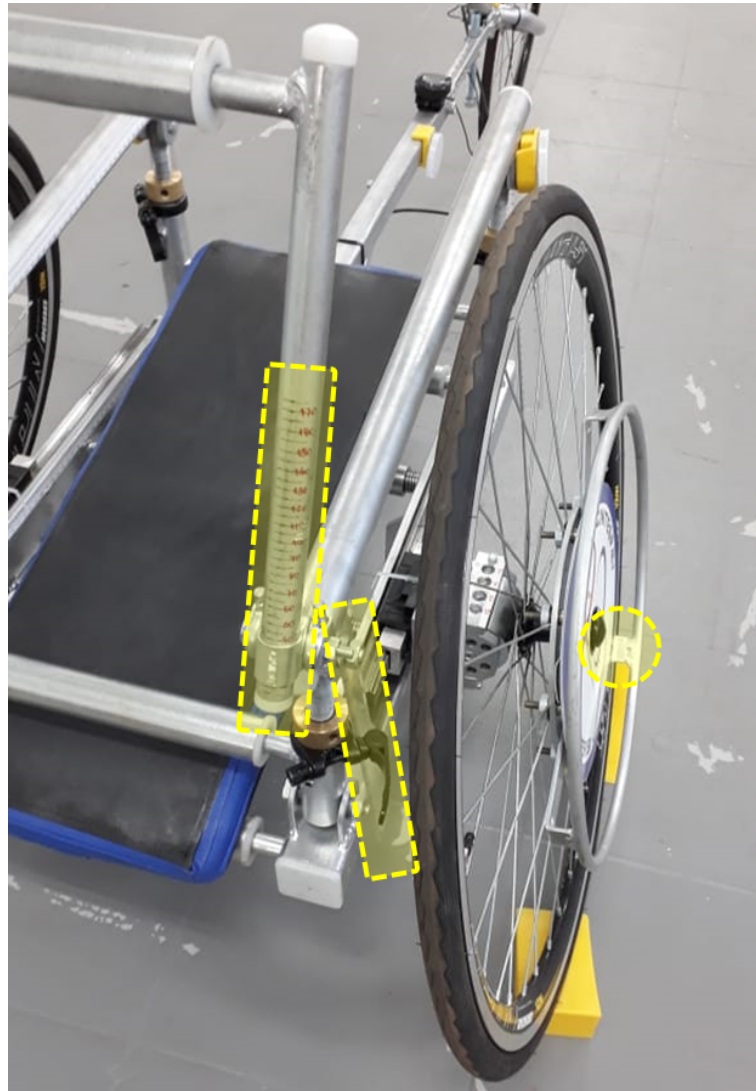


Figura 4.39 – Dispositivos de medição montados na parte traseira do equipamento.

#### 4.12 Personalização de Cadeiras de Rodas de Corrida: Estudos de Casos

Os primeiros testes de prescrição tiveram o objetivo de avaliar, testar e validar a metodologia de prescrição utilizando o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Devido a alguns imprevistos ocorridos com o local adequado para os testes e, também, em virtude da presente pandemia relacionada ao COVID-19, onde diversos cuidados devem ser tomados, decidiu-se por não realizar estes primeiros testes com usuários de cadeira de rodas a fim de evitar expor estas pessoas a um risco maior. No entanto, como forma de validar a utilização do equipamento e, também identificar possíveis melhorias e ajustes para a realização de testes experimentais com usuários de cadeira de rodas, foram realizados testes com voluntários do Centro Brasileiro de Referência em Inovações Tecnológicas para o Esporte Paralímpico (CINTESP.Br/UFU). Estes voluntários são pessoas deambulantes, ou seja que

se movimentam pela força e apoiados sobre suas próprias pernas.

Nos testes experimentais foram verificadas as hipóteses da tese, em especial no que se relaciona ao equipamento de prescrição, onde verificou-se a efetividade do equipamento em simular as condições de posicionamento antropométricos e ergonômicos comuns em cadeiras de rodas de corrida, bem como a sensação de estar utilizando um equipamento onde é possível simular a movimentação deste pelo chão como se fosse a própria cadeira.

Outra validação buscada nestes testes foi a verificação da efetividade dos diversos ajustes inseridos no equipamento e da sua relação com a cadeira parametrizada.

Para a realização dos testes foram seguidos todos os protocolos de teste previstos. Assim, o equipamento foi previamente lubrificado. E higienizado a cada início de um novo teste. Depois todos os dispositivos de medição foram verificados e calibrados de acordo com o procedimento próprio de calibração de cada um. Posteriormente foi preenchida a ficha de anamnese para verificar o histórico de saúde do participante, bem como suas condições de utilização da cadeira de rodas. É importante destacar que qualquer forma de identificação destes é omitida a fim de preservar sua identidade.

Em todos os experimentos foram utilizados diversos dispositivos de segurança para auxiliar nos testes. Verifica-se na Figura 4.40 alguns dispositivos, como o freio do tipo ferradura instalado no pneu dianteiro, o qual é acionado por um cabo ligado a uma manete instalada no tubo principal do equipamento (Fig. 4.40a). Outro dispositivo de segurança é o capacete, indispensável para qualquer atividade física, em especial de velocidade (Fig. 4.40b). Verifica-se na Figura 4.40c os cintos utilizados na cintura do participante e também nos joelhos, os quais evitam quedas em movimentos para frente; nesta figura também está apresentado embaixo das rodas traseiras as cunhas (inseridas no chão dos dois lados do equipamento), utilizadas para travar as rodas traseiras enquanto o equipamento está parado para o participante se ajustar sobre ele, ou por qualquer outro motivo. E por fim, apresentado na Figura 4.40d verifica-se um cavalete utilizado para suspender o equipamento tanto na frente, quanto atrás, de forma que possibilita a realização de diversos ajustes disponíveis no equipamento, principalmente nas partes de baixo deste.

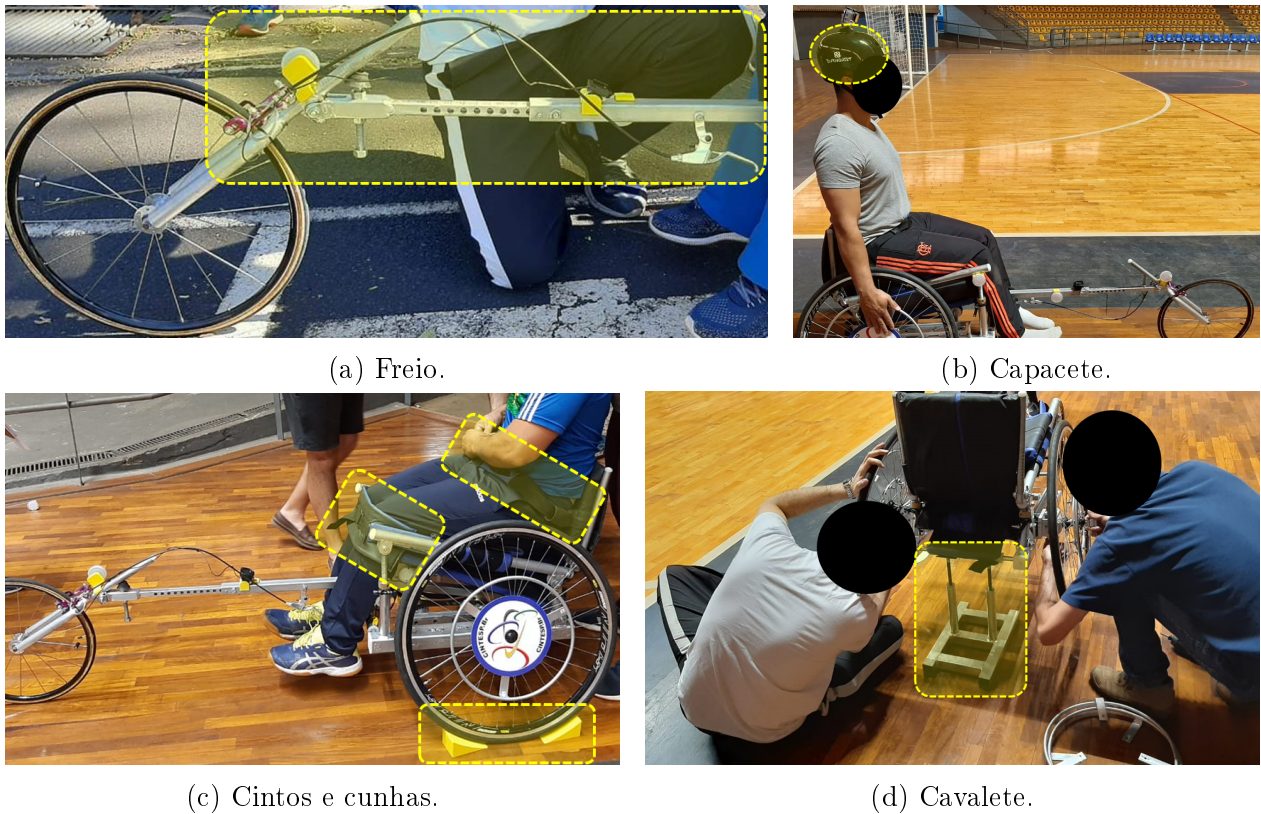


Figura 4.40 – Dispositivos de segurança utilizados durante os experimentos.

O primeiro quatro participantes, apresentados aqui, não são usuários de cadeira de rodas. São pessoas com funções normais dos membros superiores e inferiores e que não possuem deficiências físicas que os levem a utilizar cadeira de rodas. Assim, os testes experimentais realizados com os quatro primeiros participantes não foram levados até a efetiva prescrição da melhor cadeira de rodas de corrida para cada um. Porém, estes testes serviram de base para validar o método utilizado e para se ter uma percepção geral do equipamento, como rigidez, efetividade de funcionamento, efetividade na utilização das regulagens e na variação destas, entre outros.

#### 4.12.1 Estudo de Caso: Participante 1

O primeiro participante a realizar os testes é do sexo masculino possui massa de 72,0 kg e 1,81 m de altura. Conforme mostrado na Figura 4.41, o participante fez os testes sentado no equipamento com as pernas apoiadas no apoio de pernas, ou seja, dobradas para trás.

Este participante não é atleta profissional e pratica esportes ocasionalmente como forma de diversão. É a primeira vez que ele tem uma experiência com uma cadeira de rodas ou equipamento semelhante.

Verifica-se na Figura 4.41 o participante posicionado sobre o equipamento, onde a foto à esquerda apresenta o indivíduo antes de iniciar os testes e a foto à direita mostra o participante durante os movimentos de propulsão do equipamento de prescrição.

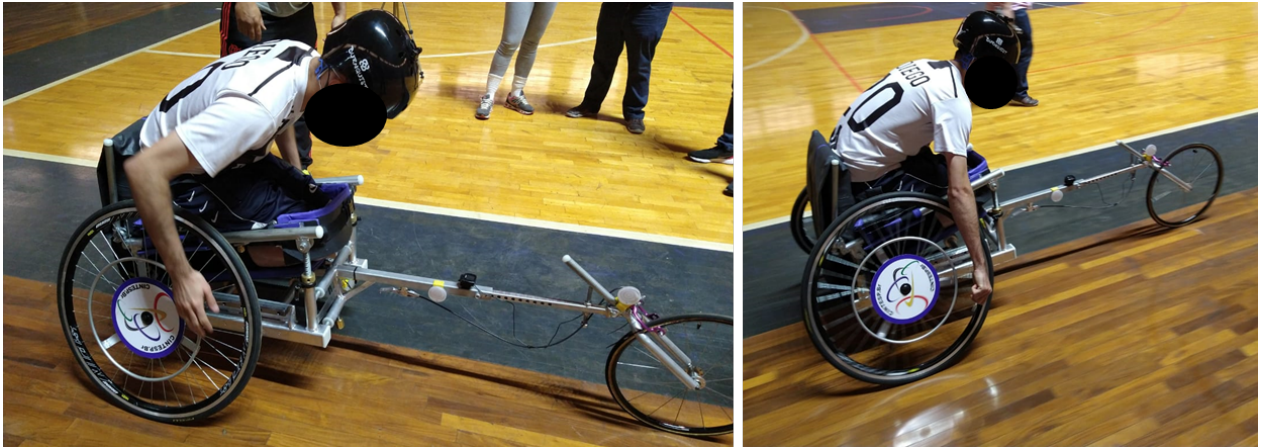


Figura 4.41 – Participante 1 acomodado sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Antes de o participante se acomodar no equipamento, foi feita uma avaliação, com a Ficha de Avaliação, para verificar condições físicas e de saúde do participante. Além disso, foram feitas medidas antropométricas prévias com as quais o equipamento foi ajustado previamente. Assim, ao se acomodar no equipamento, o participante já teve os ajustes da largura do assento e algumas outras configuradas anteriormente. Além disso, alguns ajustes, como a altura do assento é posicionada em sua dimensão máxima antes do início dos testes, de forma que isso permite uma maior facilidade para abaixar durante os ajustes posteriores, mesmo com o participante acomodado no equipamento.

Verifica-se na Figura 4.42 a tabela dos resultados do Formulário de Pesquisa Quali-Quantitativa em vista dos testes experimentais realizados com o Participante 1. No caso deste participante foi possível chegar a algo bem próximo de uma prescrição completa, visto que, ao observar a Figura 4.42 verifica-se que a última coluna de Percepção alcançou uma escala de Likert para **Concordo parcialmente** ou **Concordo plenamente** em quase todas as percepções. O único ajuste que é verificado, na Percepção 6, estar em escala 3 "Não concordo nem discordo", é a altura do garfo. No entanto, este ajuste pode ser considerado secundário na avaliação do participante, visto que o que importa é o resultado que esta altura proporciona, que no caso é a inclinação do tubo principal, a qual está posicionada em escala 4 (concordo parcialmente) na Percepção 6.

Verifica-se na Figura 4.42 que foram feitas seis sessões de ajustes com o Participante 1. Conforme são ajustadas as configurações, o participante é convidado a refletir sobre a proposição: "Este é o meu ajuste preferido!". No caso de concordar plenamente, o respectivo



ajuste é definido como ideal para a personalização da cadeira de rodas de corrida. No caso de concordar parcialmente ou discordar, são feitos novos ajustes naqueles parâmetros. Assim, os ajustes configurados levam em conta a percepção psicomotora da modelagem, bem como as dimensões antropométricas do indivíduo. Dessa forma, o papel do participante é ativo e interativo com o processo de modelagem parametrizada da cadeira de rodas esportiva.

Outro ponto a se destacar na Figura 4.42, é a percepção da inclinação do assento, nota-se que ao aumentar a inclinação o Participante atribuiu uma escala mais alta à esta percepção, o que pode indicar um sentimento maior de segurança com o assento inclinado (mais alto na frente). O diâmetro do aro de propulsão (Item D) também merece destaque, visto que a percepção do participante foi atribuída uma escala maior quando o aro era maior. Neste caso, o participante relatou desconforto ao utilizar o aro menor. Isso se justifica pelo fato de o esforço precisar ser maior no aro, quanto menor ele for, para obter o mesmo resultado com a propulsão. Isso também tem relação com o tamanho do braço do indivíduo.

A cambagem também apresentou uma percepção mais concordante quando esta foi aumentada. E o apoio da perna, ao ser inclinado um pouco mais, também trouxe uma percepção em uma escala maior para este participante. Provavelmente, isto em conjunto com o aumento da inclinação do assento, forneceu uma melhor percepção de segurança e estabilidade durante o percurso de corrida.

Um ponto importante a se considerar é que no primeiro ou segundo percurso o participante ainda está se acostumando com uma realidade não experimentada até aquele momento, por isso, principalmente a Percepção 1 vai servir de base para as outras percepções. Assim, caso o participante fosse usuário de cadeira de rodas, acredita-se que ele teria uma sensibilidade mais apurada para dar sua percepção em relação aos ajustes do equipamento.

Vale inserir uma informação aqui. Todos os participantes foram acomodados no equipamento e convidados a darem uma volta para se acostumar a ele e adquirir mais confiança, antes de realizar o primeiro percurso, que foi onde se obteve a Percepção 1.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)														
ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	Este é o meu ajuste preferido!!!											
			LEITURA 1		LEITURA 2		LEITURA 3		LEITURA 4		LEITURA 5		LEITURA 6	
			PERCEPÇÃO 1	PERCEPÇÃO 2	PERCEPÇÃO 3	PERCEPÇÃO 4	PERCEPÇÃO 5	PERCEPÇÃO 6						
A	Assento - largura	cm	18,0	2	19,0	5	19,0	5	19,0	5	19,0	5	19,0	5
B	Assento - altura atrás	cm	23,0	3	20,5	4	20,5	4	20,5	4	20,5	4	20,5	4
C	Assento - inclinação	grau	3,0	2	10,0	5	12,0	5	12,0	5	12,0	5	12,0	5
C.1	Assento - altura frente	cm	23,0	2	30,0	4	30,0	4	30,0	4	30,0	4	30,0	4
D	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	pol	14,0	5	14,0	5	14,0	5	14,0	5	10,0	2	16,0	5
E	Rodas traseiras - cambagem	grau	10,0	3	16,0	4	16,0	4	16,0	4	16,0	4	16,0	4
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	cm	11,5	3	21,0	2	6,5	5	6,5	5	6,5	5	6,5	5
G	Encosto - profundidade	cm	3,0	4	3,0	4	3,0	4	3,0	4	3,0	4	3,0	4
H	Encosto - altura	cm	10,0	4	10,0	5	10,0	5	10,0	5	10,0	5	10,0	5
I	Garfo - altura	cm	0,0	3	0,0	3	0,0	3	0,0	3	0,0	3	0,0	3
J	Garfo - inclinação	grau	25,0	3	25,0	3	40,0	4	40,0	4	40,0	4	40,0	4
K	Tubo principal - inclinação	grau	0,0	3	0,0	3	3,0	4	3,0	4	3,0	4	3,0	4
L	Tubo principal - comprimento	cm	74,0	3	74,0	3	82,0	4	82,0	4	82,0	4	82,0	4
L.1	Entre eixos das rodas traseiras com a dianteira	cm	141,0	3	141,0	3	147,0	4	147,0	4	147,0	4	147,0	4
M	Apoio da perna - inclinação	grau	10,0	3	17,0	4	17,0	4	17,0	4	17,0	4	17,0	4
N	Joelho - Largura	cm	22,0	4	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.42 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 1).

Verifica-se na Figura 4.43 os registros de velocidade máxima e média em quilômetros por hora, tempo em segundos e, distância percorrida em cada percurso em metros. Além disso, nesta tabela foi verificada a Percepção Psicomotora do participante considerando a seguinte proposição: "Tive uma sensação realística de propulsão". No caso desta percepção é interessante notar que o participante respondeu sempre concordando plenamente. Dessa forma, considera-se que o indivíduo estava experimentando esta sensação pela primeira vez, a de propulsionar uma cadeira de rodas (ou algo semelhante). Assim, é bem provável que a sensação de propulsão para ele se deu ao fato de estar tocando um modelo de cadeira de rodas, independente de qual a sensação em relação a outro equipamento ele estivesse sentindo.

Ainda, sobre os dados da Figura 4.43, verifica-se que a velocidade máxima alcançada pelo participante foi no último percurso, onde ele atingiu uma velocidade de 9,50 km/h. Neste percurso, como os parâmetros estavam ajustados próximos ao ideal, foi pedido ao participante para tentar alcançar uma velocidade maior. Nota-se que a distância percorrida foi menor, porém, a velocidade média e máxima alcançada foi maior do que os outros percursos. Nota-se que no percurso 4 ele já teve um desempenho melhor em relação aos anteriores. E no

percurso 5 o desempenho foi menor em virtude da diminuição no aro de propulsão de 14 para 10 polegadas, o que segundo o próprio participante influenciou no seu rendimento.

Para efeito comparativo, atletas de corridas em cadeira de rodas atingem velocidade média de 6,97 m/s (25,09 km/h) e máxima de 7,01 m/s (25,23 km/h) em corridas de 100 m, que são provas de explosão (BARBOSA; COELHO, 2017). Outro dado que pode ser acrescentado nesta discussão é que em uma corrida de 100 m um atleta em cadeira de rodas de corrida parte de uma posição estacionária para uma velocidade máxima quando atinge cerca de 30 m a 50 m, mantém esta velocidade por 20 m a 40 m até desacelerar ao final da corrida (CHOW; CHAE, 2000).

Assim, para se ter uma ideia, o espaço disponível nos testes experimentais com o Participante 1, em linha reta, era de 40 metros, ou seja, mesmo que fosse um atleta profissional, não teria espaço suficiente para acelerar até atingir a velocidade máxima, visto que é necessário uma distância de segurança para a frenagem ao final do percurso, antes de parar totalmente o equipamento.

AJUSTE	PROPULSÃO				PERCEPÇÃO PSICOMOTORA				
	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo [s]	Distância percorrida [m]	"TIVE UMA SENSAÇÃO REALÍSTICA DE PROPULSÃO"				
Leitura 1	5,60	3,60	38	38,00	1	2	3	4	5
Leitura 2	5,10	3,60	37	37,00	1	2	3	4	5
Leitura 3	7,40	5,20	24	34,00	1	2	3	4	5
Leitura 4	8,80	5,20	24	34,00	1	2	3	4	5
Leitura 5	6,80	5,00	24	33,00	1	2	3	4	5
Leitura 6	9,50	6,50	12	21,00	1	2	3	4	5

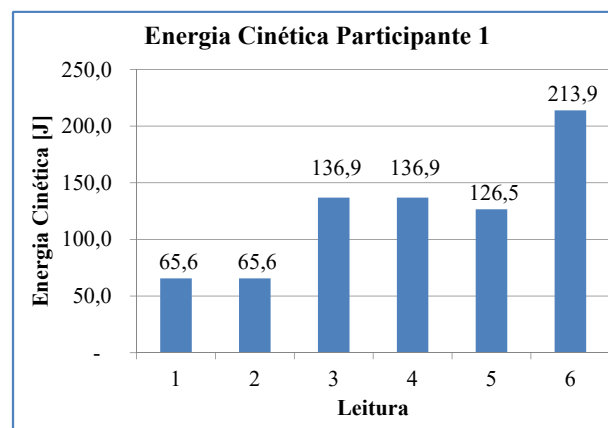
LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.43 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 1).

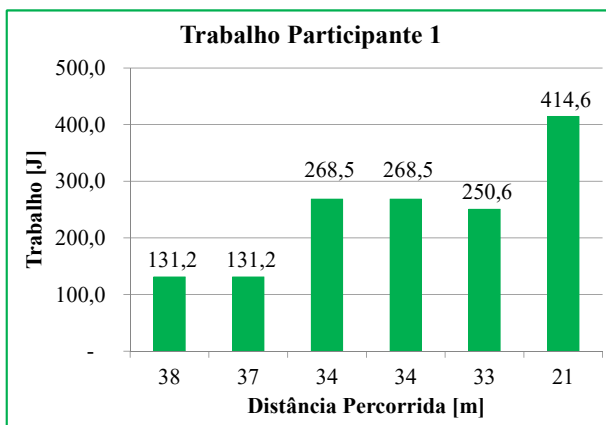
A partir dos dados de propulsão obtidos e apresentados na tabela da Figura 4.43, foi possível calcular a energia cinética do participante, o trabalho referente à variação da energia cinética e a potência de aceleração do equipamento. Os gráficos da Figura 4.44 representam estas informações para o Participante 1. Onde cada barra é referente a uma leitura, ou seja, a um percurso realizado durante os testes.

Nota-se pelos gráficos que a menor energia cinética, o menor trabalho e a menor potência deste participante se deram no primeiro percurso. Que é onde o participante ainda está se adaptando ao equipamento e à forma de conduzir, além de estar com as configurações dos ajustes reguladas de forma mais desfavorável. Assim, o menor valor de Energia Cinética foi de 65,6 J, enquanto o menor trabalho cinético foi de 131,2 J e a menor potência 3,45 W.

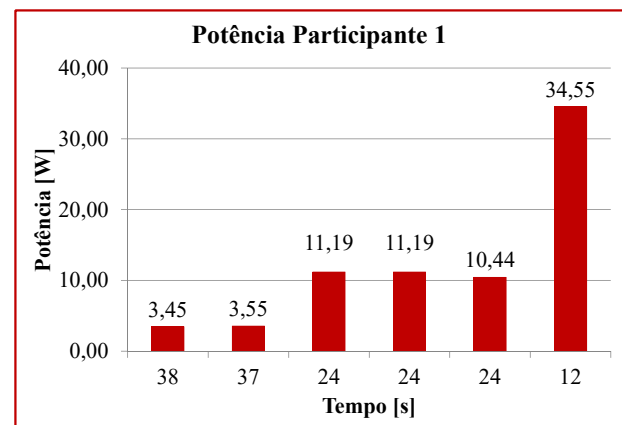
Nota-se que a cada percurso, os valores vão aumentando, podendo ocorrer alguma diminuição, mas na média vão aumentando devido aos ajustes ficarem mais próximos do ideal para o indivíduo. Verifica-se, em especial, um aumento significativo na potência do último percurso, que foi onde se estimulou o participante a realizar um percurso em grande aceleração. Dessa forma, a maior energia cinética foi de 213,9 J, o maior valor de trabalho cinético 414,6 J e a maior potência 34,55 W.



(a) Energia Cinética.



(b) Trabalho Cinético.



(c) Potência Mecânica.

Figura 4.44 – Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 1.

Um dos pontos mais importantes no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida é a condição de adequabilidade que ele proporciona ao indivíduo e a sua capacidade de proporcionar uma acomodação análoga à cadeira de rodas de corrida. Dessa forma, o

indivíduo usuário do equipamento, em última análise, deveria se sentir tão próximo das condições do esporte, que em sua percepção poderia confundir a utilização do equipamento de prescrição com o uso de uma cadeira de rodas de corrida. O que se busca, portanto, é que o usuário afaste a percepção de que o equipamento de prescrição é uma máquina, e reforce a sensação de que ele se encontra em uma cadeira de rodas de corrida personalizada. Para se chegar a isso, seria necessário obter uma satisfação totalmente plena da aplicação do equipamento enquanto dispositivo de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Assim, o equipamento de prescrição simularia perfeitamente a compatibilidade da cadeira de rodas de corrida personalizada. A Figura 4.45 apresenta a tabela de respostas à Percepção Psicomotora Global do Participante 1 em relação a acomodação no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Neste formulário, o participante considera, para as respostas, a seguinte proposição: "Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!".

Considerando que conforto e segurança são condições essenciais para o usuário se sentir bem com o equipamento, estas são as duas primeiras condições de adequação. Na escala de **Likert** estas percepções foram de concordância.

Nos Itens 4 e 7 o Participante 1 respondeu nem concordando nem discordando. De acordo com os comentários feitos por ele, essa resposta está relacionada à ele não ser usuário de cadeira de rodas e, por isso, não tem um padrão comparativo para estas proposições.

Já, nos Itens 5 e 6 ele discordou parcialmente, por ser uma posição desconfortável o fato de ficar sentado sobre as pernas por muito tempo. Em si, esta percepção não está relacionada ao equipamento, mas sim pela posição que o participante teve de ficar por algum tempo, a qual não foi confortável para ele.

O Item 8 diz respeito à sensação que o participante teve em relação aos ajustes do equipamento com o seu corpo. O que recebeu percepção de concordância parcial, assim, este item acaba por corroborar com a tabela da Figura 4.42, com a qual verificou-se que com a última percepção já seria próximo do ideal para prescrever a cadeira de rodas de corrida para este participante.

E, por fim, o item 9 recebeu concordância plena. Ou seja, o participante ficou satisfeito com a forma como foi feito o procedimento de prescrição.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)						
ITEM	PROPOSIÇÕES DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL DA ESTRUTURA MODELADA	PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL				
		Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!				
1	Eu me sinto seguro nesta acomodação	1	2	3	4	5
2	Eu me sinto confortável nesta acomodação	1	2	3	4	5
3	Eu me sinto bem nesta acomodação	1	2	3	4	5
4	Esta é a acomodação que eu sempre desejei da minha cadeira de rodas de corrida	1	2	3	4	5
5	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período de até uma hora	1	2	3	4	5
6	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período superior a uma hora	1	2	3	4	5
7	Eu sinto meu corpo harmonizado à estrutura de acomodação	1	2	3	4	5
8	Todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao meu corpo	1	2	3	4	5
9	Eu recomendaria essa metodologia para terceiros, sem o menor receio	1	2	3	4	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.45 – Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 1).

A cadeira de rodas de corrida anatômica, otimizada, parametrizada e personalizada para o Participante 1 está detalhada na Figura 4.46. Aqui são apresentadas as dimensões principais com as quais é possível construir uma cadeira de rodas de corrida personalizada para o Participante 1 de acordo com a última percepção do questionário quali-quantitativo. Nota-se que a escala do aro de propulsão e do inserto para a cambagem estão em escala aumentada, desproporcional com o restante da estrutura. Mas, essa figura está representada com as medidas corretas para construir esta cadeira de corridas de acordo com a prescrição e parametrização feitas para o Participante 1.

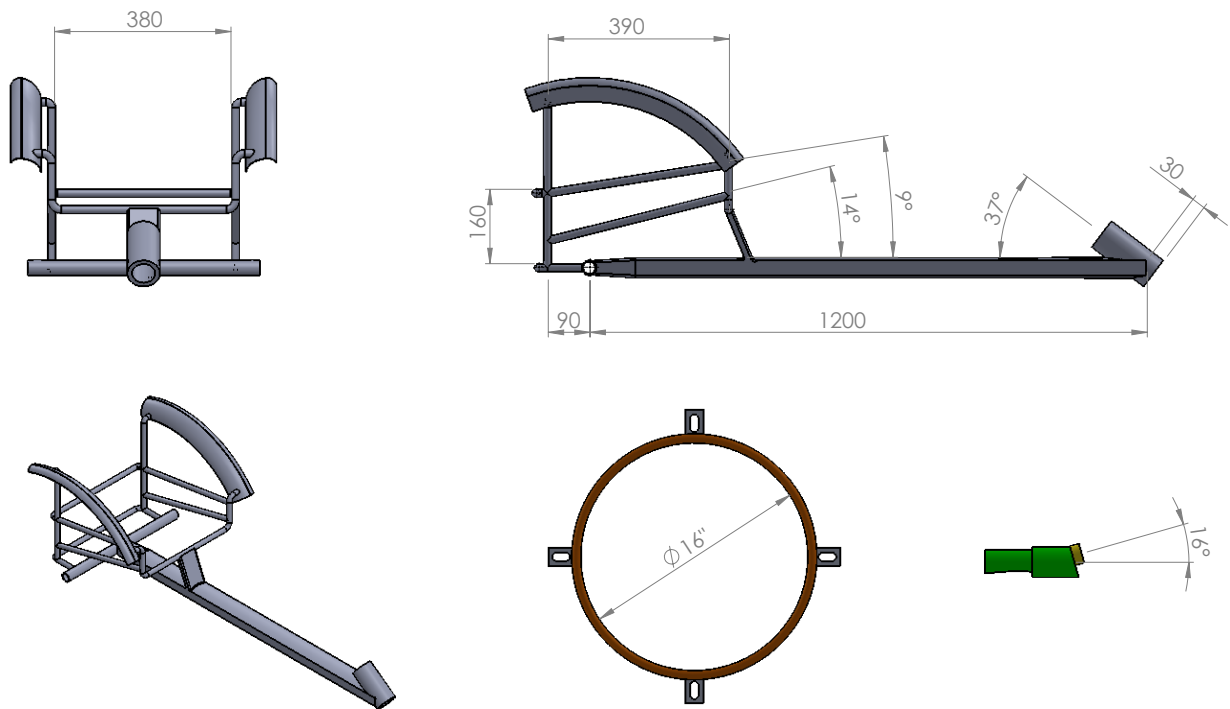


Figura 4.46 – Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 1).

Por fim, a Figura 4.47 dá um panorama geral de como ficaria a cadeira de rodas de corrida para o Participante 1 no caso de ser construída. Nesta figura estão faltando alguns acessórios, como os estofamentos, o guidão e o freio. Mas a figura está sendo mostrada assim para dar um visual mais limpo e claro de como ficaria a estrutura montada.

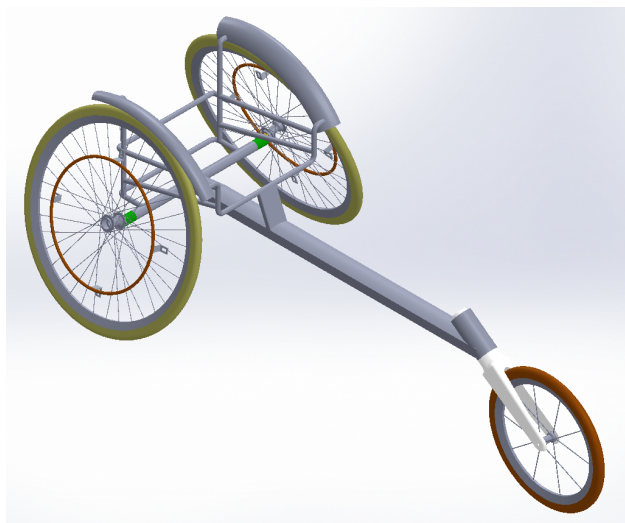


Figura 4.47 – Conjunto da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 1.

#### 4.12.2 Estudo de Caso: Participante 2

O segundo participante a realizar os testes, também é do sexo masculino, sua massa é de 98 kg e a altura é 1,82 m. Conforme pode ser visto na Figura 4.48, o participante fez os testes sentado no equipamento com as pernas apoiadas para frente. Desta forma, ele não utilizou o apoio de pernas disponível no equipamento.

Este participante não é atleta profissional, porém é Profissional de Educação Física e pratica esportes regularmente. Além disso, tem um amplo conhecimento em relação aos esportes adaptados, visto que é treinador de atletas com deficiência. No entanto, é a primeira vez que ele tem uma experiência com uma cadeira de rodas ou equipamento semelhante.

É possível visualizar na Figura 4.48 o participante posicionado sobre o equipamento, onde a foto à esquerda apresenta o indivíduo antes de iniciar os testes e a foto à direita mostra o participante durante os movimentos de propulsão do equipamento de prescrição.

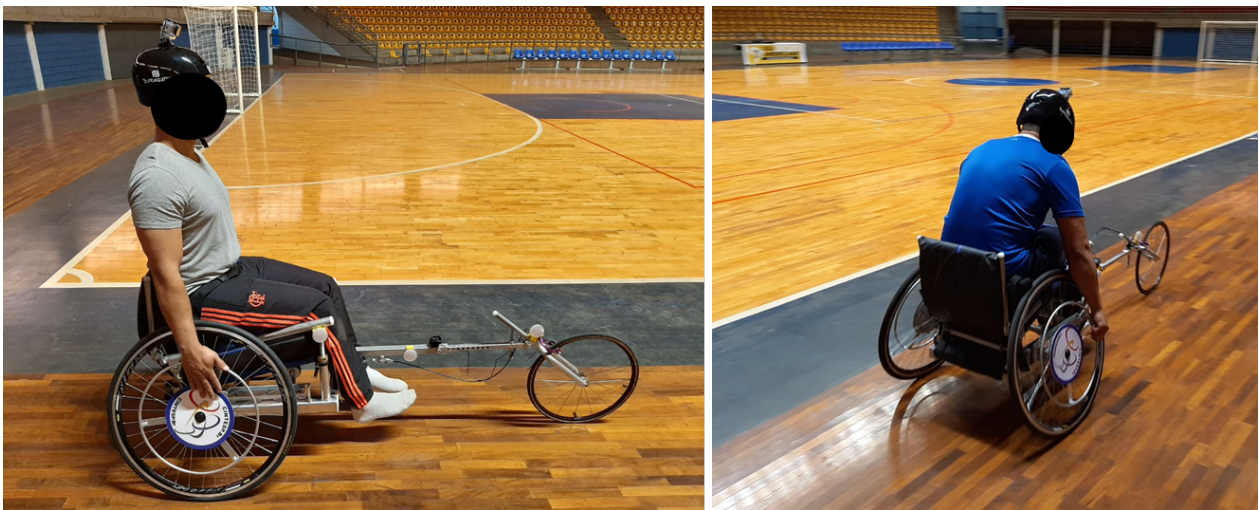


Figura 4.48 – Participante 2 acomodado sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Antes de o participante se acomodar no equipamento, foi feita uma avaliação, com a Ficha de Avaliação, para verificar condições físicas e de saúde do participante. Além disso, foram feitas medidas antropométricas prévias com as quais o equipamento foi ajustado previamente. Assim, ao se acomodar no equipamento, o participante já teve os ajustes da largura do assento e algumas outras medidas configuradas anteriormente. Além disso, alguns ajustes, como a altura do assento é posicionada em sua dimensão máxima antes do início dos testes, de forma que isso permite uma maior facilidade para abaixar durante os ajustes posteriores, mesmo com o participante acomodado no equipamento.

É possível visualizar na Figura 4.49 a tabela dos resultados do Formulário de Pesquisa Quali-Quantitativa em vista dos testes experimentais realizados com o Participante 2. É



possível notar nesta tabela que este participante realizou diversos percursos (um total de seis), e mesmo assim uma quantidade considerável de ajustes permaneceram com a percepção em "não concordo nem discordo". Nota-se que apenas a largura do assento está em concordância plena com o ajuste.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)														
ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	Este é o meu ajuste preferido!!!											
			LEITURA 1	PERCEPÇÃO 1	LEITURA 2	PERCEPÇÃO 2	LEITURA 3	PERCEPÇÃO 3	LEITURA 4	PERCEPÇÃO 4	LEITURA 5	PERCEPÇÃO 5	LEITURA 6	PERCEPÇÃO 6
A	Assento - largura	cm	19,0	5	19,0	5	19,0	5	19,0	5	19,0	5	19,0	5
B	Assento - altura atrás	cm	20,5	3	18,5	3	18,5	3	18,5	3	22,0	3	22,0	3
C	Assento - inclinação	grau	12,0	2	18,0	3	15,0	3	15,0	3	10,0	3	10,0	3
C.1	Assento - altura frente	cm	23,0	2	34,2	3	32,2	3	32,2	3	29,5	3	29,5	3
D	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	pol	16,0	4	16,0	3	14,0	2	14,0	2	12,0	2	16,0	3
E	Rodas traseiras - cambagem	grau	13,0	3	10,0	3	12,0	3	12,0	3	14,0	3	14,0	3
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	cm	6,5	3	6,5	2	15,0	4	15,0	4	15,0	4	15,0	4
G	Encosto - profundidade	cm	8,0	4	0,0	4	0,0	4	0,0	4	0,0	4	0,0	4
H	Encosto - altura	cm	310,0	3	320,0	4	320,0	4	320,0	4	320,0	4	320,0	4
I	Garfo - altura	cm	0,0	3	0,0	3	0,0	3	0,0	3	0,0	3	0,0	3
J	Garfo - inclinação	grau	40,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0	3
K	Tubo principal - inclinação	grau	3,0	3	2,0	3	2,0	3	2,0	3	3,0	3	3,0	3
L	Tubo principal - comprimento	cm	82,0	3	82,0	3	82,0	4	82,0	4	66,0	4	66,0	4
L.1	Entre eixos das rodas traseiras com as dianteira	cm	147,0	3	160,0	3	150,0	4	150,0	4	134,0	4	134,0	4
M	Apoio da perna - inclinação	grau	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N	Joelho - Largura	cm	22,0	4	21,0	4	21,0	4	21,0	4	21,0	4	21,0	4

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.49 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 2).

Uma observação que deve ser feita neste caso é o fato de o último tamanho do aro de propulsão ter sido o de 16 polegadas. No caso para o Participante 2 foram feitas variações para o aro de 12 e 14 polegadas, e ao realizar a percepção psicomotora na última avaliação o participante comentou que o melhor tamanho de aro foi o de 14 polegadas. Assim, se fosse realizado mais um percurso, e desta vez utilizando o aro 14, provavelmente o participante teria concordado parcialmente ou plenamente com esta percepção.

Na Figura 4.49 o item **M** foi preenchido com **N/A** (Não se Aplica), pois neste caso o participante não teve condições ergonômicas de manter as pernas dobradas para baixo e se sentar sobre elas. Assim, de forma semelhante à classe T51, ele manteve as pernas para

frente. O único detalhe é que o equipamento não possui ainda um dispositivo para simular a posição das pernas como é feito nas classes T51 e T52.

Outro comentário realizado pelo participante é o fato que ao se jogar a posição do centro de gravidade mais para frente, o equipamento ficou mais leve para propulsionar e o participante relatou uma maior facilidade em controlar o equipamento em movimento. Isso foi relatado por todos os quatro participantes deambulantes.

De forma geral é notado que as percepções deste participante não tiveram muitas variações com os ajustes realizados a partir da primeira leitura. Isso pode ser relacionado ao fato de ele não ser usuário de cadeira de rodas e, por isso ainda estava se adaptando a realidade de se locomover com o auxílio deste tipo de dispositivo.

É possível visualizar na Figura 4.50 os registros de velocidade máxima e média em quilômetros por hora, tempo em segundos e, distância percorrida em cada percurso em metros. Além disso, nesta tabela foi verificada a Percepção Psicomotora do participante considerando a seguinte proposição: "Tive uma sensação realística de propulsão". No caso desta percepção o participante sempre respondeu concordando plenamente. Dessa forma, considera-se que o indivíduo estava experimentando esta sensação pela primeira vez, a de propulsionar uma cadeira de rodas (ou algo semelhante). Assim, é bem provável que a sensação de propulsão para ele se deu ao fato de estar tocando um modelo de cadeira de rodas, independente de qual a sensação em relação a outro equipamento ele estivesse sentindo.

AJUSTE	PROPULSÃO				PERCEPÇÃO PSICOMOTORA				
	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo [s]	Distância percorrida [m]	"TIVE UMA SENSACÃO REALÍSTICA DE PROPULSÃO"				
Leitura 1	6,80	5,40	22	33,0	1	2	3	4	5
Leitura 2	11,20	8,10	16	36,0	1	2	3	4	5
Leitura 3	10,90	7,30	15	30,0	1	2	3	4	5
Leitura 4	13,00	8,70	15	36,0	1	2	3	4	5
Leitura 5	11,10	8,10	16	36,0	1	2	3	4	5
Leitura 6	14,10	9,80	16	37,0	1	2	3	4	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.50 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 2).

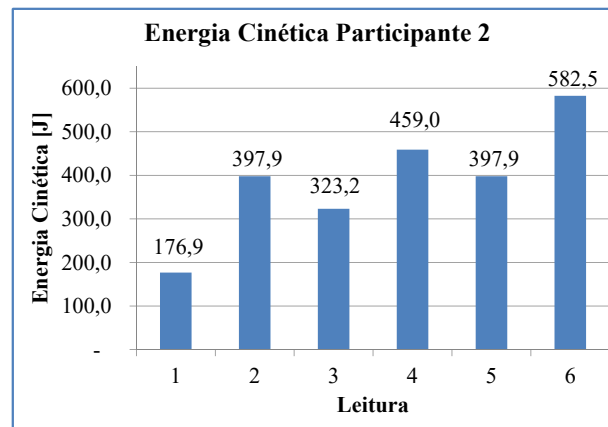
Ainda, sobre os dados da Figura 4.50, verifica-se que a velocidade máxima alcançada pelo participante foi no último percurso, onde ele atingiu uma velocidade de 14,1 km/h. Nota-se que o fato de o participante ser praticante de esportes pode ter ajudado a alcançar velocidades maiores que o participante 1. Verifica-se que no percurso 5 a velocidade máxima é média foi compatível com a do percurso 2. No percurso 5 o participante utilizou o menor aro experimentado por ele. Porém, deve-se considerar que nos dois últimos percursos foi onde o indivíduo tentou alcançar as maiores velocidades, e o único parâmetro que mudou do penúltimo para o último, foi o diâmetro do aro de propulsão.

A partir dos dados de propulsão obtidos e apresentados na tabela da Figura 4.50, foi possível calcular a energia cinética do Participante 2, o trabalho referente à variação da energia cinética e a potência de aceleração do equipamento. Os gráficos da Figura 4.51 mostram estas informações para o Participante 2. Onde cada barra é referente a uma leitura, ou seja, a um percurso realizado durante os testes.

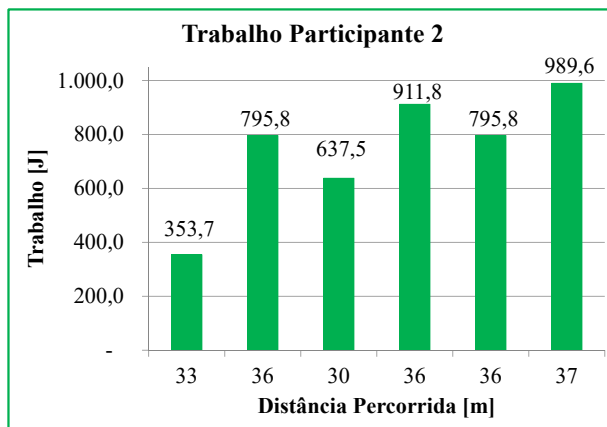
Nota-se pelos gráficos que a menor energia cinética, o menor trabalho e a menor potência deste participante se deram no primeiro percurso. Que é onde o participante ainda está se adaptando ao equipamento e à forma de conduzir, além de estar com as configurações dos ajustes reguladas de forma mais desfavorável. Assim, o menor valor de Energia Cinética foi de 176,9 J, enquanto o menor trabalho cinético foi de 353,7 J e a menor potência 16,08 W.

Nota-se que a cada percurso, os valores vão aumentando, podendo ocorrer alguma diminuição, mas na média vão aumentando devido aos ajustes ficarem mais próximos do ideal para o indivíduo. Dessa forma, a maior energia cinética foi de 582,5 J, o maior trabalho cinético de 989,6 J e a maior potência 61,85 W.

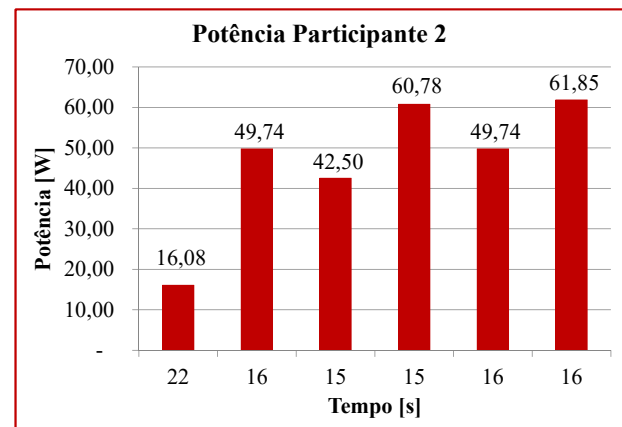
Como pode ser notado pelo resultado da potência (Fig. 4.51c), a percepção do participante está condizente com os resultados de desempenho. Visto que após o último percurso o indivíduo relatou que o aro de propulsão utilizado no quarto percurso estava melhor configurado para ele. Isto é perceptível ao verificar que os resultados de potência destes dois percursos estão bem próximos, sendo 60,78 W e 61,85 W para o quarto e sexto percurso, respectivamente. Outro resultado interessante de se observar neste gráfico é quando houve a mudança de um aro maior para um menor (quarto para quinto percurso). Neste caso, nota-se uma perda de potência em torno de 20%. Assim, pode-se considerar que o aro de propulsão é um ajuste de importância relevante no desempenho do atleta.



(a) Energia Cinética.



(b) Trabalho Cinético.



(c) Potência Mecânica.

Figura 4.51 – Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 2.

É possível visualizar na Figura 4.52 a tabela de respostas à Percepção Psicomotora Global do Participante 2 em relação a acomodação no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Neste formulário, o participante considera, para as respostas, a seguinte proposição: "Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!".

Nos quesitos conforto e segurança (Item 1 e 2) o usuário teve uma percepção de concordância com o proposição. Já, no Item 4 o Participante 2 respondeu nem concordando nem discordando. É bem possível que essa resposta esteja relacionada à ele não ser usuário de cadeira de rodas e, por isso, não tem um padrão comparativo para estas proposições.

Já, nos Itens 5 e 6 ele concordou plenamente. Isto pode ser considerado pelo fato de ele estar se sentindo confortável no equipamento e não estar sentado sobre as pernas como, por exemplo, o Participante 1. Os Itens 7 e 8 também trazem uma percepção de satisfação em relação a acomodação no equipamento.

E, por fim, o item 9 recebeu concordância plena. Ou seja, o participante ficou satisfeito com a forma como foi feito o procedimento de prescrição.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)					
ITEM	PROPOSIÇÕES DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL DA ESTRUTURA MODELADA	PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL			
		Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!			
1	Eu me sinto seguro nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del> 5
2	Eu me sinto confortável nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del> 5
3	Eu me sinto bem nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del> 5
4	Esta é a acomodação que eu sempre desejei da minha cadeira de rodas de corrida	1	2	<del>3</del>	4 5
5	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período de até uma hora	1	2	3	4 <del>5</del>
6	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período superior a uma hora	1	2	3	4 <del>5</del>
7	Eu sinto meu corpo harmonizado à estrutura de acomodação	1	2	3	<del>4</del> 5
8	Todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao meu corpo	1	2	3	<del>4</del> 5
9	Eu recomendaria essa metodologia para terceiros, sem o menor receio	1	2	3	4 <del>5</del>

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.52 – Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 2).

Um evento específico ocorreu com o Participante 2. Antes de iniciar o primeiro percurso o participante (já acomodado) empinou a parte frontal do equipamento a uma altura em torno de 40 cm do chão, e ao retornar para o chão (de forma brusca), a roda dianteira (que estava um pouco desalinhada) bateu no chão em diagonal e forçou o conjunto de forma que a peça do tubo frontal ligada ao garfo se deformou. No entanto, mesmo com o ocorrido a peça foi alinhada manualmente e realizou-se o primeiro percurso. Porém, ao final deste Percurso 1, ao frear o equipamento, esta mesma peça se deformou de tal forma que não foi possível continuar os testes. A deformação desta peça é apresentada na Figura 4.53. Assim, o primeiro percurso foi registrado nas tabelas apresentadas nas Figuras 4.49 e 4.50. Porém, após o ocorrido os testes foram encerrados naquele dia e voltaram a ocorrer em outro dia após o reparo desta peça. Felizmente, durante o ocorrido não houveram danos ou lesões no participante, que no momento estava utilizando corretamente os cintos de segurança que impediram este de ser jogado fora do assento.



(a) Logo após o ocorrido.

(b) Vista de cima.

(c) Vista de lado.

Figura 4.53 – Haste onde ocorreu a falha no metal durante os testes experimentais.

Em vista deste ocorrido, decidiu-se realizar uma análise estrutural mais detalhada desta peça visando aumentar sua resistência considerando impactos de movimentação do equipamento. Para esta verificação foi feita uma análise estrutural computacional utilizando MEF. É possível visualizar na Figura 4.54 as condições de contorno e carregamento para esta análise. Nota-se na figura que foi desenhada uma roda dianteira fictícia simplificada, pois uma roda real teria muitos detalhes na peça e tornaria o tempo de simulação alto e traria custos computacionais desnecessários a esta análise. A força utilizada na roda foi estimada em, aproximadamente, 46,7 N e simula a colisão ocorrida entre o chão e a roda no momento do incidente. Esta força foi inserida com componentes nos eixos X e Y, visto que havia uma folga no conjunto e isso fez com que a roda colidisse com o chão em diagonal. Vale ressaltar, que esta folga foi resolvida para os próximos testes práticos experimentais com o equipamento.

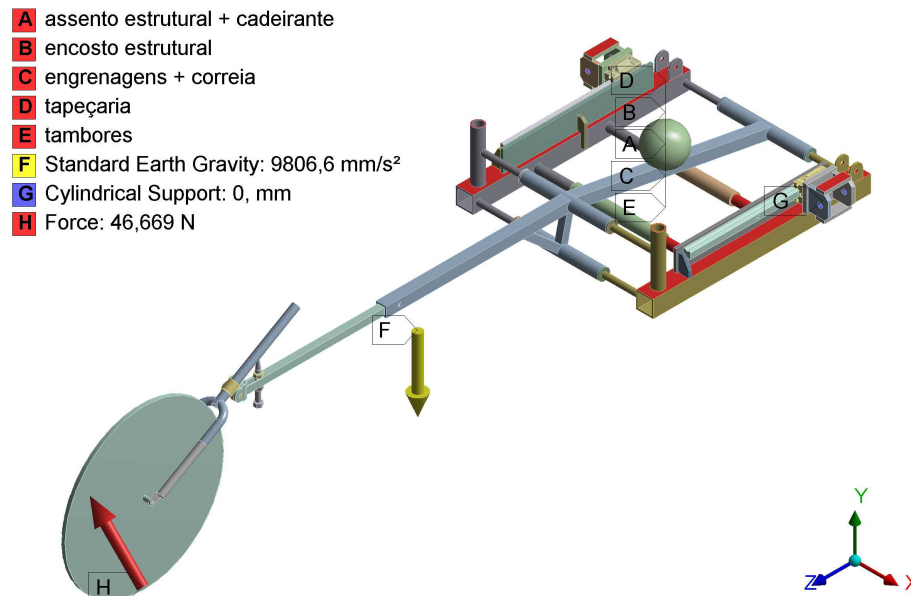


Figura 4.54 – Condições de contorno e carregamento na estrutura para análise da peça que falhou.

A Figura 4.55 mostra a malha gerada no Ansys para simulação da peça que falhou.

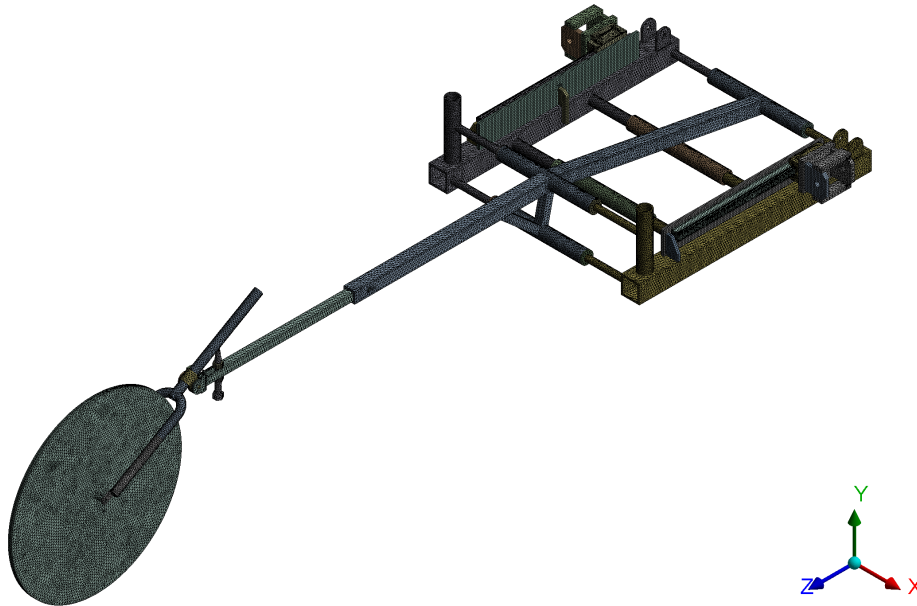


Figura 4.55 – Malha gerada para a análise da peça que falhou.

É possível visualizar na Figura 4.56 o resultado para a tensão equivalente de von-Mises no equipamento utilizando o modelo da peça que falhou durante os testes práticos experimentais. Nota-se nesta figura que a máxima tensão ocorre na região onde ocorreu a falha. E a Figura 4.57 mostra o ponto onde ocorreu a máxima tensão de von-Mises em detalhe. Nota-se por estas duas figuras que a tensão neste local ultrapassou em duas vezes o limite de escoamento do material. No caso a tensão de escoamento é de 210 MPa. Assim, fica confirmado pelo resultado desta simulação que a falha era inevitável neste ponto.

É importante comentar, que por ser um local onde não oferecia risco à segurança do participante da pesquisa, a rigidez desta região não havia sido considerada nas análises iniciais. Isso mostra, mais uma vez, a importância de se analisar cautelosamente todo o projeto de engenharia, e que muitas vezes uma condição não considerada pode gerar transtornos inesperados.

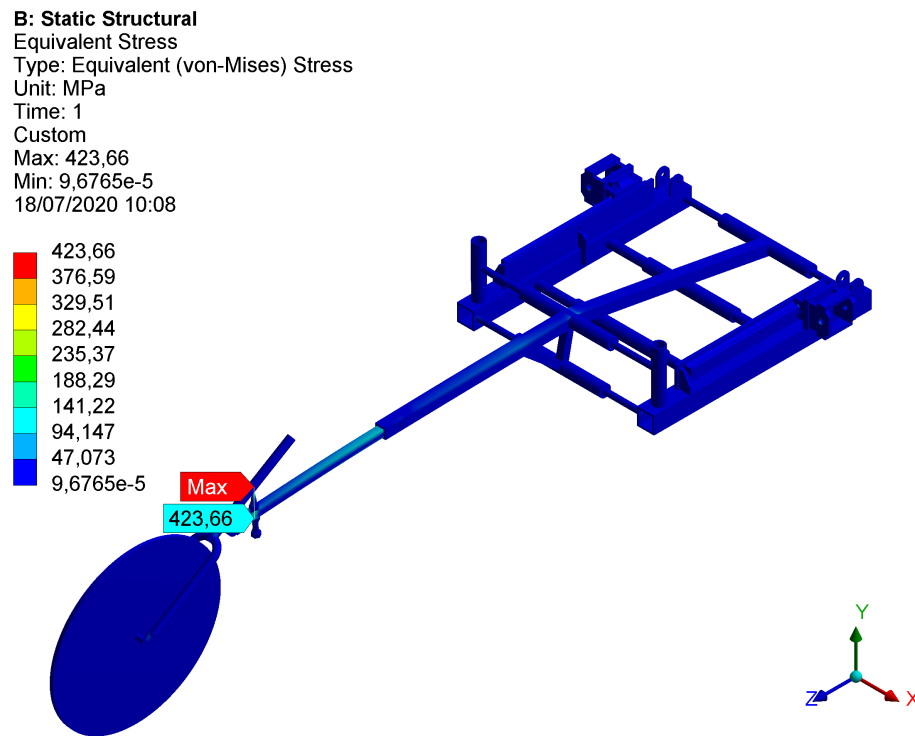


Figura 4.56 – Resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita na estrutura que falhou.

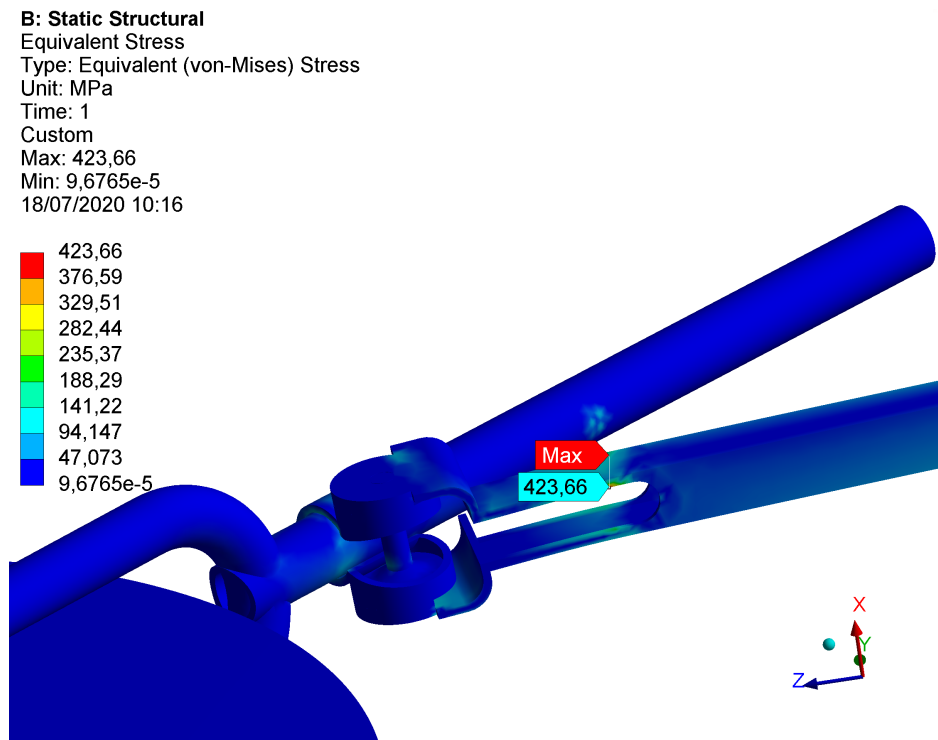


Figura 4.57 – Detalhe do ponto onde ocorreu a máxima tensão de von-Mises na peça que falhou.



É possível visualizar na Figura 4.58 o deslocamento da região onde ocorreu a falha sendo de, aproximadamente, 12 mm.

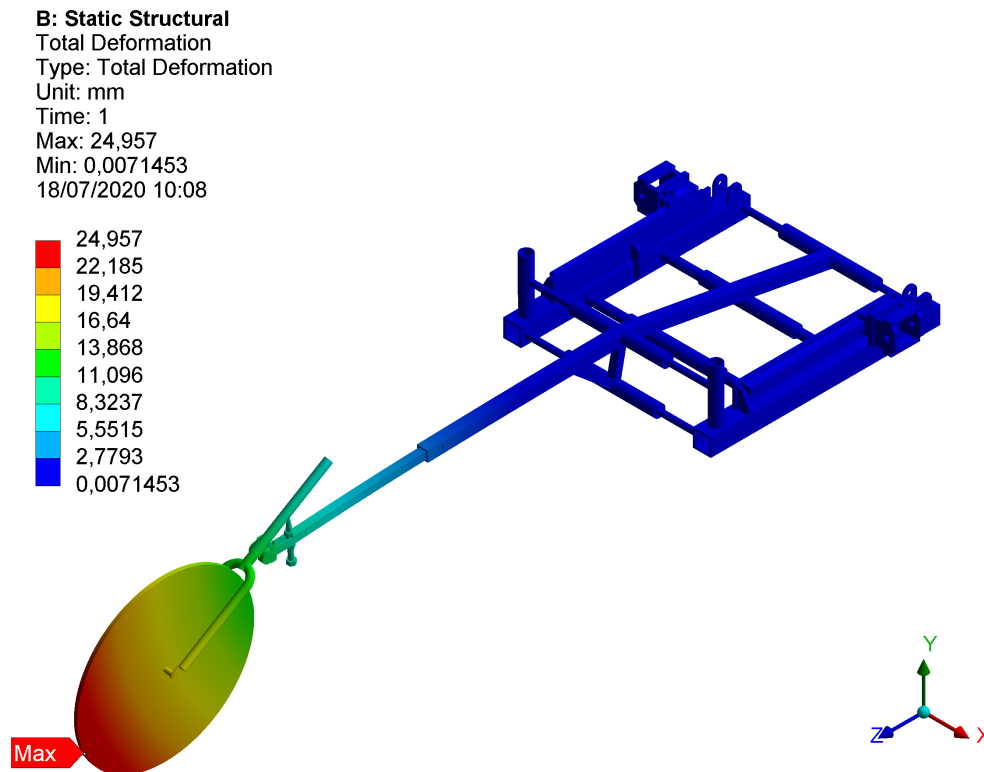


Figura 4.58 – Resultado obtido para o deslocamento na análise feita na estrutura que falhou.

Assim, com os testes práticos experimentais suspensos em virtude da falha desta peça, foi necessário voltar ao projeto e buscar uma solução rápida e eficaz que resolvesse a situação para voltar a realizar os testes práticos de validação do equipamento. Com essa ideia em mente, foram discutidas duas possibilidades para resolver o problema. Uma possibilidade previa a substituição da peça toda por uma peça maciça. Porém, a peça maciça, apesar de ser mais robusta, seria mais trabalhosa de construir por ser necessário refazer furos e rasgos na peça toda. A outra opção seria substituir a parte danificada da peça por uma mais robusta. Assim, a princípio decidiu-se testar (virtualmente) esta segunda opção que seria mais rápida de se construir.

Dessa forma, o novo projeto consistiu de cortar a parte danificada da peça e utilizar um tubo de seção transversal quadrado para vestir como uma luva no tubo já existente. Assim, foram feitos os devidos rasgos e furos nesta peça nova que tinha uma espessura de parede maior, além de seção quadrada maior. Devido a essas características a nova peça teria uma área de seção maior e, conseqüentemente, um maior momento de inércia favorecendo, assim, a resistência da peça.

Com este novo projeto, foi feita uma nova análise estrutural computacional utilizando o Método dos Elementos Finitos. É possível visualizar na Figura 4.59 as condições de contorno e carregamento para esta análise. É possível visualizar na Figura 4.60 a malha gerada no Ansys para simulação da nova peça.

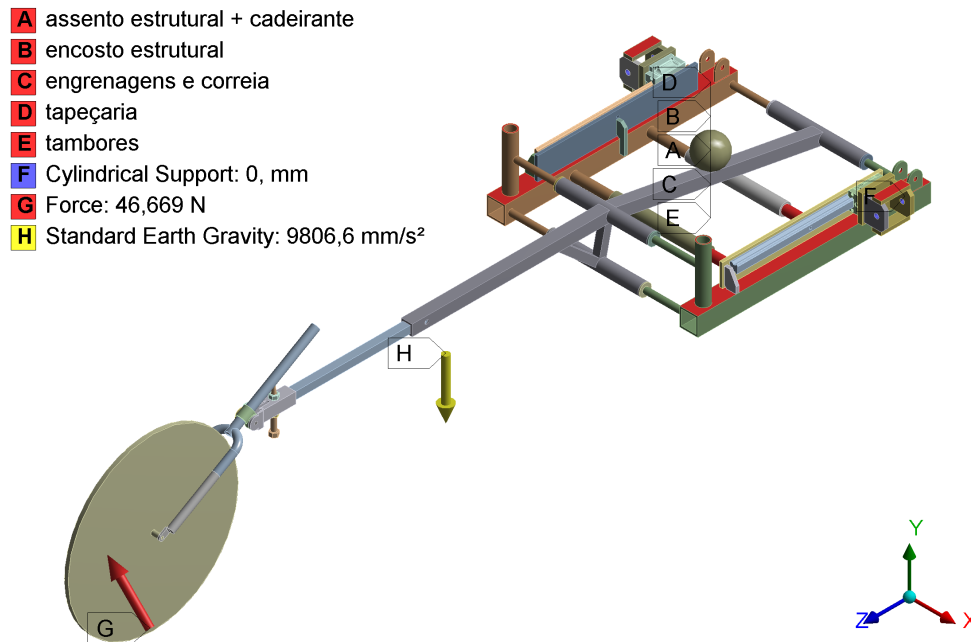


Figura 4.59 – Condições de contorno e carregamento na estrutura para análise da nova peça.

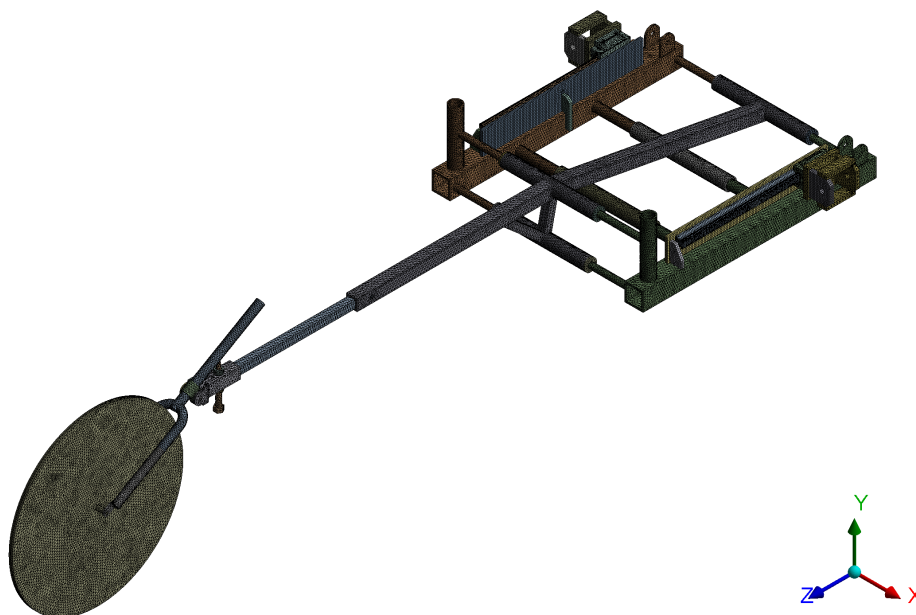


Figura 4.60 – Malha gerada para a análise da nova peça.

É possível visualizar na Figura 4.61 o resultado para a tensão equivalente de von-Mises no equipamento utilizando o modelo do projeto da peça a substituir a anterior. Nota-se nesta figura que a máxima tensão ocorre na parte de baixo do furo utilizado para posicionar o parafuso de apoio do garfo. É possível visualizar na Figura 4.62 o ponto onde ocorreu a máxima tensão de von-Mises em detalhe. Nota-se por estas duas figuras que a tensão neste local chegou a 180,67 MPa. Isso representa 85% da tensão limite de escoamento do material em um ponto onde existe uma parede espessa protegendo o material contra uma possível falha. Dessa forma, foi aceito este projeto e a peça foi construída de acordo com o que é apresentado aqui e na Figura 4.64b.

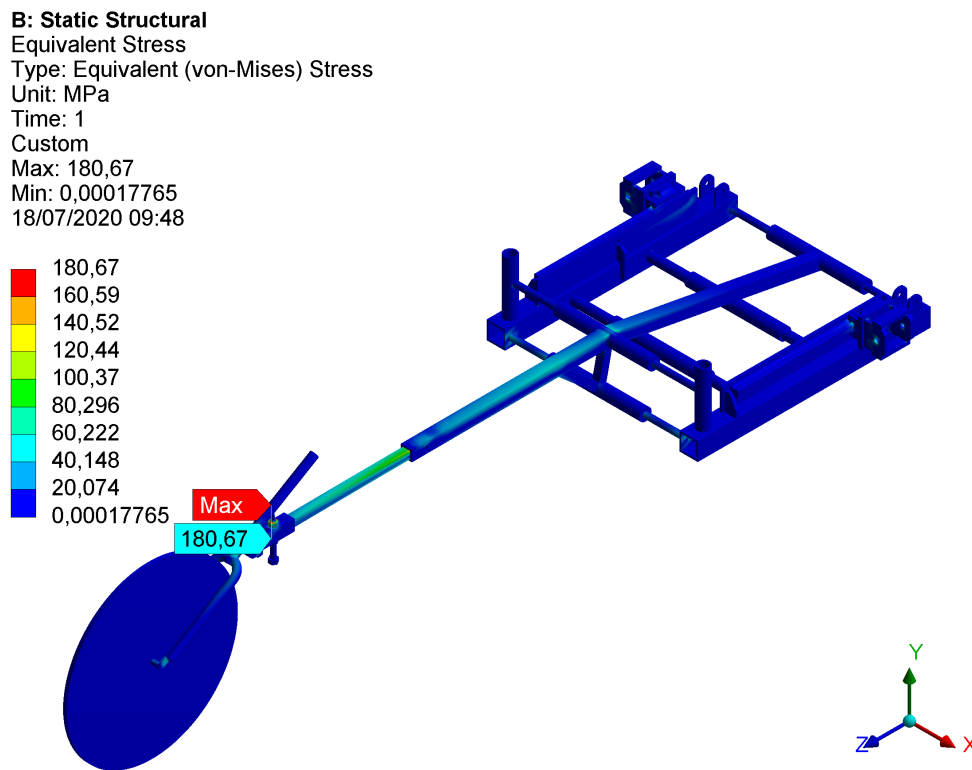


Figura 4.61 – Resultado obtido para a tensão equivalente de von-Mises na análise feita na estrutura com a nova peça.

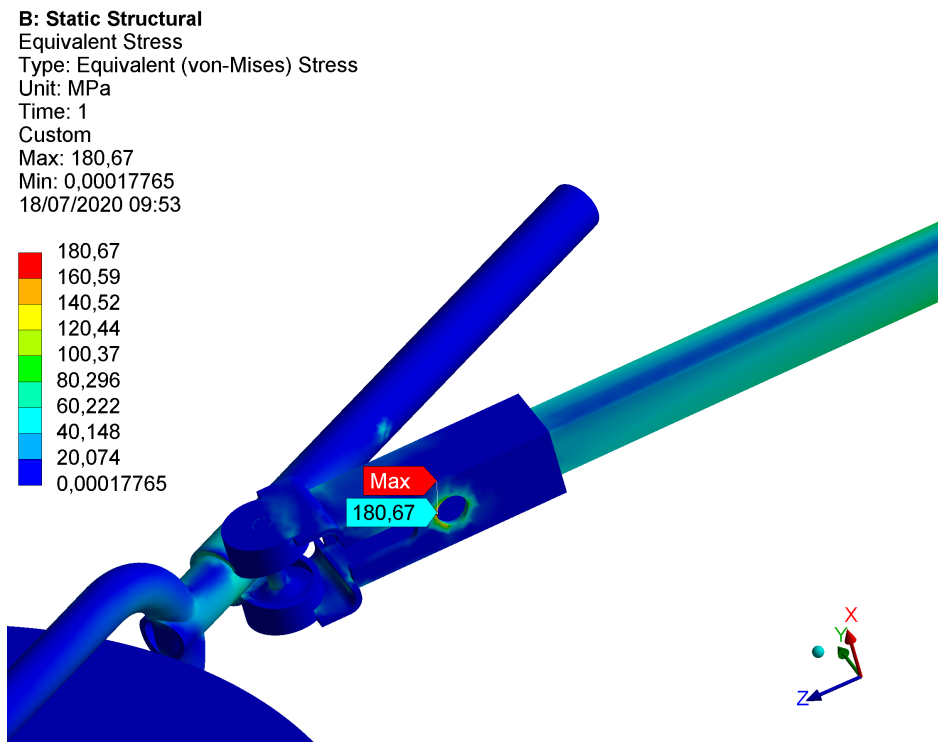


Figura 4.62 – Detalhe do ponto onde ocorreu a máxima tensão de von-Mises na nova peça.

É possível visualizar na Figura 4.63 o deslocamento da região onde se encontra a peça reformulada sendo de, aproximadamente, 9 mm. Deve-se considerar que este deslocamento é um acumulado que vem desde o início do tubo (mais pra trás do equipamento) até este ponto. No entanto, é possível notar que entre a análise da peça que falhou e esta peça, houve uma diminuição de 3 mm (de 12 mm par 9 mm), o que é um ganho em deformação para esta peça. Levando a considerar que houve uma efetiva contribuição desta nova configuração para a configuração que falhou.

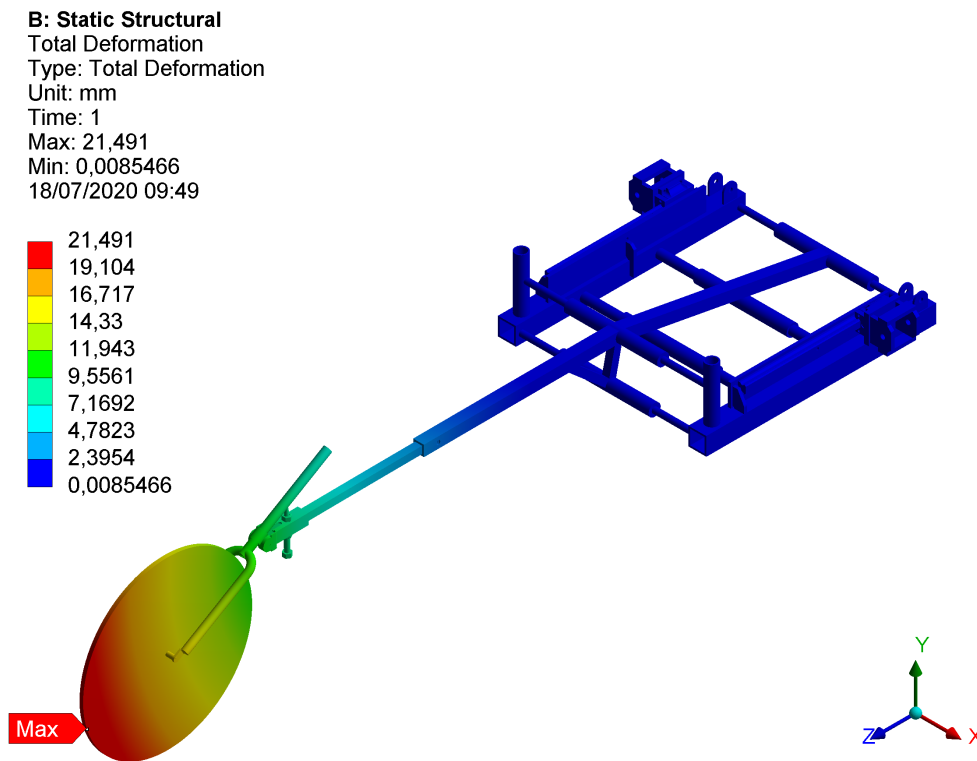


Figura 4.63 – Resultado obtido para o deslocamento na análise feita na estrutura reformada.

É possível visualizar na Figura 4.64 a peça antes de deformar durante os testes experimentais com o Participante 2 (Fig. 4.64a). E mostra, também, a peça depois de recuperada (Fig. 4.64b). Após o término da construção desta nova peça, os testes voltaram a ser conduzidos normalmente sem nenhum incidente.



(a) Antes.



(b) Depois.

Figura 4.64 – Peça do tubo principal de suporte ao garfo.

Após todos os testes realizados, foi possível parametrizar a estrutura da cadeira de rodas de corrida para o Participante 2. É possível visualizar na Figura 4.65 a cadeira de rodas de

corrida personalizada, otimizada, anatômica e parametrizada para o Participante 2. Aqui são apresentadas as dimensões principais com as quais é possível construir uma cadeira de rodas de corrida personalizada para o Participante 2, considerando que a última percepção do questionário quali-quantitativo foi a melhor configuração para este indivíduo. Nota-se que a escala do aro de propulsão e do inserto para a cambagem estão em escala aumentada, desproporcional com o restante da estrutura. Mas, essa figura está representada com as medidas corretas para construir esta cadeira de corridas de acordo com a prescrição e parametrização feitas para o Participante 2.

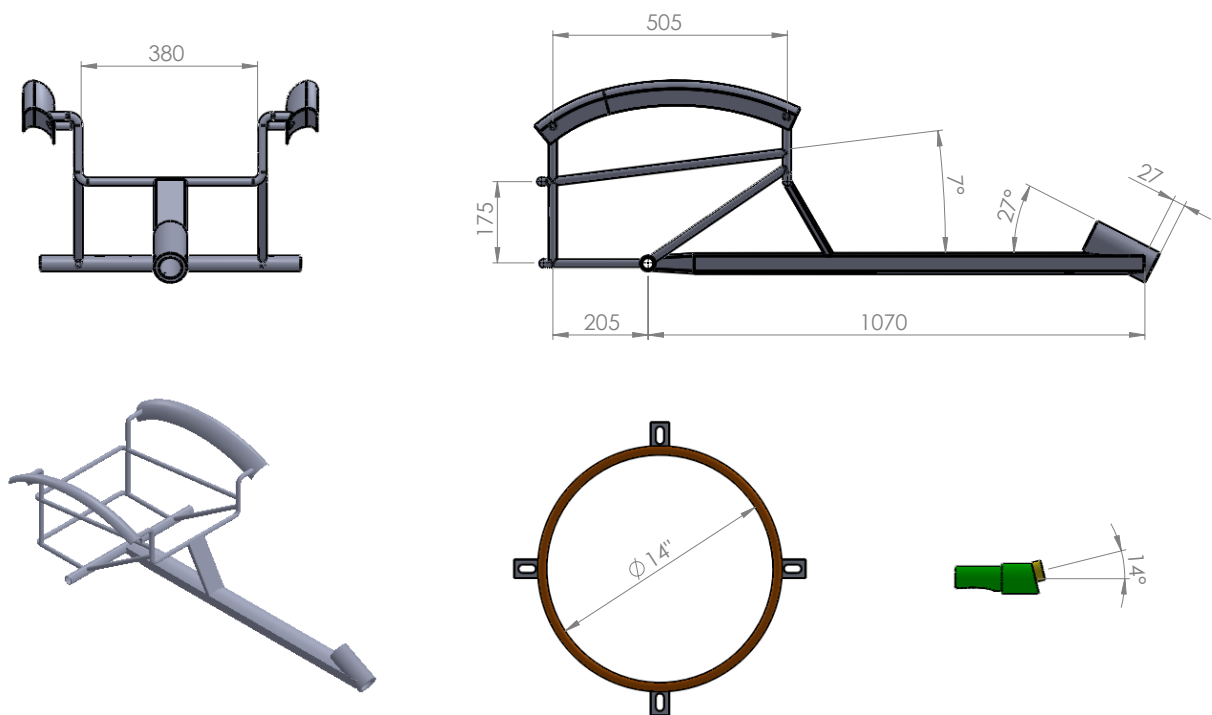


Figura 4.65 – Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 2).

É importante fazer uma observação em relação aos Participantes 2 e 4. Visto que estes dois participantes não utilizaram o apoio da perna projetado e construído no equipamento de prescrição, eles poderiam se enquadrar na simulação das Classes T51 e T52. Os atletas desta classe, em geral, apoiam os pés para frente, ao invés de se sentar sobre as pernas. Assim, o ideal, nestes casos, seria haver um apoio de pés onde fosse possível regular a altura da perna a partir deste apoio. Como o equipamento de prescrição não está, ainda, munido deste dispositivo para apoiar os pés e regular a altura da perna, não foi possível realizar a verificação das medidas desta variável. E, conseqüentemente, as cadeiras de rodas de corrida parametrizadas para os Participantes 2 e 4 não puderam ser incrementadas com esses

dispositivos de apoio dos pés, visto que não se tem parâmetros de medidas para estas variáveis neste momento do projeto.

Por último, é possível visualizar na Figura 4.66 uma visão geral de como ficaria a cadeira de rodas de corrida para o Participante 2 no caso de ser construída. Nesta figura estão faltando alguns acessórios, como os estofamentos, o guidão e o freio.

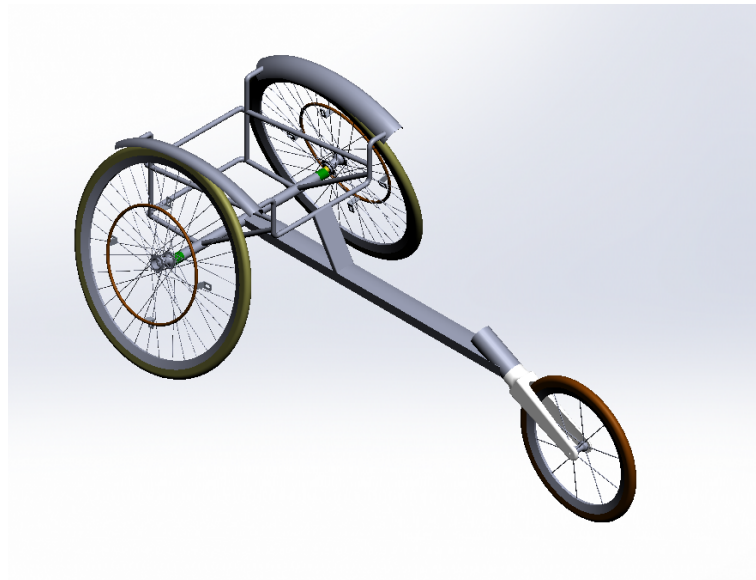


Figura 4.66 – Conjunto montado da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 2.

#### 4.12.3 Estudo de Caso: Participante 3

O terceiro participante a realizar os testes é do sexo masculino, possui massa de 103,0 kg e 1,83 m de altura. Conforme mostrado na Figura 4.67, o participante fez os testes sentado no equipamento com as pernas apoiadas no apoio de pernas, ou seja, dobradas para trás.

Este participante não é atleta profissional e não pratica esportes. É a primeira vez que ele tem uma experiência com uma cadeira de rodas ou equipamento semelhante.

É mostrado na Figura 4.67 o participante posicionado sobre o equipamento, onde a foto à esquerda apresenta o indivíduo antes de iniciar os testes e a foto à direita mostra o participante durante os movimentos de propulsão do equipamento de prescrição.



Figura 4.67 – Participante 3 acomodado sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Antes de o participante se acomodar no equipamento, foi feita uma avaliação, com a Ficha de Avaliação, para verificar condições físicas e de saúde do participante. Além disso, foram feitas medidas antropométricas prévias com as quais o equipamento foi ajustado previamente. Assim, ao se acomodar no equipamento, o participante já teve os ajustes da largura do assento e algumas outras configuradas anteriormente. Além disso, alguns ajustes, como a altura do assento é posicionada em sua dimensão máxima antes do início dos testes, de forma que isso permite uma maior facilidade para abaixar durante os ajustes posteriores, mesmo com o participante acomodado no equipamento.

É mostrado na Figura 4.68 a tabela dos resultados do Formulário de Pesquisa Quali-Quantitativa relacionada aos testes experimentais realizados com o Participante 3. Por motivo de indisponibilidade para finalizar os testes, não foi possível chegar até a percepção ótima do indivíduo neste caso. Porém, com os dados colhidos nestes testes é possível realizar algumas observações. Nota-se na tabela da Figura 4.68 que as percepções do participante tiveram variações consideráveis. Verifica-se que da Percepção 1 para a Percepção 2 alguns itens tiveram nota rebaixada na escala de **Likert**, porém é de se notar que na última percepção muitas variáveis tiveram a percepção aumentada (apesar de três terem sido rebaixadas).

Nota-se na Figura 4.68 que ao se passar a profundidade do encosto mais para trás e aumentar sua altura, houve um aumento significativo na percepção do indivíduo. Isso pode estar relacionado a segurança que o participante passou a ter no equipamento, em vista de ele ser relativamente alto, um aumento na posição da altura do encosto pode ter aumentado este sentimento de segurança.

Outro ponto interessante que se nota na tabela da Figura 4.68 é a variação da inclinação



do apoio da perna. Como o participante tem a função normal das pernas e suas pernas tem medidas relativamente grandes em relação à média da população, ao se inclinar para cima o apoio da perna pode ter deixado o indivíduo desconfortável, por isso abaixou a nota de percepção na escala de Likert.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)														
ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	Este é o meu ajuste preferido!!!											
			LEITURA 1	PERCEPÇÃO 1	LEITURA 2	PERCEPÇÃO 2	LEITURA 3	PERCEPÇÃO 3	LEITURA 4	PERCEPÇÃO 4	LEITURA 5	PERCEPÇÃO 5	LEITURA 6	PERCEPÇÃO 6
A	Assento - largura	cm	22,0	4	22,0	4	22,0	4						
B	Assento - altura atrás	cm	22,5	4	22,5	4	22,5	5						
C	Assento - inclinação	grau	13,0	4	13,0	4	17,0	5						
C.1	Assento - altura frente	cm	34,0	4	34,0	4	34,0	4						
D	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	pol	16,0	3	16,0	4	14,0	3						
E	Rodas traseiras - cambagem	grau	10,0	3	12,0	3	14,0	3						
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	cm	7,0	3	17,0	4	17,0	3						
G	Encosto - profundidade	cm	2,0	3	2,0	2	1,0	5						
H	Encosto - altura	cm	310,0	3	320,0	4	320,0	5						
I	Garfo - altura	cm	0,0	3	0,0	3	0,0	3						
J	Garfo - inclinação	grau	30,0	3	30,0	3	40,0	4						
K	Tubo principal - inclinação	grau	2,0	3	2,0	3	5,0	3						
L	Tubo principal - comprimento	cm	84,0	3	84,0	3	84,0	4						
L.1	Entre eixos das rodas traseiras com as dianteira	cm	155,0	2	145,0	4	145,0	4						
M	Apoio da perna - inclinação	grau	14,0	4,0	14,0	4,0	21,0	3						
N	Joelho - Largura	cm	32,0	4	32,0	4	32,0	5						

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.68 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 3).

É mostrado na Figura 4.69 os registros de velocidade máxima e média em quilômetros por hora, tempo em segundos e, distância percorrida em cada percurso em metros. Além disso, nesta tabela foi verificada a Percepção Psicomotora do participante considerando a seguinte proposição: "Tive uma sensação realística de propulsão". No caso desta percepção o participante discordou parcialmente no primeiro percurso e concordou parcialmente nos outros dois percursos. É provável que isto se deva ao fato de ele estar se adaptando à propulsão no primeiro percurso e depois ele se sentiu mais a vontade com os movimentos.

Ainda, sobre os dados da Figura 4.69, verifica-se que a velocidade máxima alcançada pelo participante foi no penúltimo percurso, onde ele atingiu uma velocidade máxima de

7,50 km/h. Nota-se que o fato de o participante não ser praticante de esportes pode ter contribuído para um desempenho inferior em relação aos participantes anteriores.

Por vontade própria o Participante na Leitura 3 fez o teste propulsando os aros com uma mão de cada vez, ou seja, ele intercalou o toque das mãos nos aros para movimentar o equipamento. Notou-se que esta forma de tocar uma mão de cada vez não alterou o alinhamento do equipamento ao longo do percurso. Dando sinais de que a inércia do equipamento de prescrição é suficiente para manter a estabilidade do percurso durante os testes.

AJUSTE	PROPULSÃO				PERCEPÇÃO PSICOMOTORA				
	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo [s]	Distância percorrida [m]	"TIVE UMA SENSAÇÃO REALÍSTICA DE PROPULSÃO"				
Leitura 1	6,10	4,50	25	31,0	1	<del>2</del>	3	4	5
Leitura 2	7,50	5,10	18	25,0	1	2	3	<del>4</del>	5
Leitura 3	7,10	4,80	24	31,0	1	2	3	<del>4</del>	5
Leitura 4					1	2	3	4	5
Leitura 5					1	2	3	4	5
Leitura 6					1	2	3	4	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

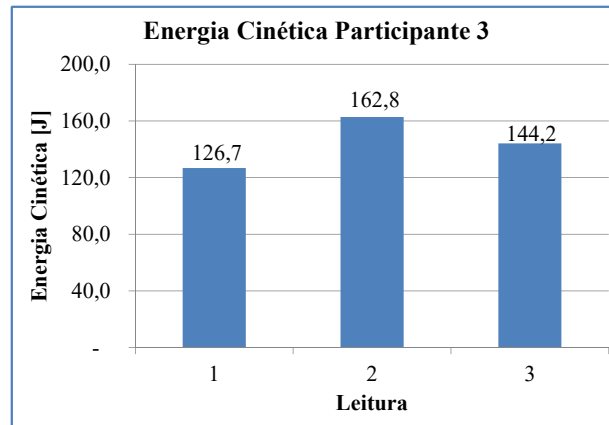
Figura 4.69 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 3).

A partir dos dados de propulsão obtidos e apresentados na tabela da Figura 4.69, foi possível calcular a energia cinética do Participante 3, o trabalho referente à variação da energia cinética e a potência de aceleração do equipamento. Os gráficos da Figura 4.70 mostram estas informações para o Participante 3. Onde cada barra é referente a uma leitura, ou seja, a um percurso realizado durante os testes.

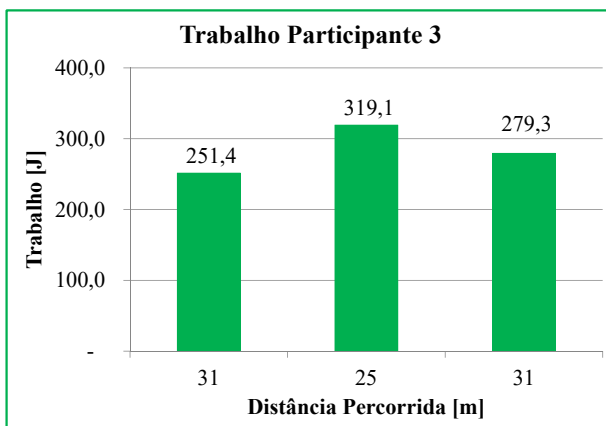
Nota-se pelos gráficos que a menor energia cinética, o menor trabalho e a menor potência deste participante se deram no primeiro percurso. Que é onde o participante ainda está se adaptando ao equipamento e à forma de conduzir, além de estar com as configurações dos ajustes reguladas de forma mais desfavorável. Assim, o menor valor de Energia Cinética foi de 126,7 J, enquanto o menor trabalho cinético foi de 251,4 J e a menor potência 10,06 W.

Nota-se que a cada percurso, os valores vão aumentando, podendo ocorrer alguma diminuição, mas na média vão aumentando devido aos ajustes ficarem mais próximos do ideal

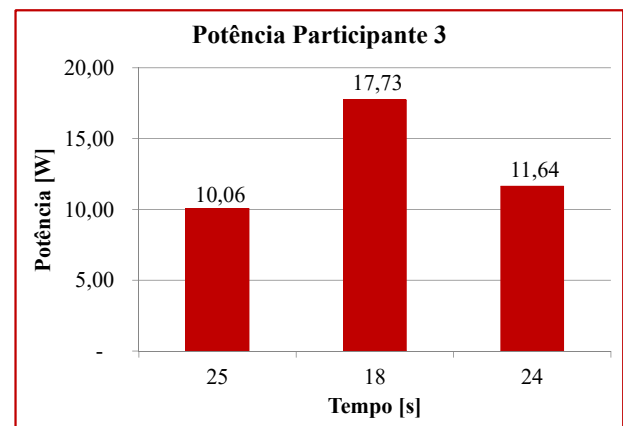
para o indivíduo. Neste caso, como foram realizados menos testes, não fica tão claro esta percepção. Porém, é possível notar que houve um pico nos valores do primeiro para o segundo percurso e uma diminuição do segundo para o terceiro. No entanto, do primeiro para o terceiro nota-se um aumento, o que corrobora para esta linha de aumento. Dado isso, a maior energia cinética foi de 162,8 J, o maior trabalho cinético de 319,1 J e a maior potência 17,73 W.



(a) Energia Cinética.



(b) Trabalho Cinético.



(c) Potência Mecânica.

Figura 4.70 – Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 3.

Como pode ser notado pelo resultado da potência (Fig. 4.70c), é válido considerar que a potência do terceiro percurso tenha sido consideravelmente menor do que o segundo, visto que, no terceiro percurso o participante propulsionou o equipamento com uma mão de cada vez, o que gerou uma queda de 35% na potência. Isso pode, ainda, estar associado ao tamanho do aro de propulsão que foi diminuído do segundo para o terceiro teste. Este experimento é válido para levantar a hipótese da importância de se propulsionar os aros com as duas mãos. Por exemplo, em pistas onde o atleta precisa fazer curvas com as cadeiras de corrida, qual seria a perda de potência que o atleta teria ao parar (momentaneamente) de propulsionar

um aro para ajustar o dispositivo de direção ao iniciar a curva?

É mostrado na Figura 4.71 o formulário em relação à Percepção Psicomotora Global relacionada ao Participante 3. Aqui nota-se que ele discordou em relação à se sentir seguro no equipamento, porém concordou em se sentir confortável e bem na acomodação. A resposta ao Item 4 foi neutra, e isto se justifica em vista de que este participante não é usuário de cadeira de rodas. É possível verificar pelo Item 5 que o participante se sentiu parcialmente confortável no equipamento, mas é bem provável que não suportaria permanecer por muito tempo com as pernas dobradas, em vista da resposta dada ao Item 6. Vale ressaltar que o participante deu uma percepção 2 e comentou que "se não fosse pelas pernas, conseguiria". É considerável destacar que não é uma posição a que pessoas com as pernas funcionais estão acostumadas a ficar por muito tempo.

No item 9 o Participante 3 deu concordância plena. Ou seja, o participante ficou satisfeito com a forma como foi feito o procedimento de prescrição.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)						
ITEM	PROPOSIÇÕES DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL DA ESTRUTURA MODELADA	PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL				
		Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!				
1	Eu me sinto seguro nesta acomodação	1	<del>2</del>	3	4	5
2	Eu me sinto confortável nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del>	5
3	Eu me sinto bem nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del>	5
4	Esta é a acomodação que eu sempre desejei da minha cadeira de rodas de corrida	1	2	<del>3</del>	4	5
5	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período de até uma hora	1	2	3	<del>4</del>	5
6	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período superior a uma hora	1	<del>2</del>	3	4	5
7	Eu sinto meu corpo harmonizado à estrutura de acomodação	1	2	3	<del>4</del>	5
8	Todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao meu corpo	1	2	3	<del>4</del>	5
9	Eu recomendaria essa metodologia para terceiros, sem o menor receio	1	2	3	4	<del>5</del>

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.71 – Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 3).

É mostrado na Figura 4.72 a cadeira de rodas de corrida personalizada, otimizada, anatômica e parametrizada para o Participante 3. Aqui são apresentadas as dimensões principais com as quais é possível construir uma cadeira de rodas de corrida personalizada para o Par-

participante 3, considerando que a última percepção do questionário quali-quantitativo foi a melhor configuração para este indivíduo. Nota-se que a escala do aro de propulsão e do inserto para a cambagem estão em escala aumentada, desproporcional com o restante da estrutura. Mas, essa figura está representada com as medidas corretas para construir esta cadeira de corridas de acordo com a prescrição e parametrização feitas para o Participante 3.

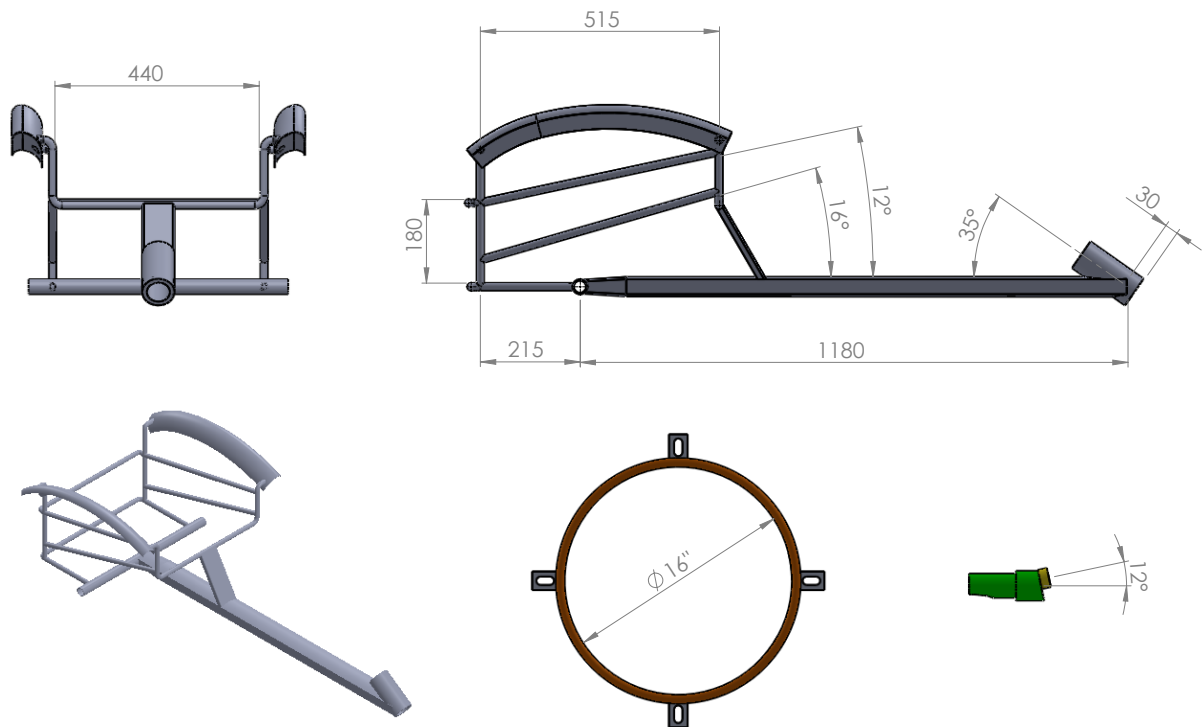


Figura 4.72 – Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 3).

Com isso, a Figura 4.73 dá uma visão geral de como ficaria a cadeira de rodas de corrida para o Participante 3 no caso de ser construída. Nesta figura estão faltando alguns acessórios, como os estofamentos, o guidão e o freio. Mas a figura está sendo mostrada assim para dar um visual mais limpo e claro de como ficaria a estrutura montada.

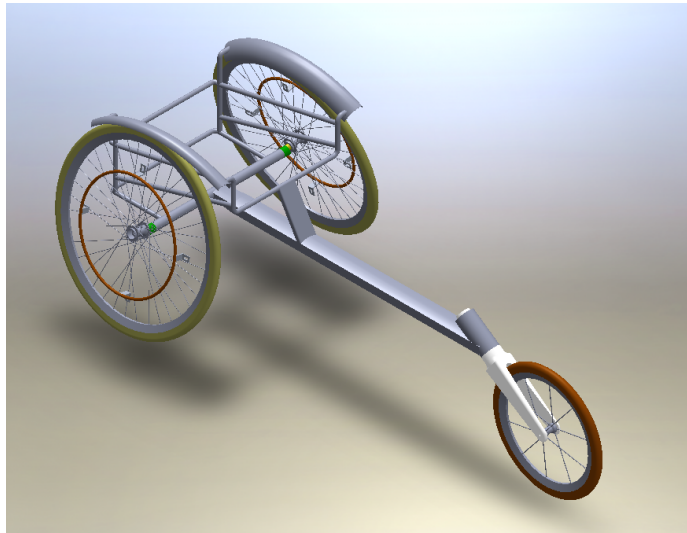


Figura 4.73 – Conjunto montado sem estofamento da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 3.

#### 4.12.4 Estudo de Caso: Participante 4

O quarto participante a realizar os testes é do sexo feminino e possui massa de 65,0 kg e 1,51 m de altura. Conforme mostrado na Figura 4.74, o participante fez os testes sentado no equipamento com as pernas apoiadas para frente. Desta forma, ele não utilizou o apoio de perdas disponível no equipamento.

Este participante não é atleta profissional e não pratica esportes. É a primeira vez que ela tem uma experiência com uma cadeira de rodas ou equipamento semelhante.

Na Figura 4.74 verifica-se o participante posicionado sobre o equipamento, em vários momentos dos testes propulsionando o equipamento de prescrição.



Figura 4.74 – Participante 4 acomodada sobre o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Antes de o participante se acomodar no equipamento, foi feita uma avaliação, com a Ficha de Avaliação, para verificar condições físicas e de saúde do participante. Além disso, foram

feitas medidas antropométricas prévias com as quais o equipamento foi ajustado previamente. Assim, ao se acomodar no equipamento, o participante já teve os ajustes da largura do assento e algumas outras medidas configuradas anteriormente. Além disso, alguns ajustes, como a altura do assento é posicionada em sua dimensão máxima antes do início dos testes, de forma que isso permite uma maior facilidade para abaixar durante os ajustes posteriores, mesmo com o participante acomodado no equipamento.

Na Figura 4.75 verifica-se a tabela dos resultados do Formulário de Pesquisa Quali-Quantitativa em vista dos testes experimentais realizados com o Participante 4. É possível notar nesta tabela que este participante realizou diversos percursos (um total de quatro), e mesmo assim uma quantidade considerável de ajustes permaneceram com a percepção em "não concordo nem discordo". Nota-se que três variáveis estão em concordância plena com o ajuste.

Nota-se na Figura 4.75 que houve uma mudança significativa na percepção da participante ao abaixar o assento (altura atrás, inclinação e, altura frente). Verifica-se concordância parcial ou plena na última percepção para estes ajustes. Isso pode ser o efeito de um melhor alcance nos aros de propulsão ao se abaixar o assento, visto que a estatura da participante é relativamente baixa e suas medidas antropométricas menores que a população média.

Para este participante não foram feitas alterações no tamanho do aro de propulsão. Nota-se que em sua percepção ele não concordou nem discordou deste ajuste. Isso se deve, provavelmente, ao fato de ele não ter tido variação para avaliar este parâmetro.

Outro ponto interessante que se nota na tabela da Figura 4.75 é a variação da cambagem, que ao se alterar o ângulo para uma maior inclinação, a percepção do participante passou de discordância parcial para concordância parcial. É possível que o aumento do ângulo de cambagem tenha dado maior segurança ao participante ao mesmo tempo que facilitou seu acesso aos aros de propulsão.

Já no centro de gravidade, como comentado anteriormente, ao se jogar esta variável para frente o equipamento se torna mais leve devido ao conjunto se tornar mais equilibrado. E isso ajudou a aumentar a escala da percepção do participante. A inclinação do garfo também recebeu percepção maior no último percurso, visto que esta foi aumentada e também contribuiu para este aumento na "leveza".

Algo que pode ser notado em todos os participantes até o momento, é que a configuração da largura do assento se mantém da primeira até a última percepção e com avaliação 4 ou 5 pela escala de Likert. Assim, verifica-se que o procedimento de medir o indivíduo e realizar este ajuste antes de acomodá-lo no equipamento tem sido assertivo.

No caso desta participante é importante considerar que o aro de propulsão não foi trocado em nenhum momento, pois o comprimento dos membros superiores não permitiriam um bom alcance a aros de menores tamanhos.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)																										
ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	Este é o meu ajuste preferido!!!																							
			LEITURA 1		PERCEPÇÃO 1		LEITURA 2		PERCEPÇÃO 2		LEITURA 3		PERCEPÇÃO 3		LEITURA 4		PERCEPÇÃO 4		LEITURA 5		PERCEPÇÃO 5		LEITURA 6		PERCEPÇÃO 6	
A	Assento - largura	cm	22,0	4	22,0	5	22,0	5	22,0	5																
B	Assento - altura atrás	cm	22,0	3	20,0	3	19,0	4	18,5	5																
C	Assento - inclinação	grau	15,0	3	15,0	3	14,0	4	13,0	4																
C.1	Assento - altura frente	cm	34,0	3	32,0	3	29,0	4	27,0	4																
D	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	pol	16,0	3	16,0	3	16,0	3	16,0	3																
E	Rodas traseiras - cambagem	grau	10,0	2	13,0	2	16,0	4	16,0	4																
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	cm	7,0	3	13,0	3	16,0	4	18,0	4																
G	Encosto - profundidade	cm	14,0	3	14,0	2	14,0	3	14,0	3																
H	Encosto - altura	cm	320,0	3	320,0	2	320,0	3	320,0	3																
I	Garfo - altura	cm	0,0	3	0,0	3	0,0	3	0,0	3																
J	Garfo - inclinação	grau	38,0	3	38,0	3	38,0	3	42,0	4																
K	Tubo principal - inclinação	grau	3,0	3	3,0	3	6,0	3	3,0	3																
L	Tubo principal - comprimento	cm	82,0	2	82,0	3	82,0	3	82,0	3																
L.1	Entre eixos das rodas traseiras com as dianteira	cm	148,6	3	142,6	3	139,6	3	137,6	3																
M	Apoio da perna - inclinação	grau	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A																
N	Joelho - Largura	cm	18,0	5	18,0	5	18,0	5	18,0	5																

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.75 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 4).

Na Figura 4.76 verifica-se os registros de velocidade máxima e média em quilômetros por hora, tempo em segundos e, distância percorrida em cada percurso em metros. Além disso, nesta tabela foi verificada a Percepção Psicomotora do participante considerando a seguinte proposição: "Tive uma sensação realística de propulsão". No caso desta participante é interessante notar que ela respondeu começando pela escala 3 (de Likert), pois não tinha referência para opinar sobre a sensação de propulsão. E de acordo com a própria participante, depois que ela foi ganhando segurança e prática com relação ao equipamento, sua percepção passou a ser mais positiva em relação à sensação realística de propulsão.

Ainda, sobre os dados da Figura 4.76, verifica-se que a velocidade máxima alcançada pelo participante foi no último percurso, onde ele atingiu uma velocidade de 9,50 km/h. Estes testes foram feitos em pista de atletismo, e por isso ao final dos testes a participante já estava cansada, visto que ela não pratica esportes com regularidade e os percursos percorridos por ela foram os maiores de todos os participantes apresentados até aqui. Assim, a velocidade máxima alcançada por ela ocorreu no terceiro percurso e a maior velocidade média ocorreu



no último.

AJUSTE	PROPULSÃO				PERCEPÇÃO PSICOMOTORA				
	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo [s]	Distância percorrida [m]	"TIVE UMA SENSAÇÃO REALÍSTICA DE PROPULSÃO"				
Leitura 1	7,30	5,80	49	79,0	1	2	<del>3</del>	4	5
Leitura 2	7,10	5,70	30	47,0	1	2	<del>3</del>	4	5
Leitura 3	9,50	6,80	22	41,0	1	2	3	<del>4</del>	5
Leitura 4	9,20	7,00	25	48,0	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 5					1	2	3	4	5
Leitura 6					1	2	3	4	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

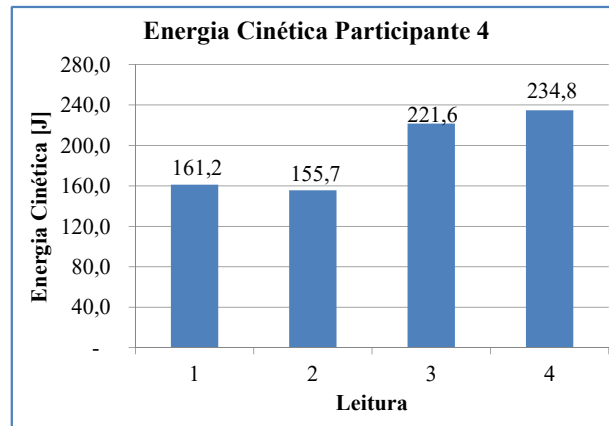
Figura 4.76 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 4).

A partir dos dados de propulsão obtidos e apresentados na tabela da Figura 4.76, foi possível calcular a energia cinética do Participante 4, o trabalho referente à variação da energia cinética e a potência de aceleração do equipamento. Os gráficos da Figura 4.77 mostram estas informações para o Participante 4. Onde cada barra é referente a uma leitura, ou seja, a um percurso realizado durante os testes.

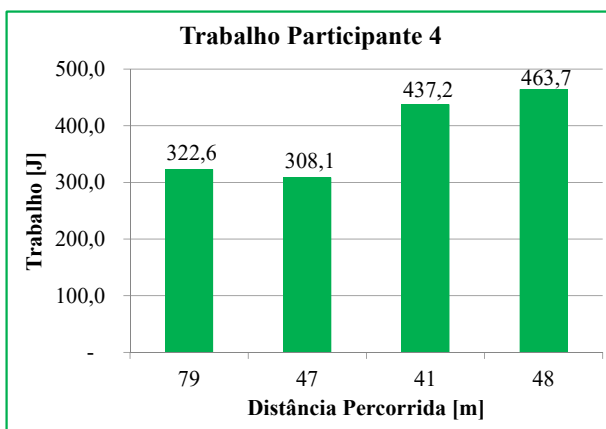
Nota-se pelos gráficos que a menor energia cinética, o menor trabalho e a menor potência deste participante se deram no primeiro e segundo percurso. Que é onde o participante ainda está se adaptando ao equipamento e à forma de conduzir, além de estar com as configurações dos ajustes reguladas de forma mais desfavorável. Assim, o menor valor de Energia Cinética foi de 155,7 J, enquanto o menor trabalho cinético foi de 308,1 J e a menor potência 6,58 W.

Nota-se que a cada percurso, os valores vão aumentando, podendo ocorrer alguma diminuição, mas na média vão aumentando devido aos ajustes ficarem mais próximos do ideal para o indivíduo. Nota-se neste caso que a energia cinética e o trabalho foram maiores no primeiro percurso em relação ao segundo devido à maior distância e tempo, gastos neste. Já os três percursos seguintes tiveram uma média de distância percorrida próximas uma da outra. Dado isso, a maior energia cinética foi de 234,8 J, o maior trabalho cinético de 463,7 J e a maior potência 19,87 W.

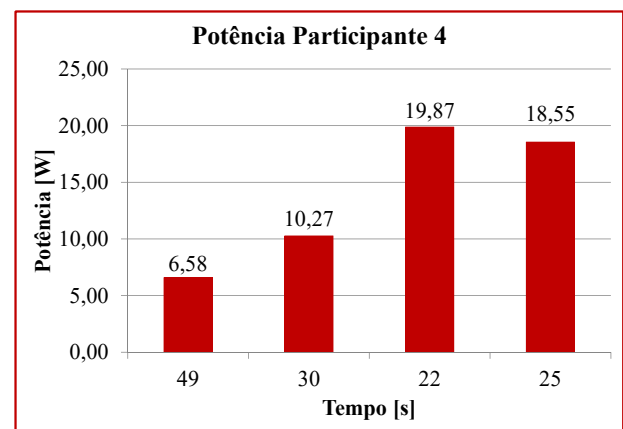
Como pode ser notado pelo resultado da potência (Fig. 4.77c), verifica-se que a potência do último percurso teve um decréscimo de 7% em relação ao penúltimo. Isso pode ter ocorrido, conforme já comentado, devido ao cansaço que a participante estava apresentando ao final dos testes.



(a) Energia Cinética.



(b) Trabalho Cinético.



(c) Potência Mecânica.

Figura 4.77 – Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 4.

Na Figura 4.78 verifica-se a tabela de respostas à Percepção Psicomotora Global do Participante 4 em relação a acomodação no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Neste formulário, o participante considera, para as respostas, a seguinte proposição: "Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!".

É interessante observar que com exceção dos Itens 4 e 9, todas as outras percepções foram de concordância parcial, o que pode significar uma boa aceitação da participante em relação a acomodação no equipamento.

Apenas no Item 4 a Participante 4 respondeu nem concordando nem discordando. De acordo com os comentários feitos por ela, essa resposta está relacionada à ele não ser usuário de cadeira de rodas e, por isso, não tem um padrão comparativo para estas proposições.

E, ao final, no Item 9 foi dada concordância plena. Ou seja, a participante ficou satisfeito com a forma como foi feito o procedimento de prescrição.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)						
ITEM	PROPOSIÇÕES DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL DA ESTRUTURA MODELADA	PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL				
		Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!				
1	Eu me sinto seguro nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del>	5
2	Eu me sinto confortável nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del>	5
3	Eu me sinto bem nesta acomodação	1	2	3	<del>4</del>	5
4	Esta é a acomodação que eu sempre desejei da minha cadeira de rodas de corrida	1	2	<del>3</del>	4	5
5	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período de até uma hora	1	2	3	<del>4</del>	5
6	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período superior a uma hora	1	2	3	<del>4</del>	5
7	Eu sinto meu corpo harmonizado à estrutura de acomodação	1	2	3	<del>4</del>	5
8	Todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao meu corpo	1	2	3	<del>4</del>	5
9	Eu recomendaria essa metodologia para terceiros, sem o menor receio	1	2	3	4	<del>5</del>

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.78 – Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 4).

Na Figura 4.79 verifica-se a cadeira de rodas de corrida personalizada, otimizada, anatômica e parametrizada para o Participante 4. Aqui são apresentadas as dimensões principais com as quais é possível construir uma cadeira de rodas de corrida personalizada para a Participante 4, se levarmos em consideração que a última percepção do questionário quali-quantitativo foi a melhor configuração para este indivíduo. Nota-se que a escala do aro de propulsão e do inserto para a cambagem estão em escala aumentada, desproporcional com o restante da estrutura. Mas, essa figura está representada com as medidas corretas para construir esta cadeira de corridas de acordo com a prescrição e parametrização feitas para o Participante 4.

É importante refazer uma observação em relação aos Participantes 2 e 4. Visto que estes dois participantes não utilizaram o apoio da perna projetado e construído no equipamento de prescrição, eles poderiam se enquadrar na simulação das Classes T51 e T52. Porém, o equipamento de prescrição não está, ainda, munido deste dispositivo para apoiar os pés e

regular a altura da perna.

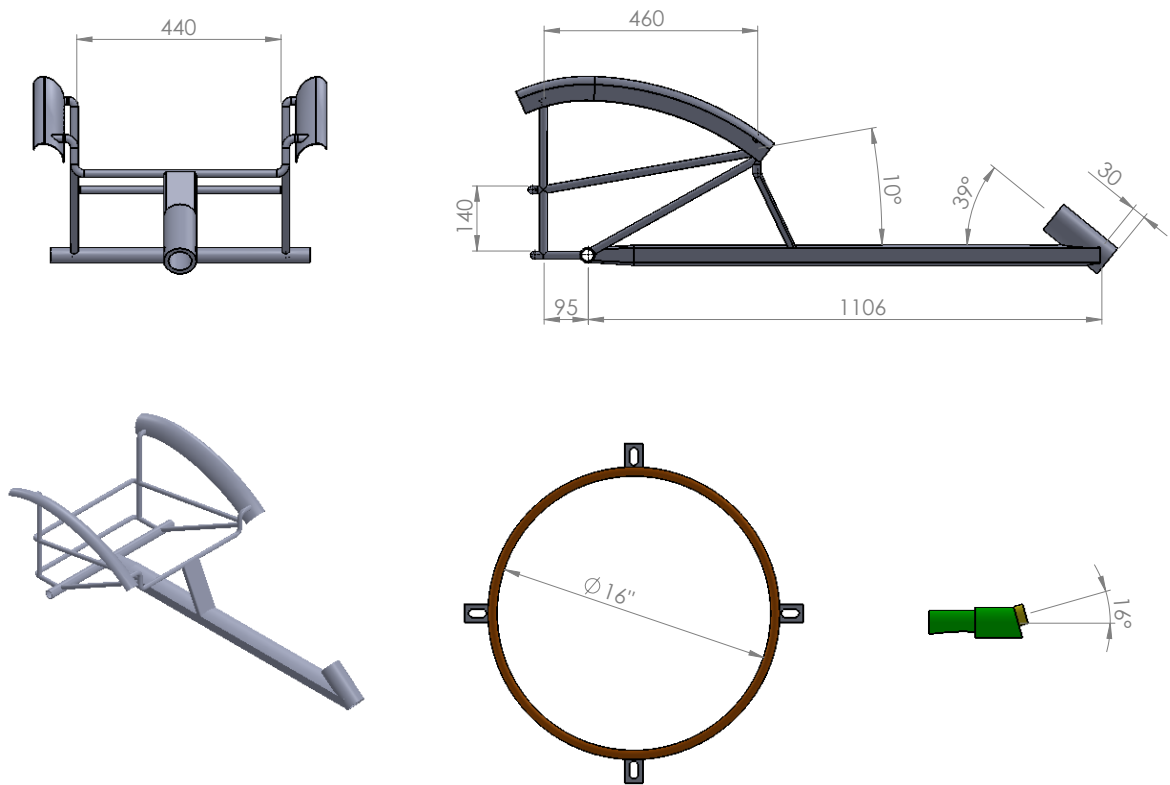


Figura 4.79 – Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 4).

Por último, na Figura 4.80 verifica-se uma visão geral de como ficaria a cadeira de rodas de corrida para o Participante 4 no caso de ser construída. Nesta figura estão faltando alguns acessórios, como os estofamentos, o guidão e o freio. Mas a figura está sendo mostrada assim para dar um visual mais limpo e claro de como ficaria a estrutura montada.

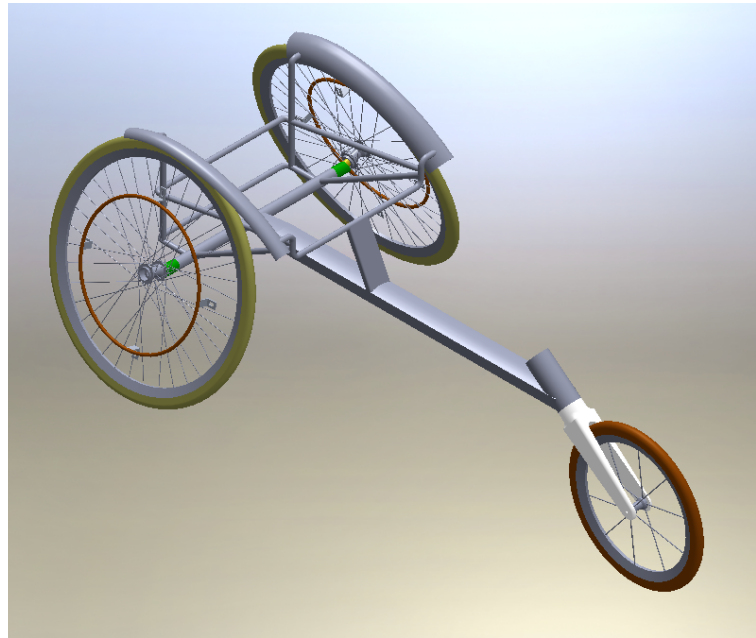


Figura 4.80 – Conjunto montado da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 4.

#### 4.12.5 Considerações Gerais em Relação aos Estudos de Caso Anteriores

Sobre as percepções de cambagem das rodas de propulsão, em geral, os participantes não notaram diferenças de percepção nos ajustes de cambagem. O que pode influenciar isso é o seguinte, não foram realizados exercícios onde o equipamento fizesse curvas ou o gesto de rotação em uma pista que é onde a cambagem exerce maior influência. Como todos os experimentos foram realizados em linha reta a cambagem exerceria uma influência menor e, portanto, mais difícil de ser sensibilizada pela percepção do participante. Como as velocidades desenvolvidas também não puderam ser muito altas em comparação às velocidades de atletas profissionais, o perfil de propulsão dos participantes predominou o movimento de arco. Em nenhum momento foi possível desenvolver velocidades que permitissem uma propulsão semicircular. Por causa disso, não houve um esforço de adução e abdução dos punhos e dos membros superiores durante a propulsão que pudesse desenvolver uma percepção diferenciada entre os ajustes de cambagem. Um dos efeitos que a cambagem exerce para o cadeirante é o exercício de propulsão exigindo com que os músculos dos membros superiores e as articulações do punho, do cotovelo e do ombro façam maior adução e abdução devido à posição do aro na medida em que o ajuste de cambagem é colocado mais inclinado. Porém, esse movimento só aconteceria se o movimento semicircular fosse aplicado no momento da propulsão. Então, como está sendo predominante a propulsão de arco, não está sendo solicitada esta movimentação toda do membro superior. Por isso, os participantes não tem percebido diferenciações entre os ajustes de cambagem durante a propulsão.

Sobre a natureza dos dados de resultados da pesquisa, embora os dados objetivados pela pesquisa se referem à capacidade do equipamento de personalizar uma cadeira de rodas de corrida, compreendendo a percepção de conforto, estabilidade, adequação ergonômica e, compatibilidade física do participante com relação ao equipamento e à metodologia de prescrição, uma série de diversas outras variáveis aparece na pesquisa relacionadas ao desempenho psico-motor durante os exercícios de propulsão. É importante lembrar que a tese objetiva limitar os resultados aos estudos de percepção, porém, a metodologia em si é capaz de subsidiar outros tipos de pesquisa como, por exemplo, em alguns participantes foi percebido que o diâmetro do aro de propulsão e o ajuste de inclinação do assento favoreceram mais ou menos nas velocidades e nos rendimentos de propulsão testados. Contudo, a tese não objetiva aprofundar na análise dessas variáveis. Aqui se pretende validar o método da pesquisa de natureza fisiológica, de natureza anatômica e de natureza motora conduzida por outros tipos de pesquisadores, como por exemplo na área de saúde, na área de educação física e na área de fisioterapia. Então, pela capacidade da metodologia subsidiar outras pesquisas, não será necessário aqui aprofundar com inclusões de desempenho. Não é necessário discutir mais profundamente porque que um participante desenvolveu maior velocidade com aquele aro ou não. Para isso deveria-se fazer pesquisas em campos de linha de pesquisa mais direcionados para o desempenho bio-motor. Não é o caso aqui. Isso deixa claro até onde a discussão dos resultados precisa focar e aquilo que ela pode mencionar como apenas a capacidade do método em si subsidiar e fornecer dados para diversas outras abordagens científicas, outras pesquisas quanti-qualitativas envolvendo propulsão em cadeira de rodas de corrida. Portanto, é possível concluir que os dados produzidos pela pesquisa tem uma natureza multidisciplinar.

Outro ponto que deve ficar claro, tanto aos participantes da pesquisa, quanto aos pesquisadores e leitores do presente texto é que, o equipamento compreende os ajustes adequados para a anatomia do participante, porém, não é exatamente a mesma experiência fisiológica que será na cadeira de rodas de corrida projetada (definitiva). Como o equipamento é modular alguns ajustes vão ser afetados pela modularidade, inclusive algumas questões como o centro de gravidade e a inércia do equipamento na pista. Então, essas são algumas influências que vão distanciar um pouco a experiência no equipamento da experiência que será na cadeira de rodas de corrida real (Isto precisa ser esclarecido, principalmente, para o participante). Contudo, também deve ser esclarecido, que na cadeira definitiva a rigidez estrutural foi maior, a inércia foi menor para fazer a propulsão (em função do peso do equipamento). O que se quer observar nos testes, é como a personalização destes ajustes vão refletir para o atleta a melhor condição de conforto e adequação e esses ajustes serão implementados na cadeira de corrida. Mas é preciso desenvolver uma noção comparativa entre os ajustes para o participante. Então, ele também tem o papel de comparar um ajuste com outro afim de determinar as condições de maior sensibilidade. Assim, de forma que o atleta faz parte do

equipamento, ele é como se fosse um sensor do equipamento. Um sensor que compara um ajuste com o outro, e fala "esse (ajuste) é melhor do que aquele". A resposta desse "sensor" é que vai definir (o ajuste). É a sensibilidade do ajuste neste equipamento (que faz parte dele), quem vai indicar as melhores condições.

#### 4.12.6 Estudo de Caso: Participante 5

O participante número cinco a realizar os testes é do sexo masculino possui massa de 59,7 kg. Conforme mostrado na Figura 4.81, o participante fez os testes sentado no equipamento com as pernas apoiadas no apoio de pernas (dobradas para trás) e, em um segundo momento ele fez os testes com as pernas para frente.

Este participante pratica atividades no para-atletismo de arremesso de peso, de dardo e disco. Já participou de competições nestas modalidades. Utiliza cadeira de rodas majoritariamente no ambiente externo, visto que tem alguma funcionalidade nas pernas. De acordo com a Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (CID), o diagnóstico médico do Participante 5 é o CID G 80.1, ou seja, Paralisia Cerebral Doplégica Espástica. Em casa ele costuma utilizar um andador para se movimentar. Sua cadeira de rodas de uso diário é de propulsão manual e o indivíduo faz a locomoção com a cadeira de rodas de forma independente. A transferência para a e da cadeira de rodas, também é feita de forma independente. Foi a primeira vez que ele faz testes em um equipamento de personalização de cadeira de rodas.

O participante comentou durante as conversas que é um dos seus objetivos no esporte praticar corridas em cadeira de rodas e competir na modalidade.

Na Figura 4.81 verifica-se o participante posicionado sobre o equipamento, onde a Figura 4.81a mostra o participante posicionado no equipamento, sentado sobre a perna, com as pernas apoiadas no apoio de pernas do equipamento. E na Figura 4.81b é possível verificar o participante com as pernas posicionadas para frente e os pés apoiados no apoio de pernas do equipamento. É importante registrar que o participante fez testes nestas duas posições. Sendo que, ele iniciou os testes posicionado de acordo com a Figura 4.81a (sentado sobre as pernas), e após relatar algum desconforto devido a posição esticada dos pés para trás, decidiu-se realizar alguns testes na posição vista na Figura 4.81b (pernas posicionadas para frente).



(a) Sentado sobre as pernas.



(b) Pernas para frente.

Figura 4.81 – Ilustração das duas posições que o Participante 5 ocupou durante os testes.

Durante os testes experimentais realizados com os participantes anteriores verificou-se que o antebraço dos participantes ficavam arranhados, pois esfolavam na roda traseira do equipamento durante o movimento de propulsão. Com isso verificou-se a importância da presença do para-lamas traseiro nas cadeiras de rodas de corrida, os quais tem como uma de suas funções proteger o atleta contra estes arranhões causados pelo contato entre a roda em movimento e o braço do atleta. Assim, visto que no equipamento de prescrição a possibilidade de inserir um para-lamas seria um tanto desafiador em virtude das variáveis de ajustes, optou-se por uma solução mais simples. Dessa forma, a solução adotada foi a criação de um protetor para o braço que foi confeccionado em tecido neoprene de borracha sintética, o qual possui uma ótima elasticidade, flexibilidade, resistência e proteção térmica e elétrica, podendo ser feito, também, em couro. O protetor utilizado é apresentado na Figura 4.82. Ele foi confeccionado para proteger o antebraço. A forma de fixação é por meio de tiras com velcro para melhor ajuste. A foto apresentada na Figura 4.82 consta a primeira vez em que os protetores foram utilizados. No caso, o Participante 5 foi o primeiro a fazer os testes com ele. Segundo o participante, durante os testes o protetor se mostrou eficiente, pois protegeu seu braço contra os arranhões, ficou confortável e bem fixado. Dessa forma, o protetor de braço foi aprovado como mais um item de segurança para ser utilizado em conjunto com o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.



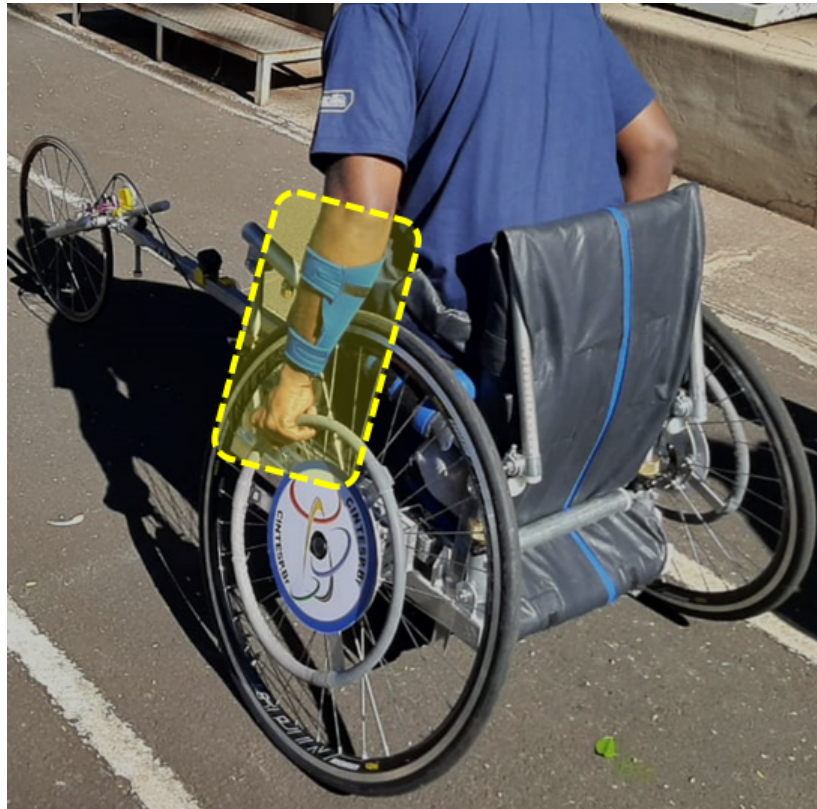


Figura 4.82 – Protetor do braço utilizado pelo Participante 5.

Antes de o participante se acomodar no equipamento, foi feita uma avaliação, com a Ficha de Avaliação, para verificar condições físicas e de saúde do participante. Além disso, foram feitas medidas antropométricas prévias com as quais o equipamento foi ajustado previamente. Assim, ao se acomodar no equipamento, o participante já teve os ajustes da largura do assento e algumas outras configuradas anteriormente. Além disso, alguns ajustes, como a altura do assento é posicionada em sua dimensão máxima antes do início dos testes, de forma que isso permite uma maior facilidade para abaixar durante os ajustes posteriores, mesmo com o participante acomodado no equipamento.

N Figura 4.84 é mostrado que foram feitas sete sessões de ajustes com o Participante 5. Conforme são ajustadas as configurações, o participante é convidado a refletir sobre a proposição: “Este é o meu ajuste preferido!”. No caso de concordar plenamente, o respectivo ajuste é definido como ideal para a personalização da cadeira de rodas de corrida. No caso de concordar parcialmente ou discordar, são feitos novos ajustes naqueles parâmetros. Assim, os ajustes configurados levam em conta a percepção psicomotora da modelagem, bem como as dimensões antropométricas do indivíduo. Dessa forma, o papel do participante é ativo e interativo com o processo de modelagem parametrizada da cadeira de rodas esportiva.

Na Figura 4.84 é mostrado a tabela dos resultados do Formulário de Pesquisa Quali-Quantitativa em vista dos testes experimentais realizados com o Participante 5. No caso

deste participante nota-se pela coluna das percepções que na Leitura 5 o equipamento já se encontrava com todos os ajustes em concordância a partir da percepção do indivíduo. Sendo, apenas, a posição do assento (profundidade do encosto) em concordância parcial e o restante das variáveis em concordância plena. No entanto, a profundidade do encosto não foi alterada, visto que isso mudaria o centro de gravidade mais para trás e poderia ocasionar o tombamento do participante, visto que nesta posição o atleta já conseguia dar alguns impulsos que faziam o equipamento levantar a parte dianteira do equipamento. Assim, mesmo depois de a Leitura 5 estar em concordância com todas as variáveis, foi realizado mais um percurso a fim de confirmar esta percepção. E por fim, foi realizado um último percurso (sete) com a variação, apenas, do tamanho do aro de propulsão para analisar a percepção e desempenho do participante com um aro menor.

Uma observação a fazer em relação aos testes experimentais realizados com o Participante 5 é que as três primeiras leituras e percepções foram realizadas com o indivíduo posicionado no equipamento de prescrição com as pernas dobradas para trás (sentado sobre as pernas) e, a partir da Leitura/Percepção 4 o atleta realizou os testes com as pernas posicionadas para frente.

Sobre as variáveis, desde o primeiro percurso os quatro primeiros itens apresentados na tabela da Figura 4.84 estavam em concordância plena. Assim, eles foram mantidos até o último percurso realizado nos testes.

Na percepção do Participante 5, o tamanho do aro de propulsão não estava adequado no primeiro percurso (tamanho de 16 polegadas), por isso foi trocado para um menor (14 polegadas) e no terceiro percurso para um de 12 polegadas. Sendo que, de todos, nestes três primeiros testes, o de 14 polegadas foi o que estaria mais adequado segundo o participante, que chegou a comentar que o de 14 polegadas estaria em concordância plena. Porém, ao realizar os testes na segunda acomodação (com as pernas para frente), o primeiro aro utilizado foi o de 14 polegadas e o segundo foi de 16 polegadas. Apesar de os dois estarem em concordância plena, o atleta relatou que o de 16 polegadas estava mais adequado. Assim, foi mantido este aro no percurso seguinte. Apenas no último percurso foi alterado para o aro de 12 polegadas para confirmar a percepção do atleta, bem como para verificar o quanto isto afetaria no seu desempenho. Na ocasião dos testes realizados com o Participante 5 foi realizada a medida da dimensão do aro de propulsão da cadeira de rodas de uso diário do Participante 5, o qual utiliza um aro com 21 polegadas de diâmetro, sendo este aro maior que os aros utilizados nos testes com o equipamento de prescrição.

O item seguinte (na tabela da Figura 4.84), onde houveram variações, foi a cambagem. Nota-se uma mudança sensível na percepção do participante quando a inclinação foi aumentada, passando de não concordo nem discordo para concordo plenamente. Isto pode estar relacionado a uma melhor percepção de segurança e estabilidade durante o percurso de cor-

rida, bem como o acesso das mãos ao aro de propulsão ter sido facilitada com esta mudança de inclinação na cambagem. Também, notou-se um ângulo de cambagem na cadeira de rodas de uso diário do Participante 5. Esta cambagem foi analisada por meio de estudo de imagem, a qual resultou em um ângulo de 4 graus, conforme Fig. 4.83.

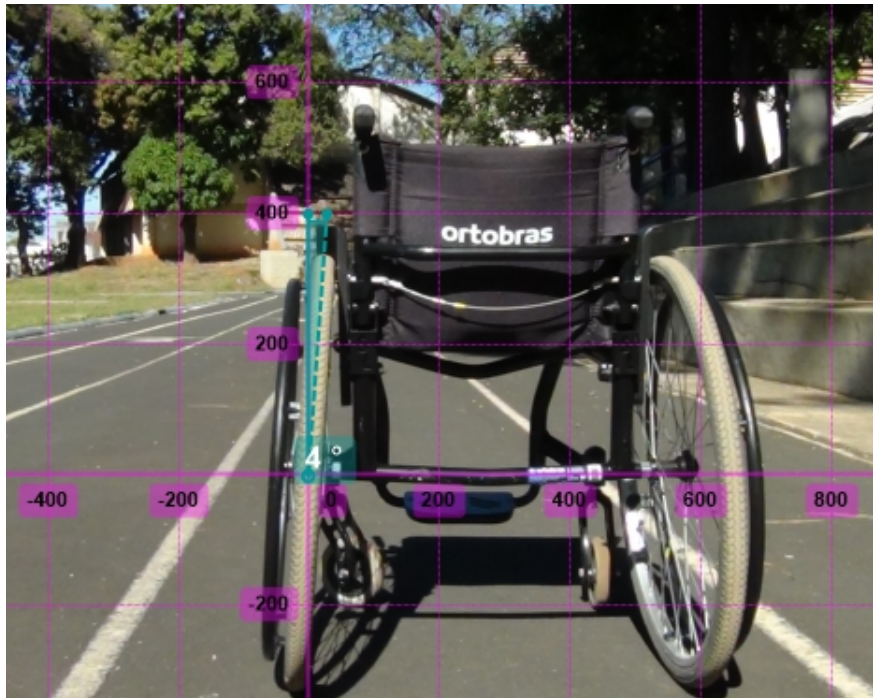


Figura 4.83 – Cambagem das rodas traseiras da cadeira de rodas de uso diário do Participante 5.

Sobre a variável centro de gravidade (Item F), durante os testes com a primeira acomodação o Participante 5 concordou parcialmente com a medida desta variável, provavelmente porque nesta condição o centro de gravidade estava um pouco mais a frente em relação aos testes na segunda acomodação. Se a posição desta variável se mantivesse nos testes seguintes o centro de gravidade do participante se deslocaria para frente, visto que as pernas avançaram na sua acomodação e teria mais peso nesta posição, porém, a posição do eixo das rodas (Item F) foi levada para frente, o que fez com que o centro de gravidade fosse para frente, também. Isso foi possível notar durante as corridas, pois na primeira acomodação (perna embaixo) o participante não empinou o equipamento nenhuma vez nos três primeiros percursos. Já, com a perna para frente e o centro de gravidade (Item F), também para frente, foi visível em diversos momentos o atleta empinando o equipamento durante a propulsão. Assim, o que se verifica nas mudanças desta variável, é que a posição do centro de gravidade mais para frente melhora a propulsão, o conforto, o controle e, com isso a confiança, equilíbrio e conseqüentemente a performance, visto que ali havia um maior equilíbrio em relação ao ajuste anterior. Tanto que, com o centro de gravidade mais a frente a percepção do atleta foi

de concordância plena, contra a concordância parcial da posição anterior. Outra variável que contribuiu para levar o centro de gravidade (CG) mais à frente, foi o comprimento do tubo principal, o qual após o primeiro percurso foi alongado e posicionou o CG mais avançado.

Sobre o entre eixos das rodas traseiras com a dianteira, esta distância possui uma variação que depende de outras variáveis, como a variável do centro de gravidade, do comprimento do tubo principal e da inclinação e comprimento do garfo. Por isso, em alguns momentos que estas variáveis foram alteradas, a variável de entre eixos (L.1) variou, por consequência.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)																
ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	Este é o meu ajuste preferido!!!													
			LEITURA 1	PERCEPÇÃO 1	LEITURA 2	PERCEPÇÃO 2	LEITURA 3	PERCEPÇÃO 3	LEITURA 4	PERCEPÇÃO 4	LEITURA 5	PERCEPÇÃO 5	LEITURA 6	PERCEPÇÃO 6	LEITURA 7	PERCEPÇÃO 7
A	Assento - largura	cm	17,0	5	17,0	5	17,0	5	17,0	5	17,0	5	17,0	5	17,0	5
B	Assento - altura atrás	cm	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5
C	Assento - inclinação	grau	15,0	5	15,0	5	15,0	5	15,0	5	15,0	5	15,0	5	15,0	5
C.1	Assento - altura frente	cm	34,0	5	34,0	5	34,0	5	34,0	5	34,0	5	34,0	5	34,0	5
D	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	pol	16,0	3	14,0	4	12,0	2	14,0	5	16,0	5	16,0	5	12,0	2
E	Rodas traseiras - cambagem	grau	10,0	3	10,0	3	10,0	3	13,0	5	13,0	5	13,0	5	13,0	5
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	cm	8,0	4	8,0	4	8,0	4	12,0	5	12,0	5	12,0	5	12,0	5
G	Encosto - profundidade	cm	10,0	4	10,0	4	10,0	4	10,0	4	10,0	4	10,0	4	10,0	4
H	Encosto - altura	cm	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5
I	Garfo - altura	cm	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5	0,0	5
J	Garfo - inclinação	grau	53,0	5	53,0	5	53,0	5	53,0	5	53,0	5	53,0	5	53,0	5
K	Tubo principal - inclinação	grau	2,0	5	2,0	5	2,0	5	2,0	5	2,0	5	2,0	5	2,0	5
L	Tubo principal - comprimento	cm	62,0	5	74,0	5	74,0	5	74,0	5	74,0	5	74,0	5	74,0	5
L.1	Entre eixos das rodas traseiras com as dianteiras	cm	130,0	5	142,0	5	142,0	5	138,0	5	138,0	5	138,0	5	138,0	5
M	Apoio da perna - inclinação	grau	20,0	4	20,0	4	20,0	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N	Joelho - Largura	cm	13,0	5	13,0	5	13,0	5	13,0	5	13,0	5	13,0	5	13,0	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Largura do Quadril (cm)	34,0
Comprimento Fêmur (cm)	50,0

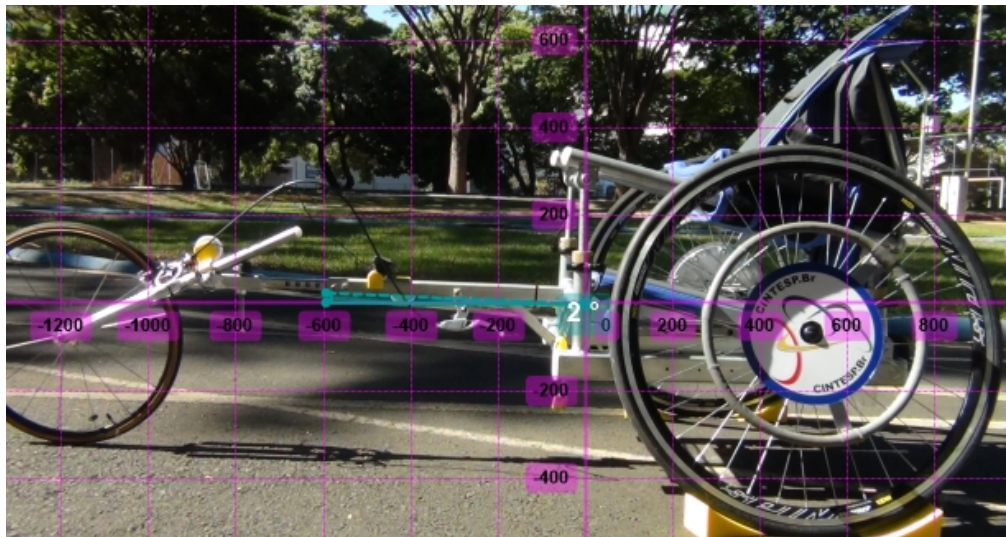
Figura 4.84 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 5).

A inclinação do apoio da perna estava no ângulo mais baixo quando o Participante 5 se posicionou a primeira vez no equipamento. Após sua acomodação e antes do primeiro percurso, o apoio da perna foi inclinado até uma posição que deixou o participante se sentindo melhor acomodado, o que resultou em um ângulo de 20 graus em relação à horizontal. No entanto, na segunda acomodação (com as pernas para frente) o participante utilizou o apoio

de pernas como apoio de pés. Nesta condição, o apoio foi mantido na sua posição mais baixa. E, como este não é o apoio adequado para os pés do atleta quando acomodado nesta posição, esta variável não se aplicou à percepção do indivíduo. Mesmo porque, em um teste experimental esta posição precisaria ter possibilidade de abaixar os pés do atleta e/ou subir para analisar diferentes variações. Neste caso, com os pés apoiados para frente, o Participante 5 observou que o tamanho (largura do apoio) seria mais confortável se fosse maior para acomodar melhor seus pés.

Isso já foi ressaltado anteriormente, mas vale lembrar, que antes de realizar o início dos testes em cada uma das duas acomodações (sentado sobre as pernas e, com as pernas para frente), o participante propulsionou o equipamento realizando diversos percursos até se adaptar ao equipamento e adquirir confiança, para realizar os percursos oficiais de testes. Estes percursos de adaptação não foram registrados em formulário.

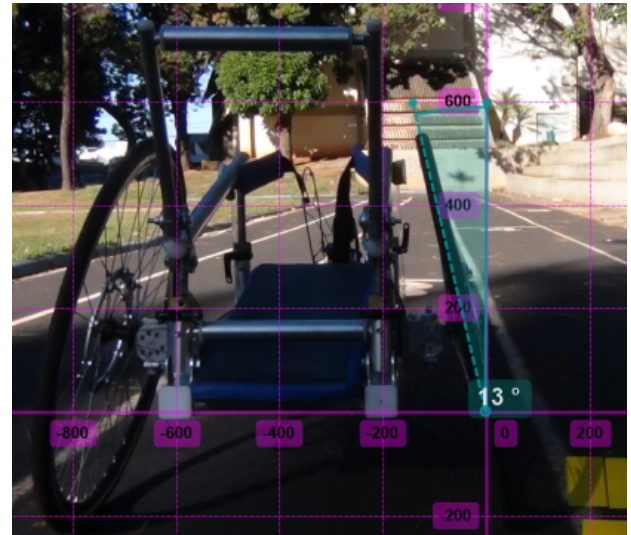
Para dar apoio às dimensões analisadas na tabela da Figura 4.84, foram realizadas fotos do equipamento e após foram feitas análises das dimensões com o aplicativo Kinovea<sup>®</sup>, versão 0.8.27, utilizado para edição de imagens e vídeos esportivos com recursos para análises biomecânicas. Nestas análises foram confirmadas as dimensões utilizadas na Figura 4.84. A Figura 4.85 contém algumas imagens feitas por meio desta análise, onde se confirmou, por exemplo, as dimensões da inclinação global da estrutura (Figura 4.85a) que foi de 2 graus, a inclinação do assento (Figura 4.85b) finalizada em 15 graus e, a inclinação da cambagem das rodas traseiras (Figura 4.85c) inclinada em 13 graus.



(a) Inclinação global da estrutura.



(b) Inclinação do assento.



(c) Cambagem.

Figura 4.85 – Análise dimensional realizada em *software* de tratamento de mídias esportivas (Participante 5).

A Figura 4.86 contém os registros de velocidade máxima e média em quilômetros por hora, tempo em segundos e, distância percorrida em cada percurso em metros, para o Participante 5. Além disso, nesta tabela foi verificada a Percepção Psicomotora do participante considerando a seguinte proposição: "Tive uma sensação realística de propulsão". No caso desta percepção é interessante notar que o participante respondeu, ou concordando parcialmente, ou concordando plenamente. Assim, nota-se que a sensação de propulsão esteve próxima ao real, visto que este participante tem vivência em propulsão de cadeira de rodas. Merece destaque os percursos em que o participante teve percepção de concordar parcialmente, pois nestes dois percursos (Leitura 3 e 7) foram utilizados aros menores em relação aos outros

percursos (aro de 12 polegadas). Assim, o que pode ter dado uma sensação menos realística de propulsão foi o fato de os aros não estarem adequados ao perfil ergo-antropométrico do atleta.

Além do que foi citado no parágrafo anterior, nota-se na tabela da Figura 4.86, certa diferença entre as velocidades desenvolvidas durante o percurso com os aros maiores e com o menor. Esta diferença (com o aro menor) foi de 26% abaixo da maior velocidade média na acomodação sentado sobre as pernas, e de 18% abaixo da maior velocidade média na acomodação com as pernas para frente. Isso leva a considerar a importância do tamanho dos aros de propulsão no desempenho de velocidade do indivíduo.

Sobre o desenvolvimento de velocidade, o Participante 5 declarou de forma espontânea durante os testes que demorava para se adquirir velocidade com o equipamento. Isso pode estar relacionado à inércia do conjunto, visto que a massa total do equipamento sem o atleta está por volta de 60 kg, enquanto a massa de uma cadeira de rodas de corrida de competição apresenta uma massa por volta de 15 kg, em média, sem o atleta. Assim, a energia dispendida neste equipamento para imprimir movimento é relativamente maior do que em uma cadeira de rodas de corrida ou mesmo em uma cadeira de rodas de uso diário.

Outra informação que chama a atenção na Figura 4.86, é a mudança de patamar da velocidade alcançada nas três primeiras leituras para as quatro leituras seguintes. Deve-se destacar que nas três primeiras leituras o Participante 5 estava acomodado sentado sobre as pernas, e nas outras quatro ele estava com as pernas para frente. Isso deixa claro, que a mudança de posição (acomodação) leva a resultados piores ou melhores no desempenho do atleta. Neste caso, a mudança de posição foi positiva, visto que, a velocidade média aumentou entre 25% a 55%, e a velocidade máxima obtida foi de 27% a 62% maior que na acomodação com as pernas por baixo das nádegas.

Na tabela da Figura 4.86 também é observada a velocidade média e máxima alcançadas no percurso da Leitura 6. Nota-se que este foi o percurso mais longo, no entanto, foi o que o Participante 5 conseguiu desenvolver maiores velocidades, tanto média, quanto máxima. Isso pode estar relacionado à inércia que o equipamento oferece ao movimento. Sabe-se que atletas profissionais em cadeira de rodas de corrida de alto desempenho alcançam uma velocidade máxima quando atingem cerca de 30 m a 50 m, após sair de uma posição estacionária (CHOW; CHAE, 2000). Assim, isso corrobora para o fato de o equipamento oferecer uma maior inércia ao movimento, bem como, sugere uma hipótese de estudos para se avaliar em qual distância é possível um atleta conseguir alcançar a velocidade máxima utilizando o equipamento de prescrição. Provavelmente, esta distância é maior que os 30 m citados pelo pesquisador Chow e Chae (2000).

AJUSTE	PROPULSÃO				PERCEPÇÃO PSICOMOTORA				
	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo [s]	Distância percorrida [m]	"TIVE UMA SENSAÇÃO REALÍSTICA DE PROPULSÃO"				
Leitura 1	6,20	5,00	30	41,00	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 2	6,00	4,80	37	48,00	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 3	4,30	3,70	40	41,00	1	2	3	<del>4</del>	5
Leitura 4	10,20	7,60	24	50,00	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 5	10,40	7,30	20	40,00	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 6	11,20	8,20	31	70,00	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 7	8,50	6,70	28	51,00	1	2	3	<del>4</del>	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.86 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 5).

A partir dos dados de propulsão obtidos e apresentados na tabela da Figura 4.86, foi possível calcular a energia cinética do participante, o trabalho referente à variação da energia cinética e a potência de aceleração do equipamento. Os gráficos da Figura 4.87 compreendem estas informações para o Participante 5. Onde cada barra é referente a uma leitura, ou seja, a um percurso realizado durante os testes.

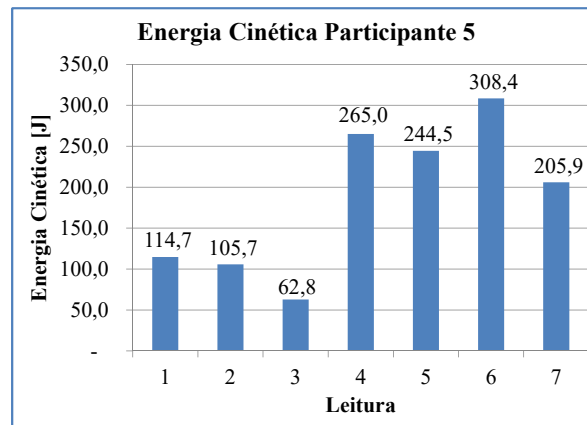
Nota-se pelos gráficos que a menor energia cinética, o menor trabalho e a menor potência deste participante se deram no terceiro percurso. Que é onde o participante está acomodado sentado sobre as pernas e onde ele utilizou o aro de propulsão com tamanho menor que nos outros percursos. Assim, o menor valor de Energia Cinética foi de 62,8 J, enquanto o menor trabalho cinético foi de 125,3 J e a menor potência 3,13 W.

Nota-se que os percursos onde o Participante 5 estava acomodado sentado sobre as pernas, tanto a energia cinética, quanto trabalho e potência foram menores em relação à outra acomodação (com as pernas para frente). Assim, somente com estes dados já seria possível concluir que esta posição é melhor para este participante. Assim, é notável que no percurso 5 o trabalho e a energia cinética foram menores e a potência maior, o que dá informações para considerar que esta foi a acomodação com as melhores regulagens para este participante. É claro que, para efeitos comparativos seriam necessários realizar diversos percursos com a mesma distância para validar estas regulagens, mas estes resultados já dão uma direção,

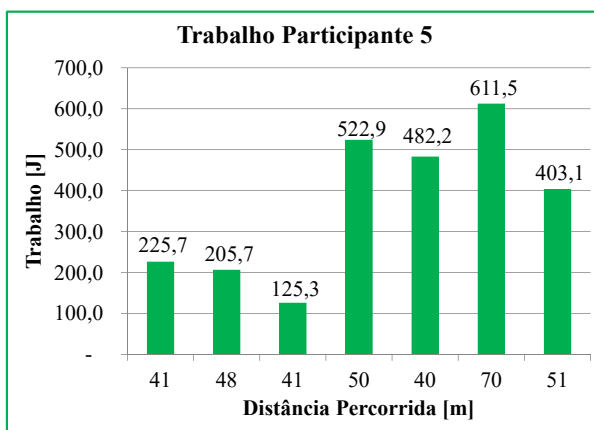


junto com a percepção do participante em relação a estes ajustes, para verificar que estes parâmetros estão próximos das condições ótimas para este atleta.

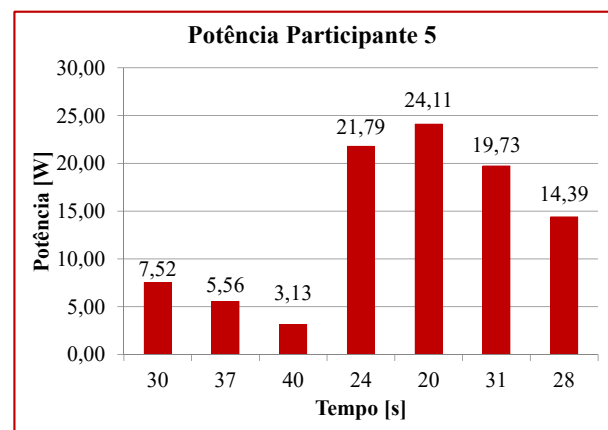
Assim, a maior energia cinética foi de 308,4 J, o maior trabalho cinético de 611,5 J e a maior potência 24,11 W.



(a) Energia Cinética.



(b) Trabalho Cinético.



(c) Potência Mecânica.

Figura 4.87 – Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 5.

Um dos pontos mais importantes no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida é a condição de adequabilidade que ele proporciona ao indivíduo e a sua capacidade de proporcionar uma acomodação análoga à cadeira de rodas de corrida. Dessa forma, o indivíduo usuário do equipamento, em última análise, deveria se sentir tão próximo das condições do esporte, que em sua percepção poderia confundir a utilização do equipamento de prescrição com o uso de uma cadeira de rodas de corrida. O que se busca, portanto, é que o usuário afaste a percepção de que o equipamento de prescrição é uma máquina, e reforce a sensação de que ele se encontra em uma cadeira de rodas de corrida personalizada. Para se chegar a isso, seria necessário obter uma satisfação totalmente plena da aplicação do equipamento enquanto dispositivo de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Assim, o equipamento de prescrição simularia perfeitamente a compatibilidade da cadeira de rodas de corrida personalizada. A Figura 4.88 compreende a tabela de respostas à Percepção Psicomotora Global do Participante 5 em relação a acomodação no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Neste formulário, o participante considera, para as respostas, a seguinte proposição: "Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!".

Como pode ser verificado na tabela da Figura 4.88 a percepção de todos os itens deste formulário foram de concordância plena na escala de **Likert**. Assim, visto que o participante é um usuário de cadeira de rodas, esta percepção dá segurança aos pesquisadores responsáveis por este projeto e pelos testes experimentais, para concluírem que o equipamento e a metodologia de prescrição estão indo na direção correta e isso dá motivação para seguir com a pesquisa neste sentido sem o menor receio.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)						
ITEM	PROPOSIÇÕES DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL DA ESTRUTURA MODELADA	PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL				
		Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!				
1	Eu me sinto seguro nesta acomodação	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Eu me sinto confortável nesta acomodação	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Eu me sinto bem nesta acomodação	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Esta é a acomodação que eu sempre desejei da minha cadeira de rodas de corrida	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período de até uma hora	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período superior a uma hora	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Eu sinto meu corpo harmonizado à estrutura de acomodação	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao meu corpo	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Eu recomendaria essa metodologia para terceiros, sem o menor receio	1	2	3	4	<input checked="" type="checkbox"/>

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.88 – Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 5).

Por fim, tão importante quanto verificar dados lógicos e racionais para comparar o que é mais favorável ao desempenho ou menos favorável, é realizar a comparação entre a cadeira de rodas de corrida atual do atleta com a cadeira de rodas de corrida simulada pelo equipamento

de prescrição. Assim, a tabela da Figura 4.89 compreende informações para fazer esta análise comparativa utilizando a escala de **Likert** para cada ajuste realizado no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida em comparação à cadeira de corrida atual do atleta. No entanto, é necessário fazer uma ressalva aqui, visto que o Participante 5 não tem experiência com a utilização de cadeira de rodas de corrida, realizou-se o comparativo com a cadeira de rodas de uso diário que o participante utiliza atualmente. Onde está descrito N/A, são medidas disponíveis em cadeiras de rodas de corrida e no equipamento de prescrição que não existem na cadeira de rodas de uso diário. Assim, nota-se pela Figura 4.89 que o participante encontra-se satisfeito com a cadeira de rodas atual dele, visto que em todos os parâmetros presentes em sua cadeira, a sua percepção é de concordância plena. Verifica-se, também, que na cadeira de rodas de corrida simulada pelo equipamento de prescrição, o participante percebeu uma concordância parcial em apenas dois itens, e no restante sua concordância foi plena, validando mais uma vez a utilização do equipamento para prescrição.

Em relação aos itens de concordância parcial, sobre a posição do encosto (Item G), o participante comentou que poderia ser ajustado mais um centímetro ou próximo desta medida, para trás. No entanto, como foi explicado anteriormente, esta alteração no ajuste poderia ter colocado o participante em risco de empinar o equipamento e tombar para trás. E sobre a inclinação do apoio de perna (Item M), o participante comentou que poderia ser maior (mais largo) para acomodar melhor os seus pés no equipamento quando ele esteve sentado com as pernas para frente. Assim, isto é possível de ser realizado com o desenvolvimento de um apoio de pés para atender aos atletas das classes T51 e T52 que costumam se acomodar nas cadeiras de rodas de corrida nesta posição.

AJUSTE		CADEIRA DE RODAS ATUAL				CADEIRA DE RODAS SIMULADA PELO EQUIPAMENTO DE PRESCRIÇÃO			
		CONFORTO	SEGURANÇA	ADEQUAÇÃO ERGONÔMICA	SENSAÇÃO DE COMPATIBILIDADE FÍSICA	CONFORTO	SEGURANÇA	ADEQUAÇÃO ERGONÔMICA	SENSAÇÃO DE COMPATIBILIDADE FÍSICA
A	Assento - largura	5	5	5	5	5	5	5	5
B	Assento - altura atrás	5	5	5	5	5	5	5	5
C	Assento - inclinação	5	5	5	5	5	5	5	5
C.1	Assento - altura frente	5	5	5	5	5	5	5	5
D	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	5	5	5	5	5	5	5	5
E	Rodas traseiras - cambagem	5	5	5	5	5	5	5	5
F	Rodas traseiras - centro de gravidade	5	5	5	5	5	5	5	5
G	Encosto - profundidade	5	5	5	5	5	5	5	4
H	Encosto - altura	5	5	5	5	5	5	5	5
I	Garfo - altura	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	5	5
J	Garfo - inclinação	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	5	5
K	Tubo principal - inclinação	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	5	5
L	Tubo principal - comprimento	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	5	5
L.1	Entre eixos das rodas traseiras com as dianteiras	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	5	5
M	Apoio da perna - inclinação	5	5	5	5	5	5	5	4
N	Joelho - Largura	5	5	5	5	5	5	5	5

1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.89 – Comparativo Global entre a cadeira de rodas do participante e o equipamento de prescrição (Participante 5).

Após todos os testes realizados, foi possível parametrizar a estrutura da cadeira de rodas de corrida para o Participante 5. Na Figura 4.90 é apresentada a cadeira de rodas de corrida personalizada, otimizada, anatômica e parametrizada para o Participante 5. Aqui são apresentadas as dimensões principais com as quais é possível construir uma cadeira de rodas de corrida personalizada para o Participante 5, considerando que a percepção do percurso 5 e 6 verificadas no questionário quali-quantitativo foi a melhor configuração para este indivíduo. Nota-se que a escala do aro de propulsão e do inserto para a cambagem estão em escala aumentada, desproporcional com o restante da estrutura. Mas, essa figura está representada com as medidas corretas para construir esta cadeira de corridas de acordo com a prescrição e parametrização feitas para o Participante 5.

É importante fazer uma observação em relação a este Participante 5. Visto que na melhor condição de propulsão ele não utilizou o apoio da perna projetado e construído no equipa-

mento de prescrição. Assim, ele poderia se enquadrar na simulação das Classes T51 e T52. E, conseqüentemente, a cadeira de rodas de corrida parametrizada para o Participantes 5 não pôde ser incrementada com esse dispositivo de apoio dos pés, visto que não se tem parâmetros de medidas para estas variáveis neste momento do projeto.

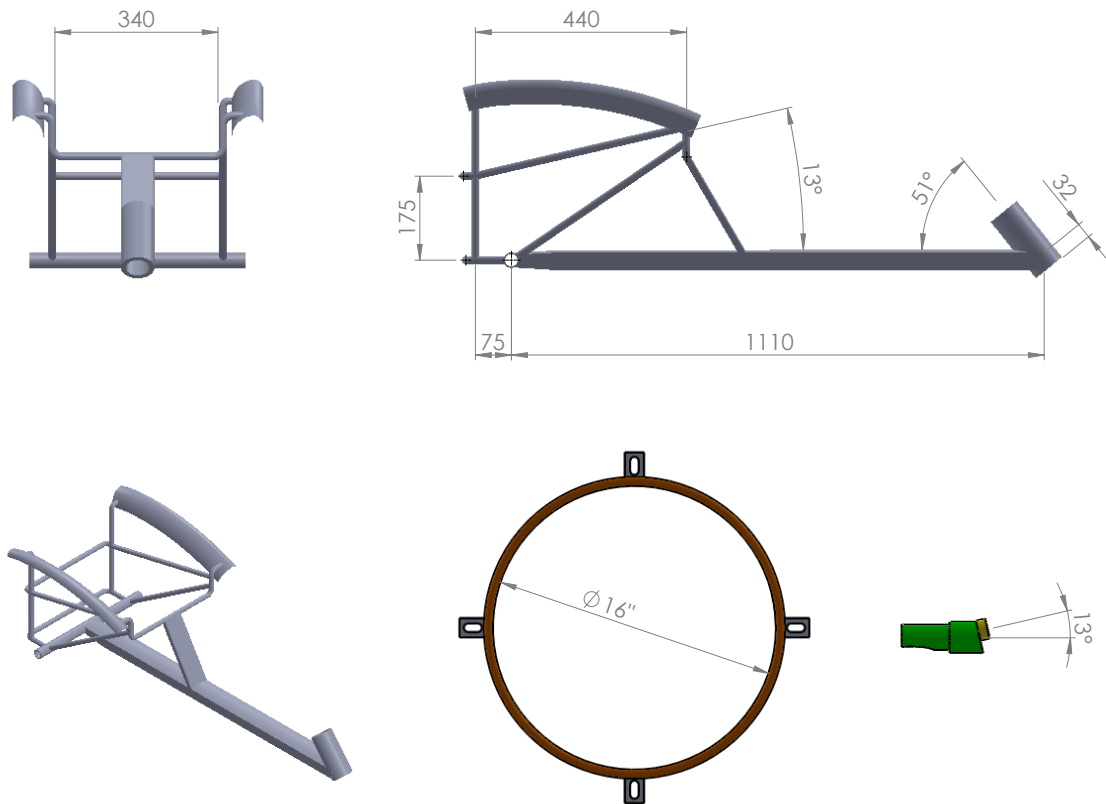


Figura 4.90 – Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 5).

Por fim, na Figura 4.91 verifica-se um panorama geral de como ficaria a cadeira de rodas de corrida para o Participante 5 (sem o apoio de pés) no caso de ser construída. Nesta figura estão faltando alguns acessórios, como os estofamentos, o guidão e o freio. Mas a figura está sendo mostrada assim para dar um visual mais limpo e claro de como ficaria a estrutura montada.

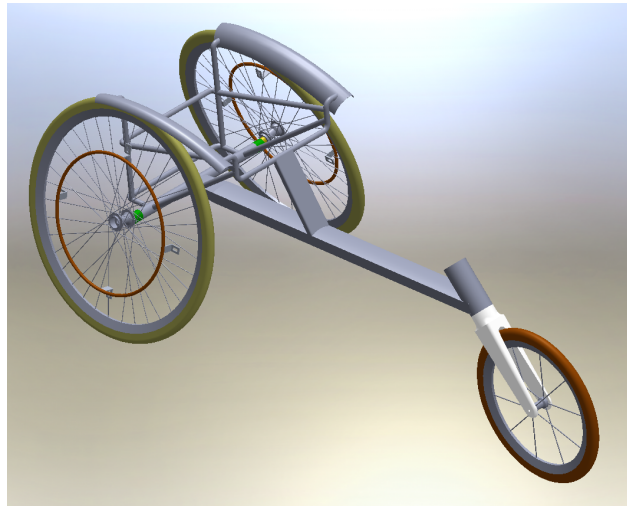


Figura 4.91 – Conjunto da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 5.

#### 4.12.7 Estudo de Caso: Participante 6

Este participante é do sexo masculino e possui massa de 54,2 kg. Conforme mostrado na Figura 4.92, o participante fez os testes sentado no equipamento com as pernas apoiadas no apoio de pernas (dobradas para trás).

Este participante é atleta profissional no atletismo em cadeira de rodas de corrida, tendo ganhado diversas medalhas em campeonatos internacionais nesta modalidade. Utiliza cadeira de rodas com grande frequência. Possui deficiência física do tipo poliomielite, sendo seu acometimento fisiológico diparético com controle de tronco. Sua idade é de 43 anos e faz uso de cadeira de rodas há 32 anos. Percorre, em média, 7 500 metros com a cadeira de rodas por dia. O atleta é classificado na classe T53 na modalidade de atletismo e hoje está entre os 10 melhores do mundo na sua classe. A transferência para/da cadeira de rodas, também é feita de forma independente. O participante já teve outras cadeiras de rodas de corrida personalizadas, porém, é a primeira vez que ele faz testes em um equipamento de personalização de cadeira de rodas.

É possível visualizar na Figura 4.92 o atleta posicionado sobre o equipamento, onde é possível visualizar na Figura 4.92a o atleta posicionado no equipamento parado, aguardando para iniciar um percurso. E na Figura 4.92b é possível observar o atleta realizando um percurso propulsando o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.



(a) Parado.



(b) Em movimento.

Figura 4.92 – Ilustração do participante 6 acomodado no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida.

Na Figura 4.93 é possível visualizar o participante acomodado na sua cadeira de rodas de corrida utilizada para treinos.



(a) Lateral traseira.



(b) Lateral dianteira.

Figura 4.93 – Ilustração do participante 6 acomodado na sua cadeira de rodas de corrida utilizada para treinos.

Antes da acomodação do atleta no equipamento, foi feita uma avaliação, com a Ficha de Avaliação, para verificar condições físicas e de saúde do participante. Além disso, foram feitas medidas na cadeira de rodas de corrida do participante (Figura 4.94) com o objetivo de replicar estas dimensões nas variáveis do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida no primeiro percurso que o atleta realizou com o equipamento.



Figura 4.94 – Tomada de medidas da cadeira de rodas de corrida do participante 6.

É possível visualizar na Figura 4.99 que foram feitas seis sessões de ajustes com o Participante 6. Conforme são ajustadas as configurações, o participante é convidado a refletir sobre a proposição: “Este é o meu ajuste preferido!”. No caso de concordar plenamente, o respectivo ajuste é definido como ideal para a personalização da cadeira de rodas de corrida. No caso de concordar parcialmente ou discordar, são feitos novos ajustes naqueles parâmetros. Assim, os ajustes configurados levam em conta a percepção psicomotora da modelagem, bem como as dimensões antropométricas do indivíduo. Dessa forma, o papel do participante é ativo e interativo com o processo de modelagem parametrizada da cadeira de rodas esportiva.

É possível visualizar na Figura 4.99 a tabela dos resultados do Formulário de Pesquisa Quali-Quantitativa em vista dos testes experimentais realizados com o Participante 6. No caso deste participante nota-se pela coluna das percepções que na Leitura 4 o equipamento já se encontrava com todos os ajustes em concordância a partir da percepção do indivíduo. Sendo, apenas, a largura do assento em discordância parcial e o restante das variáveis em concordância plena. Um destaque neste caso vai para a largura do joelho (Item N), o qual está identificado como N/A (Não se aplica). Para este participante não foi utilizado o ajuste da largura do joelho, pois a altura do assento (Item C.1) ficou abaixo da altura do apoio da perna (Item M). É possível visualizar na Figura 4.95b o joelho do atleta posicionado acima do nível do assento.

Esse ajuste em específico (apoio da perna - Item M) agradou de forma especial o atleta, visto que a altura do joelho influencia, diretamente, na estabilidade durante a movimentação, e neste caso logo após o participante se acomodar no equipamento antes do primeiro percurso, foi solicitado pelo próprio atleta que fizesse a regulagem até uma altura que fizesse ele se sentir confortável e seguro. Assim, como pode ser visto na Figura 4.95a onde estava sendo feita a regulagem, o apoio foi levantado até o joelho ficar acima do nível do assento (Figura 4.95b). Foi com esta medida inicial que o atleta fez todos os testes, dando percepção de concordância total desde o início. Outro detalhe que chamou a atenção do participante foi o fato de esta regulagem ser contínua e possibilitar um ajuste fino com o atleta acomodado no equipamento.



Na cadeira de corridas do atleta esta posição é construída um pouco abaixo do ideal e o atleta chega na melhor posição inserindo espumas até alcançar a altura desejada. Na Figura 4.96 destaca-se o apoio da perna do atleta onde é possível verificar que há diversas camadas de espumas, as quais tem o objetivo de levantar o joelho do atleta para proporcionar estabilidade durante a prática do esporte.



(a) Realizando a regulagem.



(b) Regulado na posição com o atleta.



(c) Regulado na posição sem o atleta.

Figura 4.95 – Posição da altura do joelho no equipamento de prescrição.

A medida da altura do apoio da perna até o solo foi medida na cadeira de rodas de corrida do atleta e posteriormente foi medida no equipamento de prescrição após o atleta dar o aval final sobre esta dimensão. Assim, esta dimensão na cadeira de corrida do atleta resultou em 47,5 cm, enquanto que no equipamento de prescrição o ajustado foi de 49,0 cm, ou seja,

próximo da condição que estava sendo utilizada em sua cadeira de corrida.

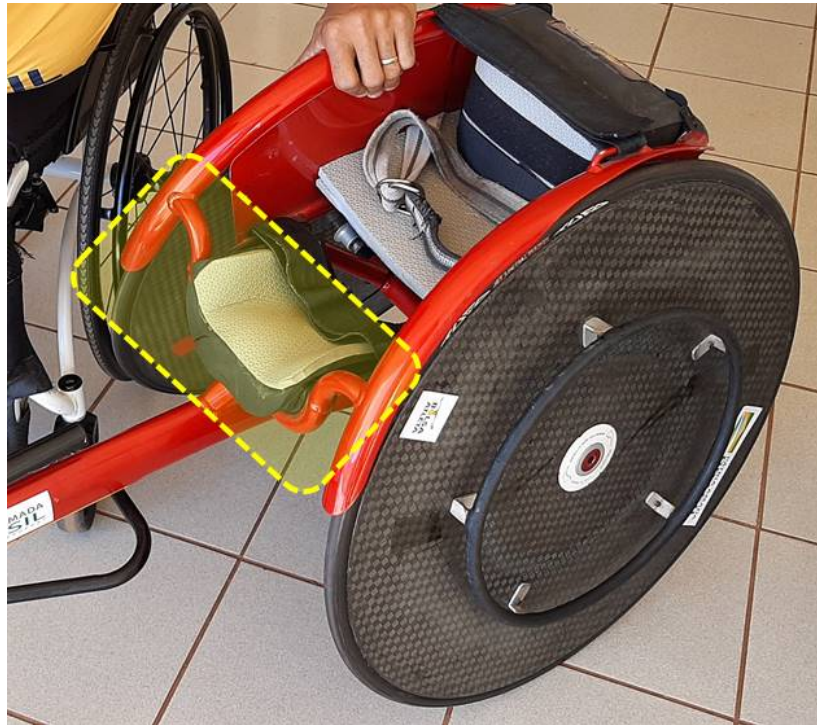


Figura 4.96 – Posicionamento da altura ideal do joelho por meio do preenchimento com espumas.

Outro ponto a ser destacado na tabela da Figura 4.99 é a largura do assento (Item A). No caso desse participante, a largura do assento da sua cadeira de rodas de corrida é de 25 cm, o que, provavelmente, é o ideal para ele. Porém, devido às limitações do equipamento de prescrição a largura do assento foi ajustada em 31,6 cm que é o limite mínimo ao qual é possível fechar a largura do assento. Assim, com esta largura do assento do equipamento o participante ficou folgado. Isso gerou certa instabilidade do atleta no assento do equipamento. Dessa forma, este seria um item a ser aperfeiçoado no equipamento.

Os itens relacionados à altura do assento (Itens B, C e C.1) na tabela da Figura 4.99 foram regulados no primeiro percurso de acordo com as condições da cadeira de rodas de corrida do participante. Esses itens foram possíveis de reproduzir da mesma forma como estavam as dimensões na cadeira de corrida do atleta e na percepção dele estiveram concordando plenamente. Esta percepção permaneceu desde o início e por isso foi mantida até a última leitura/percurso.

Sobre o aro de propulsão (Item D), conforme pode ser visto na tabela da Figura 4.99, foi utilizado o de 16 polegadas no primeiro percurso. No entanto, o aro que estava instalado na cadeira de corrida do atleta era de 15 polegadas. De início o atleta discordou parcialmente com a utilização do aro de 16 polegadas. Assim, no segundo percurso foi utilizado o aro

de 14 polegadas, que também foi avaliado como discordância parcial, desta forma voltando para o aro de 16 polegadas nos percursos seguintes. Esse último foi o mais adequado para o participante, passando a ser percebido como concordância plena. Vale destacar que o atleta utiliza em seus treinos e provas de corrida os aros de 14,5, 15 e 16 polegadas, a depender da prova que será disputada e da técnica de propulsão utilizada. Assim, nota-se que o tamanho do aro depende de diversas variáveis e ele é definido pelo atleta dentro de uma faixa de utilização a depender do objetivo a que se pretende. Ainda, sobre a utilização do aro de propulsão no equipamento, alguns pontos a serem melhorados foram detectados. Como, por exemplo, a fixação por parafusos fez com que a cabeça destes entrasse em contato com a mão do participante durante os testes o que poderia ter machucado o atleta. Dessa forma, para resolver isso a cabeça dos parafusos foram cobertas com esparadrapo para dar segurança ao participante na ocasião. A Figura 4.97 mostra as rodas com os parafusos aparentes (Figura 4.97a) e após serem cobertos com esparadrapo (Figura 4.97b) para proteção do participante. Além disso, é possível verificar na Figura 4.97b que o participante utilizou esparadrapos enrolados nos dedos. Isso foi feito, porque o material utilizado para encapar os aros de propulsão ficaram lisos e, portanto, não estavam aderindo nem à mão do atleta e nem à luva que ele utiliza para tocar a cadeira de rodas de corrida. Assim, o esparadrapo enrolado nos dedos permitiu maior aderência com o aro de propulsão. No aro da cadeira de corrida os atletas utilizam uma borracha para este fim.



(a) Parafusos aparentes.



(b) Parafusos cobertos.

Figura 4.97 – Parafusos de fixação do aro de propulsão nas rodas.

Como pode ser verificado na Figura 4.98 o participante 6 está em posição de tocada da cadeira de rodas de corrida. Na imagem é possível visualizar a utilização de luva específica com revestimento em borracha. Também, verifica-se que o aro de propulsão está revestido por uma borracha, de forma que ao contato da luva com o aro de propulsão a aderência se torna adequada à propulsão da cadeira de corrida. É interessante notar que o atleta não

agarra o aro de propulsão em momento nenhum para realizar a movimentação da cadeira de rodas de corrida. Em uma corrida o atleta, somente resvala a luva no aro para dar impulso. Isso acontece, pois a partir de determinada velocidade se o atleta tentar agarrar o aro de propulsão ele pode, inclusive, frear a roda e corre o risco de se ferir ao tentar fazer isso. Além disso, o ato de "esbarrar" a luva no aro de propulsão está de acordo com a técnica de propulsão utilizada para possibilitar melhor performance durante o movimento.



Figura 4.98 – Participante 6 em posição de propulsão da cadeira de rodas de corrida.

O Item E, relacionado à cambagem na tabela da Figura 4.99 foi ajustado em 11 graus no primeiro percurso, da mesma forma como na cadeira de corridas do participante. No entanto, esta inclinação recebeu percepção de discordância parcial. Esta cambagem na cadeira de corrida do atleta satisfaz o que ele precisa pois permite estabilidade à cadeira e ao mesmo tempo não é grande a ponto de aumentar o arrasto (frenagem da roda traseira no tartan) durante a corrida. Porém, no equipamento de prescrição existe uma distância entre a estrutura e a roda, em decorrência do tamanho do dispositivo de cambagem, e isso faz com que o braço do participante fique mais afastado (mais aberto), e dessa forma prejudica o movimento de propulsão. Para compensar isso no equipamento, foi aumentado o ângulo de cambagem para 14 graus, o que aumentou o arrasto do equipamento nos testes, porém, fez com que a roda aproximasse do corpo do atleta, dando uma percepção de concordância plena.

O centro de gravidade que é ajustado pelo Item F apresentado na tabela da Figura 4.99 é a posição do eixo das rodas traseiras em relação ao limite traseiro da posição do encosto do assento. Assim, o primeiro percurso foi ajustado de acordo com a posição em que o eixo das rodas traseiras da cadeira de rodas de corrida do atleta estava posicionado. Dessa forma, verifica-se que a posição estava em 24,0 cm inicialmente, o que ficou em concordância plena de acordo com a percepção do participante. Antes do segundo percurso o atleta solicitou o

aumento do comprimento do equipamento de prescrição, assim, foram alterados os Itens F e L, conseqüentemente, o Item L.1. Com isso, do segundo até o quarto percurso foi utilizada a posição de 22,0 cm do eixo das rodas traseiras. Todas estas posições até o quarto percurso foram de concordância plena. No entanto, ao se chegar na quarta leitura observou-se que todas as variáveis possíveis de serem ajustadas estavam em concordância plena, e por isso foi assumido de forma momentânea que este seria o ajuste ideal para o atleta. No entanto, por sugestão de um dos pesquisadores presente nos testes, decidiu-se alterar de forma substancial a posição do eixo das rodas traseira para avaliar qual seria o resultado. Dessa forma, a posição das rodas traseiras foi alterada para 12,0 cm no percurso cinco. Assim, com esta alteração foi observado uma maior estabilidade do equipamento neste percurso, bem como um aumento nas velocidades e potência do atleta. E a percepção do participante foi de concordância plena. Em vista deste resultado, resolveu-se testar novamente com as rodas traseiras posicionadas ao máximo para trás e, novamente, o resultado foi melhor, tanto para a estabilidade, quanto para velocidade e potência no percurso.

Sobre os ajustes do encosto (Itens G e H) apresentados na tabela da Figura 4.99, até a Leitura 3 o participante estava se sentindo desconfortável, tanto que sua percepção era de discordância parcial. No caso ele estava se sentindo com o apoio muito acima na sua coluna o que atrapalhava os movimentos de propulsão do equipamento. Assim, a partir do percurso 4 o encosto foi abaixado, o que proporcionou uma sensação de maior estabilidade e menor incômodo nas suas costas, tanto que a partir da Leitura 4 a percepção foi de concordância plena.

Em relação aos ajustes do garfo (Itens I e J) apresentados na tabela da Figura 4.99, não houve uma alteração significativa desde o primeiro percurso, onde o atleta avaliou com concordância plena. E mesmo as alterações realizadas não alteraram a percepção do atleta que manteve a concordância plena até o último percurso. Estas alterações do garfo influenciam diretamente a inclinação do tubo principal (Item K). Assim, com as mudanças realizadas nas variáveis do garfo esperava-se que esta inclinação iria ser alterada. No entanto, devido às limitações do equipamento não foi possível alcançar uma inclinação com a parte frontal do tubo principal voltada para baixo. Assim, o tubo principal manteve a inclinação de zero graus durante todos os testes e esteve em concordância plena na percepção do participante. Destaca-se em relação ao tubo principal que é possível elevar a parte frontal com alterações realizadas nos ajustes do garfo. Portanto, seria interessante ajustar o projeto para ser possível abaixar, também.

Sobre o ajuste do comprimento do tubo principal (Item L) apresentados na tabela da Figura 4.99, verifica-se que a primeira leitura resultou em uma percepção de discordância plena. Esta dimensão foi possível, junto com o **Item L.1**, serem reproduzidas de acordo com a cadeira de corrida do atleta. Assim, segundo o participante, o engenheiro que acompanha

os projetos de novas estruturas para sua cadeira de corridas havia sugerido aumentar este comprimento em, aproximadamente, duas polegadas (5,1 cm). Devido a isso, o atleta sugeriu que fosse feita esta alteração no equipamento. Assim, foram alterados diversos ajustes (Itens F, I, J e L) que resultaram em 5,0 cm mais comprido a distância entre os eixos das rodas traseiras e dianteira. Nota-se que nestes itens a partir da Leitura 2 a percepção do atleta foi de concordância plena, ou seja, a condição de corrida melhorou no ponto de vista do atleta. Desta forma, foi possível que o participante confirmasse que esta condição seria mais favorável ao desempenho e, por isso, ele pretende confirmar com o engenheiro da empresa a mudança a ser realizada na sua nova cadeira de acordo com o que estavam pretendendo.

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)														
ITEM	AJUSTE	UNIDADE DE MEDIDA	Este é o meu ajuste preferido!!!											
			LEITURA 1	PERCEPÇÃO 1	LEITURA 2	PERCEPÇÃO 2	LEITURA 3	PERCEPÇÃO 3	LEITURA 4	PERCEPÇÃO 4	LEITURA 5	PERCEPÇÃO 5	LEITURA 6	PERCEPÇÃO 6
A	Assento - largura	cm	15,8	2	15,8	2	15,8	2	15,8	2	15,8	2	15,8	2
B	Assento - altura atrás	cm	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5
C	Assento - inclinação	grau	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5
C.1	Assento - altura frente	cm	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5
D	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	pol	16,0	2	14,0	2	16,0	5	16,0	5	16,0	5	16,0	5
E	Rodas traseiras - cambagem	grau	11	2	14	5	14	5	14	5	14	5	14	5
* F	Rodas traseiras - centro de gravidade	cm	24,0	5	22,0	5	22,0	5	22,0	5	12,0	5	7,5	5
G	Encosto - profundidade	cm	20,0	2	20,0	2	20,0	2	20,0	5	20,0	5	20,0	5
H	Encosto - altura	cm	15,0	2	15,0	2	15,0	2	11,0	5	11,0	5	11,0	5
* I	Garfo - altura	cm	0,0	5	1,3	5	1,3	5	1,3	5	1,3	5	1,3	5
* J	Garfo - inclinação	grau	52	5	54	5	54	5	54	5	54	5	54	5
K	Tubo principal - inclinação	grau	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5
* L	Tubo principal - comprimento	cm	62,0	2	64,0	5	64,0	5	64,0	5	64,0	5	64,0	5
L.1	Entre eixos das rodas traseiras com as dianteiras	cm	117,0	2	122,0	5	122,0	5	122,0	5	132,0	5	136,5	5
M	Apoio da perna - inclinação	grau	24	5	24	5	24	5	24	5	24	5	24	5
N	Joelho - Largura	cm	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

\* Dimensões que alteram o comprimento da cadeira (L.1) ao serem modificadas

Figura 4.99 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos da personalização da cadeira de rodas de corrida (Participante 6).

A Figura 4.100 mostra os registros de velocidade máxima e média em quilômetros por

hora, tempo em segundos e, distância percorrida em cada percurso em metros, para o Participante 6. Além disso, nesta tabela foi verificada a Percepção Psicomotora do participante considerando a seguinte proposição: "Tive uma sensação realística de propulsão". No primeiro percurso o participante estava acostumando com o equipamento. Além disso, a cambagem das rodas traseiras exigiu que o atleta mantivesse o braço afastado do corpo. Isso fez com que a percepção do atleta fosse de discordância parcial. No entanto, nota-se que a velocidade média do participante foi igual à Leitura 6 (14,2 km/h), a maior média dos testes. Isso, provavelmente, ocorreu por ser o primeiro percurso e o atleta estava cheio de energia e disposição para tocar o equipamento. Ressalta-se que antes deste percurso o atleta fez aquecimento em sua cadeira de corridas e também realizou alguns percursos no equipamento para se adaptar.

Depois disso, verifica-se na tabela da Figura 4.100 que entre as Leituras 2 e 6 a percepção do participante foi de concordância plena em relação à sensação de propulsão realística. Nota-se pela tabela da Figura 4.99 que a partir do percurso dois a cambagem foi maior e aproximou mais a roda do corpo do atleta. Além disso, foram realizados outros ajustes que deixaram o equipamento mais próximo do ideal para o atleta.

Outra informação que pode ser observada na tabela da Figura 4.100 é a velocidade. Nota-se que a maior velocidade média foi alcançada no primeiro e no último percurso. Já, as maiores velocidades máximas foram alcançadas no quarto e quinto percursos, respectivamente. Verifica-se, também que no percurso 4 foi onde o atleta alcançou a maior velocidade máxima e a menor velocidade média.

Para efeito comparativo, atletas de corridas em cadeira de rodas atingem velocidade média de 6,97 m/s (25,09 km/h) e máxima de 7,01 m/s (25,23 km/h) em corridas de 100 m, que são provas de explosão (BARBOSA; COELHO, 2017). Em testes de laboratório o atleta (participante 6) foi submetido à propulsão de sua cadeira de rodas de corrida posicionada sobre o rolo de treino onde ele alcançou velocidades da ordem de 50 km/h. Como o rolo de treino foi construído especificamente para sua cadeira não foi possível realizar este mesmo teste com o equipamento de prescrição sobre rolo de testes.

AJUSTE	PROPULSÃO				PERCEPÇÃO PSICOMOTORA				
	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo [s]	Distância percorrida [m]	"TIVE UMA SENSAÇÃO REALÍSTICA DE PROPULSÃO"				
Leitura 1	19,6	14,2	31	122,0	1	<del>2</del>	3	4	5
Leitura 2	20,5	11,5	35	112,0	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 3	20,5	12,0	26	95,0	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 4	21,0	10,9	32	96,0	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 5	20,8	12,2	34	115,0	1	2	3	4	<del>5</del>
Leitura 6	20,2	14,2	26	102,0	1	2	3	4	<del>5</del>

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.100 – Formulário de Coleta de Dados Quali-quantitativos de propulsão (Participante 6).

A partir dos dados de propulsão obtidos e apresentados na tabela da Figura 4.100, foi possível calcular a energia cinética do participante, o trabalho referente à variação da energia cinética e a potência de aceleração do equipamento. Os gráficos da Figura 4.101 mostram estas informações para o Participante 6. Onde cada barra é referente a uma leitura, ou seja, a um percurso realizado durante os testes.

Nota-se pelos gráficos que a menor energia cinética, o menor trabalho e a menor potência deste participante se deram no quarto percurso. Assim, o menor valor de Energia Cinética foi de 519,8 J, enquanto o menor trabalho cinético foi de 1030,1 J e a menor potência 32,19 W.

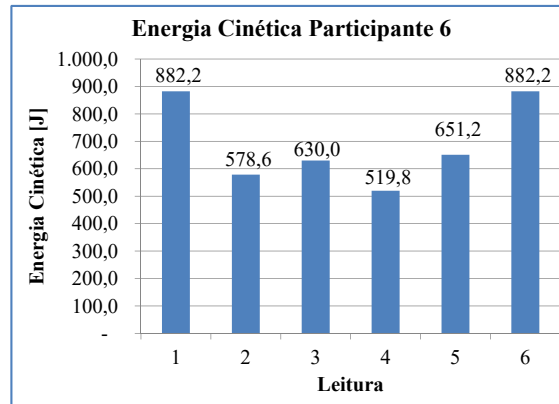
Nota-se que a maior potência mecânica alcançada pelo atleta foi no percurso 6, resultando em 67,49 W. Esse dado corrobora para a percepção do atleta de que a configuração utilizada no equipamento de prescrição neste percurso foi a mais adequada.

Assim, a maior energia cinética foi de 882,2 J, o maior trabalho cinético de 1760,3 J e a maior potência 67,49 W.

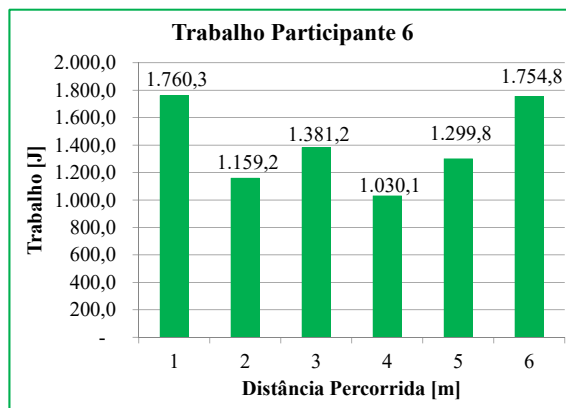
Nos resultados apresentados nos gráficos da Figura 4.101 é importante considerar que o primeiro percurso o atleta fez pela manhã e estava descansado. E no último percurso, ao fim da tarde após diversos testes que já haviam sido realizados, diversos percursos, o atleta pode apresentar certa fadiga (cansaço). Portanto, espera-se que o desempenho seja melhor nas configurações dos últimos percursos em um outro momento onde o participante esteja



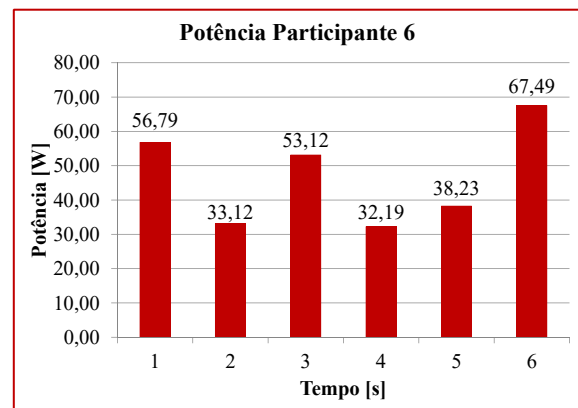
descansado.



(a) Energia Cinética.



(b) Trabalho Cinético.



(c) Potência Mecânica.

Figura 4.101 – Energia Cinética, Trabalho Cinético e Potência Mecânica do Participante 6.

A Figura 4.102 apresenta a condição de adequabilidade que o equipamento de prescrição proporciona ao indivíduo e a sua capacidade de proporcionar uma acomodação análoga à cadeira de rodas de corrida. Assim, a Figura 4.88 apresenta a tabela de respostas à Percepção Psicomotora Global do Participante 6 em relação a acomodação no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida. Esse formulário é preenchido após a realização do último percurso com o equipamento de prescrição. Neste formulário, o participante considera, para as respostas, a seguinte proposição: "Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!".

Como pode ser verificado na tabela da Figura 4.102, com exceção dos Itens 3 e 6, a percepção de todos os itens deste formulário foram de concordância plena na escala de **Likert**. Assim, visto que o participante é um atleta de cadeira de rodas de corrida, esta percepção pode ser considerada a mais importante para este estudo.

Dessa forma, nota-se pelo **Item 1 e 2** que o equipamento de prescrição passou segurança plena ao participante 6, bem como, se sentiu confortável nos testes com o equipamento.

No Item 3 o participante discordou parcialmente com a acomodação. E no Item 6 discordou parcialmente de que todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao seu corpo. Como já foi apresentado anteriormente, a acomodação do atleta no assento não foi satisfatória devido ao fato deste ser limitado a uma dimensão que não acomodou corretamente a largura do atleta e por isso, esses dois Itens (3 e 6) foram percebidos com discordância parcial.

No entanto, os Itens 4 e 5 corroboram para o Item 2, pois o participante percebeu concordância plena em permanecer até uma hora ou mais de uma hora acomodado no equipamento.

Além disso, é possível utilizar esta metodologia com certa segurança, visto que o participante concordou plenamente em recomendar esta metodologia de prescrição para terceiros, sem o menor receio (Item 7 da Figura 4.102).

"FORMULÁRIO DE PESQUISA QUALI-QUANTITATIVA" (CRWheel)						
ITEM	PROPOSIÇÕES DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL DA ESTRUTURA MODELADA	PERCEPÇÃO PSICOMOTORA GLOBAL				
		Eu sempre quis que minha cadeira de rodas de corrida fosse assim!!!				
1	Eu me sinto seguro nesta acomodação	1	2	3	4	5
2	Eu me sinto confortável nesta acomodação	1	2	3	4	5
3	Esta é a acomodação que eu sempre desejei da minha cadeira de rodas de corrida	1	2	3	4	5
4	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período de até uma hora	1	2	3	4	5
5	Eu suportaria permanecer nesta acomodação por um período superior a uma hora	1	2	3	4	5
6	Todas as partes estruturais parecem se encaixar muito bem ao meu corpo	1	2	3	4	5
7	Eu recomendaria essa metodologia para terceiros, sem o menor receio	1	2	3	4	5

LEGENDA DA PERCEPÇÃO PSICOMOTORA	
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.102 – Formulário de percepção psicomotora global do equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida (Participante 6).

Por fim, foi realizado um comparativo entre a cadeira de rodas de corrida atual do atleta e a cadeira de rodas de corrida simulada pelo equipamento de prescrição. Assim, a tabela da Figura 4.103 busca fazer esta análise comparativa utilizando a escala de **Likert** para cada componente ajustado no equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida em comparação à cadeira de corrida atual do atleta.

Assim, nota-se pela Figura 4.103 que o participante 6 não ficou satisfeito com o assento do equipamento de prescrição, discordando parcialmente em todos os quesitos avaliados, em

função da limitação do ajuste da largura do equipamento.

Também, o aro de propulsão do equipamento (Item B) teve discordâncias parciais e concordâncias parciais, devido a este não ter proporcionado aderência adequada durante os movimentos de propulsão.

No Item C da tabela apresentada pela Figura 4.103 a cambagem das rodas traseiras recebeu concordância parcial em relação ao conforto pelo fato das rodas estarem posicionadas mais distantes do corpo do que o ideal para o atleta.

AJUSTE		CADEIRA DE RODAS ATUAL			CADEIRA DE RODAS SIMULADA PELO EQUIPAMENTO DE PRESCRIÇÃO		
		CONFORTO	SEGURANÇA	SENSAÇÃO DE ADEQUAÇÃO ERGONÔMICA	CONFORTO	SEGURANÇA	SENSAÇÃO DE ADEQUAÇÃO ERGONÔMICA
A	Assento	5	5	5	2	2	2
B	Aro de propulsão - diâmetro (nominal)	5	5	5	4	4	2
C	Rodas traseiras - cambagem	5	5	5	4	5	5
D	Centro de gravidade (Equilíbrio)	5	5	4	5	5	5
E	Encosto	5	5	5	5	5	5
F	Inclinação do equipamento	5	5	5	5	5	5
G	Comprimento do equipamento	4	5	5	5	5	5
H	Apoio da perna	5	5	5	5	5	5

1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Não concordo nem discordo
4	Concordo parcialmente
5	Concordo plenamente

Figura 4.103 – Comparativo Global entre a cadeira de rodas do participante e o equipamento de prescrição (Participante 6).

No Item D, nota-se que o participante 6 está em concordância parcial a Sensação de Adequação Ergonômica da sua cadeira de corridas atual, pois foi possível identificar por meio do equipamento de prescrição uma necessidade de se mover o centro de gravidade mais para frente de forma a melhorar o equilíbrio na sua cadeira de corridas e evitar o movimento de empino, o qual faz com que ele perca posição na corrida, principalmente na saída das provas. O mesmo é válido para o comprimento da sua cadeira de corrida atual (Item G).

No restante dos itens avaliados neste formulário, todas as percepções foram de concordância plena, tanto para o equipamento de prescrição, quanto para sua cadeira de rodas de corrida.

Após todos os testes realizados, foi possível parametrizar a estrutura da cadeira de rodas de corrida para o Participante 6. A Figura 4.104 apresenta a cadeira de rodas de corrida personalizada, otimizada, anatômica e parametrizada para o Participante 6. Aqui são apresentadas as dimensões principais com as quais é possível construir uma cadeira de rodas de corrida personalizada para o Participante 6, considerando que a percepção do percurso 6 verificada no questionário quali-quantitativo foi a melhor configuração para este indivíduo. Nota-se que a escala do aro de propulsão e do inserto para a cambagem estão em escala aumentada, desproporcional com o restante da estrutura. Mas, essa figura está representada com as medidas corretas para construir esta cadeira de corridas de acordo com a prescrição e parametrização feitas para o Participante 6. Um ponto importante a deixar claro aqui, é que a largura do assento utilizada neste modelo está com a medida da cadeira de rodas de corrida do atleta. Ou seja, foi a única dimensão que não foi extraída do equipamento de prescrição em vista do que foi discutido anteriormente em relação à limitação do equipamento com a largura do assento para dimensões abaixo de 31,0 cm.

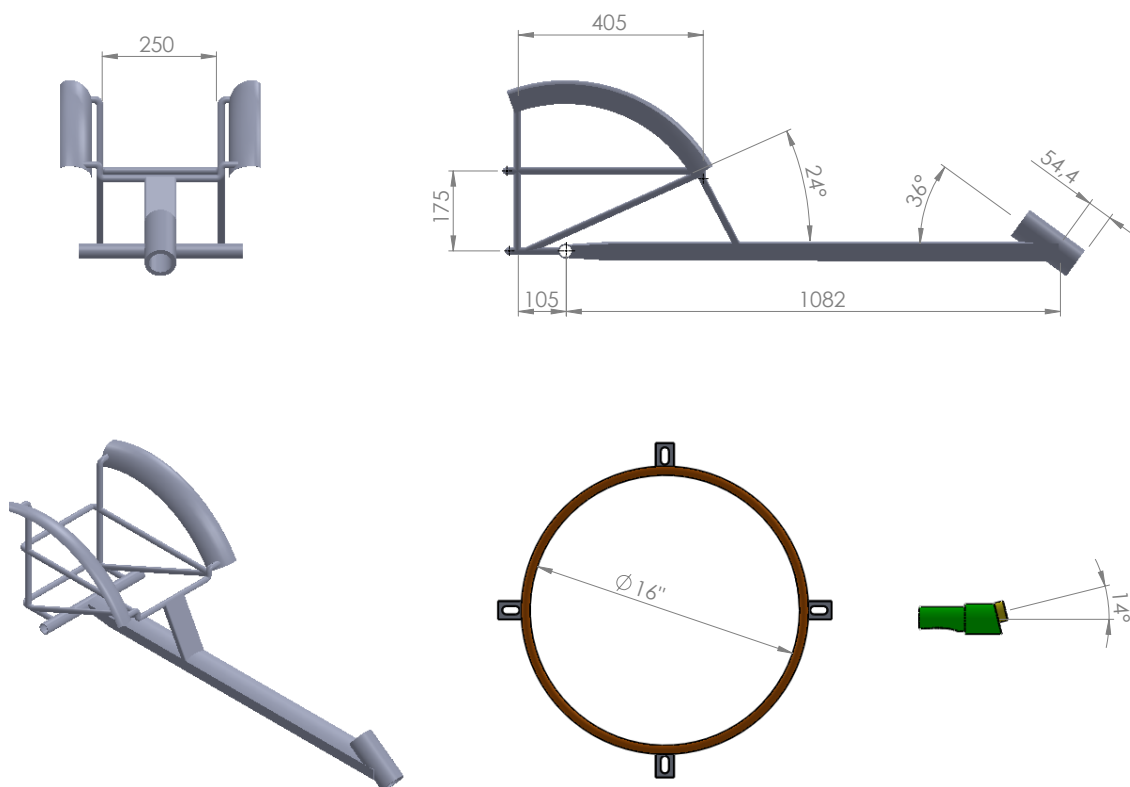


Figura 4.104 – Parametrização do quadro estrutural, do aro de propulsão e da cambagem da cadeira de rodas de corrida (Participante 6).

Por fim, a Figura 4.105 dá um panorama geral de como ficaria a cadeira de rodas de corrida para o Participante 6. Nesta figura estão faltando alguns acessórios, como os estofamentos,

o guidão e o freio. Mas a figura está sendo mostrada assim para dar um visual mais limpo e claro de como ficaria a estrutura montada.

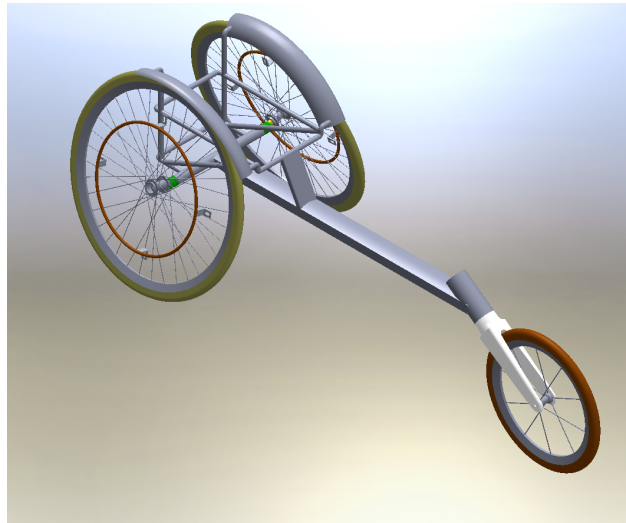


Figura 4.105 – Conjunto da cadeira de rodas de corrida parametrizada para o participante 6.

#### 4.12.8 Centro de Gravidade para o Participante 6

Após a finalização dos testes de prescrição realizados com o participante 6, o equipamento de prescrição e a cadeira de rodas de corrida foram levados para o laboratório com o objetivo de realizar novos testes. O equipamento de prescrição foi mantido com a configuração da última percepção testada com o atleta na pista de corrida. No laboratório foram realizadas medições para identificar o Centro de Gravidade (CG) do equipamento de prescrição e da cadeira de rodas de corrida sem o atleta e com o atleta em diversas posições.

Para a medição do centro de gravidade foi utilizado o método da **Prancha de Reação** (HALL, 2016), que utiliza uma prancha rígida apoiada em dois suportes pontiagudos dispostos transversalmente nas duas pontas longitudinais da prancha. Em uma das pontas a prancha é apoiada sobre uma balança e na outra ponta sobre um suporte com altura de forma a manter a prancha nivelada com a base da balança. A Figura 4.106 contém um desenho esquemático sobre a utilização desta metodologia para a determinação do Centro de Gravidade.

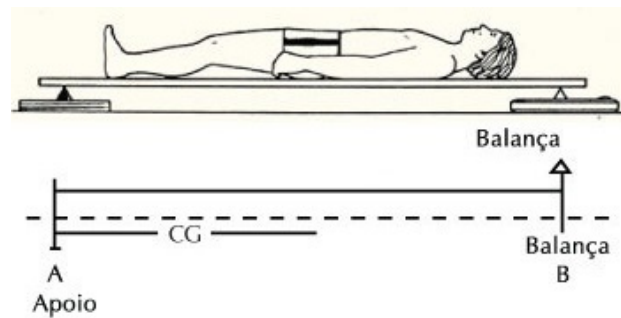


Figura 4.106 – Ilustração do método da prancha de reação para determinação do Centro de Gravidade .

Fonte: (NARCISO et al., 2010)

A Figura 4.107 contém a foto da medição do centro de gravidade da cadeira de rodas de corrida e do equipamento de prescrição sem a acomodação do participante 6. Verifica-se nessa figura que a linha amarela traçada na vertical indica a posição do CG, tanto da cadeira, quanto do equipamento. É importante esclarecer que o centro de gravidade aqui será sempre referenciado na parte mais atrás da cadeira de rodas e também do equipamento. Assim, o ponto zero é na parte mais atrás da roda traseira e é medida para frente. Dessa forma, nota-se na Figura 4.107a que o CG da cadeira de corrida é de 55,0 cm, e do equipamento de prescrição é de 58 cm. Portanto, se considerarmos a partir do eixo da roda traseira, o CG da cadeira é de 23,0 cm e do equipamento de 25,0 cm.



(a) CG cadeira vazia.



(b) CG equipamento vazio.

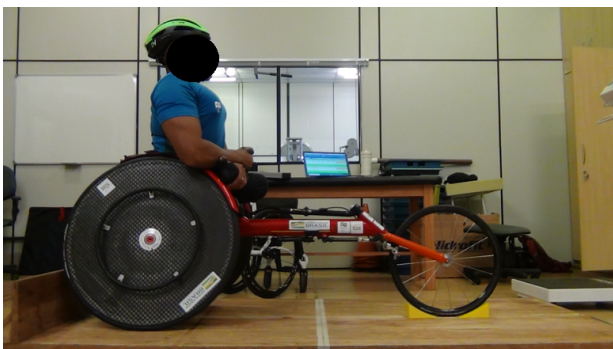
Figura 4.107 – Centro de Gravidade medido na cadeira de corrida e no equipamento vazios.

Nas Figuras 4.108 e 4.109 nota-se o participante 6 em diversas posições acomodado sobre sua cadeira de rodas de corrida e sobre o equipamento de prescrição. Em todas elas foi verificado o CG, considerando que cada uma delas seria uma posição de propulsão e recuperação do movimento de propulsão. Verifica-se nas figuras que a mesma pose foi realizada na cadeira

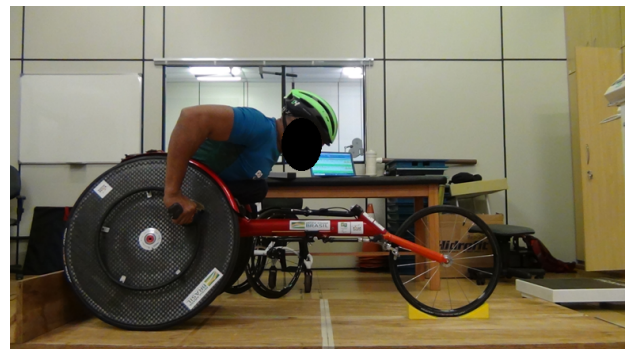
e no equipamento de forma a se obter um comparativo entre o centro de gravidade em cada uma dessas poses.

Assim, obteve-se os seguintes resultados:

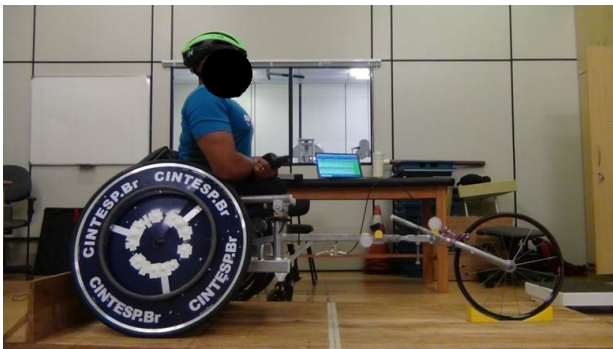
- Na pose da Figura 4.108a na cadeira o CG é de 54,2 cm, enquanto na Figura 4.108c para o equipamento o CG é de 56,0 cm.
- Na pose da Figura 4.108b na cadeira o CG é de 59,8 cm, enquanto na Figura 4.108d para o equipamento o CG é de 60,3 cm.



(a) Posição um na cadeira.



(b) Posição dois na cadeira.



(c) Posição um no equipamento.



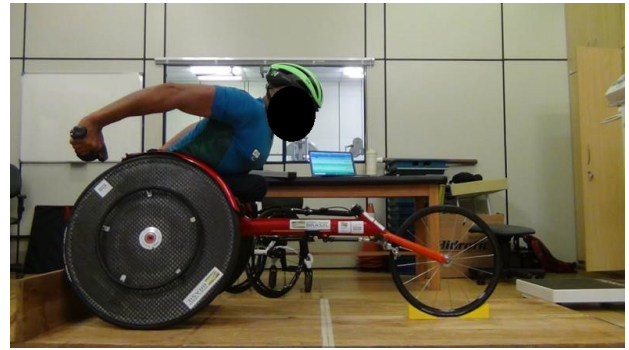
(d) Posição dois no equipamento.

Figura 4.108 – Centro de gravidade nas posições um e dois na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição.

- Na posição da Figura 4.109a na cadeira o CG é de 60,1 cm, enquanto na Figura 4.109c para o equipamento o CG é de 61,0 cm.
- Na posição da Figura 4.109b na cadeira o CG é de 56,8 cm, enquanto na Figura 4.109d para o equipamento o CG é de 59,8 cm.



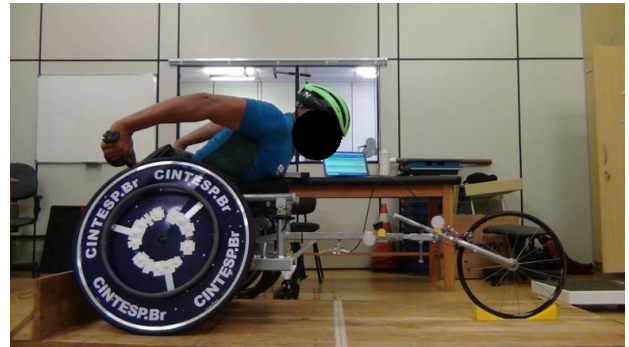
(a) Posição três na cadeira.



(b) Posição quatro na cadeira.



(c) Posição três no equipamento.



(d) Posição quatro no equipamento.

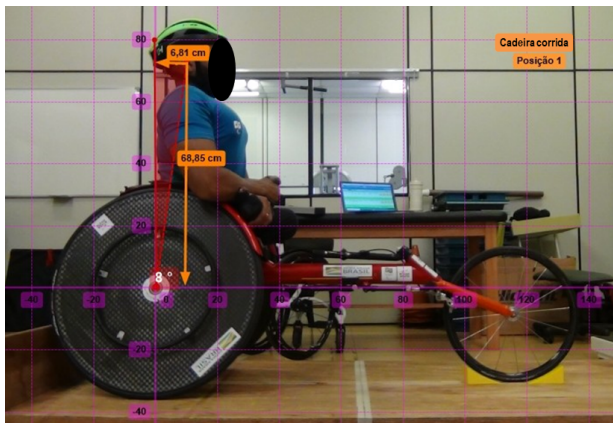
Figura 4.109 – Centro de gravidade nas posições três e quatro na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição.

#### 4.12.9 Análise Estática Utilizando o Kinovea

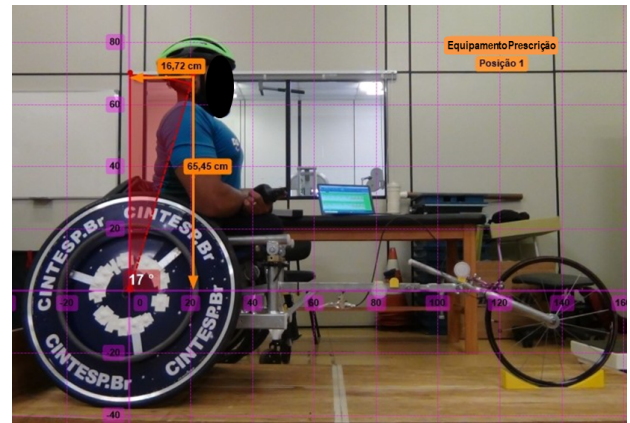
Para efeito de comparação foram realizadas algumas medições comparando a mesma posição do atleta 6 na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição. Para efeito comparativo foram afixados pontos em comum como referência. Sendo assim, na cadeira de corrida e no equipamento de prescrição foram fixados os pontos de referência zerados no centro da roda traseira. E para comparação foi medido a distância e o ângulo em cada posição e na cadeira e no equipamento relacionados ao centro da orelha do atleta e a pontos fixos na mão do atleta.

Na Figura 4.110 é apresentado o atleta na **Posição 1**, onde ele se encontra ereto sem nenhum movimento de propulsão. Na cadeira de corrida a distância entre o centro da roda traseira e o centro da orelha foi de 68,85 cm na vertical e 6,81 cm na horizontal, perfazendo um ângulo de 8 graus no sentido horário em relação à vertical. Já no equipamento de prescrição a distância vertical foi de 65,45 cm e horizontal de 16,72 cm, perfazendo um ângulo no sentido horário em relação ao plano vertical de 17 graus.





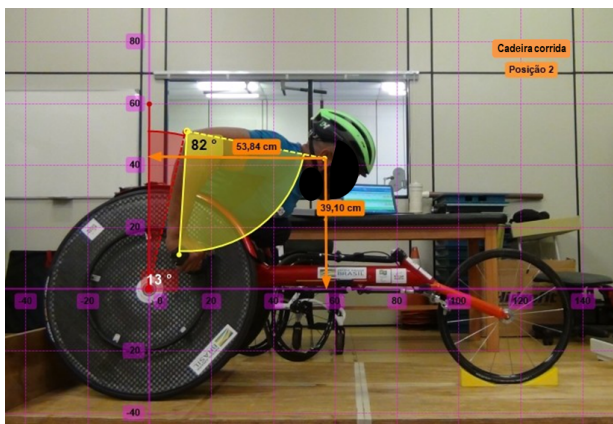
(a) Posição um na cadeira.



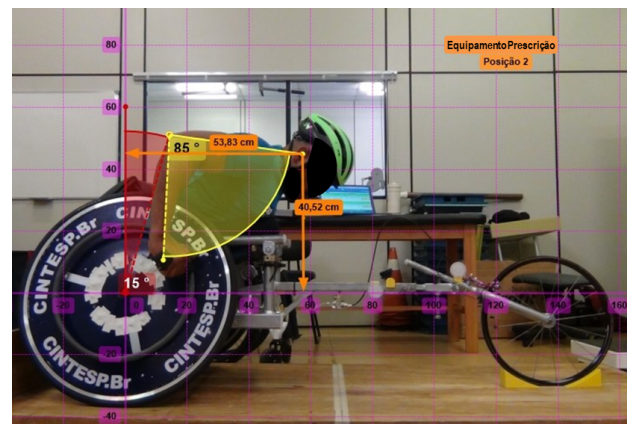
(b) Posição um no equipamento.

Figura 4.110 – Análise estática na posição um na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição.

Na Figura 4.111 é apresentado o atleta na **Posição 2**, onde ele se encontra no início do movimento de propulsão. Na cadeira de corrida a distância entre o centro da roda traseira e o centro da orelha foi de 39,10 cm na vertical e 53,84 cm na horizontal, perfazendo um ângulo de 82 graus entre o braço e o antebraço do atleta, com ponto central no cotovelo. Já no equipamento de prescrição a distância vertical foi de 40,52 cm e horizontal de 53,83 cm, perfazendo um ângulo de 85 graus entre o braço e o antebraço do atleta, com ponto central no cotovelo.



(a) Posição dois na cadeira.

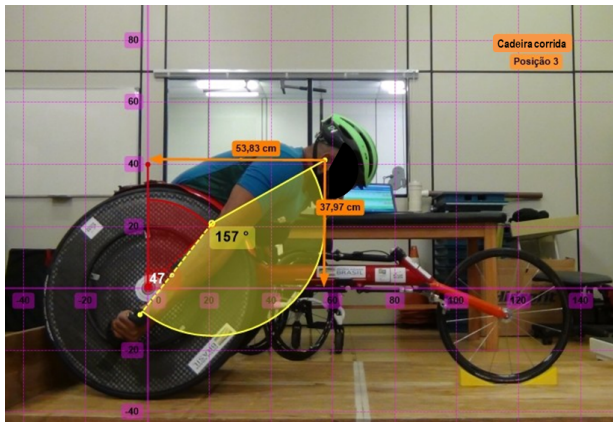


(b) Posição dois no equipamento.

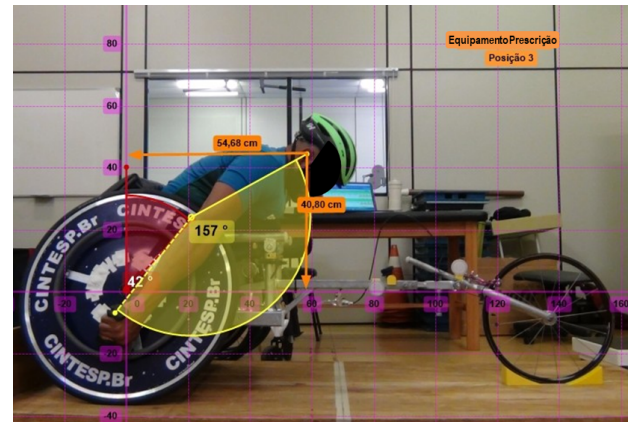
Figura 4.111 – Análise estática na posição dois na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição.

Na Figura 4.112 é apresentado o atleta na **Posição 3**, onde ele se encontra no término do movimento de propulsão. Na cadeira de corrida a distância entre o centro da roda traseira e o centro da orelha foi de 37,97 cm na vertical e 53,83 cm na horizontal, perfazendo um ângulo de 157 graus entre o braço e o antebraço do atleta. Já no equipamento de prescrição

a distância vertical foi de 40,80 cm e horizontal de 54,68 cm, perfazendo um ângulo de 157 graus entre o braço e o antebraço do atleta.



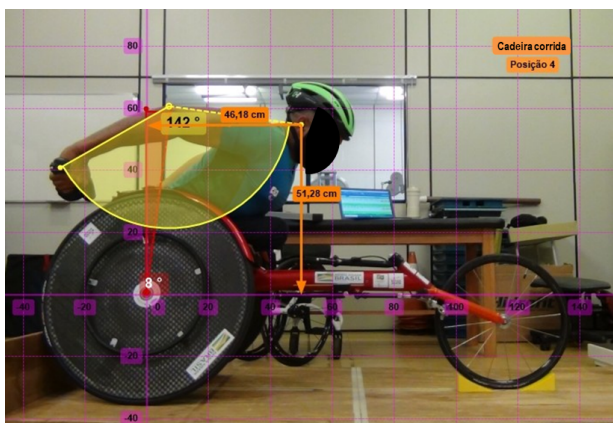
(a) Posição três na cadeira.



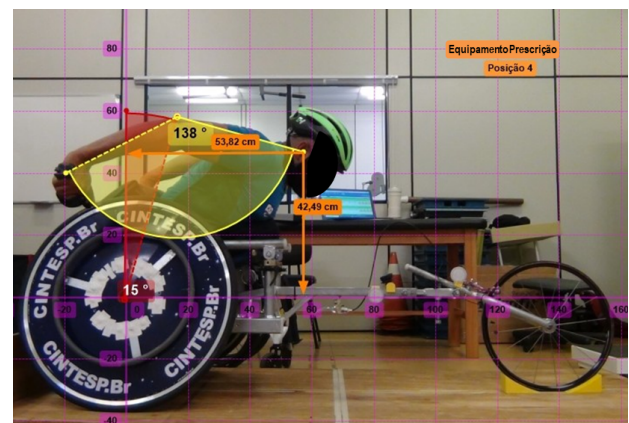
(b) Posição três no equipamento.

Figura 4.112 – Análise estática na posição três na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição.

Na Figura 4.113 é apresentado o atleta na **Posição 4**, onde ele se encontra em um movimento de recuperação da propulsão. Na cadeira de corrida a distância entre o centro da roda traseira e o centro da orelha foi de 51,28 cm na vertical e 46,18 cm na horizontal, perfazendo um ângulo de 142 graus entre o braço e o antebraço do atleta. Já no equipamento de prescrição a distância vertical foi de 42,49 cm e horizontal de 53,82 cm, perfazendo um ângulo de 138 graus entre o braço e o antebraço do atleta.



(a) Posição quatro na cadeira.



(b) Posição quatro no equipamento.

Figura 4.113 – Análise estática na posição quatro na cadeira de rodas de corrida e no equipamento de prescrição.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um equipamento para personalização de cadeira de rodas de corrida que simula uma cadeira de rodas de pista, porém, com diversas possibilidades de regulagens em função das características antropométricas dos atletas. Possui 14 tipos diferentes de ajustes que permitem personalizar uma cadeira de rodas de corridas.

O equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida foi validado utilizando aferições e diversos testes experimentais em ambientes de pista. A partir dos testes realizados verificou-se que o equipamento possibilita avaliar diversas posições ao variar os diferentes ajustes disponíveis no equipamento. Com isso, foi possível verificar em que situação de ajuste uma variável permite melhor ou pior desempenho nas propulsões realizadas pelo participante, isto aliado aos parâmetros de movimentação com o equipamento durante os testes (velocidade, tempo, distância, energia cinética, trabalho e potência).

Além disso, foram criados protocolos de testes que padronizaram a forma de fazer os experimentos, de tal modo que, é possível iniciar os testes em condições desfavoráveis e a partir das percepções do participante estas condições vão sendo melhoradas com o ajuste das variáveis no equipamento até alcançar tal ponto em que o atleta atinge a condição ideal ou uma condição próxima do ideal para se obter o seu melhor desempenho nas corridas.

Adicionalmente ao equipamento, foram acrescentados diversos dispositivos e protocolos de utilização que permitiram um ganho de segurança na utilização do equipamento, visto que o fato de este ser utilizado em movimento com diferentes velocidades, apresenta riscos que devem ser evitados com os equipamentos de segurança, tais como capacete, freios, cintos e outros dispositivos de proteção.

O equipamento de prescrição em conjunto com o protocolo de prescrição permitiu fornecer informações importantes e consistentes para a realização da prescrição de uma cadeira de

rodas de corridas personalizada, otimizada e anatômica para o participante do teste experimental prático. O método de prescrição proposto foi avaliado com boa aceitação por parte de todos os participantes, que o aprovaram de forma unânime ao declararem concordando plenamente com a asserção de que recomendariam este método para terceiros.

É possível ainda destacar as seguintes conclusões:

- O equipamento é modular, ou seja, de fácil montagem e desmontagem, permitindo que este seja desmontado e transportado para qualquer campo de testes que se desejar;
- Aliado aos estofamentos e dispositivos de segurança, o equipamento se mostrou confortável e seguro;
- A estrutura do equipamento se atendeu ao quesito resistência mecânica e rigidez estrutural;
- O aspecto visual do equipamento de prescrição se assemelha a uma cadeira de rodas de corrida comercial, o que faz com que o participante da pesquisa gere uma empatia logo no primeiro contato com o equipamento. Esta semelhança pode, até, levar alguns olhares desatentos a suporem que o equipamento é na verdade uma cadeira de rodas de corrida;
- As variáveis de ajustes podem ser reguladas de acordo com a funcionalidade da cadeira de rodas utilizada no esporte em questão;
- O fato de o equipamento rodar com suas próprias rodas sobre o solo, possibilita simular as condições reais de uma corrida em diferentes terrenos, bastando apenas, levar o equipamento para rodar na condição desejada;
- Apesar de não ter sido projetado com este objetivo, o equipamento de prescrição pode, ainda, ser utilizado como um equipamento de treinamento e avaliação do condicionamento físico com variáveis parametrizadas para um atleta específico.
- Outra inovação é o protocolo de obtenção do projeto da cadeira de rodas de corrida em tempo real. Neste caso, as medidas em forma de tabela são repassadas diretamente para um aplicativo que, através de simples comandos, organiza o projeto em tempo real, reduzindo o tempo de projeto e o tempo de início de fabricação. Conseqüentemente, este protocolo reduz os custos finais do equipamento.
- Um novo modelo de cadeira de rodas de corrida foi desenvolvido com partes implementadas por manufatura aditiva.

Uma das limitações deste equipamento de prescrição é o fato de ele desenvolver percursos, apenas, em linha reta. Isto faz com que não seja possível avaliar condições de realização de curvas com o equipamento. No entanto, isto não é um empecilho ao principal propósito do equipamento, que é prescrever cadeiras de rodas de corrida parametrizadas, personalizadas e ergonômicas aos atletas desta modalidade de esportes.

### **Sugestões para trabalhos futuros:**

A proposta inicial deste trabalho foi desenvolver um equipamento estacionário para a avaliação do comportamento biomecânico do atleta de corrida em cadeira de rodas e propor um modelo otimizado de cadeira de rodas de corrida fabricada em partes com manufatura aditiva, sendo que esta nova cadeira seria obtida em tempo real através de um novo protocolo de obtenção da geometria em tempo real.

No entanto, o trabalho evoluiu para um equipamento que se movimenta livremente sobre o solo a partir da propulsão realizada pelo usuário acomodado sobre ele. Isso aliado com a possibilidade de se prescrever uma cadeira de rodas de corrida personalizada para cada indivíduo e otimizada para que o atleta alcance maior eficiência nos seus resultados em corridas. Considerando estes aspectos, a realização deste trabalho abre um leque de inúmeras possibilidades. Assim, para dar continuidade ao que foi realizado até o momento, sugere-se como atividades futuras:

- Otimização, fabricação e testes da nova cadeira de rodas de corrida com partes fabricada por manufatura aditiva de acordo com o estudo de caso realizado neste trabalho com o atleta;
- Realizar estudos e monitoração de desempenho no esporte com a nova cadeira de rodas de corrida construída;
- Realizar uma adaptação na parte frontal do equipamento com vistas a atender as Classes T51 e T52, para apoiar o pé para frente;
- Construir mais opções de aros de propulsão com dimensões intermediárias como, por exemplo, 13, 15, 17 e 18 polegadas, para abranger mais possibilidades. Em virtude da variação das possibilidades ser a cada duas polegadas;
- Construir um apoio do encosto com possibilidade de ser mais alto o encosto do atleta no assento;
- Desenvolver um dispositivo no equipamento para realização de curvas para testes em pista completa

- Construir uma prancha de cálculo de centro de gravidade com possibilidade no eixo longitudinal e transversal;
- Construir um rolo de treino e avaliação onde seja possível encontrar o centro de gravidade transversal e longitudinal e com o qual se possa calcular a força (torque) que o atleta aplica no aro de propulsão;
- Desenvolver uma forma de fixação da manete do freio de tal modo que seja possível, por uma troca rápida, deixar a manete virada para cima ou para baixo, de acordo com o alcance das mãos do atleta, visto que alguns atletas tem limitações para abaixar e acessar a manete quando esta se localiza embaixo do tubo principal;
- Instalar um dispositivo de segurança na parte traseira do equipamento que evite o participante tombar para trás totalmente ao empinar o equipamento durante sua utilização;
- Alterar o projeto da largura do assento para possibilitar que o assento possa ser regulado em uma amplitude mais estreita. Sugere-se que o assento possa ser fechado na largura mínima de até 200 mm;
- Alterar a forma de fixação do aro de propulsão na roda de forma que os parafusos fiquem escondidos para não machucar a mão do participante. Além disso, as cantoneiras de fixação do aro na roda precisam ser reprojctadas para que o atleta não bata a mão nelas e se machuque com isso;
- Projetar e refazer novamente o dispositivo de cambagem de forma que a roda fique mais próxima à estrutura do equipamento. Além disso, deve ser diminuída a folga entre o dispositivo de cambagem e o eixo da roda, ou seja, especificadas tolerâncias mais estreitas;
- Realizar alterações no projeto do garfo do equipamento de prescrição para que seja possível inclinar o equipamento para baixo, ou seja, a parte frontal do tubo principal ficar mais baixa que a parte de trás.

## REFERÊNCIAS

- 3D4MAKERS.COM. *Technical data sheet: 3D printing filament - ABS Filament*. 2019. Disponível em: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0762/2839/files/TDS\\_ABS\\_Filament.pdf?11613272326600120846](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0762/2839/files/TDS_ABS_Filament.pdf?11613272326600120846). Acessado em: 04 de Janeiro de 2019.
- 3DFILA. *Filamento Tritan HT*. 2019. Disponível em: <https://3dfila.com.br/produto/filamento-tritan-ht/>. Acessado em: 18 de Março de 2020.
- ALPHAMIX. *Alphamix Tecnologia em Movimento: Speed racing*. 2019. Disponível em: <http://alphamix.com.br//produtos/speed-racing>. Acessado em: 16 de Janeiro de 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2008. Rio de Janeiro. ABNT, 2008.
- ATHLETICS FOR ALL. *Adapted Track & Field: Guidelines*. 2014. Disponível em: <https://athletics4all.files.wordpress.com/2014/05/adapted-track-and-field-draft-version-1-0-050515.pdf>. Acessado em: 24 de Janeiro de 2019.
- AÑEZ, C. R. R. Antropometria na ergonomia. *Ensaios de Ergonomia*. Florianópolis, 2000.
- BALLETTI, C.; BALLARIN, M.; GUERRA, F. 3d printing: State of the art and future perspectives. *Journal of Cultural Heritage*, Elsevier, v. 26, p. 172–182, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010>>.
- BARBOSA, T. M.; COELHO, E. Monitoring the biomechanics of a wheelchair sprinter racing the 100 m final at the 2016 paralympic games. *European Journal of Physics*, IOP Publishing, v. 38, n. 4, p. 044001, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1361-6404/aa6905>>.
- BARBOSA, T. M. et al. Analysis of the aerodynamics by experimental testing of an elite wheelchair sprinter. *Procedia Engineering*, v. 147, p. 2 – 6, 2016. ISSN 1877-7058. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.180>>.
- BEUTLER, A.; CAREY, P. Medical considerations in adaptive sports. In: *Adaptive Sports Medicine*. Springer, 2018. p. 59–69. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-56568-2\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-56568-2_5)>.

- BHAMBHANI, Y. Paralympic sport science: Physiology. In: \_\_\_\_\_. *Handbook of Sports Medicine and Science: The paralympic athlete*. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2011. cap. 3, p. 51–73. ISBN 978-1-444-33404-3.
- BLEAKNEY, A. Track and field manual. *St Decatur: US Disabled Athletes Fund Inc*, 2004.
- BONINGER, M. L. et al. Manual wheelchair pushrim biomechanics and axle position. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, Elsevier, v. 81, n. 5, p. 608–613, 2000.
- BOSE, S. et al. Additive manufacturing of biomaterials. *Progress in Materials Science*, v. 93, p. 45 – 111, 2018. ISSN 0079-6425. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642517301020>>.
- BOURELL, D. et al. Materials for additive manufacturing. *CIRP Annals*, Elsevier, v. 66, n. 2, p. 659–681, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.009>>.
- BRILEY, S. J. et al. Propulsion biomechanics do not differ between athletic and nonathletic manual wheelchair users in their daily wheelchairs. *Journal of Biomechanics*, v. 104, p. 109725, 2020. ISSN 0021-9290. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002192902030141X>>.
- BUNDON, A.; MASON, B. S.; GOOSEY-TOLFREY, V. L. Expert users' perceptions of racing wheelchair design and setup: The knowns, unknowns, and next steps. *Adapted physical activity quarterly*, v. 34, n. 2, p. 141–161, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1123/apaq.2016-0073>>.
- BUSSMANN, A. J. de Castro de; GREGUOL, M. Análise das técnicas de propulsão de atletas praticantes de modalidades em cadeira de rodas: um estudo de revisão. *Journal of Occupational Therapy of University of São Paulo/Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo*, v. 23, n. 2, 2012.
- CALLISTER, J. W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2008. 705 p.
- CARDOSO, L. d. S. *Estrutura Modular Ajustável para Ergômetros de Cadeirantes Desportivos*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2015.
- CARDOSO, L. d. S. *Prescrição Automatizada de Cadeiras de Rodas de Alto Rendimento e de Vida Diária*. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.
- CARDOSO, L. d. S.; ARAUJO, C. A. d.; OLIVEIRA, S. A. G. d. Desenvolvimento de uma metodologia de prescrição automatizada de cadeiras de rodas de alto rendimento para o basquetebol. *Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica - ENEBI 2018*, 2018.
- CHÉNIER, F.; BIGRAS, P.; AISSAOUI, R. A new dynamic model of the manual wheelchair for straight and curvilinear propulsion. In: IEEE. *2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*. 2011. p. 1–5. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/ICORR.2011.5975357>>.



CHÉNIER, F.; BIGRAS, P.; AISSAOUI, R. A new wheelchair ergometer designed as an admittance-controlled haptic robot. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, IEEE, v. 19, n. 1, p. 321–328, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/TMECH.2012.2235079>>.

CHOW, J. W.; CHAE, W.-S. Speed and stroke cycle characteristics during the 100-m race for paraplegic athletes. In: *ISBS-Conference Proceedings Archive*. [S.l.: s.n.], 2000. v. 1, n. 1.

CHURTON, E.; KEOGH, J. W. Constraints influencing sports wheelchair propulsion performance and injury risk. *BMC sports science, medicine and rehabilitation*, BioMed Central Ltd, v. 5, n. 1, p. 3, 2013.

COOPER, R. A. High-tech wheelchairs gain the competitive edge. *IEEE engineering in medicine and biology magazine: the quarterly magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society*, v. 10, n. 4, p. 49–55, 1991.

COOPER, R. A.; LUIGI, A. J. D. Adaptive sports technology and biomechanics: wheelchairs. *PM&R*, Elsevier, v. 6, n. 8, p. S31–S39, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.05.020>>.

COOPER, R. A. et al. Engineering and technology in wheelchair sport. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, Elsevier, v. 29, n. 2, p. 347–369, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmr.2018.01.013>>.

COSTA, G. B. et al. Case study: effect of handrim diameter on performance in a paralympic wheelchair athlete. *Adapted physical activity quarterly*, Human Kinetics, Inc. 1607 North Market Street, Champaign, IL 61820, v. 26, n. 4, p. 352–363, 2009.

COTA, F. et al. Análise estrutural de uma cadeira de rodas através do método de elementos finitos. *CEP*, v. 36307, p. 352, 2010.

COUNCIL, B. C. *Mandeville Legacy: Sports wheelchairs in the 1980s*. 2014. Disponível em: [http://www.mandevillelegacy.org.uk/page\\_id\\_\\_37.aspx](http://www.mandevillelegacy.org.uk/page_id__37.aspx). Acessado em: 16 de Janeiro de 2019.

CRUZ, S.; BLAUWET, C. A. Implications of altered autonomic control on sports performance in athletes with spinal cord injury. *Autonomic Neuroscience*, v. 209, p. 100 – 104, 2018. ISSN 1566-0702. Spinal Cord Injury (SCI) and the Autonomic Nervous System. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566070217300814>>.

DASSAULT SYSTÈMES. *Ajuda do SOLIDWORKS: Configurações de tabela de projeto*. 2019. Disponível em: [http://help.solidworks.com/2014/portuguese-brazilian/SolidWorks/sldworks/c\\_Design\\_Table\\_Configurations.htm?id=6f0ac3de954843c7a7bd05ed7](http://help.solidworks.com/2014/portuguese-brazilian/SolidWorks/sldworks/c_Design_Table_Configurations.htm?id=6f0ac3de954843c7a7bd05ed7). Acessado em: 17 de Janeiro de 2019.

DONEGÁ, T. J. *Equipamento para Personalização de Cadeiras de Rodas de Corrida*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

DRUVERT, J.; RUSAKIEVICK, F. Wheelchair racing: chair set-up, conventional seating position, kneeling position, para backhand technique, injury prevention. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, v. 55, p. e250, 2012. ISSN 1877-0657. 27e Congrès de Médecine Physique et de Réadaptation, Toulouse, 18, 19 et 20 octobre 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877065712007300>>.

EDWARDS STEVEN D. MCNAMEE, M. J. Paralympic sport science: Philosophy. In: \_\_\_\_\_. *Handbook of Sports Medicine and Science: The paralympic athlete*. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2011. cap. 5, p. 89–101. ISBN 978-1-444-33404-3.

EDWARDS, T. et al. Physiological responses during a 25-km time trial in elite wheelchair racing athletes. *Spinal cord series and cases*, Nature Publishing Group, v. 4, n. 1, p. 77, 2018.

FARBMAN, D.; MCCOY, C. Materials testing of 3d printed abs and pla samples to guide mechanical design. In: . [S.l.: s.n.], 2016. p. V002T01A015.

FAULL, A. L.; JONES, E. S. Development and validation of the wheelchair imagery ability questionnaire (wiaq) for use in wheelchair sports. *Psychology of Sport and Exercise*, v. 37, p. 196 – 204, 2018. ISSN 1469-0292. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1469029217304570>>.

FILAMENT2PRINT. *Taulman Tritan-BluPrint*. 2020. Disponível em: <https://filament2print.com/pt/copoliesteres-pet/609-taulman-tritan-bluprint.html>. Acessado em: 18 de Março de 2020.

FOGGIATO, J. A.; SILVA, J. V. L. d. S. Representação geométrica 3d para am. In: VOLPATO, N. (Ed.). *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3d*. [S.l.]: Blucher, 2017. cap. 4, p. 69–95. ISBN 978-85-212-1150-1.

FORTE, P.; BARBOSA, T. M.; MARINHO, D. A. Technologic appliance and performance concerns in wheelchair racing—helping paralympic athletes to excel. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/61806>>.

FORTE, P. et al. The variations on the aerodynamics of a world-ranked wheelchair sprinter in the key-moments of the stroke cycle: A numerical simulation analysis. *PloS one*, Public Library of Science, v. 13, n. 2, p. e0193658, 2018.

FORTE, P. et al. Cfd analysis of head and helmet aerodynamic drag to wheelchair racing. In: *2016 1st International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing (TISHW)*. Vila Real, Portugal: IEEE Portugal Engineering in Medicine and Biology Society Chapter, 2016. p. 1–6. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/TISHW.2016.7847775>>.

FUSS, F. K. Influence of mass on the speed of wheelchair racing. *Sports Engineering*, Springer, v. 12, n. 1, p. 41–53, 2009.

HALL, S. J. Biomecânica básica. 7ª edição. *Rio de Janeiro, Guanabara Koogan*, 2016.

- HASNAN, N. 14 - wheelchairs and seating systems. In: CIFU, D. X.; LEW, H. L. (Ed.). *Braddom's Rehabilitation Care: A Clinical Handbook*. Elsevier, 2018. p. 92 – 101.e4. ISBN 978-0-323-47904-2. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323479042000143>>.
- HOO, J. A. S.; LATZKA, E.; HARRAST, M. A. A descriptive study of self-reported injury in non-elite adaptive athletes. *PM&R*, 2018. ISSN 1934-1482. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S193414821830861X>>.
- HOWE, P. D. Cyborg and supercrip: The paralympics technology and the (dis)empowerment of disabled athletes. *Sociology*, v. 45, n. 5, p. 868–882, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0038038511413421>>.
- IAAF. *World Records*: Men outdoor. 2019. Disponível em: <https://www.iaaf.org/records/by-category/world-records>. Acessado em: 14 de Janeiro de 2019.
- INVACARE CORP. *Invacare Top End Eliminator OSR Racing Wheelchair*. 2012. Disponível em: [http://www.topendwheelchair.com/TopEnd\\_Media/TopEndProductDocuments/01-192Rev0912.Eliminator.pdf](http://www.topendwheelchair.com/TopEnd_Media/TopEndProductDocuments/01-192Rev0912.Eliminator.pdf). Acessado em: 17 de Março de 2014.
- INVACARE CORPORATION. *Invacare corporation. user manual: Invacare top end eliminator osr racing chair*. 2011.
- INVACARE CORPORATION. *Parts Catalog: Invacare Top End Eliminator OSR*. [S.l.], 2013.
- INVACARE CORPORATION. *TOP END OSR Racing Chair: Price List and Order Form*. [S.l.], 2013.
- INVACARE CORPORATION. *Order Form and Price List: Invacare top end eliminator u cage osr racing wheelchair*. 2015. Disponível em: <https://topendwheelchair.invacare.com/file/general/60109303> AAcessado em: 06 de Fevereiro de 2019.
- IPC. *World Para Athletics*: World records. 2019. Disponível em: <https://db.ipc-services.org/sdms/web/record/at/pdf/type/WR/category/out>. Acessado em: 14 de Janeiro de 2019.
- JAMSHIDIAN, M. et al. Poly-lactic acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 9, n. 5, p. 552–571, 2010. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x>>.
- JÄRVELÄINEN, K. *Kinematic Differences between Three Wheelchair Racers (T54) in Sprint Start*. 2008. University of Jyväskylä.
- LAFERRIER, J. Z. et al. Technology to improve sports performance in wheelchair sports. *Sports Technology*, Routledge, v. 5, n. 1-2, p. 4–19, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19346182.2012.663531>>.

- LEE, J.-Y.; AN, J.; CHUA, C. K. Fundamentals and applications of 3d printing for novel materials. *Applied Materials Today*, Elsevier, v. 7, p. 120–133, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apmt.2017.02.004>>.
- LEE, K. K.; UIHLEIN, M. J. Adaptive sports in the rehabilitation of the disabled veterans. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, v. 30, n. 1, p. 289 – 299, 2019. ISSN 1047-9651. Polytrauma Rehabilitation. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1047965118308222>>.
- LESSARD, J.-L. *CONCEPTION ET VALIDATION D'UN ERGOMÈTRE, INCLUANT UN FAUTEUIL CONFIGURABLE, POUR LA SIMULATION ET L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE LA COURSE EN FAUTEUIL ROULANT*. Dissertação (Master Thesis), Sherbrooke (Québec) Canada, Junho 2013.
- LESSARD, J.-L. et al. Platform for racing wheelchair performance enhancement. *XXIV Congress of the International Society of Biomechanics and XV Brazilian Congress of Biomechanics*, 2013.
- LESSARD, J.-L. et al. Racing wheelchair ergometer and configurable wheelchair validations. In: *37th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics*. Omaha, Nebraska, USA: The American Society of Biomechanics, 2013.
- LIN, C.-J.; LIN, P.-C.; SU, F.-C. Preferred elbow position in confined wheelchair configuration. *Journal of Biomechanics*, v. 42, n. 8, p. 1005 – 1009, 2009. ISSN 0021-9290. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021929009001158>>.
- LIN, C.-J. et al. Biomechanics of wheelchair propulsion. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, World Scientific, v. 9, n. 02, p. 229–242, 2009.
- LIU, H.-y. et al. Evaluation of titanium ultralight manual wheelchairs using ansi/resna standards. *Journal of rehabilitation research and development*, v. 45, p. 1251–67, 02 2008.
- MACDONALD, L. A.; OPRESCU, F.; KEAN, B. M. An evaluation of the effects of mindfulness training from the perspectives of wheelchair basketball players. *Psychology of Sport and Exercise*, v. 37, p. 188 – 195, 2018. ISSN 1469-0292. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1469029217305137>>.
- MARCELLINI, A. The extraordinary development of sport for people with dis/abilities. what does it all mean? *Alter*, Elsevier, v. 12, n. 2, p. 94–104, 2018. ISSN 1875-0672. Sixth Alter Conference, Lausanne, 2017 Disability, Recognition and "Community living". Diversity of practices and plurality of values. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875067218300270>>.
- MASON, B. *The Ergonomics of Wheelchair Configuration for Optimal Sport Performance*. Doctoral Thesis — Loughborough University, May 2011.
- MASON, B. S.; WOUDE, L. H. V. van der; GOOSEY-TOLFREY, V. L. The ergonomics of wheelchair configuration for optimal performance in the wheelchair court sports. *Sports Medicine*, v. 43, n. 1, p. 23–38, Jan 2013. ISSN 1179-2035. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40279-012-0005-x>>.

- MASSE, L.; LAMONTAGNE, M.; O'RIAIN, M. Biomechanical analysis of wheelchair propulsion for various seating positions. *Journal of rehabilitation research and development*, v. 29, n. 3, p. 12–28, 1992.
- MASSON, G. et al. Contribution of limb momentum to power transfer in athletic wheelchair pushing. *Journal of Biomechanics*, v. 49, n. 13, p. 2577 – 2583, 2016. ISSN 0021-9290. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.05.009>>.
- MAYES, D.; BURAK, J. M. *Racer Wheelchair Trainer*. 1997. US 5,649,883.
- MELLO, M. T. d.; WINCKLER, C. Esporte paralímpico. *São Paulo: Atheneu*, 2012.
- NARCISO, F. V. et al. Altura percentual do centro de gravidade e número de quedas em idosos ativos e sedentários. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, sciELO, v. 12, p. 302 – 307, 08 2010. ISSN 1980-0037.
- NEWCOMB, T. *BMW Made a Carbon Fiber Racing Wheelchair for Team USA*. 2016. Disponível em: <http://www.popularmechanics.com/adventure/sports/a20566/bmw-made-a-carbon-fiber-racing-wheelchair/>. Acessado em: 02 de Julho de 2016.
- NORTON, R. L. Projeto de máquinas. 2ª edição. *São Paulo, ARTMED EDITORA SA*, 2004.
- NOVAIS, D. V. *Projeto e Construção de um Ergômetro para Cadeirantes*. 2010. Universidade Federal de Uberlândia.
- NOVAIS, D. V. et al. Uma abordagem analítica para predição do perfil de forças na propulsão de uma cadeira de rodas manual. *Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica - ENEBI 2018*, 2018.
- OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. *Catálogo Completo: Guias lineares*. 2017. Disponível em: <http://www.obr.com.br/wp-content/uploads/2019/09/Guias-Lineares-OBR.pdf>. Acesso em: 13 de Novembro de 2019.
- OMAIA, D.; MACHADO, L.; MORAES, R. Interação háptica em plataformas livres. *Anais*, 2004.
- PELLAND-LEBLANC, J.-P. et al. Instantaneous power measurement in wheelchair racing. In: *37th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics*. Omaha, Nebraska, USA: The American Society of Biomechanics, 2013.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. Fundamentos de física: Mecânica. *8a Edição*, v. 1, 1991.
- RICE, I. Recent salient literature pertaining to the use of technology in wheelchair sports. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, Springer, v. 4, n. 4, p. 329–335, 2016.
- RICE, I. et al. The influence of glove type on simulated wheelchair racing propulsion: a pilot study. *International journal of sports medicine*, v. 37, n. 01, p. 30–35, 2016.

- RICE, I. et al. Paralympic sport science: Biomechanics. In: \_\_\_\_\_. *Handbook of Sports Medicine and Science: The paralympic athlete*. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2011. cap. 2, p. 33–50. ISBN 978-1-444-33404-3.
- SAGAWA, Y. J. et al. Análise da propulsão em cadeira de rodas manual: revisão de literatura. *Fisioterapia em Movimento*, SciELO Brasil, v. 25, n. 1, 2012.
- SHAKOOR, A. et al. Mechanical and thermal characterisation of poly (l-lactide) composites reinforced with hemp fibres. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 451, n. 1, p. 012010, 2013. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/1742-6596/451/i=1/a=012010>>.
- SLOWIK, J. S. et al. The influence of wheelchair propulsion hand pattern on upper extremity muscle power and stress. *Journal of biomechanics*, Elsevier, v. 49, n. 9, p. 1554–1561, 2016.
- STANSBURY, J. W.; IDACAVAGE, M. J. 3d printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, Elsevier, v. 32, n. 1, p. 54–64, 2016.
- TRUDEL, G. et al. Effects of rear-wheel camber on wheelchair stability. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, Elsevier, v. 78, n. 1, p. 78–81, 1997.
- TSUKANOV, D. 41 - sports adaptations and assistive devices for recreation. In: WEBSTER, J. B.; MURPHY, D. P. (Ed.). *Atlas of Orthoses and Assistive Devices (Fifth Edition)*. Fifth edition. Philadelphia: Content Repository Only!, 2019. p. 418 – 424.e1. ISBN 978-0-323-48323-0. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978032348323000041X>>.
- VANLANDEWIJCK, Y. C. et al. Trunk strength effect on track wheelchair start: Implications for classification. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 45, n. 12, p. 2344–2351, 2011.
- VIEIRA, S. A. A. *ERGO1: Novo Protótipo para Condicionamento Físico de Cadeirantes e Paratletas*. 2012. Universidade Federal de Uberlândia.
- VIEIRA, S. A. A.; ARAUJO, C. A. de; SANTOS, S. S. dos. Ergo1 - physical evaluation and training for wheelchair users. In: *Proceedings of the 2nd International Congress on Sports Sciences Research and Technology Support*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 69–76. ISBN 978-989-758-057-4.
- VIEIRA, S. A. A. et al. Ergômetro para cadeirantes com sistema de simulação imersivo. *Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica - ENEBI 2018*, 2018.
- VIEIRA, S. A. A.; SOUSA, M. M. de; ARAUJO, C. A. de. Low cost torque meter for wheelchair ergometer. *Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica - ENEBI 2015*, 2015.
- VOLPATO, N.; CARVALHO, J. d. Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3d. In: VOLPATO, N. (Ed.). *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3d*. [S.l.]: Blucher, 2017. cap. 1, p. 15–30. ISBN 978-85-212-1150-1.

WILLICK, S.; WEBBORN, N. Paralympic sport science: Medicine. In: \_\_\_\_\_. *Handbook of Sports Medicine and Science: The paralympic athlete*. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2011. cap. 4, p. 74–88. ISBN 978-1-444-33404-3.

WORLD PARA ATHLETICS. *Classification*: Classification in para athletics. 2019. Disponível em: <https://www.paralympic.org/athletics/classification>. Acessado em: 14 de Outubro de 2019.

WORLD PARA ATHLETICS. *World Para Athletics Rules and Regulations 2020-2021*. 2020. Disponível em: [https://www.paralympic.org/sites/default/files/2020-02/2020\\_02](https://www.paralympic.org/sites/default/files/2020-02/2020_02)Acessado em: 12 de Setembro de 2020.

YACHIYO. *Yachiyo Industry Co. Ltd. Racing Wheelchair*. 2016. Disponível em: [https://www.yachiyo-ind.co.jp/pdf/2016/en\\_catalog\\_wcr.pdf](https://www.yachiyo-ind.co.jp/pdf/2016/en_catalog_wcr.pdf). Acessado em: 29 de Maio de 2018.





## APÊNDICE A

### PROJETO DE PESQUISA SUBMETIDO AO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (CEP)

#### DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

---

**Título da Pesquisa:** DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE PRESCRIÇÃO AUTOMATIZADA E MODELAGEM DE CADEIRAS DE RODAS DE CORRIDA

**Pesquisador Responsável:** Cleudmar Amaral de Araújo

Área Temática:

**Versão:** 2

**CAAE:** 32912620.2.0000.5152

**Submetido em:** 15/07/2020

**Instituição Proponente:** Faculdade de Engenharia Mecânica

**Situação da Versão do Projeto:** Aprovado

**Localização atual da Versão do Projeto:** Pesquisador Responsável

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

## APÊNDICE B

### PATENTE: EQUIPAMENTO PARA PRESCRIÇÃO DE CADEIRA DE RODAS DE CORRIDA

Como resultado deste trabalho, temos dois pedidos em processo de depósito junto à Agência Intellecto da Universidade Federal de Uberlândia. Sendo um pedido para o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida, o qual tem como uma das novidades o fato de ser apoiado sobre rodas no solo e poder utilizar estas rodas para se locomover, diferente da versão anterior desenvolvida no mestrado, que tinha rodas, porém estas giravam livremente suspensas sobre uma plataforma apoiada no chão.

O outro pedido de patente refere-se à nova cadeira de rodas de corrida. Que possui como inovação partes dos seus componentes desenvolvidos para serem construídos utilizando manufatura aditiva.

#### **Campo da Invenção:**

A presente invenção se refere a um equipamento próprio para avaliação do comportamento biomecânico, bem como realizar o treinamento de atletas, voltado para corrida em cadeira de rodas. Esse equipamento é montado com as rodas apoiadas no chão. Ele contém diversas regulagens que possibilitam avaliar o posicionamento do atleta em cadeira de rodas de corrida. O equipamento para prescrição é semelhante a uma cadeira de rodas de corrida. Porém, possui vários parâmetros de regulagem em sua estrutura. A avaliação feita com esse equipamento é utilizada para a construção de cadeiras de rodas de atletismo com características individuais que proporcionam melhor ergonomia, melhor conforto e melhor desempenho ao atleta. O equipamento dispõe de ajustes variáveis e devido a sua condição de estar apoiado sobre as rodas no chão, permite simular condições de uso de cadeira de rodas de corrida em competições.

## APÊNDICE C

### **PATENTE: CADEIRA DE RODAS DE CORRIDA ANATÔMICA OTIMIZADA E PARAMETRIZADA MODELADA PARA CONSTRUÇÃO UTILIZANDO MANUFATURA ADITIVA**

Como resultado deste trabalho, temos dois pedidos em processo de depósito junto à Agência Intelecto da Universidade Federal de Uberlândia. Sendo um pedido para o equipamento de prescrição de cadeira de rodas de corrida, o qual tem como uma das novidades o fato de ser apoiado sobre rodas no solo e poder utilizar estas rodas para se locomover, diferente da versão anterior desenvolvida no mestrado, que tinha rodas, porém estas giravam livremente suspensas sobre uma plataforma apoiada no chão.

O outro pedido de patente refere-se à nova cadeira de rodas de corrida. Que possui como inovação partes dos seus componentes desenvolvidos para serem construídos utilizando manufatura aditiva.

#### **Campo da Invenção:**

A presente invenção se refere a uma cadeira de rodas de corrida destinada às práticas paradesportivas de corrida em cadeira de rodas com estrutura otimizada em seu desenho com contornos geométricos ergonômicos que são favoráveis ao desempenho do usuário nas corridas. A cadeira de rodas é constituída por tubos perfilados que proporcionam maior conforto e segurança durante a prática do esporte. Além disso, a cadeira de rodas de corrida possui partes projetadas para a construção utilizando manufatura aditiva, o que possibilita formatos mais aerodinâmicos, bem como diminuição no peso total, o que favorece o desempenho nas corridas. O modelo da cadeira de rodas esportiva é parametrizado com dimensões que podem variar de acordo com as medidas ergo-antropométricas do usuário e, possibilita realizar alterações na composição de suas dimensões estruturais sem alterar seu escopo primário.

## APÊNDICE D

FORMULÁRIO *ANAMNESE* DO PARTICIPANTE

# Ficha de avaliação

CENTRO BRASILEIRO DE REFERÊNCIA EM INOVAÇÕES  
TECNOLÓGICAS PARA ESPORTES PARALÍMPICOS



**CINTESP.Br**



*"A vida é feita de desafios e obstáculos que precisamos superar. Não podemos desistir de lutar! Em parceria podemos vencer e fazer a diferença"*







Modalidade: \_\_\_\_\_

Nome do Paratleta/Voluntário: \_\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

## Dados 2

Local: \_\_\_\_\_ N° Ficha: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Horas: \_\_\_\_:\_\_\_\_

Faz Uso de Cadeira de Rodas: \_\_\_\_\_ Diagnóstico Clínico: \_\_\_\_\_

Tempo de Uso da Cadeira de Roda: \_\_\_\_\_

**IDENTIFICAÇÃO:**

Nome \_\_\_\_\_

Endereço \_\_\_\_\_

Bairro \_\_\_\_\_ Cidade \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_ CEP \_\_\_\_\_

Telefone \_\_\_\_\_

Data de nasc.: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Idade \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_ Estado civil \_\_\_\_\_

**Profissão** \_\_\_\_\_

**IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL:**

Nome \_\_\_\_\_

Endereço \_\_\_\_\_

Bairro \_\_\_\_\_ Cidade \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_ CEP \_\_\_\_\_

Telefone \_\_\_\_\_

Data de nasc.: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Idade \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_ Estado civil \_\_\_\_\_

PA \_\_\_\_\_ Temperatura \_\_\_\_\_ °C Peso \_\_\_\_\_ kg Altura \_\_\_\_\_ m

**Durante a prática de esportes já sentiu ou sente algum destes sintomas?**

Tontura  Dor no peito  Dor na cabeça  Desmaio

Dormência ou Formigamento no corpo  Palpitação

**Você apresenta algum problema de saúde?**  Não

Pressão alta  Problema de coração  Colesterol / Triglicerídeos elevados  
 Diabetes

## Ficha de avaliação

3

Está fazendo algum tratamento?  Não  Sim \_\_\_\_\_

Esta usando algum medicamento ou suplemento alimentar?  Não  Sim \_\_\_\_\_

Pressão arterial	
MSD	Decúbito dorsal
MSE	Sentado
	Ereto
Peso ideal:	PESO _____
OBSERVAÇÕES:	

### DATA DO ÚLTIMO EXAME FÍSICO E/ OU MÉDICO:

DATA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ OBSERVAÇÕES: \_\_\_\_\_

### VOCÊ POSSUI ALGUMA RESTRIÇÃO À PRÁTICA DE ATIVIDADE FÍSICA?

OBSERVAÇÕES: \_\_\_\_\_

### COMENTÁRIOS GERAIS

Caso você tenha alguma informação para acrescentar, que não tenha sido perguntada neste questionário de saúde, favor registrar neste espaço.



## Ficha de avaliação

4

Funcionalidade quanto ao uso e locomoção na cadeira de rodas	Sim	Não	ACOMETIMENTO FISIOLÓGICO	Sim	Não
Dependente			Tônus Muscular		
Semi-dependente			Distonia – Membros superiores		
Independente			Hipertonia – Membros superiores		
Propulsão manual			Hipotonia – Membros superiores		
Propulsão assistida			Atetose– Membros superiores		
Propulsão automática			Distonia – Membros inferiores		
<b>COMPROMETIMENTO MOTOR</b>			Hipertonia – Membros inferiores		
Hemiplegia			Hipotonia – Membros inferiores		
Diplegia			Atetose– Membros inferiores		
Paraplegia			Controle cervical completo		
Tetraplegia			Controle cervical incompleto		
<b>COMPROMETIMENTO DE ESTRUTURAS OSTEO-ARTICULARES</b>			Controle do tronco completo		
Hiperlordose			Controle do tronco incompleto		
Sub-luxação no quadril			<b>Transferência para/da Cadeira de rodas</b>		
Luxação no quadril			Independente		
Escoliose			Dependente		
Cifose			Assistida		
<b>AMBIENTE DE CONVIVÊNCIA E UTILIZAÇÃO DA CADEIRA DE RODAS</b>			Com apoios assistivos		
Uso majoritariamente domiciliar			Sem apoios assistivos		
Uso majoritário no ambiente exterior					
Uso intensivo e extensivo equilibrado					
Circulação restrita da c.r.					
Alta taxa de circulação					



## Ficha de avaliação

5

Distância percorrida em média diariamente _____ (metros)		
	Sim	Não
Primeira cadeira de rodas de corrida personalizada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Histórico de doença cardíaca familiar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabagismo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

UBERLÂNDIA \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**Afirmo serem verdadeiras todas as informações acima:**

ASSINATURA DO PARATLETA / VOLUNTARIO

ASSINATURA RESPONSÁVEL  
(Obrigatório para menores de 18 anos)

ASSINATURA DO PRESCRITOR

ASSINATURA DO AVALIADOR