



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Automotiva

Desenvolvimento de projeto de cadeira de rodas para trilhas

**Autor: Douglas Evaristo de Sousa e Stefano Oliveira Vieira
Monaco**

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda

Brasília, DF
2023



Douglas Evaristo de Sousa e Stefano Oliveira Vieira Monaco

Desenvolvimento de projeto de cadeira de rodas para trilhas

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia Automotiva) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia Automotiva).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda

Brasília, DF

2023

Douglas Evaristo de Sousa e Stefano Oliveira Vieira Monaco
Desenvolvimento de projeto de cadeira de rodas para trilhas/ Douglas Evaristo
de Sousa e Stefano Oliveira Vieira Monaco. – Brasília, DF, 2023-
208 p. : il; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2023.

1. Cadeira de rodas. 2. Trilhas. I. Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda. II.
Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Desenvolvimento de
projeto de cadeira de rodas para trilhas

CDU 02:141:005.6

Douglas Evaristo de Sousa e Stefano Oliveira Vieira Monaco

Desenvolvimento de projeto de cadeira de rodas para trilhas

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia Automotiva) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia Automotiva).

Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda
Orientador

Prof. Me. Saleh Barbosa Khalil
Avaliador

Profa. Ma. Eneida Gonzalez Valdes
Avaliadora

Brasília, DF
2023

*“Só fazemos melhor aquilo que repetidamente insistimos em melhorar,
a busca da excelência não deve ser um objetivo, e sim um hábito.*

Aristóteles

Resumo

Este trabalho tem como objetivo o projeto de uma cadeira de rodas para trilhas com foco ergonômico e de baixo custo. A motivação surgiu fundada na necessidade de integração de pessoas com deficiência motora (PcD) impelidas ao uso de tecnologias assistivas (TA) na natureza, dado os benefícios que essa tem para a saúde física e mental. Essa motivação apontou em virtude de familiares de um dos autores utilizarem desses meios à conta de uma doença rara e degenerativa (ataxia-espinocerebelar tipo 3). A partir de um estudo do desenvolvimento da cadeira de rodas, fatores pertinentes ao desenvolvimento do projeto ergonômico, soluções existentes para o problema versado e questionário com o público alvo, as alternativas para resolução do problema foram levantadas. Em seguida, foi realizado uma análise ergonômico da cadeira de rodas para percentis definidos (P5 e P95), obtendo validações congruentes. Finaliza-se com a realização do projeto executivo. Define-se, então, a configuração final como uma cadeira de rodas de estrutura desmontável com sistemas rígidos, conjunto de suspensão, roda central, apoios para os pés, braços, cabeça e braços de suporte, frontais e traseiros para os carregadores e estáticos para sustentação quando em repouso.

Palavras-chaves: Cadeira de rodas; Trilhas; Ergonomia.

Abstract

This work aims to design a wheelchair for trails with an ergonomic focus and low cost. The motivation arose based on the need to integrate people with motor disabilities (PWD) forced to the use of assistive technologies (AT) in nature, given the benefits it has for physical and mental health. This motivation arose because some relatives of one of the authors use these means due to a rare and degenerative disease (spinocerebellar ataxia type 3). From a study of the development of the wheelchair, factors relevant to the development of the ergonomic project, existing solutions for the problem discussed and a questionnaire with the target audience the alternatives for solving the problem were raised. Then, an ergonomic analysis of the wheelchair was performed for defined percentiles (P5 and P95), obtaining congruent validations. It ends with the execution of the executive project. The final configuration is then defined as a wheelchair with a collapsible structure with rigid systems, suspension set, central wheel, footrests, armrests, head support and support arms, front and rear for the loaders, and static for supporting the wheelchair when at rest.

Key-words: Wheelchairs; Trails; Ergonomics.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Cama de criança sobre rodas, (KAMENETZ, 1969)	23
Figura 2 – Primeira representação de uma cadeira de rodas, (KAMENETZ, 1969)	24
Figura 3 – Desenho da cadeira do Rei Philip II, (KAMENETZ, 1969)	24
Figura 4 – Cadeira de Rodas Dobrável - Everest Jennings, (INDIVIDUAL ABILITIES IN MOTION, 2016)	25
Figura 5 – Segmentos Corporais Baseado em Dados de Drillis e Contin, (BLOSWICK, D, 2015)	27
Figura 6 – Medidas Antropométricas, (TILLEY, 2005)	27
Figura 7 – Distribuição Gaussiana da população para estatura, (IIDA, 2005)	28
Figura 8 – Centro de gravidade do corpo na posição anatômica, (CAMPOS, 2000)	31
Figura 9 – Pontuação do braço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)	34
Figura 10 – Pontuação do antebraço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)	35
Figura 11 – Pontuação do pulso - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)	35
Figura 12 – Pontuação do pescoço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)	35
Figura 13 – Pontuação do pescoço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)	36
Figura 14 – Cadeira de rodas Julliete, (JULIETTI, 2022)	40
Figura 15 – Cadeira de rodas Black Diamond TrailRider, (KAWAK ACCESS EQUIPMENT, 2022)	41
Figura 16 – Cadeira de rodas GRIT Freedom Chair - Spartan, (GRIT Freedom, 2022)	43
Figura 17 – Cadeira de rodas Mountain Trike, (MOUNTAIN TRIKE, 2022)	45
Figura 18 – Modelo preliminar da cadeira de rodas p/ trilha, autores	52
Figura 19 – Modelo final da cadeira de rodas p/ trilha, autores	53
Figura 20 – Estatísticas da malha (<i>Mesh Statistics</i> , autores	55
Figura 21 – Qualidade dos elementos da malha (<i>Mesh Element Quality</i> , autores . .	55
Figura 22 – Configuração das condições de contorno aplicadas ao suporte, autores .	56
Figura 23 – Limite de escoamento (Von Mises) (<i>Equivalent Stress</i>), autores	56
Figura 24 – Deformação equivalente (Von Mises) (<i>Equivalent Strain</i>), autores	56
Figura 25 – Deformação total (Von Mises) (<i>Total Deformation</i>), autores	57
Figura 26 – Conjunto assento, autores	58
Figura 27 – Conjunto encosto de dorsal, autores	60
Figura 28 – Conjunto apoio de cabeça, autores	61

Figura 29 – Conjunto apoio dos pés, autores	62
Figura 30 – Conjunto apoio de braço, autores	63
Figura 31 – Suporte da suspensão, autores	64
Figura 32 – Braços da suspensão e amortecedor, autores	64
Figura 33 – Conjunto roda R14 pneu 90/100 49M, autores	65
Figura 34 – Buchas utilizadas, autores	66
Figura 35 – Conjunto eixo de roda (eixo passante, rolamentos e porcas), (SKF, 2023) e autores	67
Figura 36 – Conjunto suspensão completo, autores	67
Figura 37 – Braço de suporte traseiro, autores	68
Figura 38 – Braço de suporte dianteiro, autores	69
Figura 39 – Braço de apoio da cadeira (Suporte Estático), autores	69
Figura 40 – Pino de retenção versão curta (K0631.6004), (KIPP, 2023)	70
Figura 41 – Abraçadeiras utilizadas, autores	71
Figura 42 – Cinto de segurança 3 pontos, autores	71
Figura 43 – Cadeira configurada para cadeirante e carregadores P95, autores	72
Figura 44 – Cadeira configurada para cadeirante e carregadores P05, autores	73
Figura 45 – <i>Load</i> configurada com carga para romper o atrito estático, autores	75
Figura 46 – <i>Load</i> configurada com carga para romper o atrito dinâmico, autores	75
Figura 47 – Análise <i>Push/Pull</i> do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, diferentes configurações, autores	76
Figura 48 – Análise <i>Push/Pull</i> do carregador homem P95 para cadeira configurada para o percentil P5, diferente configurações, autores	77
Figura 49 – Análise <i>Push/Pull</i> da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil, diferente configurações, autores	78
Figura 50 – Análise <i>Push/Pull</i> da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para o percentil P95, diferente configurações, autores	78
Figura 51 – Análise RULA do cadeirante homem P95, autores	80
Figura 52 – Análise RULA da cadeirante mulher P5, autores	80
Figura 53 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, autores	82
Figura 54 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada para percentil P5, autores	82
Figura 55 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para o seu percentil, autores	83
Figura 56 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para percentil P95, autores	84
Figura 57 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, autores	85

Figura 58 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada para o percentil P5, autores	85
Figura 59 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil, autores	86
Figura 60 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para percentil P95, autores	87
Figura 61 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil utilizando pegada neutra, autores	88
Figura 62 – Análise RULA do carregador homem P95 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil, autores	88
Figura 63 – Análise RULA do carregador homem P95 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil P5, autores	89
Figura 64 – Análise RULA da carregadora mulher P5 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil, autores	90
Figura 65 – Análise RULA da carregadora mulher P5 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil P95, autores	90
Figura 66 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos cadeirantes, autores	92
Figura 67 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador dianteiro P95 para cadeira P5, diferentes configurações, autores	93
Figura 68 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador dianteiro P95 para cadeira P95, diferentes configurações, autores	94
Figura 69 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora dianteiro P5 para cadeira P5, diferentes configurações, autores	94
Figura 70 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora dianteiro P5 para cadeira P95, diferentes configurações, autores	95
Figura 71 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador traseiro P95 para cadeira P5, diferentes configurações, autores	96
Figura 72 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador traseiro P95 para cadeira P95, diferentes configurações, autores	96
Figura 73 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora traseira P5 para cadeira P5, diferentes configurações, autores	97
Figura 74 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora traseira P5 para cadeira P95, diferentes configurações, autores	97
Figura 75 – Gráfico da porcentagem da população que não tem força para realizar a tarefa (cadeirante), autores	98
Figura 76 – Gráfico da porcentagem da população que não tem força para realizar a tarefa (carregador), autores	99
Figura 77 – Modelo final da cadeira de rodas para trilha, autores	103
Figura 78 – <i>QR-Code</i> para acesso ao questionário online, autores	110

Figura 79 – Análise completa da porcentagem da população que não tem força para realizar a tarefa (cadeirante), autores	118
Figura 80 – Análise completa da porcentagem da população que não tem força para realizar a tarefa (carregador), autores	119
Figura 81 – Possibilidade de ajuste para carregador traseiro, autores	121
Figura 82 – Cadeira de Rodas para Trilhas - Vista Explodida, autores	122
Figura 83 – Longarina Estrutura Assento, autores	123
Figura 84 – Transversina Estrutura Assento, autores	124
Figura 85 – Longarina Apoio Assento, autores	125
Figura 86 – Transversina Central Estrutura Assento, autores	126
Figura 87 – Duto para Barra de Apoio, autores	127
Figura 88 – Apoio da Estrutura Dorsal LE, autores	128
Figura 89 – Apoio da Estrutura Dorsal LD, autores	129
Figura 90 – Suporte Suspensão Estrutura Assento, autores	130
Figura 91 – Estrutura do Assento - Montagem, autores	131
Figura 92 – Estrutura do Assento - Vista Explodida, autores	132
Figura 93 – Longarina Estrutura Apoio Dorsal, autores	133
Figura 94 – Transversina Estrutura Apoio Dorsal, autores	134
Figura 95 – Suporte de Ajuste Estrutura Dorsal, autores	135
Figura 96 – Estrutura do Encosto (Apoio Dorsal) - Montagem, autores	136
Figura 97 – Estrutura do Encosto (Apoio Dorsal) - Vista Explodida, autores	137
Figura 98 – Conector Apoio Traseiro - Estrutura do Encosto, autores	138
Figura 99 – Transversina Braço Apoio Traseiro, autores	139
Figura 100 – Barra de Apoio Braço Apoio Traseiro, autores	140
Figura 101 – Braço para Apoio Traseiro - Montagem, autores	141
Figura 102 – Braço para Apoio Traseiro - Vista Explodida, autores	142
Figura 103 – Assento Espuma Alta Densidade, autores	143
Figura 104 – Assento Espuma Media Densidade, autores	144
Figura 105 – Encosto de Dorsal - Vista Explodida, autores	145
Figura 106 – Barra Estrutura Apoio Pés, autores	146
Figura 107 – Barra Ajuste Estrutura Apoio Pés, autores	147
Figura 108 – Chapa Estrutura Apoio Pés, autores	148
Figura 109 – Apoio dos Pés - Montagem, autores	149
Figura 110 – Apoio dos Pés - Vista Explodida, autores	150
Figura 111 – Barra Estrutura Apoio Cabeça, autores	151
Figura 112 – Barra Ajuste Estrutura Apoio Cabeça, autores	152
Figura 113 – Barra Ajuste Apoio Cabeça, autores	153
Figura 114 – Chapa Estrutura Apoio Cabeça, autores	154
Figura 115 – Encosto de Cabeça, autores	155

Figura 116– Apoio de Cabeça - Montagem, autores	156
Figura 117– Apoio de Cabeça - Vista Explodida, autores	157
Figura 118– Barra Estrutura Apoio Braços, autores	158
Figura 119– Barra Ajuste Estrutura Apoio Braços, autores	159
Figura 120– Chapa Estrutura Apoio Braço, autores	160
Figura 121– Chapa Ajuste Estrutura Apoio Braço, autores	161
Figura 122– Encosto Braço, autores	162
Figura 123– Chapa Reforço Apoio Braço, autores	163
Figura 124– Apoio de Braço - Montagem, autores	164
Figura 125– Apoio de Braço - Vista Explodida, autores	165
Figura 126– Braço de Suspensão Rígido (Garfo R14), autores	166
Figura 127– Braço de Suspensão Amortecido (Garfo R14), autores	167
Figura 128– Conjunto Suspensão - Vista Explodida, autores	168
Figura 129– Barra do Suporte Traseiro, autores	169
Figura 130– Alça do Suporte Traseiro, autores	170
Figura 131– Braço de Suporte Reto Traseiro - Montagem, autores	171
Figura 132– Braço de Suporte Reto Traseiro - Vista Explodida, autores	172
Figura 133– Barra Suporte Dianteiro, autores	173
Figura 134– Barra Ajuste Suporte Dianteiro, autores	174
Figura 135– Braço de Suporte Dianteiro - Vista Explodida, autores	175
Figura 136– Barra Braço de Apoio da Cadeira, autores	176
Figura 137– Pé Braço de Apoio da Cadeira, autores	177
Figura 138– Braço de Apoio da Cadeira (Suporte Estático) - Vista Explodida, autores	178
Figura 139– Encosto Assento, autores	179
Figura 140– Cadeira de Rodas para Trilhas - Carregador P5 - Vistas (VF, VLE, VFD e VI), autores	180
Figura 141– Cadeira de Rodas para Trilhas - Carregador P95 - Vistas (VF, VLE, VFD e VI), autores	181

Lista de abreviaturas e siglas

DNA	Ácido Desoxirribonucleico
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
a.C.	Antes de Cristo
ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SCA3	Ataxia Espinocerebelar tipo 3
ATV	<i>All-Terrain Vehicle</i> (Veículo todo-o-terreno)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho assistido por computador)
CG	Centro de gravidade
d.C.	Depois de Cristo
USD	Dólar americano
CAD	Dólar canadense
EUA	Estados Unidos da América
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GBP	Libra esterlina
MMH	<i>Manual Material Handling</i> (Manuseio Manual de Materiais)
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
MAL	<i>Median Arcuate Ligament</i> (Ligamento Arqueado Mediano)
MIG	<i>Metal Inert Gas</i> (Gás Inerte Metal)
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

OMS	Organização Mundial da Saúde
PcD	Pessoa com deficiência
P5	Percentil 5%
P95	Percentil 95%
BRL	Real brasileiro
R14	Aro 14
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i> (Avaliação Rápida dos Membros Superiores)
SP	São Paulo
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
TAB	Tarifa Aduaneira do Brasil
TA	Tecnologias Assistivas
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i> (Gás Inerte Tungstênio)
UK	<i>United Kingdom</i> (Reino Unido)
USA	<i>United States of America</i> (Estados Unidos da América)
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
VF	Vista Frontal
VI	Vista Isométrica
VLD	Vista Lateral Direita
VLE	Vista Lateral Esquerda
VS	Vista Superior

Lista de símbolos

\$	Cifrão
μ	Coefficiente de atrito - Coeficientes [SI]
m	Metro - Unidade de comprimento [SI]
m/s^2	Metro por segundo quadrado - Unidade de aceleração [SI]
mm	Milimetro - Unidade de comprimento [SI]
N	Newton - Unidade de força [SI]
N m	Newton metro - Unidade de momento [SI]
kg	Quilograma - Unidade de massa [SI]
£	Símbolo de libra

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Problema de pesquisa	18
1.2	Motivação e Justificativa	18
1.3	Objetivo	19
1.3.1	Objetivos específicos	19
1.4	Metodologia	20
1.5	Requisitos do projeto	20
1.5.1	Expectativas	20
1.5.2	Necessidades	21
1.6	Segmentação do trabalho	21
2	CONTEXTUALIZAÇÃO	23
2.1	História	23
2.2	Ergonomia	25
2.2.1	Antropometria	26
2.2.2	Percentis	28
2.2.3	Biomecânica	28
2.2.4	Forças	29
2.2.5	Centro de Gravidade (CG)	31
2.2.6	Tipos de Movimento	32
2.2.7	Conforto	32
2.2.8	Análise RULA - <i>Rapid Upper Limb Assessment</i>	33
2.2.9	Análise <i>Push/Pull</i>	36
2.2.10	Análise <i>Biomechanics Single Action</i>	37
3	DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	39
3.1	Benchmarking	39
3.1.1	Cadeira Julietti	39
3.1.2	Black Diamond TrailRider	41
3.1.3	GRIT Freedom Chair	42
3.1.4	Mountain Trike	44
3.2	Cadeira de rodas para trilha	46
3.3	Estudo dos usuários	47
3.4	Brainstorm	49
3.5	Desenvolvimento	49
3.6	Modelo Preliminar	52

4	PROJETO DA CADEIRA	54
4.1	Manequins	54
4.2	Validação estrutural	55
4.3	Concepção do projeto	57
4.3.1	Assento	57
4.3.2	Encosto de dorsal	59
4.3.3	Apoio da cabeça	60
4.3.4	Apoio de pés	61
4.3.5	Apoio de braço	62
4.3.6	Conjunto da suspensão	63
4.3.7	Braços de suporte	68
4.3.8	Suporte Estático	69
4.3.9	Demais elementos	70
4.3.9.1	Pino de retenção	70
4.3.9.2	Abraçadeiras	70
4.3.9.3	Cinto de segurança	71
4.4	Modelos 3D	72
4.5	Análises Ergonômicas	73
4.5.1	<i>Push/Pull</i>	75
4.5.2	<i>RULA — Rapid Upper Limb Assessment</i>	79
4.5.2.1	Cadeirantes	79
4.5.2.2	Carregadores	81
4.5.2.2.1	Carregadores Frontais	81
4.5.2.2.2	Carregadores Traseiros	84
4.5.3	<i>Biomechanics Single Action</i>	91
5	PROJETO EXECUTIVO	100
5.1	Protótipo	100
5.2	Orçamento	101
6	CONCLUSÃO	102
6.1	Trabalhos Futuros	103
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICES	109
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO ONLINE - GOOGLE FORMS	110

	APÊNDICE B – ANÁLISES BIOMECÂNICAS (<i>BIOMECHANICS SINGLE ACTION ANALYSIS</i>)	117
	APÊNDICE C – DESENHOS TÉCNICOS	120
	APÊNDICE D – ORÇAMENTO - MATÉRIA PRIMA	182
	APÊNDICE E – MANUAL DE MONTAGEM	183
	 ANEXOS	 204
	ANEXO A – TABELAS RULA	205
A.1	Tabela A	205
A.2	Tabela B	206
A.3	Tabela C	206
	 ANEXO B – TARIFA ADUANEIRA DO BRASIL (TAB)	 207
	 ANEXO C – TABELA ANTROPOMÉTRICA DA POPULAÇÃO BRASILEIRA	 208

1 Introdução

Mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo convivem com algum tipo de deficiência, ou seja, 15% da população mundial, dentre os quais cerca de 200 milhões experimentam dificuldades funcionais consideráveis (ORGANIZATION et al., 2012). Dentre esse grupo um terço das pessoas que necessitam de uma cadeira de rodas no mundo não tem acesso a uma (dos 65 milhões de pessoas com deficiência motora, 20 milhões não tem acesso). Perpetra-se, ainda, que apenas uma minoria das pessoas tem acesso a uma cadeira apropriada, ou seja, que atende às necessidades do usuário e do ambiente, proporciona ajuste e suporte postural adequados e é segura e durável (OMS, 2008). No caso de cadeira de rodas voltada para terrenos específicos (terrenos não pavimentados) o quadro é muito mais crítico, sendo este um item inatingível para a maioria dos cadeirantes.

O uso de tecnologias assistivas (como cadeiras de rodas) como potencializador das desigualdades sociais é necessário, já que uma das maiores dificuldades para oferecer alternativas de acessibilidade com grau de conforto, segurança e eficiência a esses indivíduos é o custo do produto. Sendo esse o fator mais relevante se tratando da dificuldade de acesso a esse bem (CARRIEL, 2007).

Mas para toda a dificuldade se busca um mecanismo para melhorias, e nesse cenário existe alguns desenvolvimentos que não atendem muito as necessidades de reabilitação físicas e/ou fisiológicas, mas superam plenamente as necessidades cognitivas e financeiras da população. Embora seja um risco à saúde, o uso desses artefatos é uma alternativa que favorece a integração social e permite, parcialmente, que pessoas com necessidades assistivas sejam beneficiadas. Ainda que sejam poucos e muitas vezes inacessíveis a população em geral.

1.1 Problema de pesquisa

Dificuldade de pessoas com deficiência física (PcD) de realizarem passeios onde não há vias pavimentadas (trilhas).

1.2 Motivação e Justificativa

A família de um dos autores deste trabalho carrega em seu DNA uma doença rara e degenerativa, onde há duas pessoas acometidas, essa patologia se denomina ataxia-espinocerebelar tipo 3 (SCA3) conhecida popularmente por Machado-Joseph. A doença afeta a coordenação motora dos movimentos musculares voluntários ocasionando o dese-

quilíbrio, ela é progressiva e com isso, ao passar do tempo o enfermo tem a perda motora de praticamente todos os movimentos, logo a impossibilidade de deambular (PAULSON H, 2022), levando seus portadores com o agravar da patologia a necessidade de uso de tecnologias assistivas (TA) principalmente a cadeira de rodas.

Diante dessa situação, os familiares visaram manter atividades de lazer em áreas verdes e espaços abertos para estimular o contato com a natureza, o bem estar e a saúde mental dos portadores. Porém com o agravamento da doença, veem se tornando inviável a pratica dessas atividades sem o uso de tecnologias assistivas adequadas, já que cadeira de rodas comum tem limitações de ambientes devido a sua estrutura, sendo adaptada para lugares de fácil acesso, tornando inviável para realização de trilhas, e passeios em terrenos íngremes, disformes. Por este motivo, iniciamos pesquisas em busca de soluções para melhorar a qualidade de vida neste quesito. Contudo não foram encontradas opções viáveis, dado que a maioria delas são fabricadas no exterior e conforme disposto no capítulo benchmarking (Capítulo 3.1) são inviáveis para importação pelo seu alto valor. A solução no mercado nacional é a Cadeira Julietti, um projeto onde o marido criou uma cadeira adaptada especialmente para trilhas para sua esposa, que contém uma síndrome neurológica que restringe os movimentos do seu corpo. No entanto, este modelo não dispõe de um estudo avançado nos aspectos ergonômicos e estruturais, além disso conta também com um alto valor.

Com isso, surgiu a necessidade de desenvolver de um projeto de uma cadeira de rodas para trilha, com um enfoque ergonômico garantindo segurança e saúde para os usuários, buscando o melhor custo/benefício, para ser acessível ao maior número possível de pessoas. Dessa forma, permitindo a colaboração e integração do indivíduo na natureza uma vez que uma cadeira de rodas apropriada é essencial para estes tipos de trilhas e terrenos não pavimentados, proporcionando ao usuário um ganho em saúde física e mental, já que inúmeros estudos comprovam os benefícios que o contato com a natureza tem para a nossa saúde.

1.3 Objetivo

Projetar uma cadeira de rodas para trilhas com foco ergonômico e de baixo custo.

1.3.1 Objetivos específicos

Inclusão de pessoas com deficiência (PcD) em atividades onde não há vias pavimentadas;

Tratar de análises ergonômicas para uma correta postura e conforto do cadeirante e dos carregadores;

Projetar visando a redução de custos de fabricação em busca de um produto mais acessível a todos os públicos.

1.4 Metodologia

Seguiu-se uma metodologia de projeto para desenvolver o trabalho, começando com um projeto conceitual de forma a determinar os requisitos necessários para sua viabilidade, a pesquisa foi do tipo exploratório, buscando aprimorar o conhecimento sobre a área, foram feitas consultas bibliográficas em livros, artigos científicos e publicações recentes, com autores que fizeram pesquisa sobre o assunto.

Seguindo com a metodologia de projeto, realizamos um *benchmarking* verificando algumas opções que existem no mercado brasileiro e exterior e as limitações atreladas, buscando analisar e identificar as melhores opções dentre as abordadas, seguindo com o estudo com o público alvo, por meio de questionário online, posterior o *brainstorm*. Sendo também, realizado um estudo ergonômico com foco em biomecânica e antropometria, bem como uma análise das forças atuantes no sistema, para um posterior dimensionamento da estrutura.

Seguindo-se, é realizado o projeto intermediário, onde foi feita a seleção de percentis, o dimensionamento estático da estrutura com base na norma ABNT NBR ISO 7176:8 (ABNT, 2009) e análises ergonômicas empreendidas no cadeirante e carregadores, nessa etapa todos os conjuntos e componentes foram dimensionados e concebidos via modelagem 3D utilizando o software *Catia*. Com todos os itens validados seguiu-se para o projeto executivo onde foi confeccionado os desenhos técnicos de todos os componentes e conjuntos bem como a lista de materiais (*Bill of Material - BOM*) e a precificação de cada componente.

1.5 Requisitos do projeto

No sentido de obter um projeto que atenda em larga escala os potenciais usuários é necessário firmar os requisitos de projeto, separados em: expectativas e necessidades.

1.5.1 Expectativas

As expectativas devem ser satisfeitas na medida do possível no projeto, no entanto não são obrigatórias.

Baixa manutenção

Vida útil: 8 anos

Compactável

Resistente à e irregulares ¹

Dimensões mínimas ¹

1.5.2 Necessidades

Compreendem fatores que devem ser satisfeitos para que o projeto seja considerado viável.

Custo mínimo

Peso mínimo

Resistente à fatores externos (sol e chuva)

Satisfazer questões ergonômicas e se segurança

1.6 Segmentação do trabalho

Uma correta segmentação do trabalho facilita o desenvolvimento do projeto, de modo a deixa-lo mais sucinto e íntegro com uma linha de pensamento sistematizada e aprazível. Tudo isso faculta um melhor entendimento por parte do leitor, logo a maneira mais simples para essa segmentação é por meios de capítulos, com temas bem definidos que se coalescem formando essa linha de pensamento.

A divisão realizada por capítulos foi feita da seguinte forma: o capítulo 1, apresenta uma introdução onde se aborda o problema de pesquisa, motivação e justificativa da escolha do tema, objetivo do projeto, a metodologia dissertada, os requisitos de projeto e a segmentação do mesmo. Em seguida, o capítulo 2, expõe a história da cadeira de rodas, explana-se sobre a ergonomia, adentrando nesse ramo, clarificando seus aspectos multi-disciplinares, como antropometria, biomecânica, forcas, conforto, dá-se destaque, ainda, as análises RULA, Análise *Push/Pull* e Análise *Biomechanics Single Action*, importantes ferramentas para verificação ergonômica. Seguindo, no capítulo 3, é apresentado o desenvolvimento do produto, passando pelo *benchmarking* onde é exibido as variedades existentes no mercado relativo a configuração escolhida, seguindo do estudo dos usuários onde obtemos informações importantes e validamos propostas, depois o *brainstorm*, seguido do desenvolvimento e uma apresentação do modelo preliminar e final clarificando suas diferenças. No capítulo 4 há a concepção do projeto onde cada sistema é apresentado e explicado segundo dimensões, material e ajustes ergonômicos possíveis, segue-se apresentando o modelo 3D da cadeira e finaliza-se com as análises ergonômicas. No capítulo

¹ De acordo com (OMS, 2008), o projeto da cadeira de rodas para pessoas de baixa renda deve contemplar estes quesitos uma vez que estes moram em casas ou barracas pequenas que não respeitam as normas de acessibilidade (rampas, largura entre paredes, etc). Deve-se considerar, ainda, que as ruas nestas áreas não são pavimentadas e que as condições climáticas e de terreno são, muitas vezes, extremas.

5 há o projeto executivo, contendo todas as informações necessárias para a montagem de acordo com as normas técnicas pertinentes, é apresentado os desenhos técnicos detalhados, as especificações técnicas, o quantitativo de materiais e planilhas de orçamento.

2 Contextualização

2.1 História

Embora a criação da cadeira com rodas tenha acontecido em torno de 4000 a.C., o primeiro registro de arranjo entre rodas e mobília, é relacionado a uma cama de criança com rodas ilustrada em um vaso grego, cerca de 530 a.C., conforme a figura 1.



Figura 1 – Cama de criança sobre rodas, (KAMENETZ, 1969)

Porém a primeira união entre uma cadeira e rodas só foi constatada em torno de mil anos depois, esta apresentada em uma obra gravada em pedra na China no ano de 525 d.C., conforme ilustra a figura 2.

Antes deste feito, os doentes, lesionados ou deficientes eram conduzidos em macas, até mesmo em carrinhos de mão por volta do século III. Em torno do século XVI, eram postas rodas pequenas em cadeiras ou poltronas para deficientes e/ou idosos, que serviam principalmente para o transporte das cadeiras em si. Entretanto estas cadeiras eram feitas somente pela parte mais rica da sociedade, como o caso da cadeira de rodas feita por Lehan Lhermite para o rei da Espanha, Philip II, em 1595, ilustrada na figura 3, apresentando apoio ajustável para os pés e sendo reclinável, não possuía auto propulsão. Este feito acabou sendo um marco na historia da cadeira de rodas servindo de espelho para que outros nobres procurassem desenvolver cadeiras para a locomoção de enfermos, lesionados ou deficientes dentro de casa.



Figura 2 – Primeira representação de uma cadeira de rodas, (KAMENETZ, 1969)



Figura 3 – Desenho da cadeira do Rei Philip II, (KAMENETZ, 1969)

No século XVIII, várias mudanças surgiram, aproximando a cadeira de rodas ao padrão mais conhecido atualmente. Implementação: das rodas traseiras grandes o sufici-

ente para a auto-propulsão, de aros nas rodas traseiras, de encosto reclinável, de apoio duplo para os pés. Não obstante, a mudança mais significativa ocorreu graças ao avanço tecnológico da bicicleta, mais precisamente em relação as rodas, sendo esse a substituição da madeira ou o ferro pela borracha. No final do século XIX essa implementação foi realizada na cadeira de rodas.

No começo do século XX, precisamente em 1933, outro avanço significativo foi realizado. Nos EUA o carro estava em puro desenvolvimento. A necessidade de uma cadeira que pudesse ser transportada dentro dos veículos que estavam surgindo fez o engenheiro mecânico Harry Jennings desenvolver uma cadeira de rodas dobrável para o amigo Herbert Everest. A cadeira que deu origem à companhia Everest e Jennings (dominou o mercado de cadeiras de rodas por muitos anos). A cadeira era feita com tubos de aço sendo bem mais leve que as alternativas da época. Se assemelha muito à cadeira de rodas tradicionalmente utilizada em hospitais atualmente, esta pode ser vista na figura 4.



Figura 4 – Cadeira de Rodas Dobrável - Everest Jennings, ([INDIVIDUAL ABILITIES IN MOTION, 2016](#))

2.2 Ergonomia

A ergonomia, cuja palavra é a combinação dos termos gregos *ergo*, significando trabalho, e *nomos*, que se define como as regras e leis naturais, surgiu em 1949 com um encontro de cientistas e pesquisadores na Inglaterra, para formalizar a criação deste ramo ([SILVA, J. F. da, 2009](#)).

Este setor tem aspectos multidisciplinares, relacionando diversas áreas, como a da saúde, projeção de maquinários e equipamentos, e a organização do trabalho. Englobando

a atuação de vários profissionais, como engenheiros, médicos fisioterapeutas, entre outros, buscando aumentar a produtividade, proporcionando bem estar e diminuindo problemas de saúde.

A ergonomia atual pode ser estabelecida como uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema.

No Brasil, para auxiliar os estudos e pesquisas ergonômicas, além de divulgar seus resultados e contribuir para as boas práticas de ergonomia nos locais de trabalho, existe a Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO) (IIDA, 2005).

Essa disciplina científica possui o objetivo de identificar possíveis posições de desconforto do corpo humano diante de sua interação com a máquina e com o ambiente, de modo a melhorar o posto de trabalho em que está envolvida. Ela também objetiva, através de estudos e testes, reduzir a fadiga, o estresse, erros e acidentes de trabalho (IIDA, 2005) para prevenir possíveis lesões ou dores musculares.

Logo, nota-se a importância da ergonomia na interação entre o ser humano e a cadeira de rodas para trilhas, buscando evitar lesões para o cadeirante e seus guias, além de buscar proporcionar um maior conforto e praticidade.

2.2.1 Antropometria

A Antropometria é o subconjunto da ergonomia que trata da quantificação das dimensões do corpo humano e do projeto de sistemas que se adaptem à enorme variação presente na população (BLOSWICK, D, 2015). Normalmente, os produtos são planejados para atender do percentil 5% ao 95% da população. Essas medidas variam por pessoa, por região entre outros, logo determinar esses segmentos é de suma importância para um correto dimensionamento ergonômico.

Encontram-se diferentes modos de se caracterizar dimensões do corpo humano, o primeiro método, de Drills e Contini, consiste em encontrar o comprimento dos segmentos corporais baseado na altura do indivíduo como é visto na Figura 5. Assim, conhecendo a altura do indivíduo, todas as outras dimensões podem ser encontradas multiplicando os valores decimais apresentados pela altura.

Outro método de determinação das dimensões é baseado na Tabela Pheasant (BLOSWICK, D, 2015), onde Stephen Pheasant já relaciona as dimensões para os 5%, 50% e 95% da população de homens e mulheres. É importante destacar que esses valores podem ser extrapolados para aqueles indivíduos que não se encaixam nessas faixas utilizando regra de três.

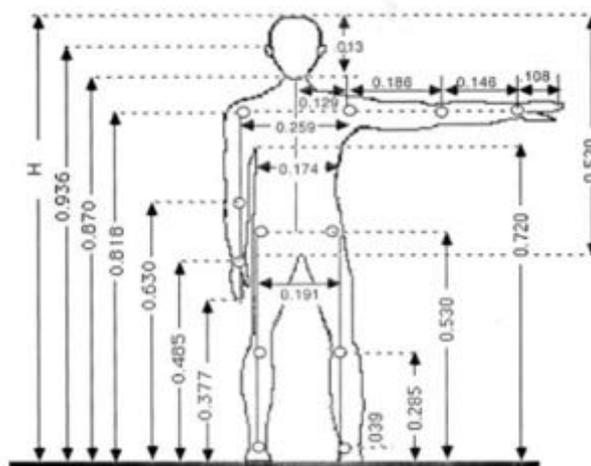


Figura 5 – Segmentos Corporais Baseado em Dados de Drillis e Contini, (BLOSWICK, D, 2015)

Como visto, não há um padrão globalmente definido, pois as medidas de cada membro do corpo variam de indivíduo para indivíduo de acordo com gênero, idade e estatura, como mostrado na figura 6. Por essa razão é feito uma amostragem da população para estimar a melhor postura no local de trabalho. Para o caso das medidas brasileiras, existe uma escassez de informação, tendo poucos artigos com tais dimensões aferidas, um dos poucos é um levantamento realizado pela ANAC com parceria com a UERJ em 2009 (ANAC, 2009) que não goza de todas as dimensões antropométricas necessárias ao projeto, logo necessita-se um complemento, sendo às medidas francesas os comprimentos mais próximos, comparadas a de outras populações (MIRANDA, 2017). A soma desses serão usadas como referência para o trabalho.

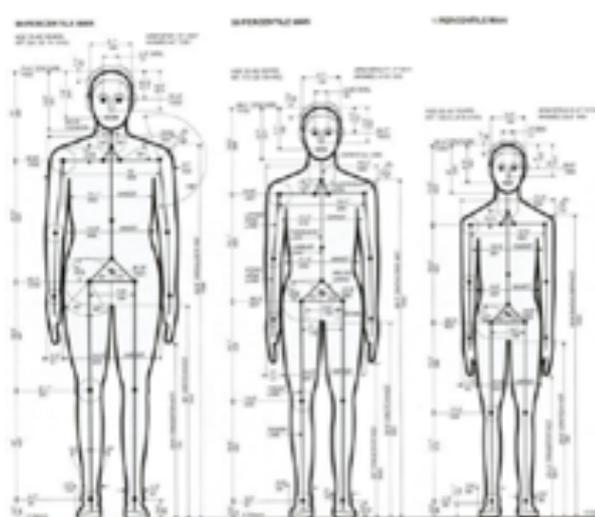


Figura 6 – Medidas Antropométricas, (TILLEY, 2005)

2.2.2 Percentis

Percentis são dados estatísticos liados em grupos a partir da coleta dos resultados da curva normal de amostragem antropométrica. As medidas são divididas num total de cem grupos, já que os dados são divididos em %, sendo cada um representado por uma porcentagem como exposto na figura 7. Os tamanhos dos percentis são definidos considerando medidas iguais ou inferiores a esse mesmo percentil, logo, $(100-x)\%$ possuem medidas superiores a esse percentil (MIRANDA, 2014).

Para qualquer projeto onde uma pessoa deve ser inserida para interagir com uma máquina ou no seu local de trabalho, os percentis são usados para definir as dimensões de uma pessoa. Geralmente, definindo os extremos dos percentis, como os valores de 95% e de 5%, não os medianos, pois testando os valores extremos de percentis da população é que se testa um posto de trabalho para acomodar a maior parte dos integrantes dessa população (MIRANDA, 2014).

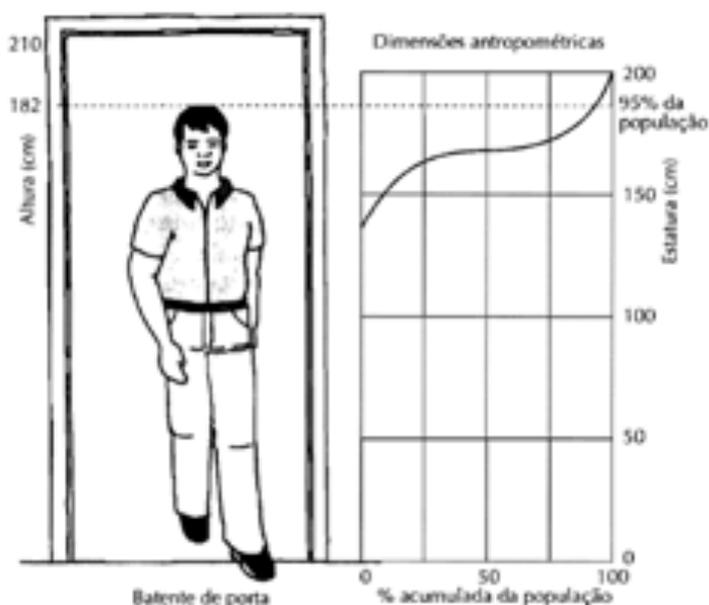


Figura 7 – Distribuição Gaussiana da população para estatura, (IIDA, 2005)

Para fins de projeto ergonômico do presente trabalho, reputar-se-ão os percentis de 95% masculino e 5% feminino, pois para uma cadeira de rodas a meta é acomodar pessoas com diversos percentis, sendo esse intervalo um desafio em termos de ajustes tanto de altura, profundidade, largura do assento, quanto do suporte para as costas, cervical e para os pés.

2.2.3 Biomecânica

A mecânica é uma área da física e da engenharia, que lida com a análise das forças que agem sobre um objeto. Seja para a manutenção deste ou de uma estrutura em um

ponto fixo, como a descrição e a causa do movimento do mesmo.

A cinesiologia uma das aplicações da mecânica, deve ser capaz de aplicar leis e princípios básicos de mecânica a fim de avaliar as atividades humanas, ou seja estudar os movimentos do corpo humano. Essa aplicação cai nos domínios da Biomecânica que pode ser definida como aplicação da mecânica aos organismos vivos, tecidos biológicos, aos corpos humanos e animais (AMADIO; DUARTE, 1997).

A biomecânica configura-se como uma disciplina multidisciplinar, com objetivo de analisar os parâmetros físicos do movimento, em função das características anatômicas e fisiológicas do corpo humano sendo a ciência que analisa os diferentes movimentos do corpo humano utilizando como métodos de medida a adoção daquelas que são reconhecidas como as suas quatro grandes áreas de investigação: cinemetria, dinamometria, eletromiografia e antropometria.

É também a base da função musculoesquelética. Os músculos produzem forças que agem através do sistema de alavancas ósseas. O sistema ósseo ou move-se ou age estaticamente contra uma resistência. O arranjo de fibras de cada músculo determina a quantidade de força que o músculo pode produzir e o comprimento no qual os músculos podem se contrair. Dentro do corpo, os músculos são as principais estruturas controladoras da postura e do movimento. Contudo, ligamentos, cartilagens e outros tecidos moles também ajudam no controle articular ou são afetados pela posição ou movimento (FRANKEL; NORDIN, 2003).

A biomecânica procura medir, modelar, explicar, categorizar e catalogar os padrões de movimento baseando-se na física do movimento humano, que pode ser dividida em biomecânica desportiva, ocupacional e de reabilitação e mais do que simplesmente aplicar as leis da física, a biomecânica leva ainda em consideração as características do aparelho locomotor (AMADIO; SERRÃO, 2007, pg-04).

A postura do corpo é resultante de inúmeras forças musculares que atuam equilibrando forças impostas sobre o corpo, e todos os movimentos do corpo são causados por forças que agem dentro e sobre ele. Em nossas atividades diárias, no trabalho, no esporte, temos que lidar com essas forças.

2.2.4 Forças

Para entendermos os princípios básicos da biomecânica, é necessário que se saiba a respeito de forças, principalmente as Leis de Newton, as quais fundamentam todo esse conteúdo.

1ª lei denominada Lei da Inércia, está pautada no estado de repouso ou movimento do corpo. O corpo pode permanecer em repouso ou continuar seu movimento retilíneo

com velocidade constante, a menos que a esse corpo seja empregada força. É a resistência ao movimento ou à mudança de movimento (AMADIO; DUARTE, 1997).

2ª lei denominada de Lei da Força, acontece quando a aceleração de um corpo está diretamente equilibrada com a força resultante que atua sobre o mesmo. É quando ocorre uma mudança na velocidade do objeto com uma força aplicada sobre ele, ou seja, a consequência da força sobre o corpo desencadeia uma aceleração das quais a direção e o sentido serão os mesmos atribuídos da força inicial (AMADIO; DUARTE, 1997).

A ciência mecânica diz que uma força pode ser definida simplesmente como um empurrão ou tração. Por definição a força é uma entidade que tende a produzir movimento. Às vezes, o movimento não ocorre ou o objeto se acha em equilíbrio. O ramo da mecânica que lida com este fenômeno é a estática; caso haja o movimento, é chamado dinâmica.

A força é definida por quatro características básicas:

- magnitude de força;
- direção;
- sentido; e
- quantidade de tração.

A biomecânica tem uma relação estreita com a força, procura elucidar o movimento com indicadores cinemáticos, considerando que os corpos se movimentam igualmente, trabalham com as forças internas e externas das estruturas biológicas corporais, como a força muscular, as forças exercidas nos ligamentos, cartilagens, ossos, tendões (AMADIO; SERRÃO, 2007).

As forças internas acontecem dentro das estruturas corporais e as forças externas são que acontecem fora das estruturas corporais, considerando a gravidade e a velocidade do movimento. O estudo biomecânico é realizado de duas maneiras, quantitativa e qualitativa, para uma verificação efetiva da adequação do movimento como um todo, atentando para amplitude de movimento e sequência correta, tendo como produto final um movimento perfeito e boa performance nos exercícios (AMADIO; SERRÃO, 2007).

As forças mais comuns envolvidas com a biomecânica são: a força muscular, gravitacional, inércia, de flutuação e força de contato. A força produzida por músculos depende de vários fatores. Dois desses fatores incluem velocidade de contração do músculo e comprimento do músculo. O peso de um objeto é resultado da força gravitacional.

Segundo o conceito de inércia (1ª Lei de Newton) um corpo permanece em repouso ou em movimento uniforme até receber a ação de uma força externa.

A força de flutuação tende a resistir à força da gravidade. Na água a magnitude dessa força equivale ao peso de água que o objeto desloca. A força de contato existe toda vez que dois objetos se acharem em contato um com o outro. Esse tipo de força pode ser uma força de reação ou uma força de impacto. A força pode ser ainda subdividida em uma força normal perpendicular às superfícies de contato e uma força de fricção ou atrito que é paralela à superfície de contato (FRANKEL; NORDIN, 2003).

2.2.5 Centro de Gravidade (CG)

O centro de gravidade pode ser definido como o único ponto de um corpo ao redor do qual todas as partículas de sua massa estão igualmente distribuídas, sendo o ponto através do qual a linha de ação do peso de um objeto atua, independentemente a posição do objeto (LEHMKUHL; SMITH, 1989). Levando em consideração um corpo humano, este pode ser considerado composto por pequenos segmentos, o peso resultante deste corpo corresponde ao somatório das forças peso que atuam em cada um destes segmentos e o local onde é aplicada a resultante das forças peso é o centro de gravidade (OKUNO; FRATIN, 2003).

Quando todos os segmentos do corpo estão combinados e o corpo é dado como um único sólido na posição anatômica, o centro de gravidade fica aproximadamente anterior à segunda vértebra sacral (aproximadamente 54%, de sua estatura). A posição precisa do CG para uma pessoa depende de suas proporções e tem a magnitude igual ao peso da mesma (CAMPOS, 2000). Essa posição se altera para outras posições do corpo humano.

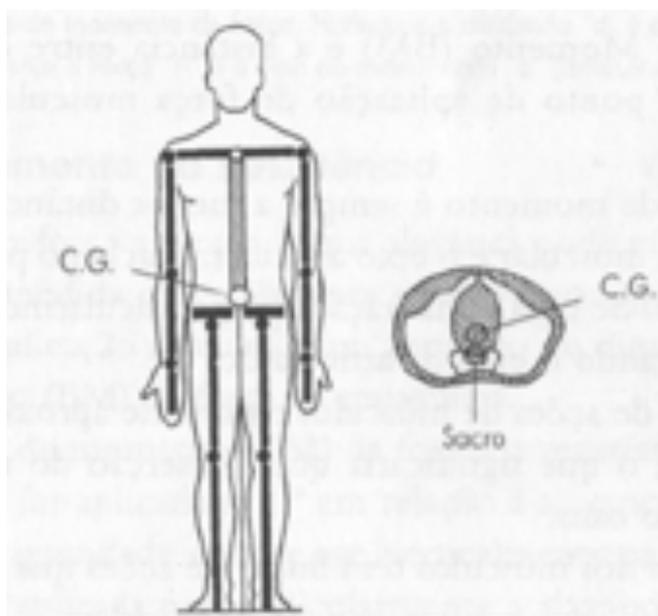


Figura 8 – Centro de gravidade do corpo na posição anatômica, (CAMPOS, 2000)

O centro de gravidade torna-se dinâmico no corpo humano durante a realização de

movimentos que envolvem a mudança contínua na reorientação dos segmentos do corpo, como caminhar, correr, saltar (ENOKA, 2002).

2.2.6 Tipos de Movimento

Movimento linear, também chamado movimento translatório, ocorre mais ou menos em uma linha reta, de um lugar para outro. Todas as partes do objeto percorrem a mesma distância, na mesma direção e ao mesmo tempo. Se este movimento ocorrer em linha reta é chamado movimento retilíneo. Se este movimento ocorre numa linha reta mas em uma forma curva, é chamado curvilíneo. O movimento de um objeto em torno de um ponto fixo é chamado movimento angular, também conhecido como movimento rotatório (SACCO; TANAKA, 2008).

Todas as partes do objeto movem-se num mesmo ângulo, na mesma direção, ao mesmo tempo. Elas não percorrem a mesma distância. Falando de um modo geral, a maioria dos movimentos do corpo é angular, enquanto os movimentos feitos fora da superfície corporal tendem a ser lineares. Exceções podem ser encontradas. Por exemplo, o movimento da escápula em elevação/depressão e pronação/retração é essencialmente linear. Todavia, o movimento da clavícula, que é fixada à escápula, é angular e realizado através da articulação extra-clavicular.

2.2.7 Conforto

O conforto é um estado de bem-estar, podendo ocorrer durante qualquer estágio do processo saúde-doença, e pode ser temporal, como por exemplo o alívio temporário da dor, e estado de alcance a longo prazo, tal como a obtenção de saúde (MORSE, 1992). Além disso, o estado emocional e a tarefa que a pessoa realiza são determinantes de conforto. Este não pode ser considerado simplesmente o oposto de desconforto, e sua definição é complexa em razão de ser um constructo influenciado por vários fatores, contudo, “concorda-se que o conforto não pode existir se o desconforto estiver presente em qualquer parte do corpo” (CHAFFIN D.B., 2001).

Assim, o conforto é subjetivo e pode-se dizer que é uma sensação gerada quando não há qualquer pressão localizada sobre o corpo. É mais fácil falar em ausência de desconforto, pois este é capaz de ser avaliado. É muito difícil estabelecer as características que determinam o conforto no assento na posição sentada, em razão deste também depender de muitos fatores, além de, existir um tipo de assento mais adequado para cada situação (IIDA, 2016).

Uma vez que os usuários de cadeira de rodas passam muitas horas por dia na posição sentada, ao discutir sobre conforto nesta posição, torna-se necessário compreender a visão dos usuários sobre este tema.

A partir de um artigo consultado que trata justamente da percepção de conforto na posição sentada por parte dos usuários de cadeira de rodas (FERRO; RENNER, 2020) podemos verificar a consciência de que a dor e o desconforto que os usuários sentem na posição sentada na cadeira de rodas tem relação direta ao longo período que passam por dia na mesma posição, e que, além de ficar em uma posição adequada, se faz necessária uma frequente mudança de postura. Verificar também sobre o desconforto e sua existência em grande maioria dos usuário, apenas um dos 22 colaboradores entrevistados, relatou não sentir desconforto. Sendo as regiões mais afetadas as costas, principalmente o dorso inferior e médio e o quadril. Por fim, a importância das tecnologias assistivas como almofada e encosto na contribuição para a promoção de conforto e de qualidade de vida dos usuários de cadeira de rodas.

2.2.8 Análise RULA - *Rapid Upper Limb Assessment*

Decidir qual instrumento de avaliação ergonômica empregar depende do contexto e objetivos da avaliação realizada. Ferramentas tradicionais e autônomas como o RULA podem ser empregadas quando existem necessidades específicas a serem tratadas ou se há dúvida de movimento repetitivo nos membros superiores (DUFFY, 2008).

RULA é um método que consiste em pontuar e avaliar a postura dos membros superiores e inferiores do corpo humano em relação ao local de trabalho que a pessoa está inserida. Foi criado pela Universidade de Nottingham, no Instituto de Ergonomia Ocupacional (CATIADOC, 2022). O termo *Rapid Upper Limb Assessment* tem sua tradução "Avaliação Rápida dos Membros Superiores", dado que, originalmente, consistia em avaliar apenas os membros superiores do corpo. Contudo, com o tempo, da mesma forma houve a necessidade de se avaliar os membros inferiores, ficando apenas o nome mantido.

É uma avaliação de extrema valia para evitar o risco de dores musculoesqueléticas do usuário, garantindo sua segurança. O método usa diagramas das posturas do corpo e três pontuações que permitem a avaliação da exposição aos fatores de risco. Cada postura é enquadrada numa faixa de ângulos dependendo das posturas dos membros do corpo e, para cada membro, existe uma pontuação específica que depende da postura do membro anteriormente avaliado. Essa pontuação funciona de forma simples, sendo o intervalo de 1 a 6, com o risco aumentando respectivamente, sendo assim a pontuação de nº 1 é a que representa o menor risco, enquanto a de nº 6 representa maior risco. Na tabela 1 é possível a pontuação de cada membro: (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Tabela 1 – Pontuação RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Membro do corpo	Pontuação	Cor da pontuação					
		1	2	3	4	5	6
Braço	1 a 6	1	2	3	4	5	6
Antebraço	1 a 3	1	2	3	4	5	6
Pulso	1 a 4	1	2	3	4	5	6
Torção Pulso	1 a 2	1	2	3	4	5	6
Pescoço	1 a 6	1	2	3	4	5	6
Tronco	1 a 6	1	2	3	4	5	6
Pernas	1 a 2	1	2	3	4	5	6

Para realizar a pontuação, o método divide o corpo em duas seções, denominadas A e B. A primeira seção (A) pontua os seguintes membros do corpo: braço, antebraço, pulso e torção do pulso. Já segunda seção (B) pontua: pescoço, tronco e pernas. A pontuação membro a membro é feita nesta ordem, pois uma influenciara na outra. As pontuações são feitas segundo as tabelas A e B para então, se saber a pontuação final na tabela C (Anexo A).

Seguindo o método, avaliamos primeiramente a seção A, sendo assim iniciamos pontuando ambos os braços do usuário segundo a figura 9. Na figura as áreas em cinza mostram a região de movimento do membro junta de seus ângulos limites. Acima da cabeça do manequim está representada a pontuação a ser utilizada.

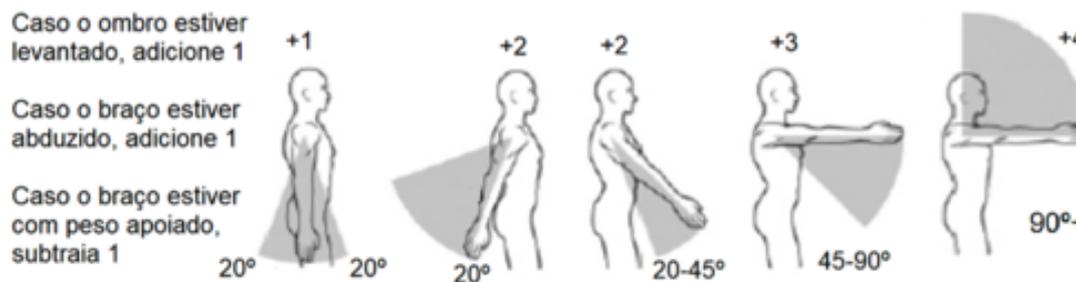


Figura 9 – Pontuação do braço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Dando continuidade, a segundo membro a ser pontuado é o antebraço (esquerdo e direito). Nota-se também, pela figura 10, as áreas em cinza que demonstram a região de movimento do membro. Outra importante informação é a linha media da pessoa, ilustrada no terceiro manequim (da esquerda para a direita). Também a existência de uma especificação de pontuação caso os braços estejam cruzados.

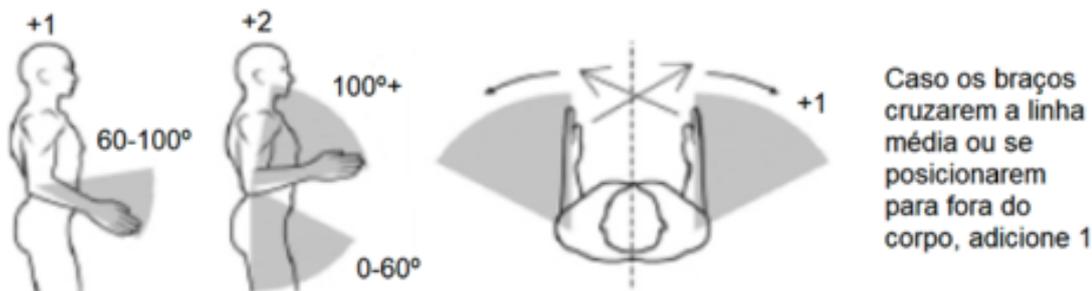


Figura 10 – Pontuação do antebraço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

O terceiro e último membro avaliado da seção A é o pulso e sua torção, como mostrado na figura 11. Também é possível ver a linha média do braço, tanto na vista lateral quanto na superior da mão, além de seu critério de torção lateral.

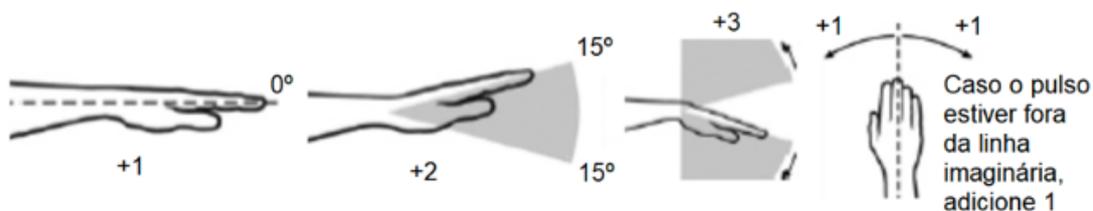


Figura 11 – Pontuação do pulso - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Estas são as partes do corpo avaliadas na Seção A, que será usada como critério para os membros da seção B, também conforme a ordem dita anteriormente e mostrada a seguir.

O primeiro membro da seção B é o pescoço. Na figura 12, é aparente as pontuações segundo as posturas mostradas, os ângulos das posições, mostrados de forma mais clara pelas áreas em cinza, bem como os critérios de pontuação diferentes dos mostrados na figura.

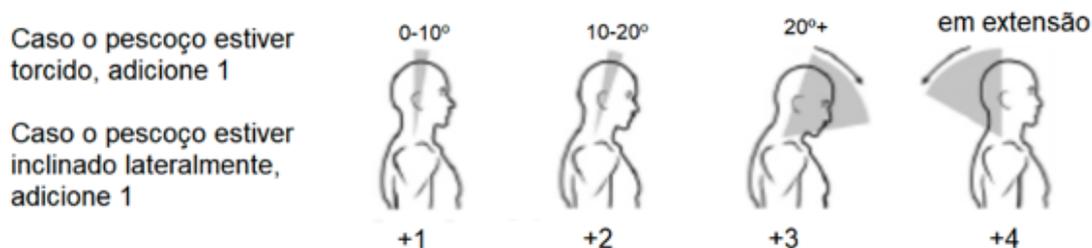


Figura 12 – Pontuação do pescoço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

O segundo membro analisado é o tronco, a partir da figura 13 nota-se as pontuações abaixo do corpo e os ângulos de inclinação acima da cabeça.

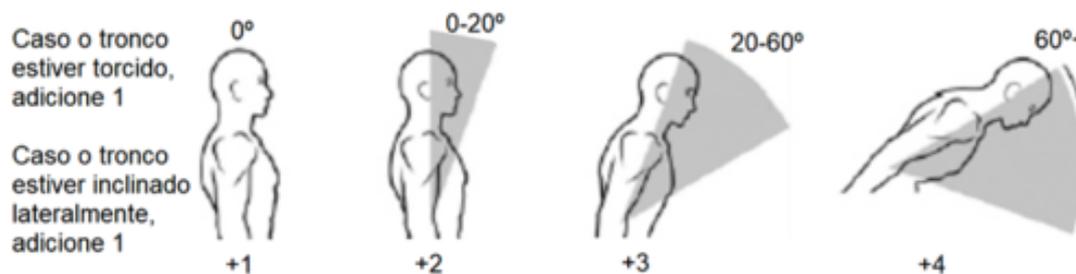


Figura 13 – Pontuação do pescoço - RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Por fim, o último membro avaliado são as pernas. A avaliação desses considera se estão ou não apoiadas. Caso estejam apoiadas, a pontuação será +1, caso contrário, +2.

Outros dois fatores que também são considerados para o cálculo da pontuação RULA são referentes à frequência que o corpo exerce uma atividade específica, ou se o corpo está de forma estática, e também se a pessoa está exercendo força ou carregando algum objeto com certa massa. Depois de encontrada as pontuações de ambas as seções (A e B) e feita a avaliação na última tabela (Tabela C - Anexo A), as deliberações a serem tomadas são mostradas conforme salientado na tabela 2:

Tabela 2 – Classificação dos Níveis de risco musculoesquelético, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Nível	Grau	Ação a ser tomada
1 a 2	Sem risco	Não precisa mudar
3 a 4	Baixo risco	pode ser que mude
5 a 6	Médio risco	investigar mudar logo
6 ou mais	Alto risco	Mudar de imediato

Os resultados obtidos através da análise postural servem como base para definir o nível de ação a ser tomado. As medidas mostradas servem para prevenir que lesões musculoesqueléticas ocorram devido ao mau posicionamento dos membros.

2.2.9 Análise *Push/Pull*

A ferramenta de análise *push/pull* da Snook and Ciriello é baseada em um estudo feito por S. Snook e V. Ciriello na *Liberty Mutual Insurance Company* em 1991 (SNOOK; CIRIELLO, 1991). Essa análise permite comparar os dados reais de uma tarefa de "empurrar/puxar" com o que é considerado uma força segura para executar essa tarefa (CATIADOC, 2022).

A *Liberty Mutual Insurance Company* publicou um estudo em 2021, propondo a substituição das tabelas revisadas correspondentes em Snook e Ciriello (1991) (SNOOK; CIRIELLO, 1991) por as novas equações da *Liberty Mutual Manual Materials Handling (LM-MMH)*. As equações são um avanço nas tabelas *Liberty Mutual* originais por diversos

motivos, são eles: são baseadas em mais dados empíricos (de 171% mais estudos, 30% mais condições relacionadas ao ligamento arqueado mediano em inglês *Median arcuate ligament (MAL)* e participantes dessa condição e 15% mais condições únicas), incorporam mais dados recentes, são baseadas em mais participantes (aumento de 129% no total, aumento de 141% em mulheres), podem ser aplicados a uma ampla gama de alcances para levantar e abaixar, podem ser usados para todos os levantamentos e abaixamentos intervalos verticais, não apenas intervalos <76 cm, não requerem interpolações, calculam fatores de escala para cada entrada para que o usuário possa determinar as variáveis com maior efeito no MAL e estimam a média e o desvio padrão do MAL, valores para cada condição para facilitar tanto a determinação de cargas máximas aceitáveis para qualquer percentual alvo e/ou o cálculo de um percentual capaz de qualquer carga dada. (POTVIN et al., 2021)

O manuseio manual de materiais em inglês *Manual material handling (MMH)*, como levantar produtos pesados, alcançar materiais, dobrar as costas para a frente ao fazer tarefas e empurrar ou puxar cargas excessivas porque essas tarefas exigem uma posição estável e grandes grau de liberdade. As atividades de empurrar e puxar são uma das atividades para MMH que podem aumentar os riscos de problema de dor nas costas.

A ferramenta quantifica a atividade push-pull tem duas forças diferentes que é a força inicial e de sustentabilidade máxima aceitável em termos de Newton (N), essa força N correspondente à contração da postura desajeitada ao lidar com os trabalhos. Por exemplo, se a força de sustentabilidade máxima aceitável for alta, significa que os trabalhadores podem durar mais enquanto executam as tarefas específicas. Mas, se as tarefas forem continuamente realizados acima do limite, eles terão problemas de dor nas costas. Além disso, esta ferramenta de análise ergonômica também pode quantificar o nível de conforto da postura de trabalho enquanto os trabalhadores executam suas tarefas usando o *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* (HASHIM et al., 2014).

2.2.10 Análise *Biomechanics Single Action*

Esta ferramenta ergonômica mede os dados biomecânicos de um trabalhador em uma determinada pose. A partir da postura atual do manequim, a ferramenta *Biomechanics Single Action Analysis* calcula e gera informações como as cargas da coluna lombar (força abdominal, pressão abdominal, movimentos do corpo) e as forças e momentos nas articulações do manequim. Todas as saídas incorporadas ao modelo são baseadas em resultados de pesquisas e algoritmos publicados pela comunidade científica.

As forças (cargas) atuantes nas mãos do manequim são levadas em consideração na análise biomecânica, essas forças representam a carga de carregar, empurrar, levantar/abaixar ou puxar, dependendo do cenário, e estão disponíveis apenas para as mãos (CATIADOC, 2022).

A partir dessa análise temos: informações gerais de biomecânica (momento L4-L5, compressão L4-L5, cisalhamento da Junta L4-L5, força e pressão abdominal, reação do solo e momento conjunto, forças e momentos de reação), avaliação da postura e se ela excede os limites de compressão e cisalhamento articular recomendados pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos (*National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH*) e pela Universidade de Waterloo (Universidade Pública de Pesquisa no Canadá), informações sobre os segmentos (posição, ângulo, centro de gravidade, comprimento), avaliação da porcentagem de uma população de trabalhadores que não tem força para realizar uma tarefa com base em estudos de força para o cotovelo, ombro, lombar, segundo referências conhecidas no tema, por fim as forças de reação (N) e os momentos ortopédicos (Nm) dos segmentos proximal e distal.

3 Desenvolvimento do Produto

3.1 Benchmarking

Na atualidade, a quantidade de modelos de cadeiras de rodas existentes é gigantesca. Diversas soluções foram criadas para os mais diversos tipos de limitações: cadeira de rodas motorizada, cadeira de rodas *Stand-Up*, cadeira de rodas motorizada com ativação por voz, e dentre elas as cadeira de rodas para terrenos irregulares.

A cadeira de rodas para trilha é bem recente, mesmo assim já existem algumas soluções bem diferentes com o mesmo propósito, transporte de pessoas com deficiência (PcD) em locais de difícil circulação devido aos terrenos inapropriados (irregulares). Essa diversificação de soluções é extremamente vantajosa para os usuários, já que este pode escolher um produto que mais se enquadra a sua condição. No entanto, as opções de cadeiras de rodas a preços acessíveis são bem menos abrangentes e não costumam respeitar todas as recomendações de segurança e conforto. Mesmo assim, esforços consideráveis estão sendo realizados na busca do acesso total às tecnologias assistivas.

Com a pretensão de um trabalho mais completo, viu-se a necessidade de um estudo aprofundado dos principais modelos existentes, de modo a aprimorar o conhecimento acerca do produto.

3.1.1 Cadeira Julietti

Julietti Standard é um equipamento que proporciona a locomoção de pessoas com mobilidade reduzida em atividades ao ar livre. A Juliette nasceu de um caso comovente, onde Guilherme, criou a cadeira adaptada especialmente para trilhas, para sua esposa que contém uma síndrome neurológica que restringe o movimento dos membros de seu corpo ([MONTANHA PARA TODOS, 2022](#))



Figura 14 – Cadeira de rodas Julliete, (JULIETTI, 2022)

Configurações da cadeira: (JULIETTI, 2022)

- Material: aço-carbono 1020;
- Roda: 20 polegadas com aro aero, com pneus 20 x 1.75 Cross;
- Sistema de amortecimento da suspensão;
- Cinto de segurança abdominal;
- Assento anatômico em espuma injetada 44 x 45 cm;
- Encosto em espuma injetada 40 x 51 cm com regulagem de inclinação;
- Apoio para cabeça com altura e profundidade ajustável;
- Apoio para pés com regulagem de altura e fivela;
- 04 Hastes de sustentação em aço galvanizado;
- Freio estacionário;
- Desmontável, cabe em qualquer porta malas.

É uma cadeira de fabricação nacional (Jacareí-SP), com roda única e necessidade de 2 carregadores. Possui uma estrutura mais simples, sistema de amortecimento e não ostenta muitos aspectos quando o assunto é ergonomia, abrange um intervalo médio de percentil. Quando o assunto é financeiro, é bem mais acessível se comparada aos modelos

internacionais. Pode ser adquirida pelo valor \$ 6.589,00 BRL acrescidos \$ 580,00 de frete, sendo o total da compra \$ 7.169,00 BRL (JULIETTI, 2022).

3.1.2 Black Diamond TrailRider

O TrailRider é um veículo de acesso à natureza especialmente projetado. É essencialmente uma cadeira de rodas modificada com a capacidade de viajar em trilhas pela floresta, subir e descer pequenas colinas com a ajuda de voluntários que atuam como “carregadores”.

O TrailRider é feito com precisão, projetado com as mais altas especificações, é leve e ergonomicamente projetado com assentos, apoios para os pés e braços totalmente ajustáveis para garantir conforto para pilotos e “carregadores”. Possui pneu de perfil alto que possibilita a rolagem suave em todos os tipos de terreno, sistema de suspensão para facilitar o passeio, sistema de freio a disco altamente confiável, além de compartimentos de carga para equipamentos. É projetado para dobrar-se facilmente para facilitar o transporte e armazenamento (ADAPTIVE SPORTS PARTNERS, 2022).



Figura 15 – Cadeira de rodas Black Diamond TrailRider, (KAWAK ACCESS EQUIPMENT, 2022)

Configuração da cadeira: (KAWAK ACCESS EQUIPMENT, 2022)

- Design de roda única para percorrer facilmente trilhas estreitas;
- Estrutura de alumínio leve com juntas soldadas;
- Dobra ao meio facilitando o transporte;
- Projetado ergonomicamente com assentos totalmente ajustáveis;

- Possui apoio para a cabeça, pés e braço;
- Sistema de freio a disco para segurança e confiabilidade;
- Pneu de perfil alto;
- Compartimento de carga incluído;
- Os pinos de liberação rápida facilitam os ajustes do assento e o transporte;
- Encosto para crianças incluída;
- Pintura com revestimento a pó para mais durabilidade.

A cadeira de rodas Black Diamond TrailRider é uma cadeira de fabricação internacional (Vancouver - Canada), a ideia é similar a Julietti, cadeira com roda única e necessidade de 2 carregadores, há profusas mudanças entre os modelos, principalmente em termos estruturais. A TrailRider tem uma construção mais refinada, estrutura mais resistente e mais opcionais, em relação a ergonomia apresenta mais ajustes ergonômicos, consegue assim abranger um intervalo maior de percentil. O grande problema deste equipamento é seu valor, sendo \$9.000,00 CAD do equipamento e \$50,00 CAD do frete ([ACCESS REVOLUTION, 2022](#)). A partir da cotação do dólar canadense (CAD) no dia do orçamento (01/06/22 - \$1.00 CAD = \$4.07 BRL) ([BCB, 2022](#)) chegamos ao valor atual de \$36.883,05 BRL

Para itens importados há um acréscimo devido a tributação aduaneira, utilizando a legislação para importação de bens ([CIVIL, 1988](#)) e tabela de tarifa aduaneira (TAB) ([BRASIL,](#)), conseguimos para o item em questão (87.11) calcular o acréscimo. A porcentagem de acréscimo pode ser visualizada no anexo [A.3](#) sendo para esse tipo de veículo 55%. Sendo assim, o valor final é \$57.091,93 BRL.

3.1.3 GRIT Freedom Chair

Projetada pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), a Freedom Chair oferece desempenho inigualável. É recomendada para qualquer pessoa com força suficiente na parte superior do corpo. O usuário em vez de colocar as mãos nas rodas da cadeira e empurrar, usa alavancas que se prendem a um acionamento por corrente. Esse método de propulsão não apenas mantém as mãos do usuário limpas, mas também é uma maneira melhor de impulsão, já que é cerca de duas vezes mais eficientes do que a impulsão direta nas rodas, permitindo o acesso a terrenos mais difíceis e viagens mais longas. Dependendo da posição de agarre as alavancas, é possível maximizar o esforço para torque ou velocidade. A GRIT é fabricada com peças de bicicleta comum, logo peças para substituição podem ser encontradas nesse segmento de lojas, e o reparos podem ser feita por profissionais desse segmento.



Figura 16 – Cadeira de rodas GRIT Freedom Chair - Spartan, (GRIT Freedom, 2022)

Configuração da cadeira: (GRIT Freedom, 2022)

- Largura do assento: 16", 18", 20" / 41 cm, 46 cm, 51 cm;
- Comprimento total: 48" / 122 cm;
- Peso da cadeira (montada): 54 lbs / 24 kg;
- Estrutura: Aço série 1000 com soldas TIG;
- Garfo: Aço tubular, tubo de direção de 1", copo de rolamento externo;
- Roda (Frente): rodas de mountainboard de 9" / 23 cm;
- Rodas (traseiras): rodas de mountain bike de 26"x 2,25";;
- Eixo dianteiro passivado de aço inoxidável 303, 100 mm, eixos traseiros passivados, de liberação rápida 17-4 em aço inoxidável;
- Transmissão: roda livre atualizada de 16T, com correntes de 9 velocidades, 3/32" (55 elos) e coroas de 4 parafusos, 64mm, 26T;
- Almofada: poliuretano HR, capa lavável à máquina;
- Mangas de alavanca: híbrido de espuma/vinil vermelho antiderrapante;
- Limites: peso máximo de 300 lbs / 136 kg, intervalo de altura de 150 a 205 cm.

Sua fabricação também é internacional (Massachusetts - USA), tem um conceito diferente, são 3 rodas com um sistema de propulsão por alavancagem, sem ser necessário ajuda de carregadores, a construção é mais acurada, a estrutura resistente, tratando da ergonomia apresenta poucos ajustes ergonômicos, abrangendo um intervalo médio de percentil. A cadeira peca em sistema de amortecimento, importante parâmetro se tratando de conforto, outro grande problema deste equipamento é seu valor, sendo \$4.200,00 USD do equipamento e \$1.005,68 USD do frete ([GRIT Freedom, 2022](#)). A partir da cotação do dólar americano (USD) no dia do orçamento (01/06/22 - \$1.00 USD = \$5.30 BRL) ([BCB, 2022](#)) chegamos ao valor atual de \$27.590,10 BRL

Para itens importados há um acréscimo devido a tributação aduaneira, utilizando a legislação para importação de bens ([CIVIL, 1988](#)) e tabela de tarifa aduaneira (TAB) ([BRASIL,](#)), conseguimos para o item em questão (87.11) calcular o acréscimo. A porcentagem de acréscimo pode ser visualizada no anexo [A.3](#) sendo para esse tipo de veículo 55%. Sendo assim, o valor final é \$42.764,66 BRL.

3.1.4 Mountain Trike

Mountain Trike é uma excelente cadeira de rodas projetada para uso em todos os terrenos. Esta cadeira revolucionária foi projetada por Tim Morgan, um renomado engenheiro e ciclista de mountain bike. Unindo suas habilidades de engenharia e sua paixão pelo mountain bike, Tim criou o Mountain Trike que dispõe de muitos componentes de uma mountain bike.

Equipadas com três rodas, suspensão e um sistema de alavanca inteligente, é perfeito para usuários de cadeira de rodas desfrutarem do campo em qualquer terreno, parques florestais e trilhas, tornando-as perfeitas para aqueles que amam o ar livre. O sistema de suspensão a ar garante um passeio suave e confortável em todos os tipos de terreno. Os freios a disco hidráulicos oferecem um ótimo controle em todas as condições climáticas, o sistema de acionamento por alavanca permite exploração com as mãos limpas e secas em terrenos acidentados, subidas e até obstáculos.



Figura 17 – Cadeira de rodas Mountain Trike, ([MOUNTAIN TRIKE, 2022](#))

Configuração da cadeira: ([MOUNTAIN TRIKE, 2022](#))

- Estrutura: Estrutura de alumínio;
- Suspensão: Amortecedores Rock Shox monarch R Air;
- Freios: Freios a disco hidráulicos SRAM Level;
- Apoio para os pés: altura ajustável e removível;
- Conforto: Almofadas de conforto moldadas, tiras de suporte com ajuste de tensão, tiras para os pés, opção para cinto de segurança;
- Comprimentos: entre 44,7cm - 48,7cm para o assento e 132cm total (Montado);
- Larguras: 44 cm para o assento e 74cm total;
- Angulo do assento: 20 graus (conforto e segurança);
- Alturas: 46,5 cm do solo ao assento, 37cm do encosto (também ajustável para a frente ou para trás), entre 41cm a 48cm o apoio para os pés;
- Tamanho da roda: 24 polegadas
- Peso (montada): 20kg;
- Limites: peso máximo de 100kg, altura máxima de 195 cm;

- Desmontável: Pode ser dobrado em um cubo para facilitar o transporte.

Também é uma cadeira de fabricação internacional (Nantwich - UK), o conceito assemelha-se a GRIT Freedom, com 3 rodas e propulsão por alavancagem, mas este possui sistema de amortecimento. Tem uma construção bem robusta, sendo uma estrutura mais simples e hercúlea, em relação a ergonomia não goza de certos apoios e não possui tantos ajustes, abrange um intervalo médio de percentil. Novamente, como os produtos anteriores o maior problema é seu valor, sendo £4.675,00 GBP do equipamento e £4.675,00 GBP do frete. A partir da cotação da libra esterlina (GBP) no dia do orçamento (01/06/22 - £1.00 GBP = \$5.53 BRL) (BCB, 2022) chegamos ao valor atual de \$25.852,75 BRL.

Para itens importados há um acréscimo devido a tributação aduaneira, utilizando a legislação para importação de bens (CIVIL, 1988) e tabela de tarifa aduaneira (TAB) (BRASIL,), conseguimos para o item em questão (87.11) calcular o acréscimo. A porcentagem de acréscimo pode ser visualizada no anexo A.3 sendo para esse tipo de veículo 55%. Sendo assim, o valor final é \$40.071,76 BRL.

3.2 Cadeira de rodas para trilha

A maioria dos modelos existentes são fabricados fora do país (internacional), dificultando mais ainda a acessibilidade do produto aos mais diversos públicos, já que impostos de importação, diferença cambial e taxas de frete medram os custos, tornando esses produtos inacessíveis. Por ser um produto de cunho social, os mais diversos usuários deveriam ter acesso, não uma ínfima quantidade deles.

Com diferentes modelos existentes, sendo essas soluções bem interessantes para o problema apresentado, modelos já patenteados e em comercialização a partir do *benchmarking* buscamos consertar defeitos existentes, adicionar recursos indispensáveis que possam ter ficado de fora, buscando alternativas em relação a materiais, de maneira a otimizar o produto tanto ergonomicamente quanto estruturalmente, mantendo um valor de construção baixo, tentando deixá-lo mais acessível a públicos de renda mais baixa.

Tabela 3 – Tabela de decisão quanto aos modelos estudados, autores

Tabela de Decisão – Modelos de cadeiras de rodas para trilhas		
Modelo	Prós	Contras
Cadeira Julietti	Fabricação nacional; Assento e encosto anatômico; Encosto de dorsal; Apoio para cabeça e pés; Hastes de sustentação; Sistema de amortecimento; Freio estacionário; Desmontável; Uso em diversos terrenos.	Valor médio; Intervalo médio de percentis; Estrutura mais simples; Estrutura pesada (aço); Sem apoio para os braços; Poucos ajustes ergonômicos. Necessário 2 carregadores; Peso considerável;
Black Dimond TrailRider	Fabricação canadense; Estrutura leve e resistente (alumínio); Ajustes ergonômicos; Intervalo de percentis grande; Apoio para cabeça, braços e cabeça; Compartimento de carga; Assento para crianças incluído; Pintura revestida a pó; Dobrável; Freio estacionário; Pneu perfil alto; Uso em diversos terrenos.	Valor elevado; Necessário importação; Sem sistema de amortecimento; Necessário 2 carregadores;
GRIT Freedom Chair Spartan	Projetada pelo MIT; Fabricação norte americana; Apoio para cabeça e pés; Não necessita carregadores; Sistema de propulsão por alavancagem; Construída com peças de bicicleta comum; Estrutura leve e resistente (aço); Desmontável.	Valor elevado; Necessário importação; Intervalo médio de percentis; Poucos ajustes ergonômicos; Sem apoio para os braços; Sem sistema de amortecimento; Impossibilidade de uso em terrenos muito disformes;
Mountain Trike	Fabricação inglesa; Assento e encosto anatômico; Apoio para cabeça e pés; Não necessita carregadores; Sistema de propulsão por alavancagem; Construída com peças de bicicleta comum; Estrutura leve e resistente (alumínio). Desmontável.	Valor elevado; Necessário importação; Intervalo médio de percentis; Poucos ajustes ergonômicos; Sem apoio para os braços e cabeça; Impossibilidade de uso em terrenos muito disformes;

A partir da tabela 3 podemos de maneira mais objetiva verificar os prós e contras de cada modelo, facilitando assim as tomadas de decisão quanto a modelo em desenvolvimento, de modo a agregar os pontos positivos e mitigar os negativos.

3.3 Estudo dos usuários

Importante fonte de dados são o público alvo (potenciais usuários), logo foi idealizado um questionário online visando obter a opinião desses a cerca de diferentes aspectos que podem ser levantados especialmente pelos cadeirantes. O analisando é possível obter

informações extremamente importantes, validar propostas e conhecer melhor as suplicas desse tipo de usuário. Em adendo um agradecimento a todos os indivíduos que dispuseram de tempo para responder o questionário.

De maneira geral 64% do indivíduos participantes não se sentem confortável em utilizar uma cadeira de rodas convencional, do total, 80% sentem dores por utiliza-la, sendo as costas (44%), a lombar (24%) os principais lugares. O aumento de conforto é a principal modificação proposta pelos usuários. Dado que é confirmado já que (44%) acreditam que o conforto é o aspecto mais importante numa cadeira de rodas.

Dentre os indivíduos participantes 100% gostam de estar em contato com a natureza, e 92% acreditam que esse contato traga benefícios tanto na saúde física quanto mental. Mais da metade dos usuários 56% nunca fizeram um passeio pela natureza utilizando sua cadeira de rodas devido as limitações existentes, o restante 44% dos usuários já fizeram utilizando uma cadeira de rodas convencional, dos quais 40% relataram sua experiencia como tendo difícil mobilidade e 28% difícil acesso. Do total, 96% gostariam de fazer mais atividades ao ar livre (trilhas, passeios).

Depois de visualizarem um modelo preliminar da cadeira, foi questionado o que acreditam de uma cadeira de rodas para esse tipo de uso, sendo que 80% acreditam ser uma ótima ideia. Confirmado quando questionado se teriam interesse em adquirir, onde 84% teriam e 16% talvez. Importante questão é sobre o valor apropriado para esse tipo de produto, 28% acreditam que até R\$5.000,00 é valido para este tipo de produto, 32% até R\$7.000,00, 36% até R\$10.000,00 e 4% até R\$15.000,00.

Em relação aos carregadores, 36% dos indivíduos participantes teriam alguma dificuldade de encontrar 2 carregadores, caso precisassem de apenas 1, 80% teriam mais facilidade de encontrar. Questionado a respeito dos carregadores, 24% do indivíduos participantes acreditam ser muito tranquilo de ajudarem e 56% tranquilo.

Em relação ao aspetos que os usuários mais levariam em questão na hora da compra a relação custo/benéfico e segurança foram mais votados com 76%, seguido da facilidade de transporte da cadeira com 72%, quantidade de apoios e possibilidade de ajustes ergonômicos com 64%. Dados confirmados quando questionado o que o produto não poderia deixar de ter, com 32% para resistência e acessibilidade, 28% para conforto e ser desmontável, 24% para versatilidade e ajustes ergonômicos.

Por fim indagado sobre a relevância do questionário, 100% dos indivíduos participantes acreditam que o questionário é pertinente.

Sintetizando a análise do questionário, verificamos uma deficiência de conforto no encosto, limitações existentes nas cadeiras de rodas convencional quando usadas para trilhas (difícil mobilidade e acesso). A principal modificação proposta pelos usuários para uma cadeira convencional é o aumento de conforto. Sendo de extrema importância os

aspectos custo/benéfico, segurança, facilidade de transporte da cadeira, quantidade de apoios e possibilidade de ajustes ergonômicos. Uma cadeira de rodas que incorpora todos esses fatores deve ter valor apropriado de até R\$10.000,00.

O questionário é apresentado no Apêndice A.

3.4 Brainstorm

O primeiro passo do brainstorm foi aprofundar no problema de pesquisa (1.1) e como nosso objetivo (1.3) ataca diretamente esse se atentando ao requisitos do projeto (1.5), com discussões visando ideias inovadoras quanto ao tema e novas maneiras de implementar essas ideias, as validando com técnicas já conhecidas ou novas, buscando entender a real solicitação do usuário desse tipo de transporte. Essas discussões foram embasadas no conhecimento prévio que tínhamos sobre o tema e sobre os novos adquiridos na etapa de contextualização (2), estudo dos usuários (3.3) e benchmarking (3.1).

Na contextualização estabelecemos um argumento com o intuito de explicar os motivos ou características precedentes, de forma a obter um correto entendimento sobre o assunto. No estudo dos usuários buscamos entender suas solicitações e a melhor maneira de implementá-las, criamos um questionário e disponibilizamos para os cadeirantes, buscando colher informações e opiniões acerca dos problemas enfrentados pelos mesmos, para assim validar os conceitos e processos utilizados no desenvolvimento do produto. No benchmarking estudamos os modelos existentes, seus pontos positivos e negativos, possibilitando a tomada de decisões assertivas quanto ao modelo em desenvolvimento, de modo a agregar os pontos positivos e mitigar os negativos.

3.5 Desenvolvimento

Assente de todo esse embasamento podemos iniciar o processo de desenvolvimento, provindo pelo design. Esse foi idealizado seguindo as pontas acertados pelo *benchmarking* (3.1), pelo *brainstorm* (3.4), pelas Diretrizes sobre o Fornecimento de Cadeiras de Rodas Manuais em Locais com Poucos Recursos publicado pela OMS em 2008 e distribuído pela Secretaria de Estado dos Direitos da Pessoa com Deficiência de São Paulo (OMS, 2008) e pelas normas ABNT NBR ISO 7176:5 - Determinação das dimensões, massa e espaço para manobra (ABNT, 2008a), ABNT NBR ISO 7176:7 - Medição de dimensões de assentos e rodas (ABNT, 2008b) e ABNT NBR ISO 7176:8 - Requisitos e métodos de ensaio para a força estática, de impacto e fadiga (ABNT, 2009).

De gozo das medidas antropométricas para a população brasileira adquiridas a partir de um levantamento realizado pela ANAC com parceria com a UERJ em 2009 onde foi obtido um perfil antropométrico para a população brasileira (ANAC, 2009),

podemos decidir o intervalo de percentis, e com esses estimar as dimensões máximas e mínimas para o assento do nosso produto, depois definir as demais dimensões. As medidas antropométricas obtidas pelo levantamento da ANAC e UERJ estão no anexo C.

As principais medidas antropométricas a serem levadas em consideração são: altura tronco-cefálica, altura poplíteia, comprimento glúteo Joelho e largura do quadril. Para o intervalo de percentis escolhido (P5 - P95), as dimensões são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Principais medidas antropométricas, (ANAC, 2009) adaptado

Principais medidas antropométricas		
Medidas	Percentil	
	P5	P95
Altura tronco-cefálica (mm)	843	975
Altura poplíteia (mm)	407	493
Comprimento glúteo Joelho (mm)	546	669
Largura do quadril (mm)	329	446

Com o intervalo de percentil definido, logo temos as medidas máximas e mínimas, e com elas podem os iniciar o design, planejando um produto que possa atender a estas especificações. O principal item, logo o primeiro a ser pensado, foi o assento, pois suporta todo o peso do cadeirante na direção vertical, deve ter tamanho suficiente para o intervalo de percentis e ergonomicamente pensado de maneira a evitar dores nos membros inferiores (quadril e coxas), assim toda a estrutura do assento bem como o próprio encosto são projetados levando esses aspectos em consideração.

Seguindo foi planejado o encosto de dorsal, importante item pois suporta a força peso na direção horizontal, também deve ter tamanho suficiente para o intervalo de percentis e para isso possui ajuste de profundidade, foi ergonomicamente pensado de maneira a evitar dores no tronco, o projeto da estrutura do encosto e o encosto em si seguem a mesma noção do projeto do assento.

O apoio de cabeça foi o próximo item elaborado, importante pois suporta a força peso da cabeça na direção horizontal, para atender o intervalo de percentis possui ajustes de altura e profundidade. O encosto foi ergonomicamente pensado de maneira a evitar dores na cabeça.

Prosseguindo foi planejado o apoio dos pés, muito importante, dado que suporta o peso dos membros inferiores (pernas e pés) na direção vertical. Para atender o intervalo de percentis possui ajustes de altura.

O apoio dos braços foi o seguinte item a ser planejado, importante já que suporta o peso dos membros superiores (braços, antebraços, ombro e mãos) na direção vertical. Para atender o intervalo de percentis possui ajustes de altura.

Depois de toda a estrutura voltada ao cadeirante planejada, partiu-se para o projeto do conjunto de suspensão, utilizou-se o modelo suspensão independente com braços articulados, sendo um rígido e outro amortecido com um amortecedor de Bike ATV. Pensando nos carregadores de maneira a atender o intervalo de percentis os braços da suspensão podem ser presos por parafusos em diferente localizações, garantindo uma variação de altura da cadeira. Os braços tem dimensões para comportar uma roda aro 14 e pneu 90/100, que goza de um índice de carga superior ao necessário acrescido do fator de segurança.

Os últimos itens projetados foram os braços de suporte dianteiro, traseiro e de apoio estático. O braço de suporte dianteiro foi desenvolvido de maneira que possibilite a utilização da cadeira bastando um carregador, esse possui ajustes de inclinação e altura, de maneira a atender o intervalo de percentis facilitando a pegada por parte do carregador. Para o braço de suporte traseiro, foi desenvolvido dois tipos de suporte possibilitando posições distintas para o carregador, um acoplado a estrutura do encosto de dorsal, na altura do tórax do carregador, o outro, hastes horizontais com alça viabilizando a pegada quando a cadeira está em alturas diferentes.

3.6 Modelo Preliminar

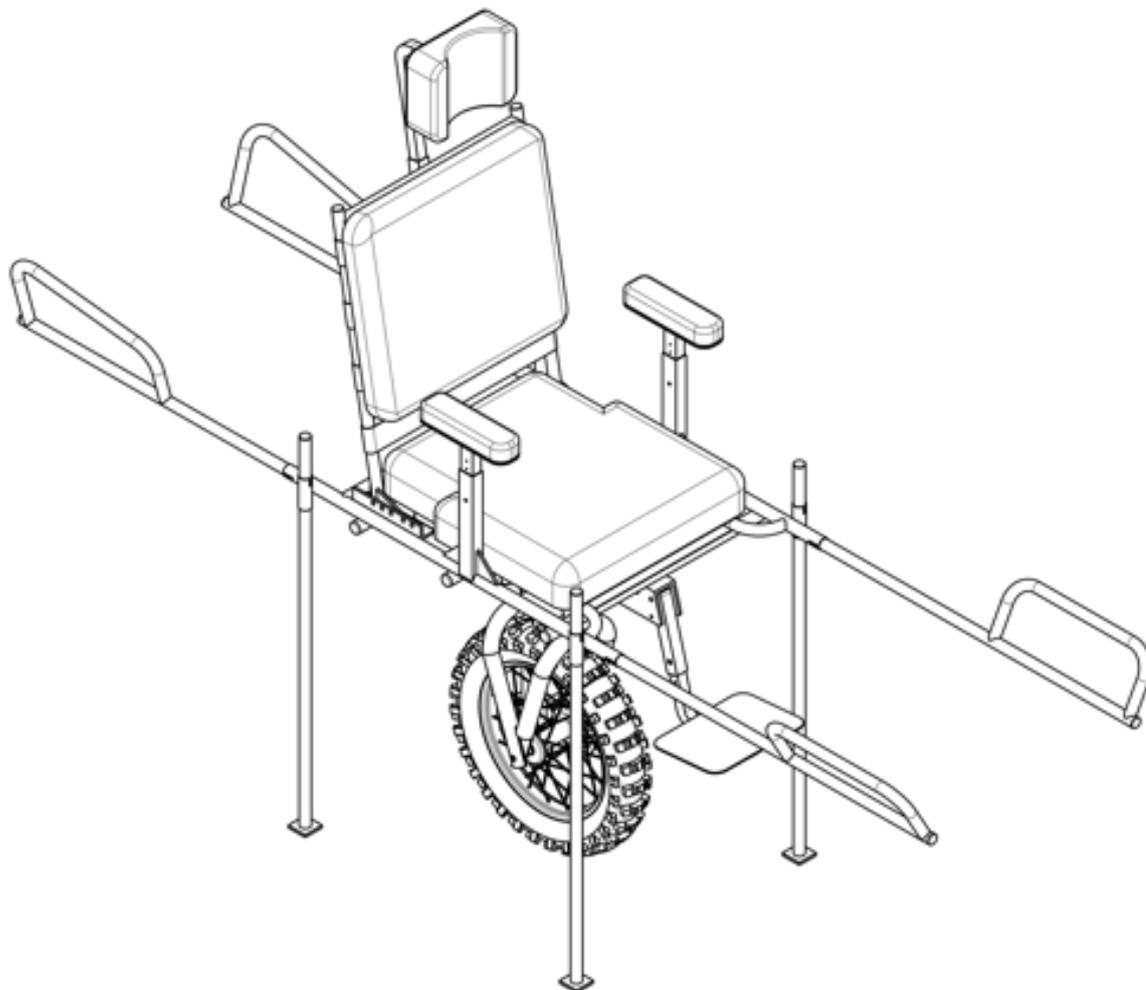


Figura 18 – Modelo preliminar da cadeira de rodas p/ trilha, autores

A figura 18 demonstra o modelo preliminar feito inicialmente para o projeto da cadeira de rodas para trilhas.

A partir da análise do questionário com os usuários disponível no tópico 3.3 verificou-se que 36% dos indivíduos participantes teriam alguma dificuldade de encontrar 2 carregadores, caso precisassem de apenas 1, 80% teriam mais facilidade de encontrar. Logo para atender esse público o projeto passou por atualizações no intuito de desenvolver uma cadeira que possibilitasse o uso com um só carregador.

Outras importantes validações foram retiradas do questionário, verificamos uma deficiência de conforto no encosto, limitações existentes nas cadeiras de rodas convencional quando usadas para trilhas (difícil mobilidade e acesso). Necessidade do aumento de conforto para os cadeirantes e implementação de aspectos relevantes como custo/benéfico, segurança, facilidade de transporte da cadeira, quantidade de apoios e possibilidade de ajustes ergonômicos.

Após as análises e verificações, o projeto inicial sofreu alterações e foi otimizado. O modelo final pode ser visto na figura 19.

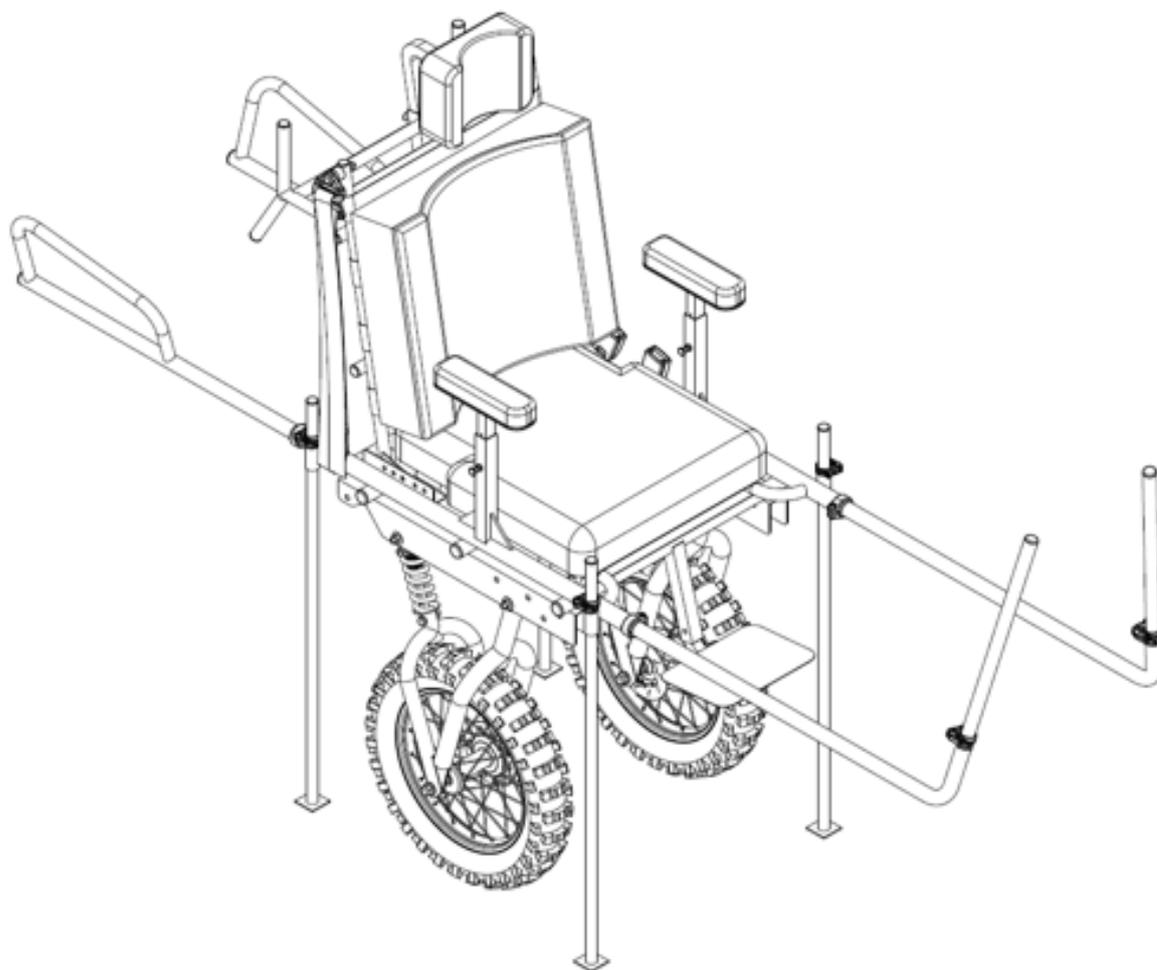


Figura 19 – Modelo final da cadeira de rodas p/ trilha, autores

O desenho técnico é a próxima etapa e todos os validados encontram-se no Apêndice C.

4 Projeto da Cadeira

4.1 Manequins

Como as cotas antropométricas brasileiras não são tabeladas no CATIA V5R21. As medidas antropométricas mais próximas da realidade brasileira são às medidas de europeus mediterrâneos (portugueses, espanhóis, franceses, italianos e gregos), com diferenças antropométricas de, no máximo, 3% (MIRANDA, 2014). Sendo assim, os percentis com medidas francesas tabeladas no programa foram usados para o projeto. Mas buscando a máxima paridade com os cotas brasileiras utilizou-se dados antropométricos levantados pela ANAC em 2009 (ANAC, 2009). Utilizando *Manikins* franceses e adaptando suas medidas com a ferramenta *Human Measurements Editor* para os percentis P5 e P95 de acordo com a medidas brasileiras.

As tabelas disponibilizadas pela ANAC não constam de todas as medidas antropométricas necessárias para um correto dimensionamento do produto trabalhado, logo a partir da ferramenta do *Catia* e das medidas conhecidas aplicadas, é possível através dos cálculos do software, encontrar de maneira automática as dimensões remanentes. As principais medidas antropométricas utilizadas bem como seu meio de obtenção são apresentadas na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Principais mediadas antropométricas e suas fontes, (ANAC, 2009) e autores

Medidas Antropométricas	Obtenção	Percentil	
		P5	P95
Altura tronco-cefálica (mm)	ANAC	843	975
Largura do quadril (mm)	ANAC	329	446
Largura bideloide (mm)	ANAC	406	527
Altura poplítea (mm)	ANAC	407	493
Comprimento glúteo Joelho (mm)	ANAC	550	654
Peso (kg)	ANAC	65	115,9
Comprimento nádega-poplítea (mm)	Catia	445	524
Altura do ângulo inferior da escápula sentado (mm)	Catia	490	590
Altura dos olhos sentado (mm)	Catia	728	849
Altura da virilha (mm)	Catia	785	895
Altura do ombro (mm)	Catia	1357	1571
Comprimento ombro-punho (mm)	Catia	602	705
Altura das articulações dos dedos (mm)	Catia	755	866
Altura do cotovelo sentado (mm)	Catia	223	246
Profundidade do abdômen (mm)	Catia	243	356
Comprimento do antebraço (mm)	Catia	458	530

4.2 Validação estrutural

As dimensões estruturais, como dimensões e espessuras dos tubos e chapas para o projeto do protótipo, no primeiro momento foram estipulados através de análise do *benchmarking* (3.1).

E para uma validação da estrutura perante esforços que lhe seriam solicitados, foi feita uma análise no software *Ansys*, considerando a massa corporal de 115,9kg referente ao percentil 95%, somado 20kg da parte superior da cadeira, aderido de 30% do fator de segurança. Para a análise no *Ansys* foi feita uma simplificação da estrutura do projeto, retirando furos e chanfros já que esses consomem uma grande quantidade de processamento computacional e não alteram de maneira significativa os resultados, assim facilita-se a geração do *mesh*, conseqüentemente tem-se uma melhor qualidade de elementos com penúria na quantidade. A malha (*mesh*) final tem 105756 nós e 14870 elementos, como pode ser visualizado na figura 20. Se tratando de uma peça razoavelmente grande, a malha tem números suficientes.

Statistics	
Nodes	105756
Elements	14870

Figura 20 – Estatísticas da malha (*Mesh Statistics*, autores)

A qualidade dos elementos que compõem a malha é essencial para uma boa análise estrutural e para o caso obtivemos elementos com qualidade superior a 0,69 com sua esmagadora maioria (90%) acima de 0,88. Números excelentes para a peça em questão, a qualidade dos elementos pode ser visualizada no gráfico da figura 21 obtidas pelo software *Ansys*

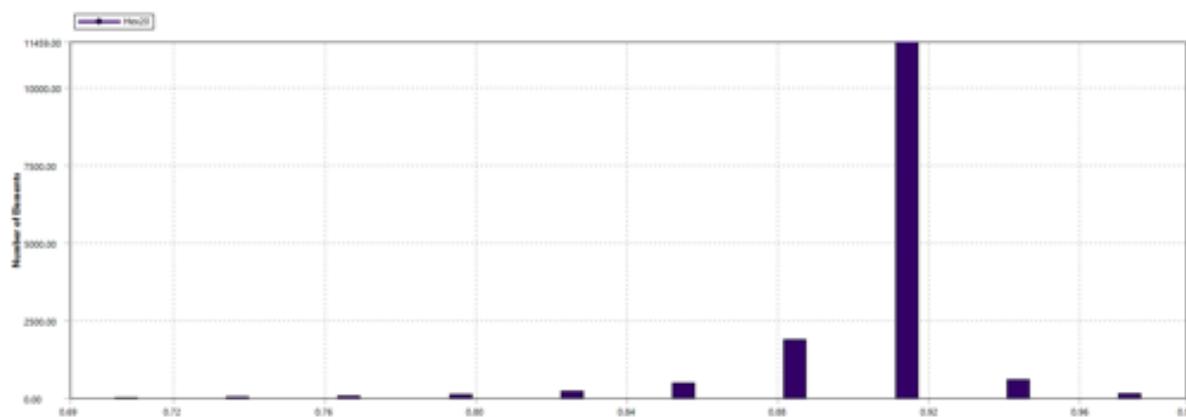


Figura 21 – Qualidade dos elementos da malha (*Mesh Element Quality*, autores)

Depois da malha gerada foi configurado as condições de contorno (apoios cilíndricos nos furos do suporte) e as cargas (141,9 Kg – 696,01N usando aceleração da gravidade

de $9,78 \text{ m/s}^2$ (UFMG, 2023)). Essas configurações podem ser visualizadas na figura ?? obtidas pelo software *Ansys*.

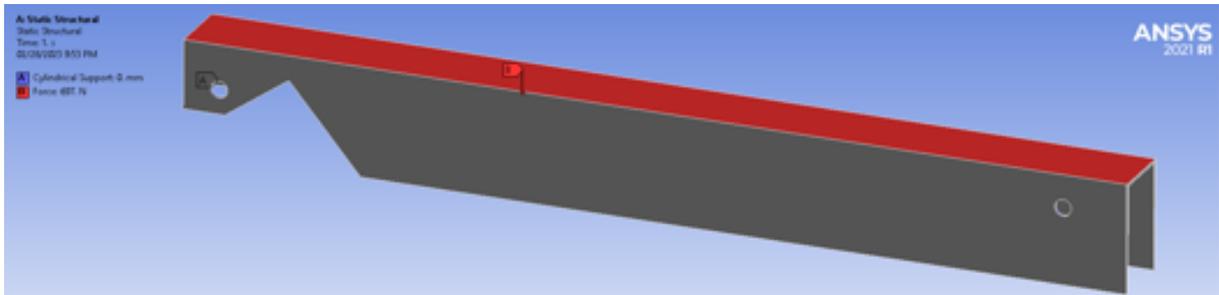


Figura 22 – Configuração das condições de contorno aplicadas ao suporte, autores

O resultado final é uma tensão *Von Mises* máxima de 163,35MPa, essa na casa de 58% do limite de escoamento suportada para o material utilizado na estrutura analisada, o alumínio 6351 T6 que goza de um limite de escoamento de 283MPa (MATWEB, 2022), validando assim as dimensões estipuladas. Os resultados obtidos pelo software *Ansys* podem ser visualizados abaixo, segue o limite de escoamento (*Equivalent Stress*) na figura 23, deformação equivalente (*Equivalent Strain*) na figura 24 e deformação total (*Total Deformation*) na figura 25.

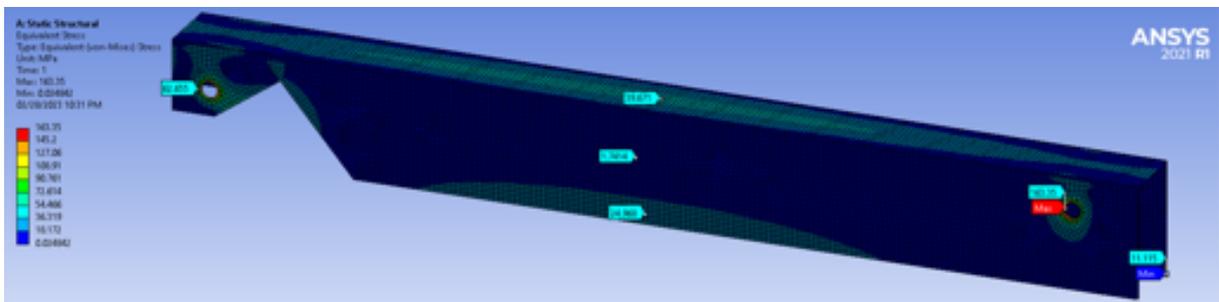


Figura 23 – Limite de escoamento (Von Mises) (*Equivalent Stress*), autores

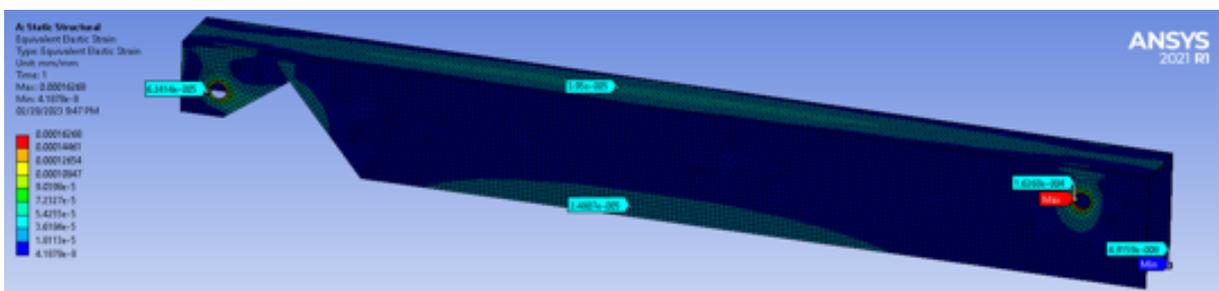


Figura 24 – Deformação equivalente (Von Mises) (*Equivalent Strain*), autores

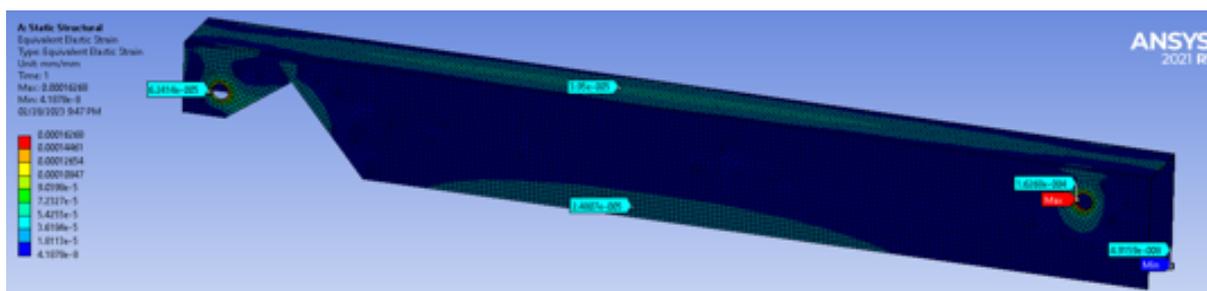


Figura 25 – Deformação total (Von Mises) (*Total Deformation*), autores

A propriedades para o material em questão podem ser visualizadas na tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades Mecânicas do Alumínio ASTM 6351 T6, (MATWEB, 2022)

Propriedades Mecânicas do Alumínio ASTM 6351 T6	
Limite de Resistência à Tração (MPa - N/mm ²)	310
Limite de Escoamento (MPa - N/mm ²)	283
Alongamento Mínimo“50mm”(%)	14
Dureza Brinell (HB)	95
Modulo de Elasticidade (GPa)	69,8

4.3 Concepção do projeto

4.3.1 Assento

No projeto do assento foram utilizados tubos cilíndricos 1.1/2"x1/8" (38,6mm de diâmetro e 3,17mm de espessura) logo o tubo possui um diâmetro interno de 32,26mm, permitindo o acoplamento das longarinas dos carregadores que são tubos cilíndricos 1.1/4"x1/16"mm (31,8mm e 1,59mm). Foram utilizadas dois tubos como longarinas e três como transversinas para reforçar a estrutura, os tubos são produzidos em alumínio ASTM 6351 T6. Para um apoio uniforme da almofada de assento, cintas de suporte foram fixadas nas tubulações.

Seguindo as medidas antropométricas, largura do quadril e comprimento nádega-poplíteo apresentadas na tabela 5 o assento possui largura mínima de 349mm e 466mm equivalente aos percentis P5 e P95 respectivamente, ambas 20mm acima das medidas referente ao percentis P5 (329mm) e P95 (446mm), já que a definição da largura do assento deve ser realizada de forma que haja folga de 10mm de cada lado entre o trocanter maior do fêmur e o limite lateral do assento. A almofada pode ser alterada de acordo com o percentil do usuário.

Em relação a profundidade do assento, o encosto das costas foi projetado de forma a permitir translação no eixo horizontal, com a finalidade de aumentar ou diminuir essa profundidade para a dimensão nádega-poplíteo adequando ao percentil do usuário, vari-

ando essa medida entre 486 a 566mm, 40mm acima dos referentes aos percentis P5 e P95 (446mm e 526mm respectivamente) já que o limite anterior do assento deve ficar localizado a 40mm da fossa poplíteia (pequena depressão nas costas do joelho), uma vez que exerce influência na distribuição de pressão na região posterior das coxas e nos glúteos e no posicionamento pélvico (COSTA, 2018).

Em relação a inclinação do assento é comum que haja inclinação posterior (parte frontal do assento é posicionada acima da parte posterior) nas cadeiras de rodas de propulsão manual, como não é o caso do projeto, não há nenhum tipo de inclinação no assento.

A estrutura do assento pode ser visualizada na figura 26a e o assento (estrutura e almofada) na figura 26b.

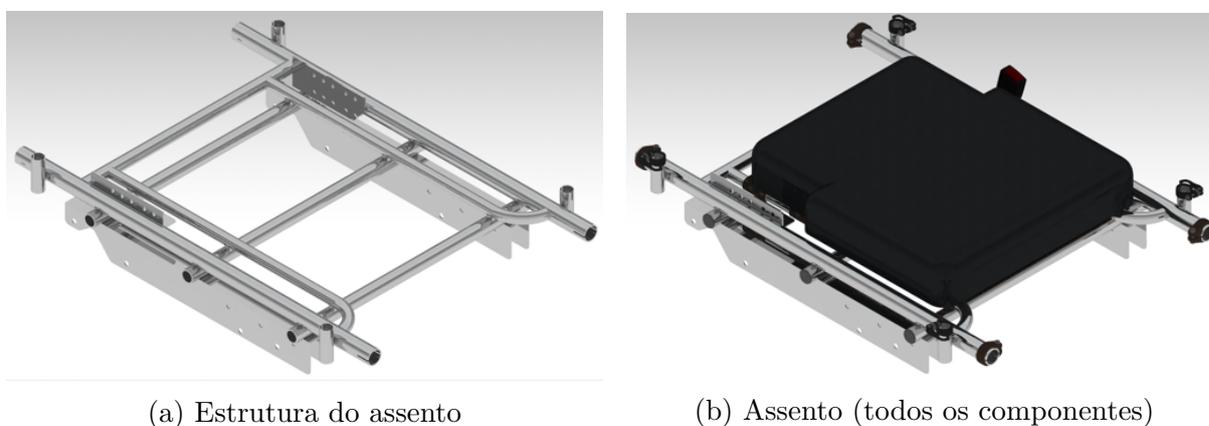


Figura 26 – Conjunto assento, autores

A almofada posicionada sobre o assento se trata de um componente importante na manutenção da postura do usuário, mesmo quando este relaxar os músculos posturais para evitar fadiga. Dessa forma, recomenda-se que a parte posterior do assento tenha uma área de depressão para evitar que a pelve deslize para frente no assento. Além disso, a almofada deve ser capaz de apoiar as coxas corretamente mantendo-as em posição neutra (alinhadas aos respectivos quadris). Ou seja, devem ter áreas de depressão para o apoio das coxas e ter uma elevação central para manter as coxas afastadas entre si. Dessa forma, esse componente contribui para a diminuição no risco de úlceras de pressão, tanto na parte inferior das coxas e glúteos quanto nas laterais das pernas.

Devem possuir uma base mais firme para proporcionar suporte adequado. Em seguida, deve possuir uma camada de espuma mais macia para proporcionar o conforto. Deve ser macia o suficiente para que o osso do ísquio (parte inferior e posterior da bacia) possa afundar nela mas rígida o suficiente para evitar que os ossos alcancem a base sólida (CARRIEL, 2020). Geralmente são feitas de espuma por serem mais baratas e de fácil acesso, além de serem facilmente modificadas para atender as necessidades de cada usuário.

Seguindo o que recomenda (CARRIEL, 2020), para todas as confecções de estofamentos do assento, encosto das costas, apoio dos braços e apoio da cabeça, foi utilizado o material poliuretano, por ser de fácil aplicação, resistente a condições de clima desfavoráveis, ser um produto econômico com um ótimo custo-benefício, ter alta durabilidade e grande variação de densidade (LIMA, 2011). A almofada permanece fixada a estrutura do assento devido ao acoplamento entre a almofada e as cintas a partir de velcro, garantindo a fixação.

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem podem ser visualizados no apêndice C.

4.3.2 Encosto de dorsal

O encosto dorsal foi projetado com tubos cilíndricos 1"x2mm, sendo duas longarinas e três transversinas, os tubos são produzidos em Alumínio ASTM 6351 T6.

Seguindo as medidas antropométricas largura bideltaide, altura do ângulo inferior da escápula (tabela 5) tem-se uma largura mínima de 406mm e 527mm equivalente aos percentis P5 e P95 respectivamente. Para um apoio uniforme da almofada de assento, cintas de suporte foram fixadas nas tubulações.

Em relação a altura do encosto das costas, a (OMS, 2012) recomenda que a altura mínima do encosto deve ser a altura do assento até o ângulo inferior da escápula sendo essa dimensão 490mm e 590mm equivalente aos percentis P5 e P95 respectivamente. O encosto foi projetado, de modo a acomodar a maior altura de almofada (590mm referente ao P95), e permitir o aumento ou diminuição dessa altura para a dimensão adequando ao percentil do usuário, dado que a almofada do encosto pode ser fixada via velcro na posição adequada. A almofada pode ser fabricada diretamente para um percentil de usuário e essa permanece fixada a estrutura do encosto devido ao acoplamento entre a almofada e as cintas a partir de velcro, garantindo a fixação.

Seguindo diretrizes ergonômicas importantes nas normas utilizadas (ABNT, 2008b) e (ISO, 2018) que recomendam um ângulo entre o assento e o encosto de 80 a 100 graus, a partir de uma pesquisa voltada a esse tópico realizada por (GRANDJEAN, 1998) onde os ângulos acima de 100° diminuem a pressão dos discos intervertebrais e o trabalho estático da musculatura das costas. Logo adequando-se as normas e a pesquisa decidiu-se utilizar um ângulo de 100°.

A estrutura do assento pode ser visualizada na figura 27a e o encosto de dorsal (estrutura e almofada) na figura 27b.



(a) Estrutura do encosto

(b) Encosto de dorsal (todos os componentes)

Figura 27 – Conjunto encosto de dorsal, autores

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem podem ser visualizados no apêndice C.

4.3.3 Apoio da cabeça

O suporte de cabeça (occipital), garante a estabilidade e adequação postural evitando movimentos prejudiciais ao cadeirante. O mesmo foi projetado com tubos 1.1/4"x2mm (32mm x 2mm) para o tubo de fixação na estrutura do encosto de dorsal e para tubo de ajuste de profundidade, e tubo 1"x2mm (25,4mm x 2mm) para o tubo de ajuste de altura. Seguindo a medida antropométrica, altura do olhos sentado (tabela 5) tem-se uma altura mínima de 728mm e 849mm equivalente aos percentis P5 e P95 respectivamente, logo tem-se um ajuste de altura a partir de furações de 20 em 20mm e ajuste de profundidade a partir de furações de 16 em 16mm. Como todos, os tubos são produzidos em Alumínio ASTM 6351 T6.

A estrutura do apoio de cabeça pode ser visualizada na figura 28a e o apoio de cabeça (estrutura e almofada) na figura 28b.

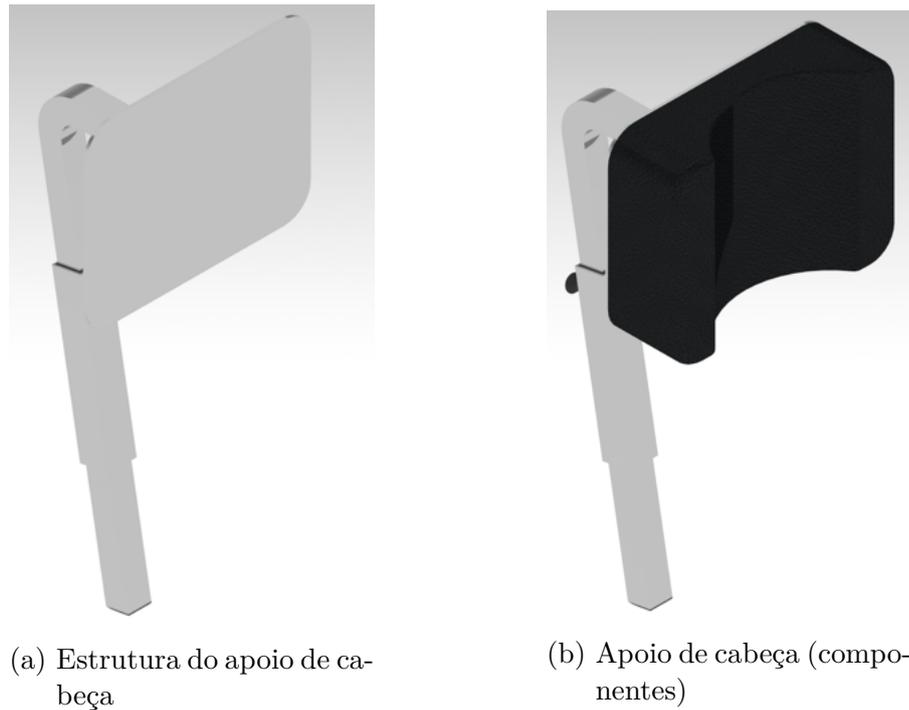


Figura 28 – Conjunto apoio de cabeça, autores

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem podem ser visualizados no apêndice C.

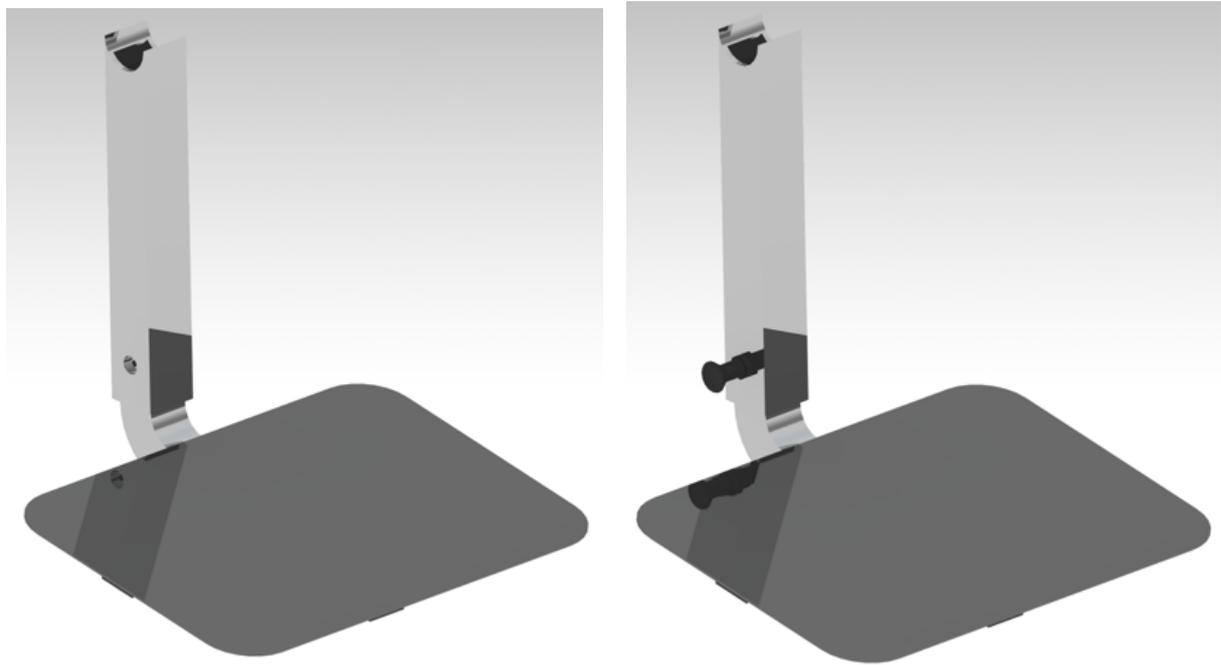
4.3.4 Apoio de pés

O apoio de pés deve se ajustado individualmente para cada usuário, ele reduz a pressão sobre o assento e coloca o usuário em uma postura saudável. É necessária uma distância suficiente do chão para evitar que os apoios sejam atingidos por obstáculos. Os apoios para os pés precisam ter comprimento e largura suficientes para suportar os pés.

Seguindo a medida antropométrica, altura poplíteia (tabela 5) tem-se uma altura mínima de 407mm e 493mm equivalente aos percentis P5 e P95 respectivamente, o apoio para os pés é projetado com ajuste de altura, podendo chegar a limites um pouco maiores que os percentis definidos. O tubo externo é um tubo 1.1/4"x1/8" (32mm x 3,2mm) enquanto o tubo interno 1"x2mm (25,4mm x 2mm), de modo a possibilitar o deslizamento entre eles, possui furações a cada 16mm para conceder o ajuste da altura.

A localização dos apoios, definem a distribuição de massa (o que influencia no centro de gravidade, momento de inércia, resistência ao rolamento e estabilidade). Dessa forma, definir o ângulo de flexão do joelho resulta na estabilidade da cadeira. Os valores comuns para o ângulo de flexão são entre 60° e 90° sendo que (0° significa que as pernas estão totalmente estendidas) A norma ABNT NBR ISO 7176:7 (ABNT, 2008b) recomenda ângulos mais próximos de 90° sem ser superior a esse valor. Dessa forma, este projeto irá trabalhar com o ângulo recomendado pela norma de 75°.

A estrutura do apoio dos pés pode ser observada na figura 29b.



(a) Estrutura do apoio de pés

(b) Apoio de pés (componentes)

Figura 29 – Conjunto apoio dos pés, autores

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem podem ser visualizados no apêndice C.

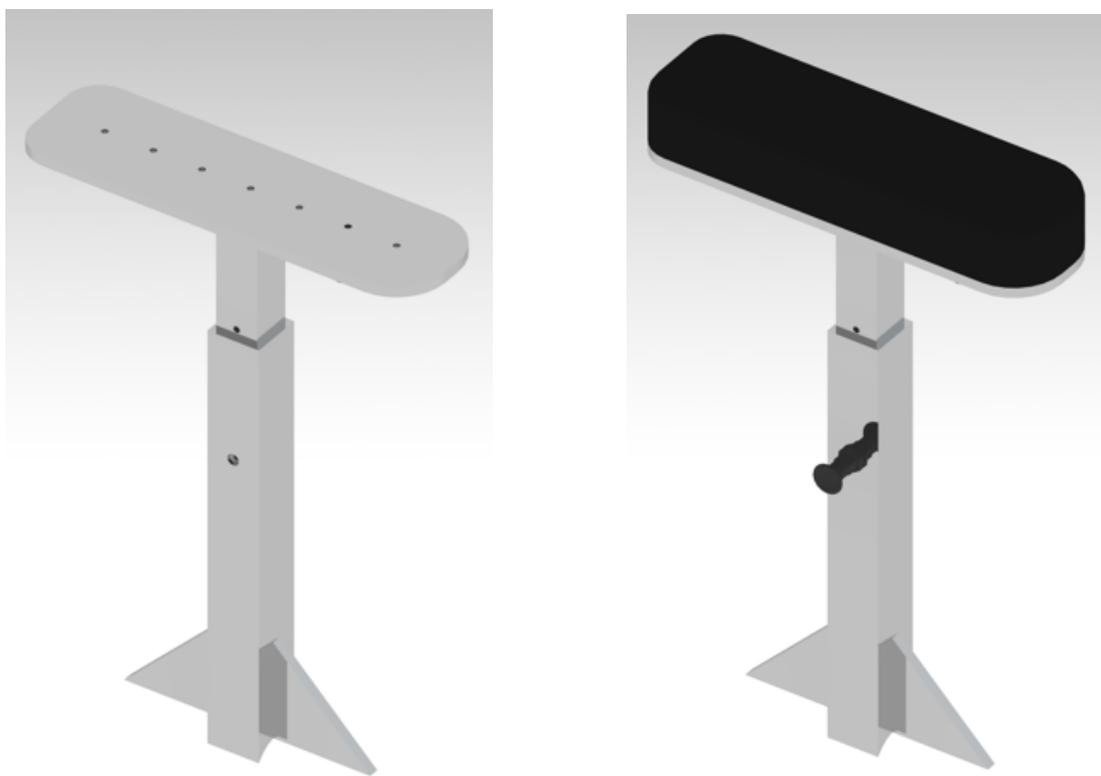
4.3.5 Apoio de braço

Os apoios de braços são indispensáveis para o projeto uma vez que o apoio periódico dos braços pode evitar fadiga dos membros superiores e possíveis lesões, pois quando os braços estão apoiados há uma redução na pressão sobre a coluna vertebral e nas forças que levam à úlceras de pressão (CARRIEL, 2020).

Seguindo as medidas antropométricas altura do cotovelo sentado e comprimento do antebraço (tabela 5) tem-se uma altura mínima de 223mm e 246mm equivalente aos percentis P5 e P95 respectivamente, o apoio dos braços foi projetado de modo a permitir ajustes de altura com ajuste de altura a partir de furações de 20 em 20mm, abrangendo um público alvo maior, além dos percentis de referência. Os tubos externos são 1.1/4"x1/8"(32mmx3,2mm) e os tubos internos que se acoplam no interior do tubo externo são 1"x2mm (25,4mmx2mm).

As chapas de fixação da estrutura e da almofada tem a espessura 1/8"(3,2 mm) e entre elas é possível uma translação horizontal garantindo uma variação de profundidade máxima de 60mm, as furacões a cada 30mm permitem o ajuste dessa medida.

A estrutura do apoio de braço pode ser visualizada na figura 30a e o apoio de braço (estrutura e almofada) na figura 30b.



(a) Estrutura do apoio de braço

(b) Apoio de braço (componentes)

Figura 30 – Conjunto apoio de braço, autores

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem podem ser visualizados no apêndice C.

4.3.6 Conjunto da suspensão

A suspensão contém em sua constituição um conjunto mola e amortecedor que tende a absorver o movimento da roda quando em contato direto com o solo, é o principal responsável por reduzir o impacto ao passar por desníveis, além de manter a borracha do pneu o máximo possível em contato com o solo.

O suporte para apoio do assento com a suspensão foi projetado com um tubo 4"x2"x2mm (101,6mm x 50,8mm x 2mm), e foi adaptado conforme a figura 31 para perfeito acoplamento dos braços de suspensão, possui furos para permitir variações de posição da suspensão de modo a aceitar diversas alturas da cadeira em relação ao solo, de modo a agregar a maior quantidade de alturas possíveis tendo em vista a adequação postural da altura das articulações dos dedos dos carregadores, sendo o limite máximo 866mm (correspondente ao P95) e 755mm (corresponde ao P5) (tabela 5).

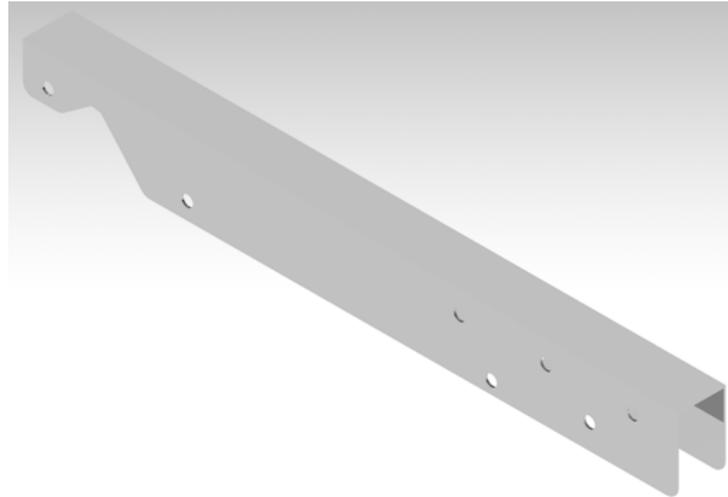
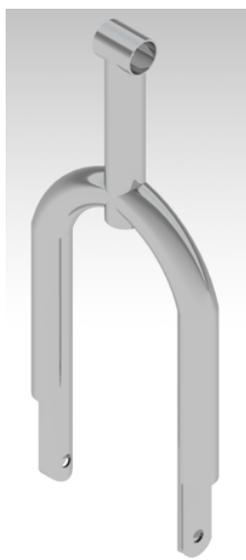


Figura 31 – Suporte da suspensão, autores

A suspensão foi projetada com dois garfos, um dianteiro (Braço de Suspensão Rígido) conforme a figura 32a e um traseiro (Braço de Suspensão Amortecido) que pode ser observado na figura 32b, contando com 190mm de distancia entre os eixos para permitir o encaixe da roda R14. Utilizando tubos 1.1/4"x1/8"mm (32mmx3,2mm). O garfo traseiro possui acoplado uma suspensão de bike ATV de 190mm para amortecimento dos impactos que podem ocorrer devido ao terreno uniforme das trilhas. A suspensão permite a regulação de pré carga da mola.



(a) Braço de suspensão rígido (Garfo R14)



(b) Braço de suspensão amortecido (Garfo R14)



(c) Amortecedor ATV 190mm

Figura 32 – Braços da suspensão e amortecedor, autores

O primeiro protótipo foi realizado com uma roda aro 20 de bicicleta, o tamanho do conjunto pneu com roda e suspensão se encaixaria nos limites estabelecidos para a

variação da altura da cadeira de acordo com os percentis dos carregadores. Porém, o índice de carga do pneu era inferior a carga carregada (115,9kg do P95, peso da estrutura e fator de segurança de 20%).

Buscou-se então pneus para moto, por possuírem índice de carga maior, mas a maioria dos pneus de moto requerem aros maiores e tem altura total extensa, e quando conectados ao conjunto, impunham uma altura maior do que o limite mínimo, logo não se adequariam ao modelo. Ao buscar pneus para mini motos de motocross foram encontrados pneus enxutos com índice de carga acima do solicitado. O pneu escolhido foi um pneu para mini motocross R14 90/100 49M que segundo o índice de carga suporta um peso de até 185kg. O pneu bem como a roda (Conjunto Roda R14 Pneu 90/100 49M) são apresentados na figura 33.



Figura 33 – Conjunto roda R14 pneu 90/100 49M, autores

Depois dos garfos, amortecedor e conjunto roda e pneu selecionados devemos nos atentar aos pormenores que são extremamente importantes para o correto funcionamento desse conjunto essencial. São: bucha do braço de suspensão rígido, bucha do amortecedor, eixo de roda e rolamentos do eixo.

A bucha é uma peça que atua para isolar e absorver as vibrações das peças entre si, além de evitar o contato entre peças metálicas de equipamentos diminuindo o atrito entre as peças dispostas em um conjunto evitando seu desgaste, bem como eventuais ruídos provocados por atrito. Ambas as buchas são projetadas de maneira e encaixar perfeitamente no suporte da suspensão, do amortecedor feita em poliuretano (PU) já que é conectada direto no braço superior do amortecedor sendo um elemento de desgaste entre o eixo e a carcaça, já a do braço de suspensão rígido em borracha e aço em razão da alta

maleabilidade da borracha que produz resistência controlada a solavancos, absorvendo impactos, junto com os outros componentes da suspensão. Esses componentes podem ser visualizados na figura 34.

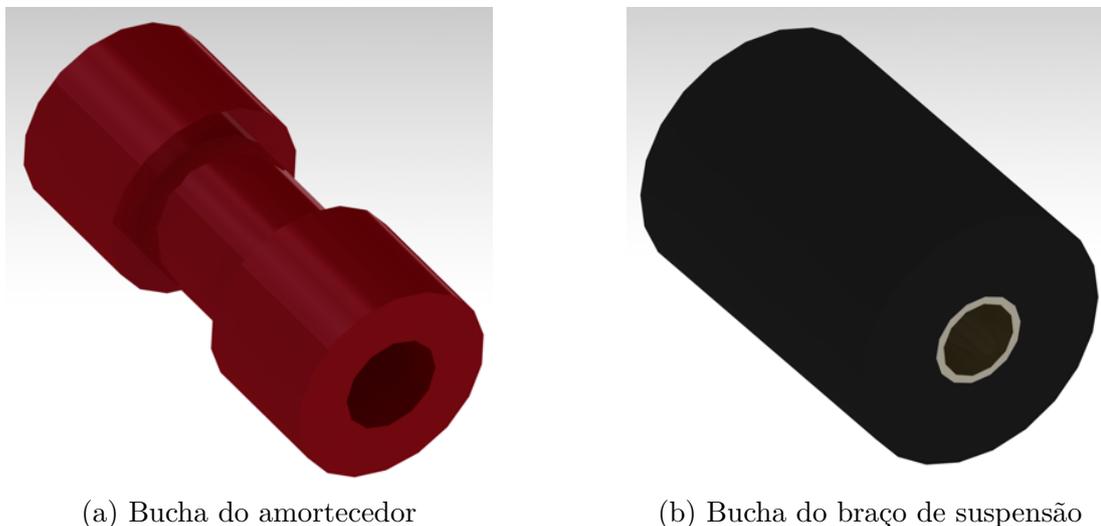


Figura 34 – Buchas utilizadas, autores

Eixo passante é um único eixo rígido que conecta duas extremidades, eles entram por um lado do garfo, através do cubo e assim aparafusam no outro lado. Esse design pode manter a posição da roda estável sob forte estresse e pode suportar cargas pesadas, além de permitirem um alinhamento mais fácil e consistente. O eixo é fixado ao garfo, com as rodas girando em torno do eixo, sendo assim necessitam que um rolamento fique dentro de um orifício central na roda para permitir que a roda gire em torno do eixo. É utilizado um eixo 260x14mm de aço SAE 8640 próprio para essa finalidade.

Rolamento é um componente que permite movimento rotativo entre dois ou mais elementos. Serve principalmente para reduzir o atrito ou fricção de deslizamento entre as superfícies de contato. É utilizado um rolamento de rolos de agulhas com capa estampada com extremidades abertas e vedação integral (SKF HK 1620.2RS), pois são normalmente usados em aplicações onde é necessário um arranjo de rolamentos muito compacto e econômico, têm uma alta capacidade de carga e rigidez devido ao seu grande número de rolos, vida útil prolongada em função da vedação integral, já que mantém o lubrificante dentro dos rolamentos e os contaminantes fora (SKF, 2023).

Na figura 35 podemos observar o eixo passante, os rolamentos e as porcas que compõem esse conjunto.

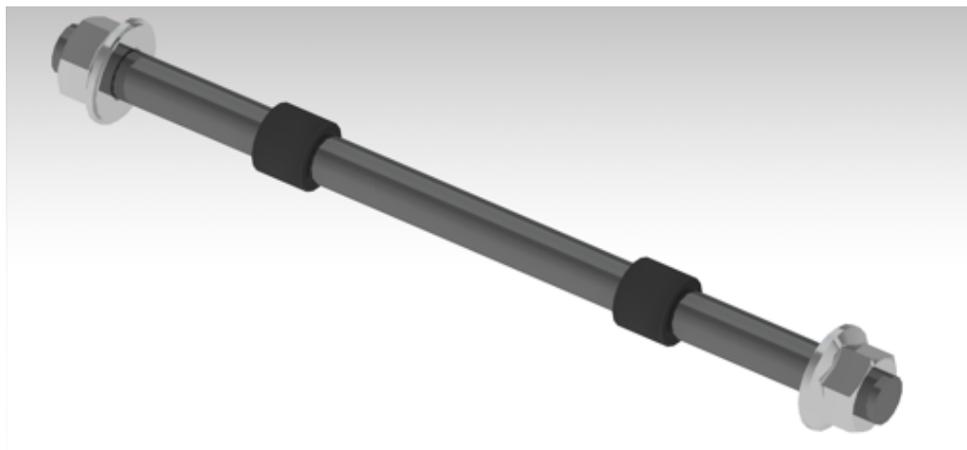


Figura 35 – Conjunto eixo de roda (eixo passante, rolamentos e porcas), (SKF, 2023) e autores

Na figura 36 podemos observar o conjunto da suspensão completo, braços de suporte (garfos R14), amortecedor ATV, buchas (do amortecedor e do braço de suporte), conjunto eixo de roda (eixo passante, rolamentos e porcas) e parafusos, arruelas e porcas da ligação amortecedor, braço de suporte.



Figura 36 – Conjunto suspensão completo, autores

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem

podem ser visualizados no apêndice C.

4.3.7 Braços de suporte

Os braços de suporte para os carregadores foram projetados utilizando tubos cilíndricos 1.1/4"x1/16"(31,8x1,59mm) permitindo o acoplamento nas longarinas do assento que são tubos cilíndricos 1.1/2"x1/8"(38,6mmx3,17mm). Os braços de suporte contam com uma alça para melhor acomodação postural dos mesmos caso exista diferença nos percentis dos carregadores e para o auxílio em declives ou aclives.

O braço de suporte traseiro disposto na figura 37 tem um comprimento total de 880mm, desse, 100mm é disposto para acoplar na longarina do assento, para um encaixe efetivo utiliza-se abraçadeira de blocagem na extremidade da longarina do assento.

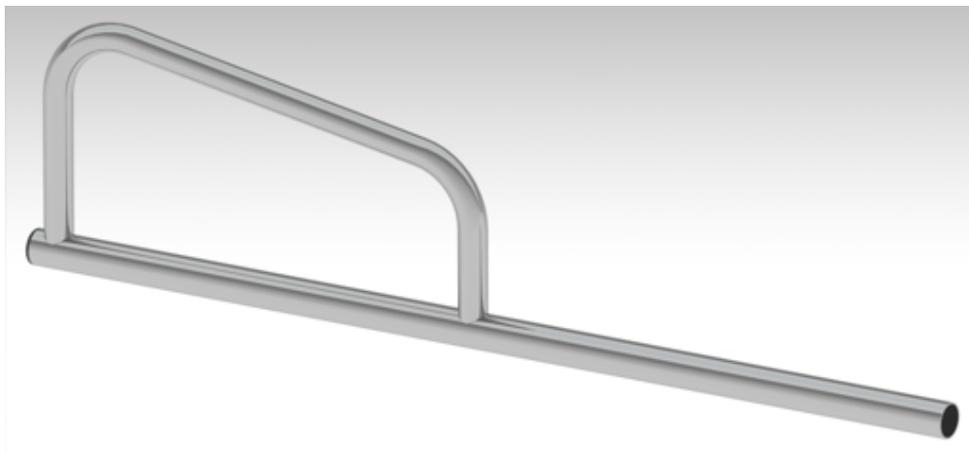


Figura 37 – Braço de suporte traseiro, autores

O braço de suporte dianteiro apresentado na figura 38 foi desenvolvido de maneira que possibilite a utilização da cadeira bastando um carregador, esse possui ajustes de inclinação e altura, de maneira a atender o intervalo de percentis facilitando a pegada por parte do carregador. Assim como o traseiro, 100mm é disposto para ser acoplado na longarina do assento, para um encaixe efetivo utiliza-se abraçadeira de blocagem na extremidade da longarina do assento.

As dimensões para o comprimento dos braços de suporte foram obtidas observando a movimentação deambular dos carregadores, se atentando aos limites estabelecidos pela catia quanto aos movimentos de flexão e extensão das pernas dos manequins, (45° na extensão da perna e 18° na flexão).

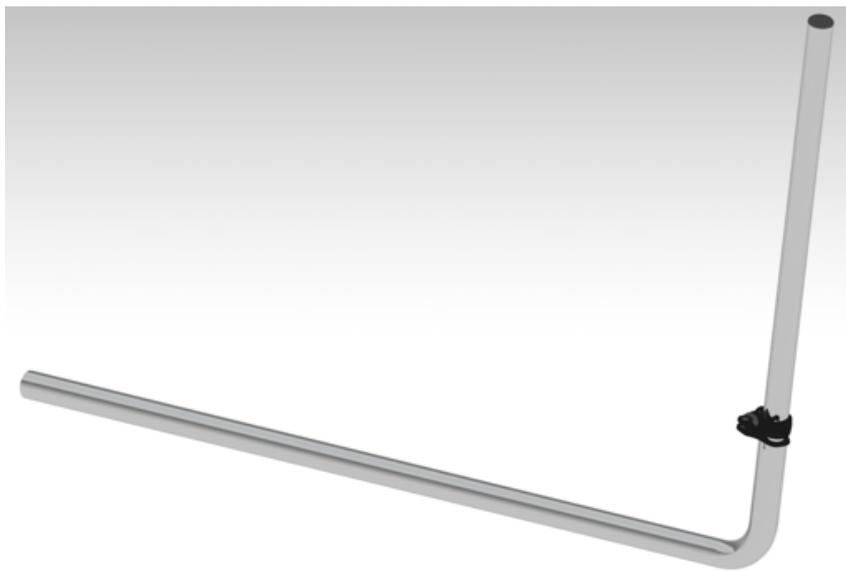


Figura 38 – Braço de suporte dianteiro, autores

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem podem ser visualizados no apêndice C.

4.3.8 Suporte Estático

Na estrutura do assento foram colocados 4 tubos de $1.1/8" \times 1/16"$ (3,17mm x 1,59mm) na posição perpendicular ao chão, para encaixe de 4 tubos de $1" \times 2\text{mm}$ (25,4mm x 2mm) para servir como braço de apoio estático para situações em que seja necessária o repouso da cadeira, servindo de auxílio para os carregadores. Os braços de apoio tem comprimento total de 1000mm e foram feitos conforme a figura 39.

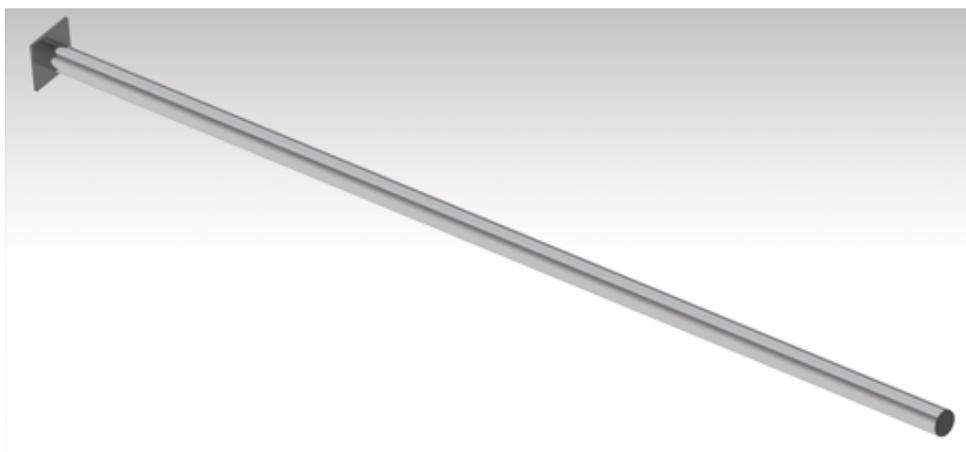


Figura 39 – Braço de apoio da cadeira (Suporte Estático), autores

Os desenhos técnicos de cada componente desse conjunto, bem como sua montagem podem ser visualizados no apêndice C.

4.3.9 Demais elementos

4.3.9.1 Pino de retenção

Os pinos de retenção permitem o ajuste rápido e simples de componentes móveis. Graças à grande seleção de diferentes modelos, eles podem ser usados em todas as áreas imagináveis. Os pinos de retenção impedem assim a alteração da posição de retenção devido a forças transversais (KIPP, 2023). Esses pinos de retenção são os elementos que permitem o travamento dos conjuntos deslizantes facilitando o ajuste ergonômico. Na cadeira de rodas são utilizados nos conjuntos: apoio de cabeça, apoio dos pés e apoio de braço. Esses podem ser visualizado na figura 40.

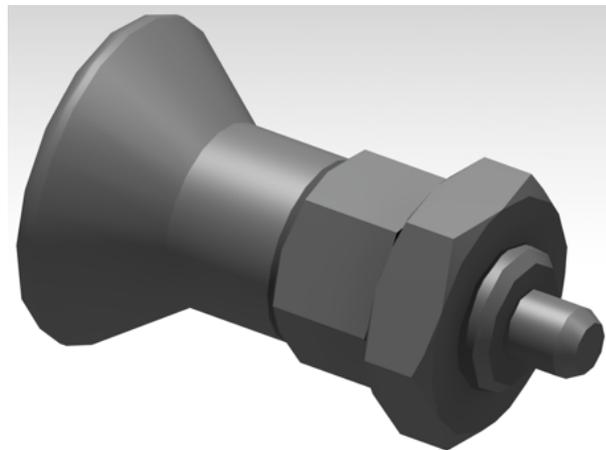
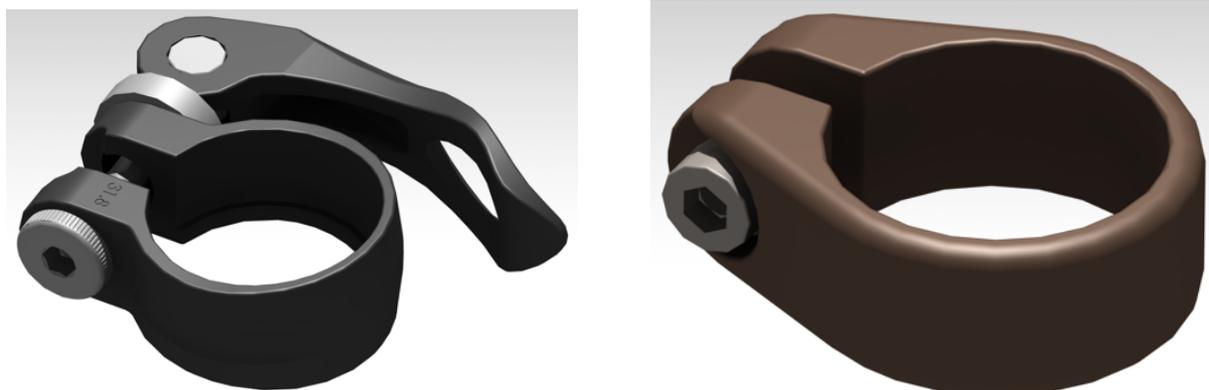


Figura 40 – Pino de retenção versão curta (K0631.6004), (KIPP, 2023)

4.3.9.2 Abraçadeiras

As abraçadeiras de blocagem ou de parafuso são itens de trava, utilizadas entre elementos deslizantes, permitindo com facilidade ajustes e regulagens para adequação aos diferentes percentis. Na cadeira de rodas são utilizados abraçadeiras de diâmetros 28,6mm, 31,8 mm e 38,1 mm para o travamento dos conjuntos: braço de suporte dianteiro tanto na profundidade quanto na altura, braços de suporte traseiro e braços de suporte estático. Essas podem ser visualizadas na figura 41.



(a) Abraçadeira de blocagem

(b) Abraçadeira de parafuso

Figura 41 – Abraçadeiras utilizadas, autores

4.3.9.3 Cinto de segurança

É utilizado um cinto de segurança de 3 pontos, esse é de extrema importância para a segurança do usuário, pois impede que em caso de colisões ou até mesmo com o próprio movimentar da cadeira, que o cadeirante seja arremessado em alguma direção, evitando a ocorrência de acidentes que podem ferir gravemente o usuário, buscando reduzir os riscos de ferimentos e lesões na cabeça, rosto, pescoço, coluna e demais membros. Esse pode ser visualizado na figura 42.



Figura 42 – Cinto de segurança 3 pontos, autores

4.4 Modelos 3D

A modelagem computacional ou modelagem 3D é um processo capaz de criar uma representação tridimensional de qualquer objeto, de humanos, animais de máquinas e equipamentos, esse processo é realizado a partir de softwares denominados CAD (*Computer Aided Design*), esses softwares utilizam recursos matemáticos para representar diversas formas geométricas, das mais simples às mais complexas (FERREIRA, 2007).

A modelagem 3D tem o objetivo de facilitar a realização de desenhos e a documentação de projetos. Permite conhecer as propriedades do objeto que será feito antes da realização da prototipagem, reduzindo os custos do projeto. Ademais, a visualização do projeto final fica mais clara e, com isso, evita-se realizar um projeto inteiro que não esteja em conformidade com a idealização e funcionalidade final (FERREIRA, 2007).

A figura 43 apresenta a cadeira de rodas para trilhas configurada para um cadeirante percentil 95% e para carregadores também percentil 95%. Todos os apoios foram ajustados conforme o percentil escolhido e o manequim inserido para a realização das análises ergonômicas apresentadas no tópico 4.5.



Figura 43 – Cadeira configurada para cadeirante e carregadores P95, autores

A figura 44 apresenta a cadeira de rodas para trilhas configurada para um cadeirante percentil 5% e para carregadores também percentil 5%. Todos os apoios foram ajustados conforme o percentil escolhido e o manequim inserido para a realização das análises ergonômicas apresentadas no tópico 4.5.



Figura 44 – Cadeira configurada para cadeirante e carregadores P05, autores

4.5 Análises Ergonômicas

Decidir qual instrumento de avaliação ergonômica empregar depende do contexto e objetivos da avaliação realizada. Ferramentas tradicionais e autônomas como podem ser empregadas quando existem necessidades específicas a serem tratadas ou se há dúvida quanto a postura, forças e limites (DUFFY, 2008).

O Catia possui a ferramenta *Human Activity Analysis*, onde é possível realizar diversas análises ergonômicas, sendo esse software referencia nesse tipo de análise. Dentre diversas ferramentas as mais apropriadas para o projeto são: *RULA Analysis*, *Push/Pull Analysis* e *Biomechanics Single Action Analysis*.

No capítulo 2, nos tópicos 2.2.8, 2.2.9 e 2.2.10 há a explicação das ferramentas bem como sua origem. Já neste tópico explica-se como as ferramentas devem ser configuradas e depois as análises dos resultados.

As análises foram divididas em duas partes principais, o cadeirante e o/os carregadores. Para as análises dos cadeirantes não é necessário a utilização de ferramenta complementar devido a posição do manequim e os apoios ergonômicos da cadeira, já para os carregadores é necessário simular as cargas que precisam compensar ao empurrar e segurar a cadeira, para isso é utilizado uma ferramenta que simula uma carga de direção e magnitude configuradas, é a ferramenta *Load*.

Para a função de carregar o conjunto suspensão suporta toda a carga carregada já que o centro de gravidade do manequim e da cadeira tem força peso aplicada diretamente sobre o eixo da roda, o carregador trabalha somente no controle da cadeira, não carregando peso algum, em momentos de inclinação, há uma carga que deve ser suportada pelo carregador, a partir de estimativas foi adicionado uma carga (*Load*) de 4kg

Para a função empurrar/puxar, existe dois cenários possíveis, quando o passeio é realizado somente com um carregador e quando é realizado com dois. Para o primeiro cenário toda a força é exercida por um único carregador, respectivamente quando com dois, há uma divisão da força. Sendo assim somente as análises para o primeiro cenário (um só carregador) são necessárias já que englobam o segundo cenário.

Baseando-se em cálculos de resistência a rolagem e força de tração é possível determinar uma estimativa da força necessária para empurrar qualquer objeto com rodas partindo do estático e para mantê-lo em movimento. Para os cálculos usamos a massa do conjunto cadeirante/cadeira para o cadeirante utilizamos a massa do homem P95, por se tratar do maior peso (115,9kg), para a cadeira utilizamos a massa quando está com todos os componentes, mesmo aqueles que há a possibilidade de serem retirados (critério do cadeirante e carregadores), para assim encontramos as forças necessárias para o deslocamento da cadeira quando mais pesada. Utilizamos a aceleração da gravidade ($9,78 \text{ m/s}^2$) (UFMG, 2023), os coeficientes de atrito estático e dinâmico (μ), como esses variam de acordo com o material do objeto e da superfície, existem diversas configurações, logo diversos valores.

De maneira a encontrar a configuração mais difícil para esse conjunto foi utilizado os maiores coeficientes (μ), para borracha sobre cimento, respectivamente 1 e 0,85 (CTB, 2032), (REIS et al., 2020), (REMPEL; ALVES, 2006) e propriedades geométricas da cadeira (altura do CG, distância entre o eixo de tração e o CG e o entre eixos do veículo). Foi encontrado os respectivos valores:

- Força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N
- Força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N

Calculando a resultante entre a força peso que o cadeirante suporta em alguns momentos com a força necessária para empurrar a cadeira encontramos:

- Carga resultante para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 12,5kg com vetor da força a 21°.
- Carga resultante para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 6,4kg com vetor da força a 43°.

Com as direções e magnitudes das cargas encontradas, podemos configurar a ferramenta *Load*, de acordo.

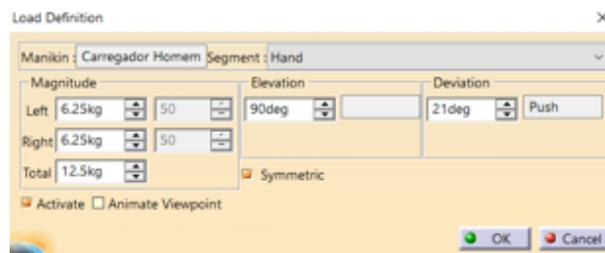


Figura 45 – *Load* configurada com carga para romper o atrito estático, autores

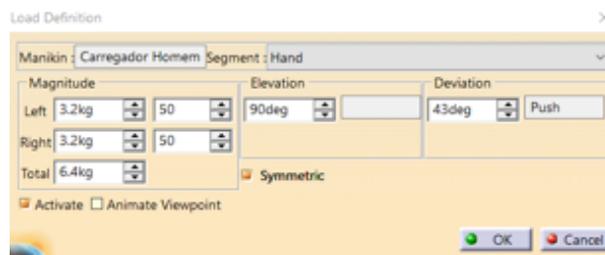


Figura 46 – *Load* configurada com carga para romper o atrito dinâmico, autores

Nas figuras 45 e 46 podemos ver a ferramenta configurada com a carga necessária para romper o atrito estático e o atrito dinâmico respectivamente.

4.5.1 *Push/Pull*

A ferramenta *Push/Pull Analysis* consegue analisar e indicar a força segura para "empurrar/puxar" comparando os resultados com dados reais obtidos por (SNOOK; CIRIELLO, 1991). Na opção *Human Activity Analysis* há diferentes parâmetros a ser configurado, são eles:

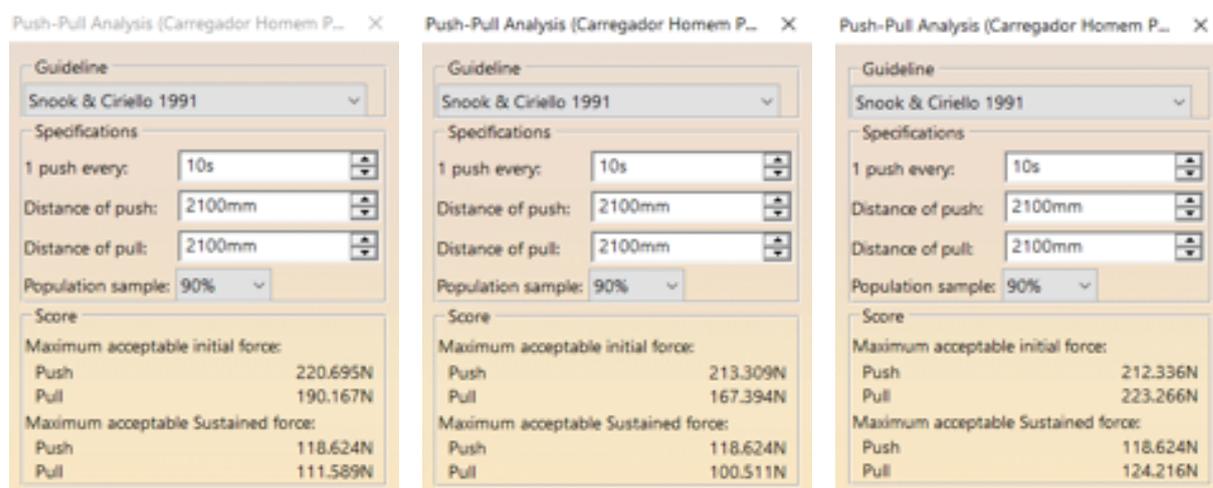
- *Guideline* que refere-se a diretriz para realizar a análise. Nesta análise, apenas uma está disponível sendo a (SNOOK; CIRIELLO, 1991);
- *1 push every*, relacionado à frequência de movimento que o corpo irá exercer;
- *Distance of push* refere-se a distância do empurrar realizada dentro do período de tempo setado;

- *Distance of pull* refere-se a distância do puxar realizada dentro do período de tempo setado;
- *Population sample* refere-se ao percentis populacionais fornecidos: 90%, 75% e 50%. Esses representam a porcentagem da população capaz de realizar a tarefa com segurança. O percentil selecionado leva em consideração o sexo do manequim.

Imediatamente após o preenchimento dos campos de especificação, a ferramenta gera um diagrama indicando resultados divididos em *Maximum acceptable initial force* que expressa a força máxima necessária do carregador para colocar o objeto em movimento e *Maximum acceptable sustained force* para manter o objeto em movimento.

As forças iniciais são necessárias para iniciar o movimento do objeto. À medida que o objeto começa a se mover, essas forças diminuirão para um nível relativamente constante (forças sustentadas). No tópico 2.2.9 há a explicação detalhada sobre a ferramenta.

Esta ferramenta de análise ergonômica também pode quantificar o nível de conforto da postura de trabalho enquanto os trabalhadores executam suas tarefas usando o *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* (HASHIM et al., 2014), que será abordado no tópico 4.5.2.

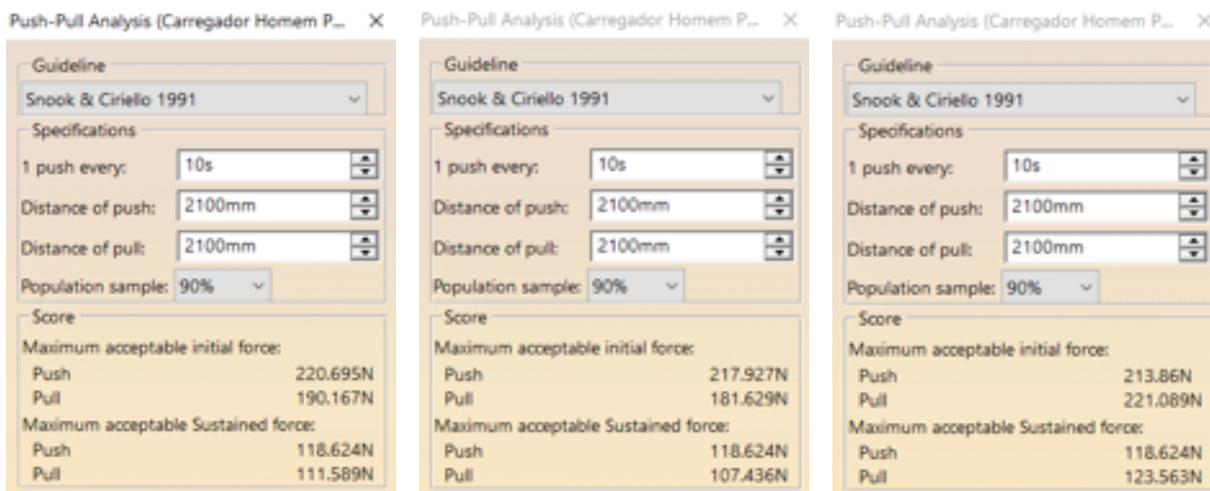


(a) Carregador dianteiro (pegada neutra) (b) Carregador traseiro (pegada supinada) (c) Carregador traseiro (braço de suporte)

Figura 47 – Análise *Push/Pull* do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, diferentes configurações, autores

Na figura 47 é possível observar os resultados *Maximum acceptable initial force* que expressa a força máxima necessária do carregador para colocar o objeto em movimento e *Maximum acceptable sustained force* para manter o objeto em movimento, para um carregador homem P95 com cadeira configurada ao seu percentil com diferentes configurações do carregador dianteiro (pegada neutra) e do traseiro (pegada supinada e pegada

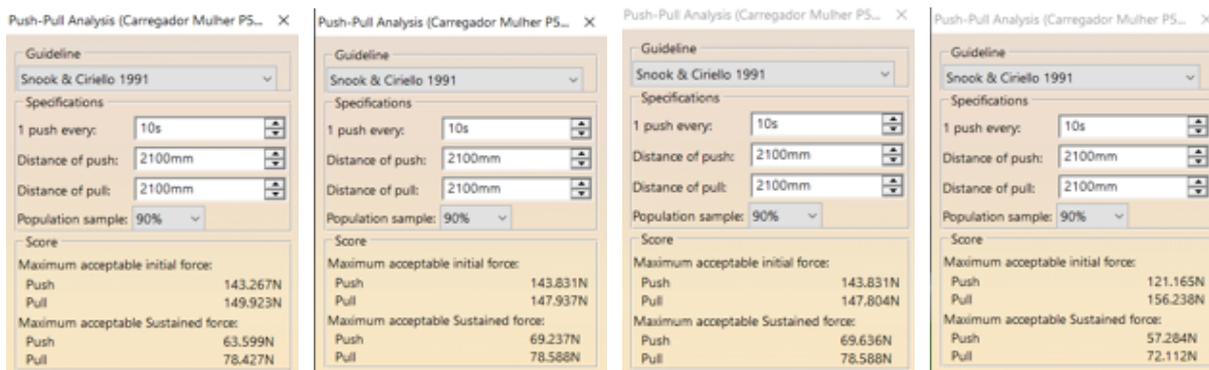
neutra no braço de suporte (opcional)) respectivamente as figuras 47a, 47b e 50c. Todas as forças apresentadas na análise são superiores as forças calculadas (força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N e força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N) na casa de 90%, significando que o carregador P95 pode facilmente utilizar a cadeira.



(a) Carregador dianteiro (pegada neutra) (b) Carregador Traseiro (pegada supinada) (c) Carregador traseiro (braço de suporte)

Figura 48 – Análise *Push/Pull* do carregador homem P95 para cadeira configurada para o percentil P5, diferente configurações, autores

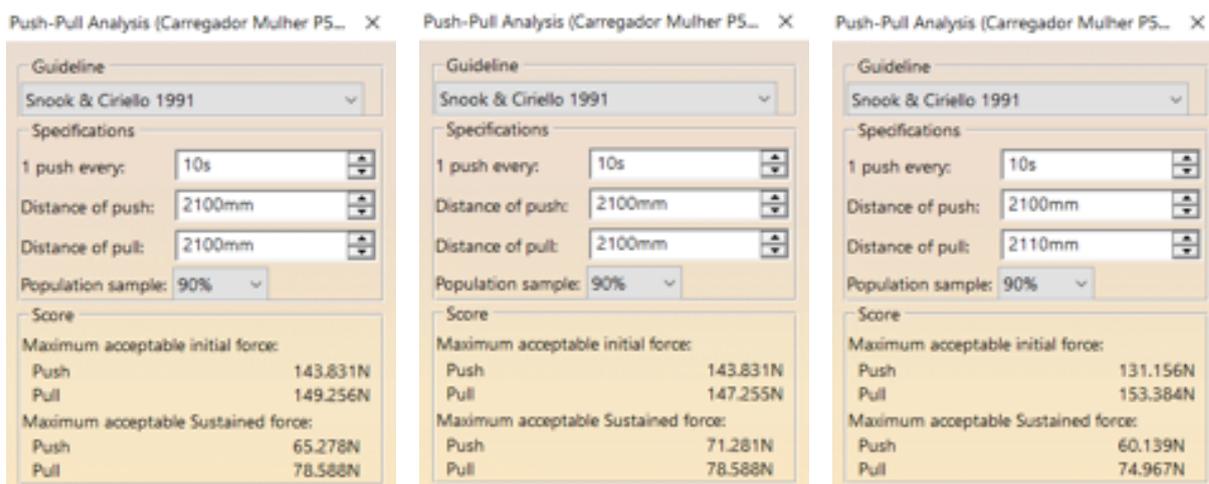
Na figura 48 é possível observar os mesmos resultados para um carregador homem P95 com cadeira configurada para o percentil P5 com diferentes configurações do carregador dianteiro (pegada neutra) e do traseiro (pegada supinada e pegada neutra no braço de suporte (opcional)) respectivamente as figuras 48a, 48b e 48c. Todas as forças apresentadas na análise são superiores as forças calculadas (força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N e força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N) na casa de 90%, significando que o carregador P95 pode facilmente utilizar a cadeira.



(a) Carregadora dianteira (pegada neutra) (b) Carregadora traseira (pegada supinada) (c) Carregadora traseira (pegada neutra) (d) Carregadora traseira (braço de suporte)

Figura 49 – Análise *Push/Pull* da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil, diferente configurações, autores

Na figura 49 é possível observar os mesmos resultados para uma carregadora mulher P5 com cadeira configurada ao seu percentil, com diferentes configurações da carregadora dianteira (pegada neutra) e da traseira (pegada supinada, pegada neutra e pegada neutra no braço de suporte (opcional)) respectivamente as figuras 49a, 49b, 49c, e 49d. Todas as forças apresentadas na análise são superiores as forças calculadas (força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N e força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N) na casa de 20%, significando que o carregador P95 pode facilmente utilizar a cadeira.



(a) Carregadora dianteira (pegada neutra) (b) Carregadora traseira (pegada supinada) (c) Carregadora traseira (braço de suporte)

Figura 50 – Análise *Push/Pull* da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para o percentil P95, diferente configurações, autores

Na figura 50 é possível observar os mesmos resultados para uma carregadora mulher P5 com cadeira configurada para o percentil P95, com diferentes configurações da

carregadora dianteira (pegada neutra) e da traseira (pegada supinada e pegada neutra no braço de suporte (opcional)) respectivamente as figuras 50a, 50b e 50c. Todas as forças apresentadas na análise são superiores as forças calculadas (força para romper o atrito estático (iniciar o movimento) = 113,98N e força para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento) = 48,45N) na casa de 20%, significando que o carregadora P5 pode facilmente utilizar a cadeira.

4.5.2 RULA — *Rapid Upper Limb Assessment*

A ferramenta *RULA Analysis* consegue analisar e indicar o nível risco musculoesquelético de cada membro do corpo do manequim na posição em que ele foi inserido. Na opção *Human Activity Analysis* há diferentes parâmetros a ser configurado, são eles:

- *Side* que refere-se ao lado do manequim analisado (*left* e *right*, esquerda e direita respectivamente);
- *Posture*, relacionado à frequência de movimento que o corpo irá exercer, sendo elas *Static* (estática), *Intermitent* (intermitente) e *Repeated* (repetitivo);
- A opção *Arm supported/Person leaning* dita se o manequim está com os braços apoiados ou o manequim está inclinado;
- A opção *Arms are working across midline* dita se o manequim esta trabalhando com os braços acima da linha media;
- A opção *Check balance* pode ser marcada para verificar o equilíbrio do manequim;
- A opção *Load* indica o carregamento que o manequim está suportando.

Depois de todos os parâmetros configurados a ferramenta gera um diagrama indicando pontuações que permitem a avaliação da exposição aos fatores de risco (número de 1 a 6 e quadrado colorido de verde a vermelho). No tópico 2.2.8 há a explicação detalhada sobre as pontuações e como são encontradas.

4.5.2.1 Cadeirantes

Para os manequins cadeirantes, tanto o homem com percentil 95% e a mulher com percentil 5% os parâmetros foram configurados para uma frequência de movimento estática, dado que os cadeirantes se encontram sentados e se movimentam muito pouco. A opção *Arm supported/Person leaning* foi marcada em função do manequim poder apoiar o antebraço no apoio de braço e como este possui ajuste de altura, atende ao dois percentis (P95 e P5) analisados. A opção *check balance* foi marcada verificando assim a participação

do equilíbrio do manequim no análise postural. O manequim não carrega nada consigo, logo não há carregamento adicional.

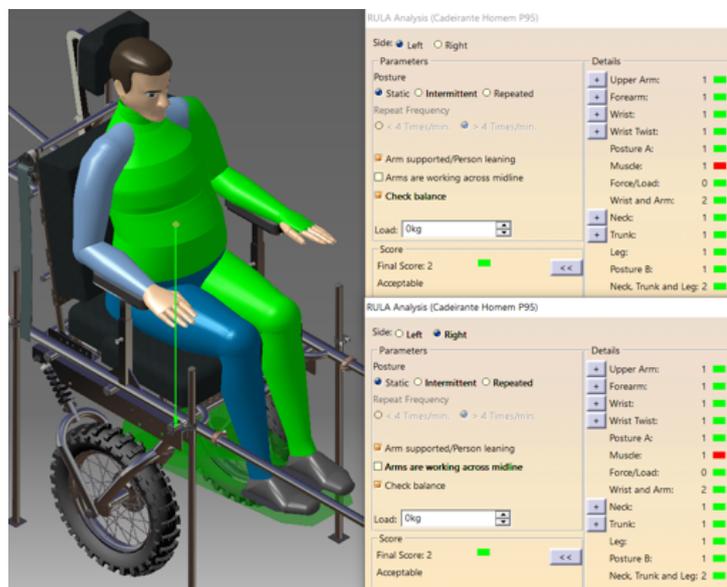


Figura 51 – Análise RULA do cadeirante homem P95, autores

Na figura 51 podemos observar a análise RULA para um cadeirante homem de percentil 95%. Analisando os resultados obtidos pela ferramenta, o manequim está em postura aceitável (*Acceptable*) com pontuação final 2 em ambos os lados (*left e right*), isso devido aos conjuntos punho e braço (*Wrist and Arm*) e pescoço, tronco e perna (*Neck, Trunk and Leg*), todos os outros membros tem pontuação 1.

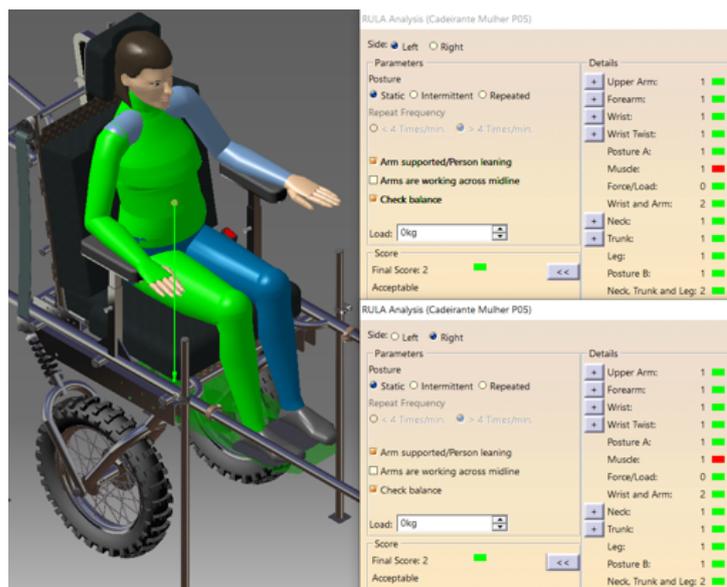


Figura 52 – Análise RULA da cadeirante mulher P5, autores

Na figura 52 podemos observar a análise RULA para uma cadeirante mulher de percentil 5%. Analisando os resultados obtidos pela ferramenta, a manequim está em

postura aceitável (*Acceptable*) com pontuação final 2 em ambos os lados (*left e righth*), isso devido aos conjuntos punho e braço (*Wrist and Arm*) e pescoço, tronco e perna (*Neck, Trunk and Leg*), todos os outros membros tem pontuação 1.

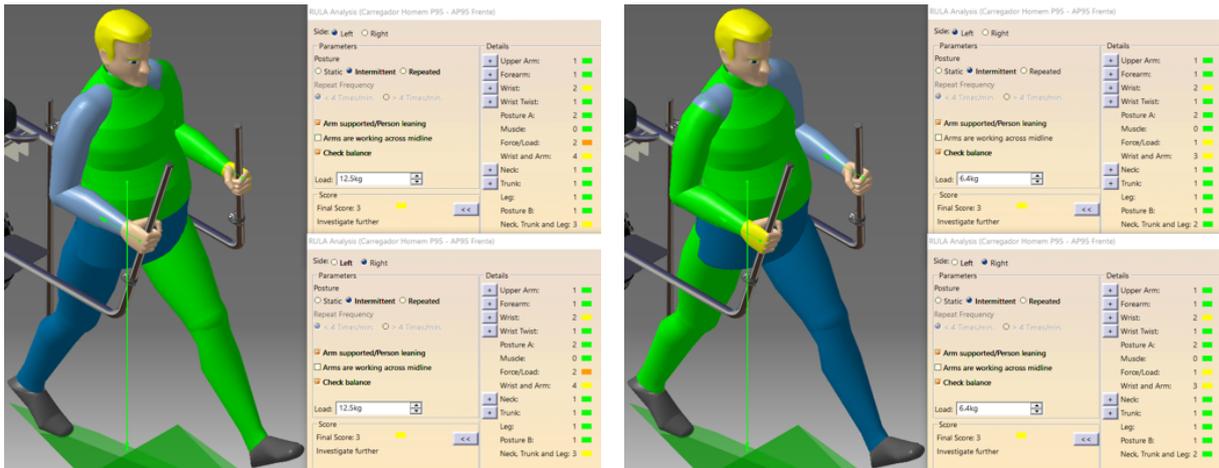
4.5.2.2 Carregadores

Para os manequins carregadores, tanto o homem com percentil 95% e a mulher com percentil 5% os parâmetros foram configurados para uma frequência de movimento intermitente, dado que os cadeirantes se movimentam (deambulação). A opção *check balance* foi marcada verificando assim a participação do equilíbrio do manequim no análise postural. Devido as cargas para segurar e empurrar a cadeira, previamente calculadas, na opção *Load* foi aplicado um carregamento adicional de 12,5kg para romper o atrito estático (iniciar o movimento) e de 6,4kg para romper o atrito dinâmico (continuar o movimento), similares as cargas configuradas na ferramenta *Load*.

A cadeira de rodas possui sistema de ajuste no braço de suporte da suspensão que permite a variação da altura da cadeira abrangendo o intervalo de percentis analisados (P5 ao P95), a cadeira foi desenvolvida para que opera-se apenas com um carregado, mas com possibilidade de dois carregadores (um na parte dianteiro e outro na parte traseira), sendo assim haverá momentos em que os carregadores possuem percentis diferentes e essa situação foi analisada também. Seguindo a medida antropométrica altura das articulações dos dedos (tabela 5) tem-se uma altura mínima de 755mm e 866mm equivalente aos percentis P5 e P95 respectivamente.

4.5.2.2.1 Carregadores Frontais

O braço de suporte dianteiro foi desenvolvido de maneira que possibilite ajustes de inclinação e altura.

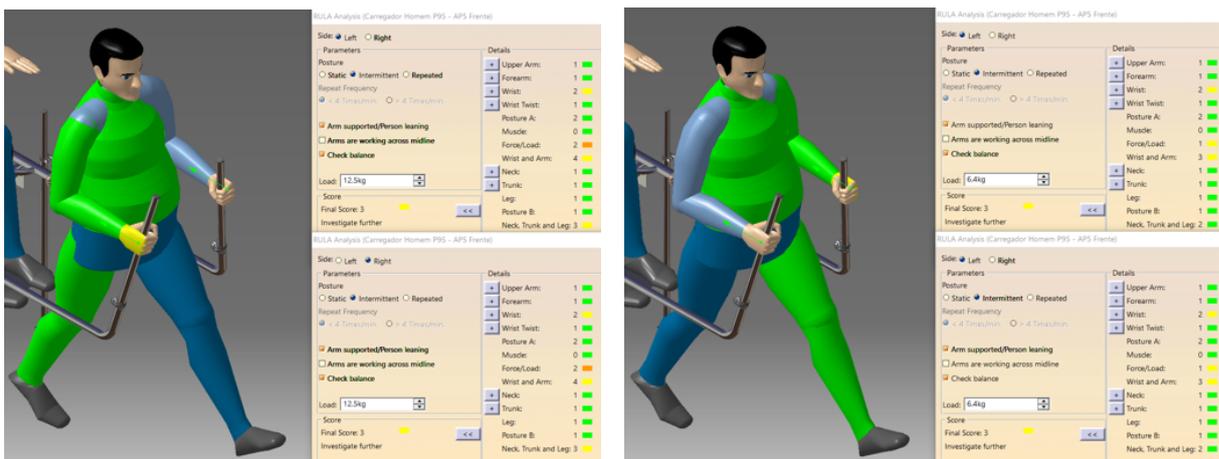


(a) Relacionada ao atrito estático

(b) Relacionado ao atrito dinâmico

Figura 53 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, autores

A figura 53 apresenta os ensaios de um carregador homem de percentil 95% para a cadeira configurada ao seu percentil com carregamento necessário para romper o atrito estático e o atrito dinâmico respectivamente. O manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left* e *right*) em ambas as configurações, isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 4 na análise relacionada ao atrito estático (53a) e 0 a 3 na análise relacionada ao atrito dinâmico (53b) sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*) o principal agravante para as duas configurações.



(a) Relacionada ao atrito estático

(b) Relacionado ao atrito dinâmico

Figura 54 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada para percentil P5, autores

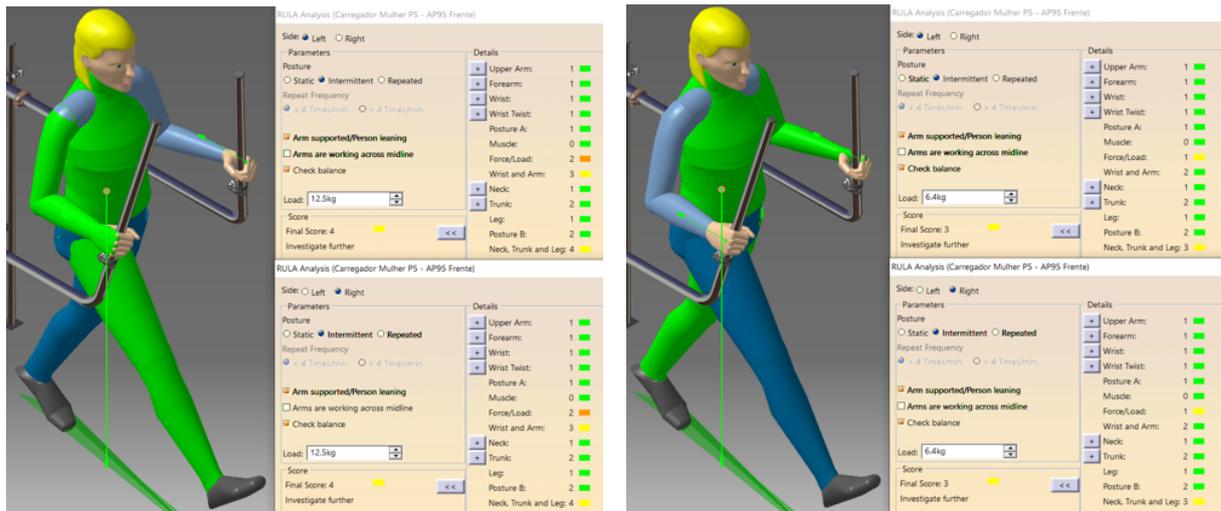
A figura 54 apresenta o ensaio de um carregador homem de percentil 95% para a cadeira configurada para um percentil 5% com carregamento necessário para romper o atrito estático e o atrito dinâmico respectivamente. O manequim está em postura que

requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left* e *right*) em ambas as configurações, isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 4 na análise relacionada ao atrito estático (54a) e 0 a 3 na análise relacionada ao atrito dinâmico (54b) sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*) o principal agravante para as duas configurações.



Figura 55 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para o seu percentil, autores

A figura 55 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% para a cadeira configurada ao seu percentil com carregamento necessário para romper o atrito estático e o atrito dinâmico respectivamente. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 4 em ambos os lados (*left* e *right*) para a configuração relacionada ao atrito estático e pontuação final 3 para a configuração relacionada ao atrito dinâmico, isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 4 na análise relacionada ao atrito estático (55a) e 0 a 3 na análise relacionada ao atrito dinâmico (55b) sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*) e pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) os principais agravantes para as duas configurações.



(a) Relacionada ao atrito estático

(b) Relacionado ao atrito dinâmico

Figura 56 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para percentil P95, autores

A figura 56 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% para a cadeira configurada para um percentil 95% com carregamento necessário para romper o atrito estático e o atrito dinâmico respectivamente. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 4 em ambos os lados (*left* e *right*) para a configuração relacionada ao atrito estático e pontuação final 3 para a configuração relacionada ao atrito dinâmico, isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 4 na análise relacionada ao atrito estático (56a) e 0 a 3 na análise relacionada ao atrito dinâmico (56b) sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*) e pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) os principais agravantes para as duas configurações.

Nota-se que a diferença de altura tanto da cadeira quanto do manequim não impõem variação negativa da postura do manequim, isso da-se ao formato do braço de suporte dianteiro, que possui ajustes de inclinação e altura, que não impelem na necessidade do carregador se curvar, mantendo a postura ereta, ombros recolhidos e flexão aceitável do braço, antebraço e punho.

4.5.2.2.2 Carregadores Traseiros

De forma a deixar o carregador traseiro mais confortável, foi desenvolvido dois tipos de braço de suporte, um acoplado a estrutura do encosto de dorsal, na altura do tórax dos manequins, esse facilita o ato de empurrar, o outro hastes similares aos braços de suporte dianteiro.

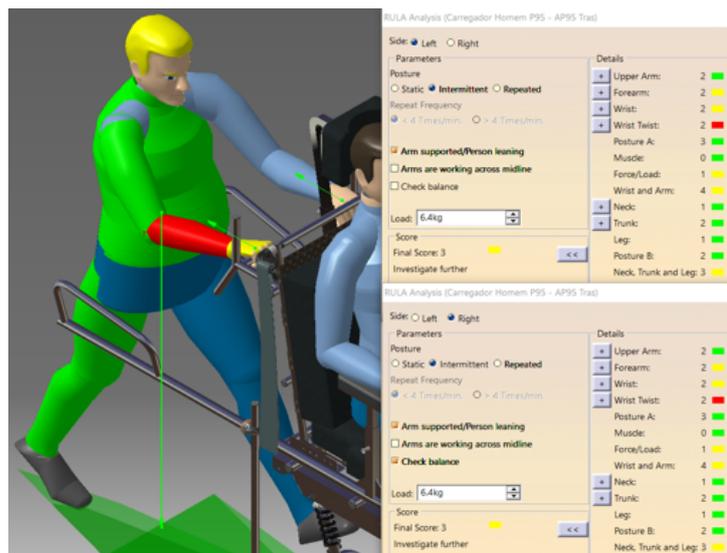


Figura 57 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada ao seu percentil, autores

A figura 57 apresenta o ensaio de um carregador homem de percentil 95% para a cadeira configurada ao seu percentil. O manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left* e *right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 3, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*) e pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) os principais agravantes.

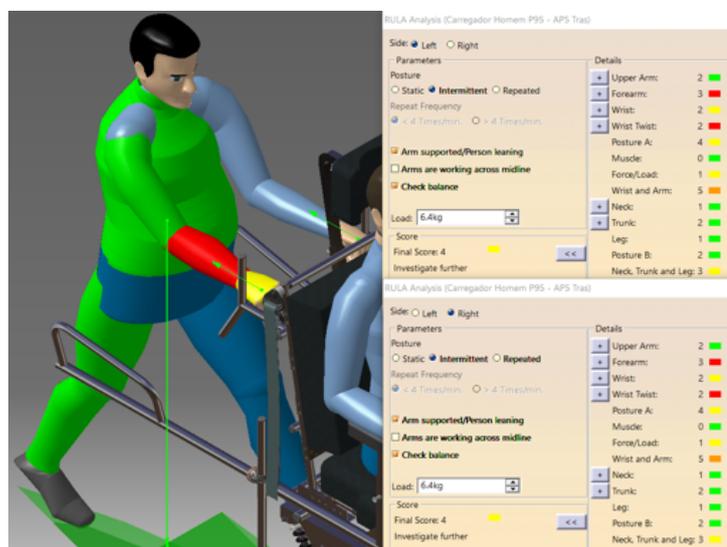


Figura 58 – Análise RULA do carregador homem P95 para cadeira configurada para o percentil P5, autores

A figura 58 apresenta o ensaio de um carregador homem de percentil 95% para a cadeira configurada para percentil 5%. O manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 4 em ambos os lados (*left* e *right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 5, sendo a torção de pulso

(*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) antebraço (*Forearm*) e a postura A (*Posture A*) os principais agravantes. Nessa análise diversos segmentos corporais apresentam uma pontuação elevada, uma causa valida é a diferença de altura, que impõem no cadeirante a necessidade de abaixar os braços afetando ombro, antebraço e a postura dos membros superiores como um todo.

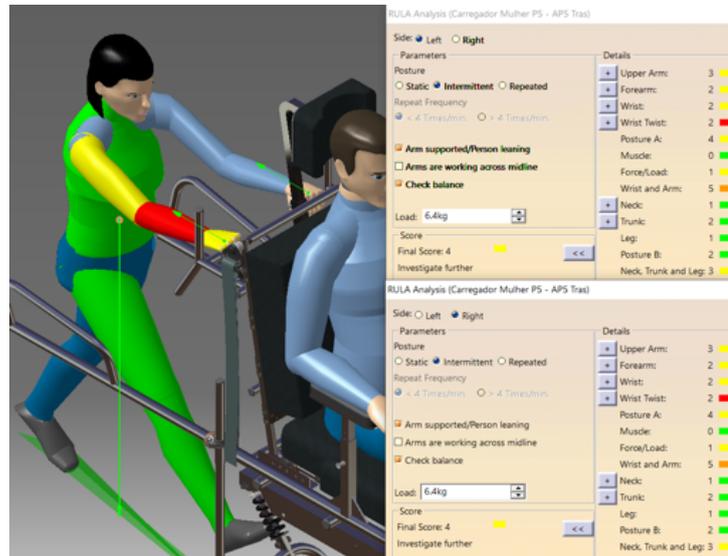


Figura 59 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil, autores

A figura 59 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% para a cadeira configurada ao seu percentil. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 4 em ambos os lados (*left e righth*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 5, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) antebraço (*Forearm*) e a postura A (*Posture A*) os principais agravantes. Nessa análise diversos segmentos corporais apresentam uma pontuação elevada, uma causa valida é a diferença de altura, que impõem no cadeirante a necessidade de levantar os braços afetando ombro, antebraço e a postura dos membros superiores como um todo.

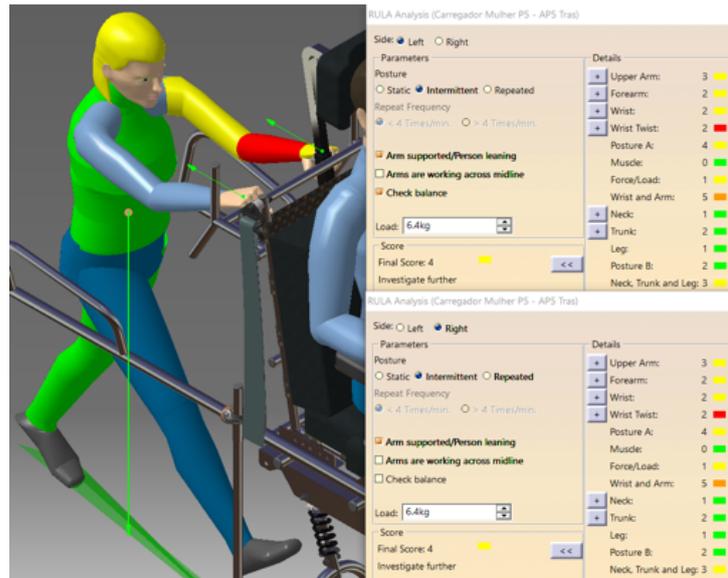


Figura 60 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada para percentil P95, autores

A figura 60 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% para a cadeira configurada para um percentil 95%. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 4 em ambos os lados (*left* e *right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 5, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) antebraço (*Forearm*) e a postura A (*Posture A*) os principais agravantes. Nessa análise diversos segmentos corporais apresentam uma pontuação elevada, uma causa válida é a diferença de altura, que impõem no cadeirante a necessidade de levantar ainda mais os braços afetando ombro, antebraço e a postura dos membros superiores como um todo.

Nota-se que nas quatro análises acima a postura tem pontuação final 4 em ambos os lados (*left* e *right*) e requer uma investigação (*Investigate Further*), um fator comum em todas as análises é a torção de pulso (*Wrist Twist*). Para corrigir, o braço de suporte traseiro possui braços laterais onde o manequim pode fazer uma pegada neutra diminuindo assim a torção do pulso, o que pode ser visto na figura 61.

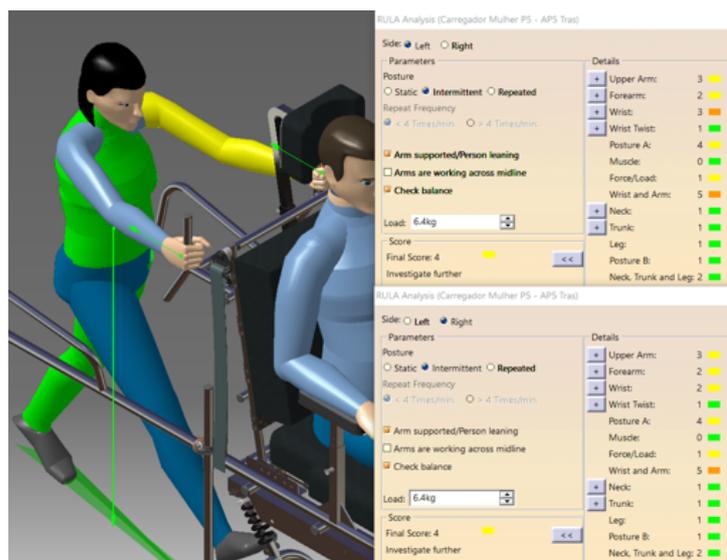


Figura 61 – Análise RULA da carregadora mulher P5 para cadeira configurada ao seu percentil utilizando pegada neutra, autores

As análises a seguir tratam dos manequins utilizando a segunda opção de braço de suporte traseiro.

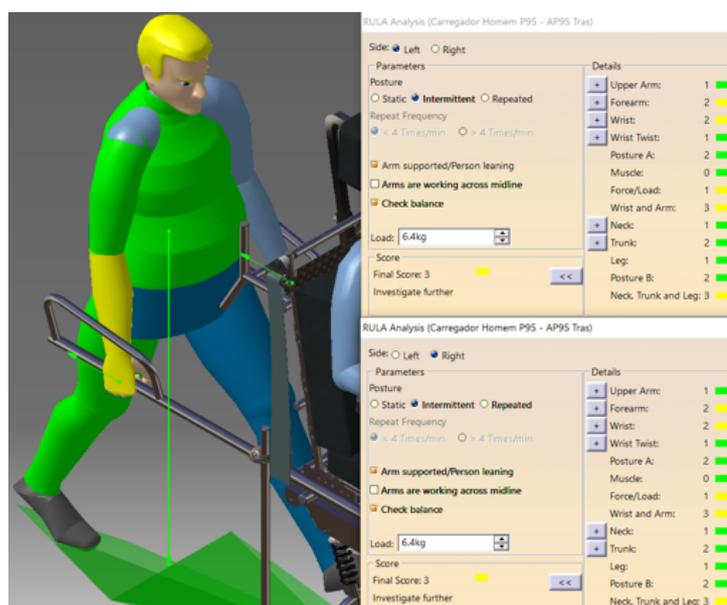


Figura 62 – Análise RULA do carregador homem P95 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil, autores

A figura 62 apresenta o ensaio de um carregador homem de percentil 95% utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil. O manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left e right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 3, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) os principais agravantes.

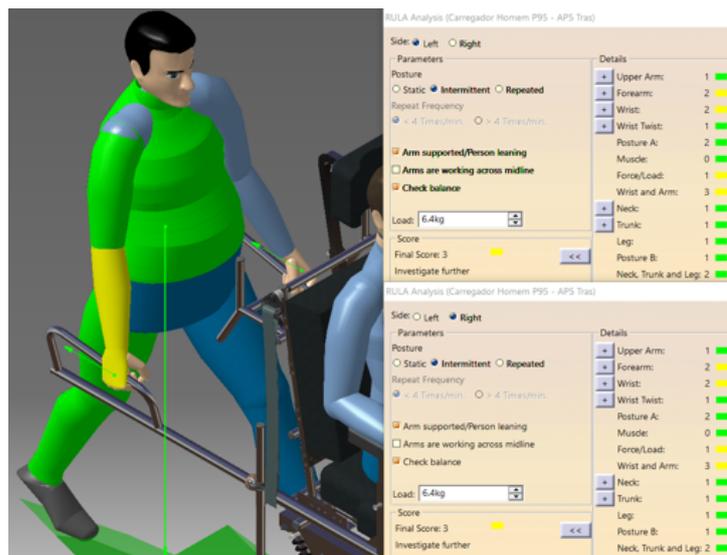


Figura 63 – Análise RULA do carregador homem P95 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil P5, autores

A figura 63 apresenta o ensaio de um carregador homem de percentil 95% utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil 5%. O manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left* e *right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 3, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*) o principal agravante.

Nota-se que a diferença de altura da cadeira não impõem variação negativa da postura do manequim, isso da-se ao formato do braço de suporte traseiro, que possui uma alça facilitando a pegada do carregador sem que se curve, mantendo a postura ereta, ombros recolhidos e flexão aceitável do braço, antebraço e punho, configurando uma postura correta e confortável.

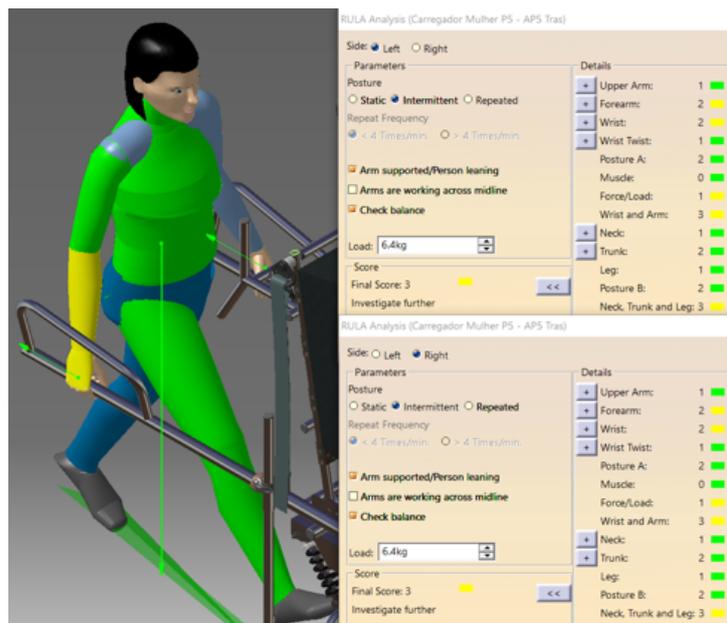


Figura 64 – Análise RULA da carregadora mulher P5 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil, autores

A figura 64 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% utilizando o braço de suporte da cadeira configurada ao seu percentil. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 3 em ambos os lados (*left e right*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 3, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) os principais agravantes.

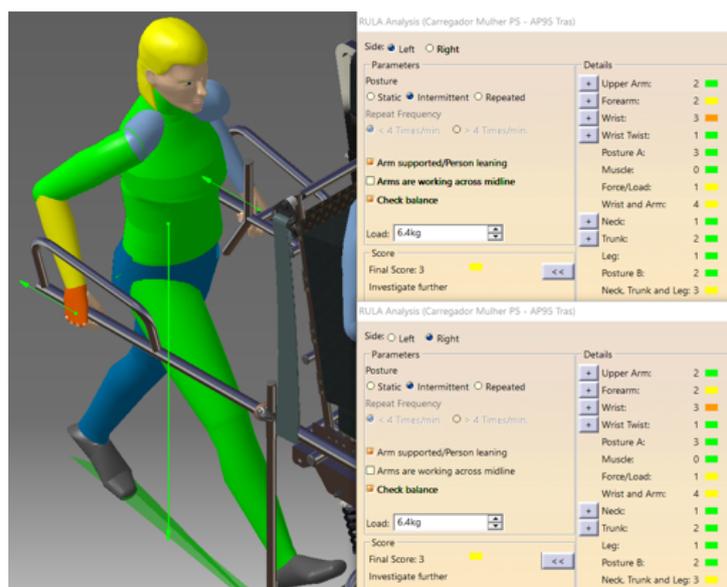


Figura 65 – Análise RULA da carregadora mulher P5 utilizando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil P95, autores

A figura 65 apresenta o ensaio de uma carregadora mulher de percentil 5% utili-

zando o braço de suporte da cadeira configurada para o percentil 95%. A manequim está em postura que requer uma investigação (*Investigate further*) com pontuação final 4 em ambos os lados (*left e righth*), isso devido a pontuação de cada membro variar entre 0 e 5, sendo a torção de pulso (*Wrist Twist*), pescoço, tronco e pernas (*Neck, Trunk and Leg*) antebraço (*Forearm*) e a postura A (*Posture A*) os principais agravantes. Isso devido a necessidade da carregadora rotacionar os ombros, flexionar antebraço e punho para alcançar o braço de suporte, os membros citados possuem as pontuações mais elevadas da análise. Essas alterações mesmo que pequenas impelem desconforto nos membros, logo permanecer muito tempo nessa posição pode machucar o carregador. A análise comprova a importância do ajuste de altura da cadeira feita para adequar diferentes percentis de carregadores.

De maneira geral a partir das análises RULA é possível verificar que os ajustes ergonômicos da cadeira tanto para os cadeirantes quanto para os carregadores é de suma importância e relevância, pois de nada adianta o convívio com a natureza se os usuários não estão confortáveis. Essa ferramenta se mostrou de extrema valia para a verificação desse conforto. Um passo importante em sequência nessa verificação seria a criação de um *Mockup* e a realização de testes com os usuários para a verificação dos ensaios computacionais e adequação posterior da estrutura.

4.5.3 *Biomechanics Single Action*

A ferramenta *Biomechanics Single Action Analysis* consegue medir os dados biomecânicos de um trabalhador em uma determinada postura, calculando e gerando informações como as cargas da coluna lombar (força abdominal, pressão abdominal, movimentos do corpo) e as forças e momentos nas articulações do manequim. Essa opção não necessita de configuração de parâmetros, essa leva em consideração os as configurações do manequim, postura e cargas aplicadas. No tópico 2.2.10 há a explicação detalha da ferramenta.

Como as forças (cargas) atuantes nas mãos do manequim são levadas em consideração na análise biomecânica (carga de carregar, empurrar, levantar/abaixar ou puxar, dependendo do cenário), essa ferramenta é utilizada somente para os carregadores, para duas funções distintas mas que são trabalhadas juntas, empurrar/puxar e carregar.

Podemos verificar a partir dessas análises se os cadeirantes e carregadores tem seus valores de compressão e cisalhamento articular abaixo dos limites recomendados pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos (National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH) e pela Universidade de Waterloo (Universidade Pública de Pesquisa no Canadá), respectivamente 3433 N m² (compressão articular) e 500N m² (cisalhamento articular) (CATIADOC, 2022).

Tabela 7 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos cadeirantes, autores

Valores de compressão e cisalhamento articular		
Cadeirantes	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
P5	1212	89 Posterior
P95	417	39 Posterior

Os valores representados na tabela 7 podem ser visualizados figura 66.

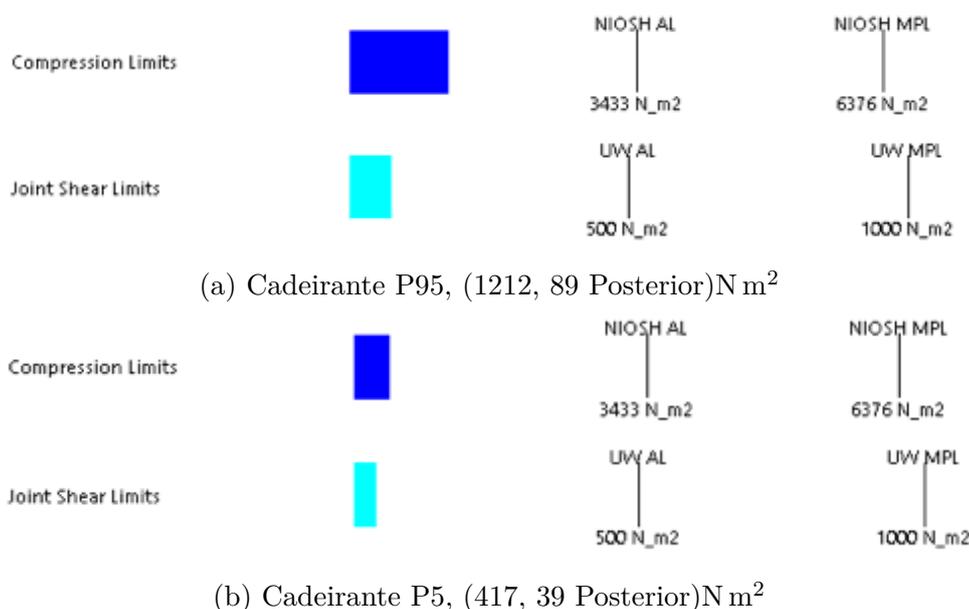


Figura 66 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos cadeirantes, autores

Verifica-se que os valores apresentados na tabela 7 e representados na figura 66 são inferiores aos limites aceitáveis.

Tabela 8 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos carregadores dianteiros relacionados ao atrito estático, autores

Valores de compressão e cisalhamento articular		
Carregadores	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
Carregador P95 para cadeira P5	875	136 Posterior
Carregador P95 para cadeira P95	943	130 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5	357	126 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95	365	125 Posterior

Tabela 9 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos carregadores dianteiros relacionados ao atrito dinâmico, autores

Valores de compressão e cisalhamento articular		
Carregadores	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
Carregador P95 para cadeira P5	814	81 Posterior
Carregador P95 para cadeira P95	882	75 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5	332	68 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95	433	60 Posterior

Os valores representados nas tabelas 8 e 9 podem ser visualizados nas figuras 67, 68, 69 e 70, respectivamente.

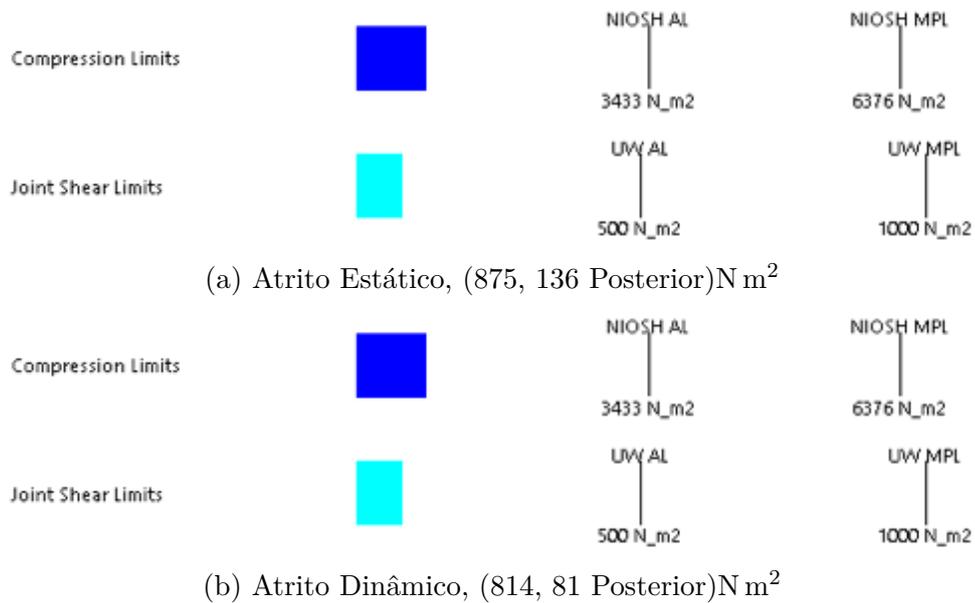
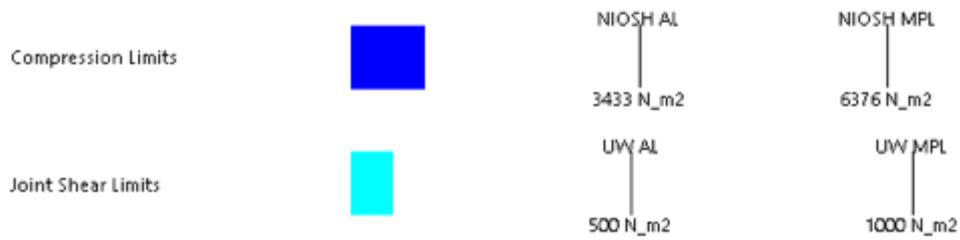
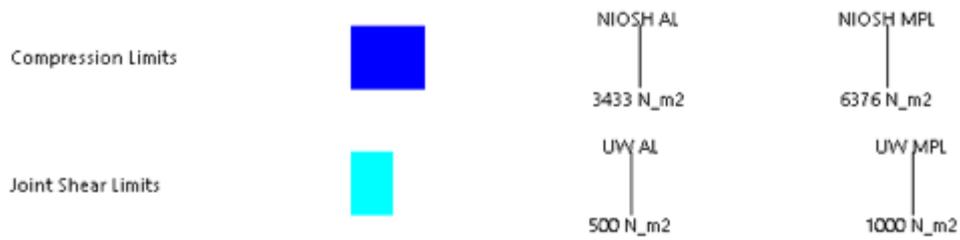


Figura 67 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador dianteiro P95 para cadeira P5, diferentes configurações, autores

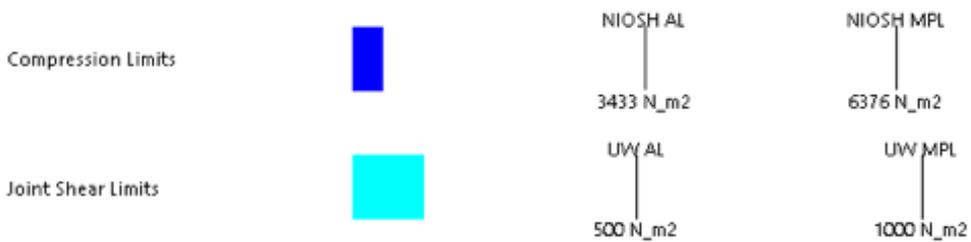


(a) Atrito Estático, (943, 130 Posterior)N m²

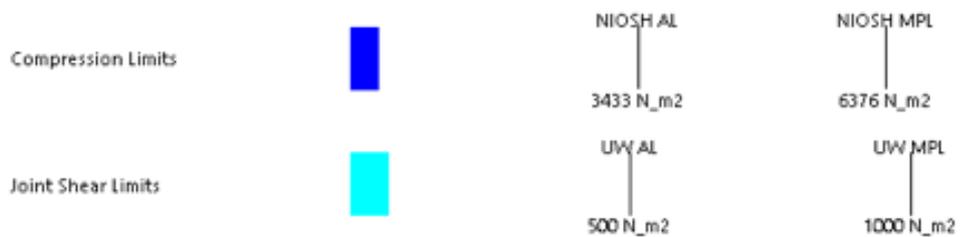


(b) Atrito Dinâmico, (882, 68 Posterior)N m²

Figura 68 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador dianteiro P95 para cadeira P95, diferentes configurações, autores



(a) Atrito Estático, (357, 126 Posterior)N m²



(b) Atrito Dinâmico, (332, 68 Posterior)N m²

Figura 69 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora dianteiro P5 para cadeira P5, diferentes configurações, autores

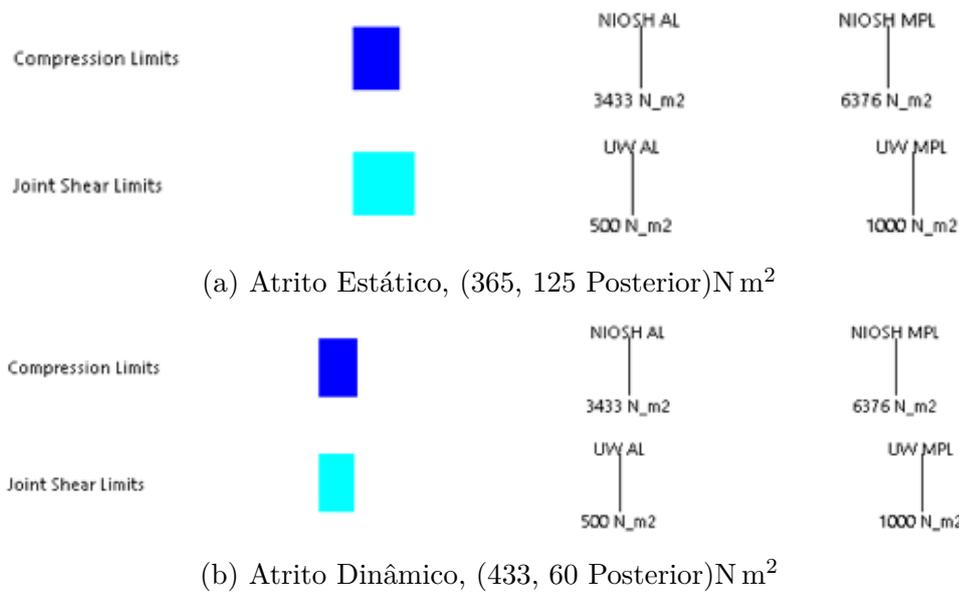


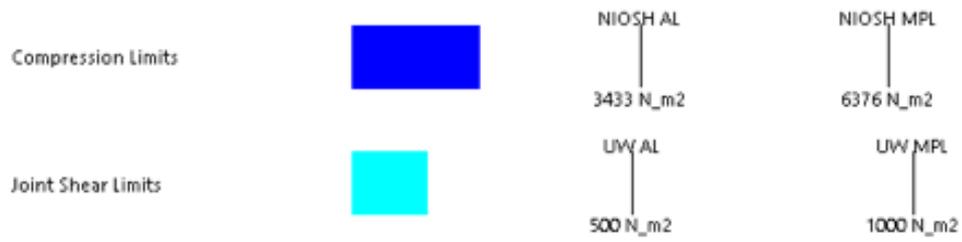
Figura 70 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora dianteiro P5 para cadeira P95, diferentes configurações, autores

Verifica-se que os valores apresentados tabelas 8 e 9 e representados na figuras 67, 68, 69 e 70. são inferiores aos limites aceitáveis.

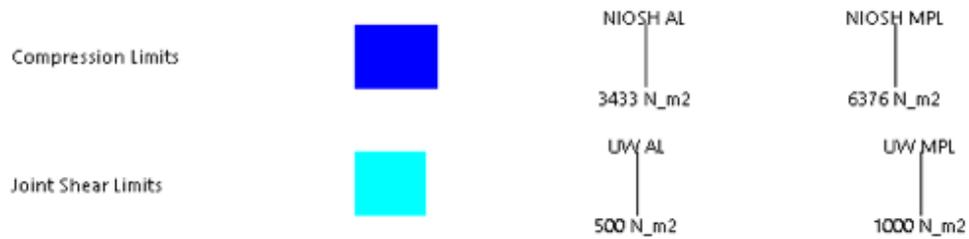
Tabela 10 – Valores de compressão e cisalhamento articular dos carregadores traseiros relacionados ao atrito dinâmico, autores

Valores de compressão e cisalhamento articular		
Carregadores	Análise	
	Compressão articular (N m ²)	Cisalhamento articular (N m ²)
Carregador P95 para cadeira P5	1512	132 Posterior
Carregador P95 para cadeira P5 (braço de suporte)	1623	141 Posterior
Carregador P95 para cadeira P95	1277	115 Posterior
Carregador P95 para cadeira P5 (braço de suporte)	1360	110 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5	617	69 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5 (pegada neutra)	334	62 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P5 (braço de suporte)	520	86 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95	640	76 Posterior
Carregadora P5 para cadeira P95 (braço de suporte)	368	67 Posterior

Os valores representados na tabela 10 podem ser visualizados figuras 71, 72, 73 e 74, respectivamente.

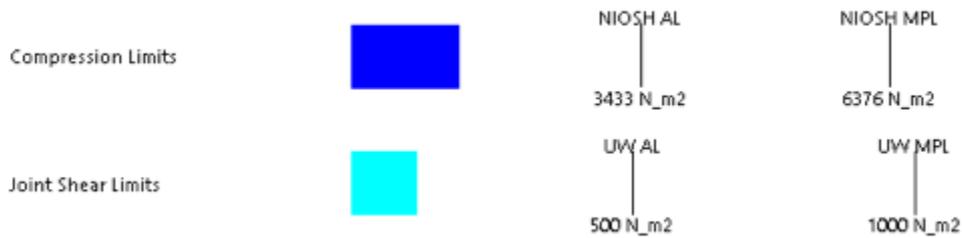


(a) Pegada supinada, (1512, 132 Posterior)N m²

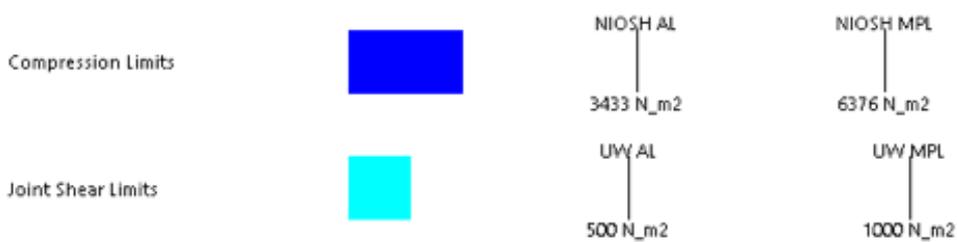


(b) Pegada neutra (braço de suporte), (1623, 141 Posterior)N m²

Figura 71 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador traseiro P95 para cadeira P5, diferentes configurações, autores

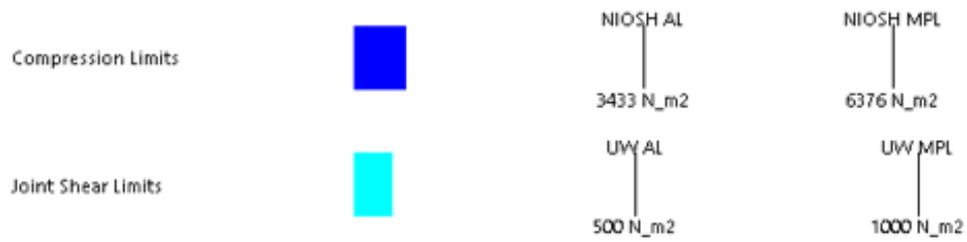


(a) Pegada supinada, (1277, 115 Posterior)N m²

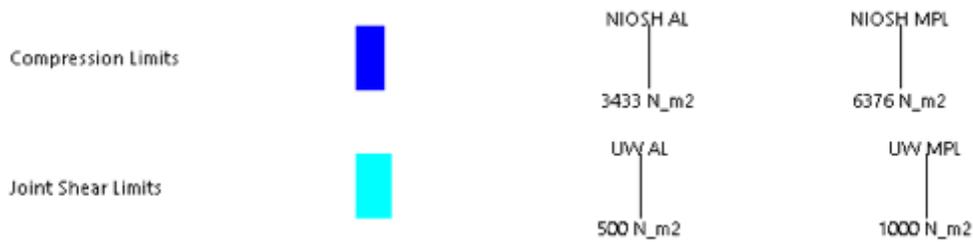


(b) Pegada neutra (braço de suporte), (1360, 110 Posterior)N m²

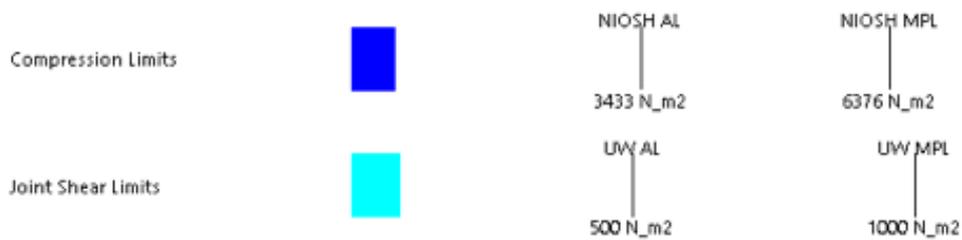
Figura 72 – Valores de compressão e cisalhamento articular do carregador traseiro P95 para cadeira P95, diferentes configurações, autores



(a) Pegada supinada, (617, 69 Posterior)N m²

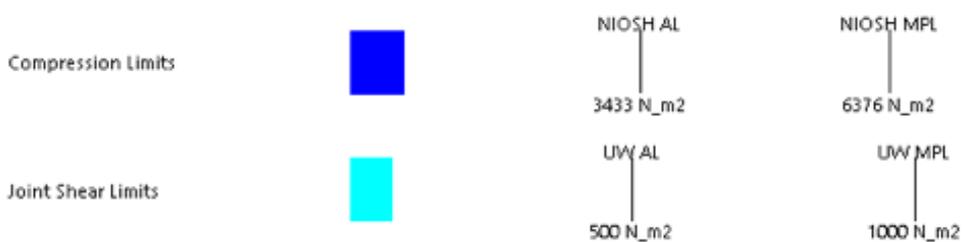


(b) Pegada neutra, (334, 62 Posterior)N m²

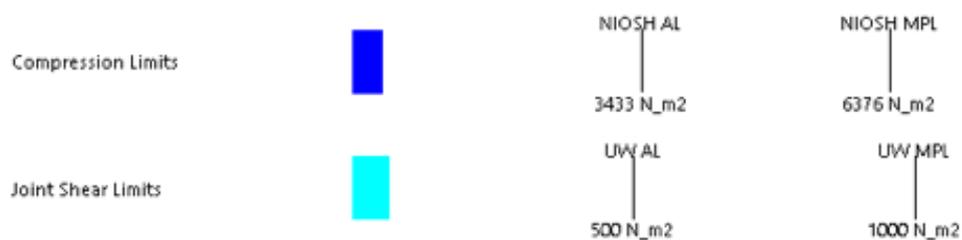


(c) Pegada neutra (braço de suporte), (520, 86 Posterior)N m²

Figura 73 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora traseira P5 para cadeira P5, diferentes configurações, autores



(a) Pegada supinada, (640, 76 Posterior)N m²



(b) Pegada neutra (braço de suporte), (368, 67 Posterior)N m²

Figura 74 – Valores de compressão e cisalhamento articular da carregadora traseira P5 para cadeira P95, diferentes configurações, autores

Verifica-se que os valores apresentados na tabela 10 e representados nas figuras 71, 72, 73 e 74 são inferiores aos limites aceitáveis.

De todas as porcentagens da população que não consegue realizar a tarefa, somente a maior é apresentada. Para os cadeirantes é o homem P95. O gráfico relacionado ao cadeirante pode ser visualizado na figura 75. Os valores referentes ao gráfico podem ser visualizados na figura 79 no apêndice B.

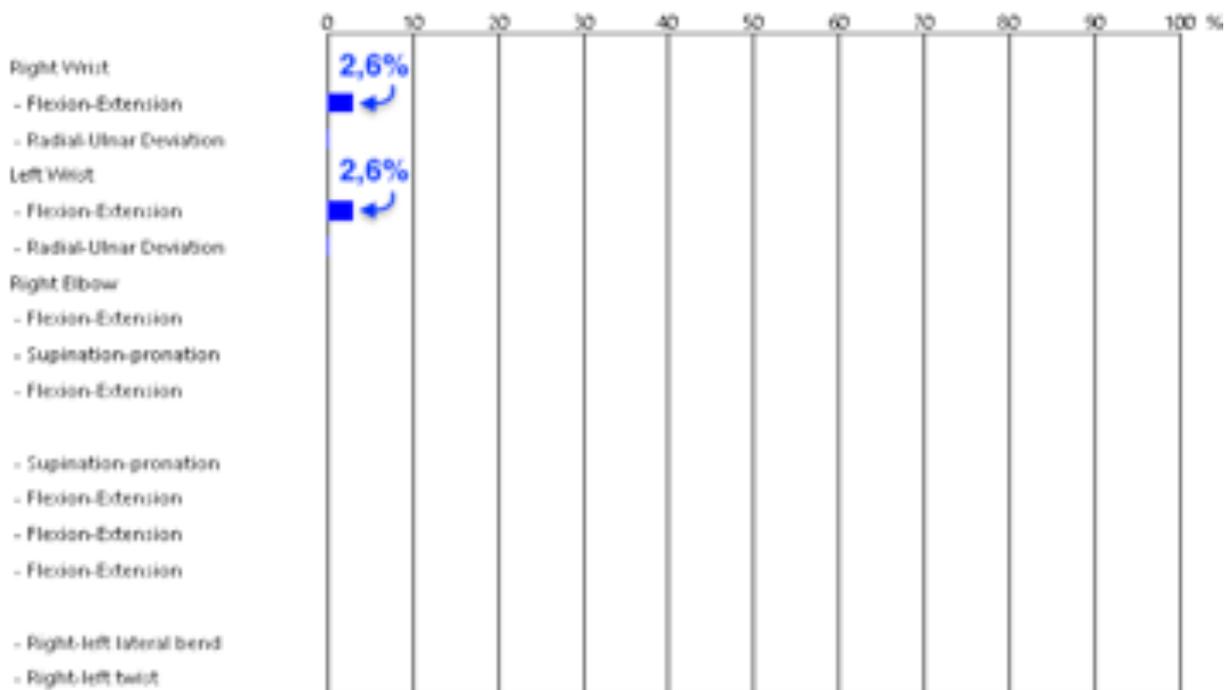


Figura 75 – Gráfico da porcentagem da população que não tem força para realizar a tarefa (cadeirante), autores

Já para os carregadores, é a carregadora dianteira P5 quando aplica força para romper o atrito estático (iniciar o movimento). O gráfico relacionado a carregadora pode ser visualizado na figura 76. Os valores referentes ao gráfico podem ser visualizados na figura 80 no apêndice B.

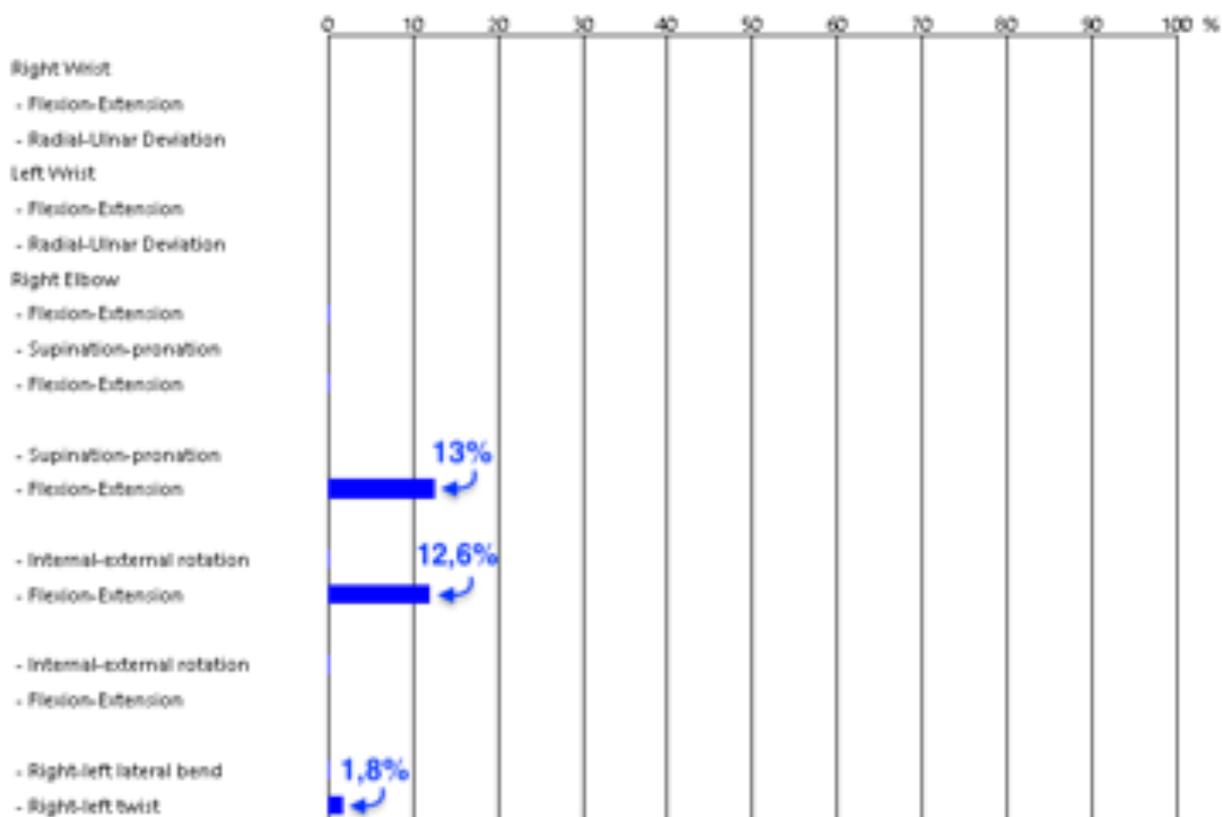


Figura 76 – Gráfico da porcentagem da população que não tem força para realizar a tarefa (carregador), autores

Em todas as outras análises as porcentagens são inferiores a 10% o que é esperado devido ao intervalo de percentil que determinamos abordar.

5 Projeto Executivo

O projeto executivo é um projeto mais detalhado, contendo todas as informações necessárias e suficientes para a perfeita instalação, montagem e execução dos serviços elaborado de acordo com as normas técnicas pertinentes e sem alterar o projeto básico. Dessa maneira, ele deve apresentar os desenhos técnicos detalhados, as especificações técnicas, o quantitativo de materiais e equipamentos e planilhas de orçamento.

Sendo assim depois dos itens projetados e validados foi confeccionado os desenhos técnicos de todos os componentes e conjuntos bem como a lista de materiais (*Bill of Material - BOM*) e a precificação de cada componente.

Para a concepção de um projeto, o desenho técnico é a ferramenta mais importante para criar um produto, por ser o meio de comunicação entre quem projeta e quem fabrica, nele constam todos os dados e informações referentes ao projeto, como descrições de como cortar, furar, dobrar e qual o tipo de máquina ou ferramenta a ser utilizada no processo de confecção do produto, além de medidas, tolerâncias, material e escalas (SANTOS; SILVA, 2020).

A lista de materiais, ou *bill of materials (BOM)* em inglês, é um documento que define todos os elementos essenciais para realizar um processo de produção. Em suma, a lista de materiais traz um inventário completo sobre as matérias-primas, conjuntos e subconjuntos de peças e demais componentes, assim como a quantidade ideal de cada elemento necessário na construção de um bem.

O orçamento é um valioso instrumento de planejamento e controle, simples e prático. O orçamento para matéria-prima, o tipo utilizado aqui, é o plano que especifica as quantidades de matéria-prima, incluindo tipo de material a ser adquirido, período, preços e áreas da organização a serem atendidas. Devendo ser elaborado partindo das necessidades informadas pela área de fabricação.

5.1 Protótipo

Foi decidido não realizar a construção do protótipo da cadeira de rodas para trilhas, devido ao curto período de tempo. Evitando a construção, todo o tempo foi utilizado no estudo e nas análises ergonômicas que estão dentro do objetivo proposto do projeto. Devido a maior quantidade de análises, podemos validar o projeto a partir de diversas ferramentas, indicando fatores de riscos e fatores de excelência. Com isso podemos mitigar os principais erros do projeto.

5.2 Orçamento

O orçamento de compras limita a quantidade de matéria-prima que é adquirida. Seu objetivo é otimizar recursos e controlar as compras. Ele inclui a dotação monetária de uma empresa para a aquisição de matérias-primas que se transformam na produção de bens e serviços.

Os valores apresentados seguem um estágio importante, o orçamento. Sendo um valioso instrumento de planejamento e controle, simples e prático. O orçamento para matéria-prima, o tipo utilizado aqui, é o plano que especifica as quantidades de matéria-prima, incluindo tipo de material a ser adquirido, período, preços e áreas da organização a serem atendidas. Devendo ser elaborado partindo das necessidades informadas pela área de fabricação.

A tabela de orçamento pode ser visualizada no apêndice [D](#).

6 Conclusão

O objetivo proposto para o trabalho foi projetar uma cadeira de rodas para trilhas com foco ergonômico e de baixo custo à conta da dificuldade das pessoas com deficiência física (PcD) de realizarem passeios onde não há vias pavimentadas (trilhas).

Foi pensado em um projeto conceitual, onde determinamos os requisitos necessários para sua viabilidade, verificando algumas opções que existem no mercado brasileiro e exterior e as limitações atreladas, buscando analisar e identificar as melhores opções dentre as abordadas. Foi elaborado um questionário onde obtivemos a interação com 25 cadeirantes, foi possível extrair e validar informações relativas ao projeto. Além disso foi realizado um estudo ergonômico com foco em biomecânica e antropometria, bem como uma análise das forças atuantes no sistema para o dimensionamento da estrutura.

O projeto intermediário é concebido, onde foi feito o dimensionamento estático da estrutura com base na norma ABNT NBR ISO 7176:8 (ABNT, 2009), em seguida, foi projetada estaticamente utilizando-se o programa *Ansys* de acordo com a mesma norma. Durante as simulações, foram realizadas modificações para adaptar-se as forças aplicadas e deflexões máximas na estrutura. Com o intuito de validar a cadeira perante o conforto do cadeirante e dos carregadores, as análises ergonômicas mais pertinentes ao projeto foram realizadas utilizando-se o programa *Catia*, são: *RULA Analysis*, *Push/Pull Analysis* e *Biomechanics Single Action Analysis*

Ainda no projeto intermediário todos os conjuntos e componentes foram dimensionados e concebidos via modelagem 3D utilizando o software *Catia*. Com todos os itens validados seguiu-se para o projeto executivo onde foi confeccionado os desenhos técnicos de todos os componentes e conjuntos bem como a lista de materiais (*Bill of Material - BOM*), a precificação de cada componente e por fim, foi elaborado um manual para potenciais usuários com definições das medidas necessárias para que a cadeira de rodas seja apropriada a cada um e o manual de montagem e do produto.

Portanto, chegou-se ao modelo proposto na figura 77 que atende aos requisitos de projeto, ou seja, possui baixo custo, dimensões adaptáveis, suporte postural, atende às necessidades do ambiente e do usuário, é segura e durável, possui as seguintes dimensões 2276 mm de comprimento, 817 mm de largura e 1962mm de altura quando configurada nos ajustes máximos. É desmontável o que facilita o transporte e o armazenamento.



Figura 77 – Modelo final da cadeira de rodas para trilha, autores

O preço dos materiais necessários para a construção do produto está em torno de R\$4.260, devendo ser acrescidos posteriormente os valores referentes a mão de obra para a construção, ainda assim podemos considerar que o valor está abaixo da média de mercado para esse tipo de produto que oscila próximo a R\$ 36.500,00 devido a grande maioria dos produtos terem que ser importados. Algumas melhorias podem ser realizadas para diminuir esse custo em trabalhos futuros. A massa total é de 29,5 kg, incluindo todos os componentes, o que está próximo à valores de mercado.

6.1 Trabalhos Futuros

Em decorrências das análises podemos perceber que ainda existem pontos que podem ser otimizados ainda mais neste projeto, uma vez que se trata de uma estrutura complexa com diversas possibilidades de funcionamento. Com a análise dos custos de materiais, percebe-se que ainda existem alguns fatores que podem ser modificados para diminuir o custo final do produto (especialmente considerando os requisitos do projeto e seu público alvo). Um outro ponto a ser considerado é a construção de um protótipo para mais testes e avaliação dos usuários, de modo a aperfeiçoar cada vez mais o produto, para poder disponibilizá-lo para o seu público alvo melhorando sua qualidade de vida.

Referências

- ACCESS REVOLUTION. *Black Diamond TrailRider — Access Revolution*. 2022. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<http://www.accessrevolution.com/products-1/fq29fecubokg7mtet6xeq6ys7s2hp2>>. Citado na página 42.
- ADAPTIVE SPORTS PARTNERS. *The TRAILRIDER*. Easton Valley Road, PO, 2022. 2 p. Citado na página 41.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. : Levantamento do perfil antropométrico da população brasileira usuária do transporte aéreo nacional - projeto conhecer. Rio de Janeiro, Brasil, 2009. 81 p. Citado 5 vezes nas páginas 27, 49, 50, 54 e 208.
- AMADIO, A.; DUARTE, M. *Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento. Laboratório de Biomecânica, Escola de Educação Física e Esporte*. [S.l.]: Universidade de São Paulo, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- AMADIO, A.; SERRÃO, J. Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica esportiva. *Rev. Bras. Educ. Fis*, v. 21, n.esp, p. 61–85,, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8403*: Aplicação de linhas em desenhos - tipos de linhas - larguras das linhas. Rio de Janeiro, 1984. 5 p. Citado na página 120.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10068*: Folha de desenho - leiaute e dimensões. Rio de Janeiro, 1987. 4 p. Citado na página 120.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10126*: Cotagem em desenho técnico. Rio de Janeiro, 1987. 13 p. Citado na página 120.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10582*: Apresentação da folha para desenho técnico. Rio de Janeiro, 1988. 4 p. Citado na página 120.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10067*: Princípios gerais de representação em desenho técnico. Rio de Janeiro, 1995. 14 p. Citado na página 120.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13142*: Desenho técnico - dobramento de cópia. Rio de Janeiro, 1999. 3 p. Citado na página 120.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8196*: Desenho técnico - emprego de escalas. Rio de Janeiro, 1999. 2 p. Citado na página 120.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 71765*: Cadeira de rodas - parte 5: Determinação das dimensões, massa e espaço para manobra. Rio de Janeiro, 2008. 88 p. Citado na página 49.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 71767*: Cadeiras de rodas - parte 7: Medição de dimensões de assentos e rodas. Rio de Janeiro, 2008. 47 p. Citado 3 vezes nas páginas 49, 59 e 61.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 71768*: Cadeiras de rodas. parte 8: Requisitos e métodos de ensaio para a força estática, de impacto e fadiga. Rio de Janeiro, 2009. 56 p. Citado 3 vezes nas páginas 20, 49 e 102.

BCB. *Cotação de todas as moedas - Banco Central do Brasil-BCB*. 2022. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/cotacoestodas>>. Citado 3 vezes nas páginas 42, 44 e 46.

BLOSWICK, D. *Module 2 - Anthropometry*. [S.l.], 2015. Citado 3 vezes nas páginas 7, 26 e 27.

BRASIL, R. F. do. *Tabela Aduaneira do Brasil (TAB)*. [S.l.]: Anexo do Decreto-Lei Nº 2.434, DE 19 de Maio de 1988. Acesso em: 1 de julho de 2022. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/anexo/andel1753-79.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 42, 44 e 46.

CAMPOS, M. d. A. *Biomecânica da musculação*. [S.l.: s.n.], 2000. 116 p. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 31.

CARRIEL, I. R. R. *Recomendacoes Ergonomicas para o Projeto de Cadeira de Rodas: Considerando os aspectos fisiologicos e cognitivos dos idosos*. Bauru, SP, 2007. Citado na página 18.

CARRIEL, I. R. R. *Recomendações tecnológicas de projeto para o desenvolvimento de cadeira de rodas de propulsão manual: uma proposta para ampliar o grau de mobilidade dos cadeirantes a partir do design*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 58, 59 e 62.

CATIADOC. *Analysis Introduction*. 2022. Acesso em: 6 de julho de 2022. Disponível em: <http://catiadoc.free.fr/online/haaug_C2/haauggs03.htm#ix-RULA%20analysis;analysis,::RULA>. Citado 4 vezes nas páginas 33, 36, 37 e 91.

CHAFFIN D.B., A. G. e. M. B. *Biomecânica ocupacional*. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. Citado na página 32.

CIVIL, C. *LEI Nº 3.244, DE 14 DE AGOSTO DE 1957*. [S.l.]: Presidência da República, 1988. 1–17 p. Acesso em: 1 de julho de 2022. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l3244.htm>. Citado 3 vezes nas páginas 42, 44 e 46.

COSTA, A. H. P. *Projeto de uma cadeira de rodas modular*. 181 f. Monografia (Graduação - Curso de Engenharia Mecânica) — Universidade de Brasília - UnB, Faculdade de Tecnologia - FT, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, DF, 2018. Citado na página 58.

CTB, C. e da Tecnologia da B. *Propriedades tribologicas, atrito e coeficiente de atrito*. 2032. Disponível em: <<https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-tribologicas/>>. Citado na página 74.

DUFFY, V. G. *Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering*. Florida: CRC Press: [s.n.], 2008. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 73.

- ENOKA, R. M. Activation order of motor axons in electrically evoked contractions. *Muscle nerve*, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, New York, v. 25, n. 6, p. 764, 2002. ISSN 0148-639X. Citado na página 32.
- FERREIRA, R. C. *Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edificações*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2007. Citado na página 72.
- FERRO, B. H.; RENNER, J. S. A Percepção de conforto na posição sentada: O caso dos usuários de cadeira de rodas. 2020. Citado na página 33.
- FRANKEL, V.; NORDIN, M. *Biomecânica Básica do sistema musculoesquelético*. Guanabara Koogan, RJ: [s.n.], 2003. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- FREITAS, E. A.-A. de. *Ergonomia Aplicada a Projeto de Bancada de Simulação de Aeronave Tipo Planador*. 138 f. Monografia (Graduação - Curso de Engenharia Aeroespacial) — Universidade de Brasília - UnB, Faculdade UnB Gama - FGA, Brasília, DF, 2021. Citado 7 vezes nas páginas 7, 33, 34, 35, 36, 205 e 206.
- GRANDJEAN, E. *Manual de Ergonomia*. Porto Alegre, 1998. Citado na página 59.
- GRIT Freedom. *GRIT Freedom Chair Spartan - GRIT Freedom Chair model - GRIT*. 2022. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://www.gogrit.us/grit-freedom-chair-spartan/>>. Citado 3 vezes nas páginas 7, 43 e 44.
- HASHIM, N. et al. A study on push-pull analysis associated with awkward posture among workers in aerospace industry. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology* ISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308, v. 03, p. 233–239, 01 2014. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 76.
- IIDA, I. *Ergonomia: Projeto e Produção, 2a edição revisada e ampliada*. São Paulo, Brasil: [s.n.], 2005. 359 p. Citado 3 vezes nas páginas 7, 26 e 28.
- IIDA, I. e. G. *Ergonomia: projeto e produção*. Edgard Blücher, São Paulo, v. 3, 2016. Citado na página 32.
- INDIVIDUAL ABILITIES IN MOTION. *Wheelchairs Throughout the Years*. 2016. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<http://individualabilities.org/blog-posts/wheelchairs-throughout-the-years/>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 25.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 168402: Wheelchair seating — part 2: Determination of physical and mechanical characteristics of seat cushions intended to manage tissue integrity*. Geneva, Switzerland, 2018. 27 p. Citado na página 59.
- JULIETTI. *Cadeira Julietti Standard 2021 - Preto - Julietti*. 2022. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://loja.montanhaparatodos.com.br/julietti-standard-preto>>. Citado 3 vezes nas páginas 7, 40 e 41.
- KAMENETZ, H. L. A brief history of the wheelchair. In: *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, Oxford University Press. [S.l.: s.n.], 1969. v. 24, n. 2, p. 205–208. Citado 3 vezes nas páginas 7, 23 e 24.

- KAWAK ACCESS EQUIPMENT. *User Manual TrailRider Black Diamond*. Vancouver, BC, 2022. 19 p. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 41.
- KIPP. *Pinos de retenção, versão curta forma B*. 2023. Acesso em: 04 de janeiro de 2023. Disponível em: <<https://www.kipp.com.br/br/pt/Produtos/Dispositivos-de-controle-Elementos-normalizados/Posicionadores-com-mola-Pinos-de-retenç~ao-Pinos-de-bloqueio-esféricos/Pinos-de-retenç~ao-em-vers~ao-curta.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 70.
- LEHMKUHL, L. D.; SMITH, L. K. Cinesiologia clínica de brunnstrom. In: . [S.l.: s.n.], 1989. p. 466. Citado na página 31.
- LIMA, A. C. *Produção de Espumas Flexíveis de Poliuretano*. 59 f. Monografia (Graduação - Curso de Química) — Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA, Assis, SP, 2011. Citado na página 59.
- MATWEB. Datasheet aluminum 6351-t6. 2022. Disponível em: <https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=ca1cf891973c4745b41677780dad6240>. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 57.
- MIRANDA, M. R. *Desenvolvimento de bancada para simulação veicular integrando realidade virtual e medição de dados fisiológicos*. Brasília, Brasil: [s.n.], 2014. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 54.
- MIRANDA, M. R. *Ergonomia do produto, notas de aula*. Brasília, Brasil: [s.n.], 2017. Citado na página 27.
- MONTANHA PARA TODOS. *Home - Montanha para Todos*. 2022. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://montanhaparatodos.com.br/>>. Citado na página 39.
- MORSE, J. “comfort: the refocusing of nursing care”. *Clinical Nursing Research*, v. 1, n. 1, p. 106, 1992. Citado na página 32.
- MOUNTAIN TRIKE. *The Mountain Trike Self Propelled, All Terrain Off... / Mountain Trike*. 2022. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://www.mountaintrike.com/products/mountain-trike>>. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 45.
- OKUNO, E.; FRATIN, L. *Desvendando a física do corpo humano: biomecânica*. [S.l.]: Manole São Paulo, 2003. Citado na página 31.
- OMS. *Guidelines on the Provision of Manual Wheelchairs in Less Resourced Settings*. [S.l.], 2008. 131 p. Citado 3 vezes nas páginas 18, 21 e 49.
- OMS. *Pacote de Treinamento em Serviços para Cadeiras de Rodas*. [S.l.], 2012. 88 p. Citado na página 59.
- ORGANIZATION, W. H. et al. Relatório mundial sobre a deficiência. *São Paulo: SEDPcD*, v. 504, p. 505, 2012. Citado na página 18.

- PAULSON H, S. V. *Spinocerebellar Ataxia Type 3*. Seattle (WA): University of Washington, Seattle: GeneReviews® [Internet], 2022. Acesso em: 18 de julho de 2022. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1196/>>. Citado na página 19.
- PLUS, D. o. B. E.; SCIENCE, B. *A Step-by-Step Guide Rapid Upper Limb Assessment (RULA)- Work practices guide for manual lifting*. [S.l.]: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers . . . , 1981. Citado 7 vezes nas páginas 7, 33, 34, 35, 36, 205 e 206.
- POTVIN, J. R. et al. The liberty mutual manual materials handling (lm-mmh) equations. *Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 64, n. 8, p. 955–970, 2021. Citado na página 37.
- REIS, B. F. M. et al. Captação do coeficiente de atrito pneu/solo para veículos do tipo baja/captation tire/road coefficient of friction for vehicle tipe baja. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 84494–84501, 2020. Citado na página 74.
- REMPEL, A. F.; ALVES, M. A. L. Estudo da interação pneu-solo para veículos fora-de-estrada e determinação de parâmetros para desenvolvimento do projeto mini baja. *Annals: TecMec. São Paulo: EPUSP*, 2006. Citado na página 74.
- SACCO, I.; TANAKA, C. *Cinesiologia e Biomecânica dos Complexos Articulares*. 2008. Citado na página 32.
- SANTOS, M. P. dos; SILVA, P. H. da. Entre pranchetas, papéis, réguas, lápis e outros instrumentos: Algumas reflexões sobre a importância do desenho técnico e da arte de projetar para os profissionais de arquitetura. *Revista TechnoEng-ISSN 2178-3586*, v. 1, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 100 e 120.
- SILVA, J. F. da. *Padrões de Propulsão para Cadeiras de Rodas e Seus Fatores de Desempenho*. [S.l.], 2009. Citado na página 25.
- SKF. *Rolamento HK 1620.2RS*. 2023. Acesso em: 1 de janeiro de 2023. Disponível em: <<https://www.skf.com/pt/products/rolling-bearings/roller-bearings/needle-roller-bearings/drawn-cup-needle-roller-bearings/productid-HK%201620.2RS>>. Citado 3 vezes nas páginas 8, 66 e 67.
- SNOOK, S. H.; CIRIELLO, V. M. The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 34, n. 9, p. 1197–1213, 1991. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 75.
- TILLEY, A. R. *As Medidas do Homem e da Mulher*. New York, USA: Henry Dreyfuss Associates, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 27.
- UFMG, D. S. D. de F. Aceleração da gravidade para leigos. 2023. Disponível em: <<http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/g/gleigo.htm>>. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 74.

Apêndices

APÊNDICE A – Questionário Online - Google Forms

Tecnicamente, questionário é uma técnica de investigação composta por um número grande ou pequeno de questões apresentadas por escrito que tem por objetivo proporcionar determinado conhecimento ao pesquisador. O uso de questionários de pesquisa online para a coleta de dados apresenta diversas vantagens: permite alcançar mais facilmente um maior número de pessoas, proporciona maior conveniência para os participantes sendo um método mais impessoal que permite o anonimato das respostas, gera menos custos e é fácil de ser analisado.

O seguinte questionário foi confeccionado utilizando a plataforma online *Google Forms*. Utilizou-se essa plataforma pois é gratuita, de fácil compartilhamento (e-mail, link ou website), não exige cadastro em conta alguma por parte do usuário, demanda um processamento computacional irrisório (multiplataforma) e já é conhecida pela maioria das pessoas.

O questionário é constituído de 6 questões de texto, 17 questões múltipla escolha e 1 questão caixa de seleção, totalizando 24 questões. O tempo médio de resposta é de 5 minutos.

O questionário pode ser visualizado pelo link <<https://forms.gle/j4Q1pMX1dsbxF46b9>> ou pelo *QR-Code* da figura 78.



Figura 78 – *QR-Code* para acesso ao questionário online, autores

Em adendo um agradecimento a todos os indivíduos que dispuseram de tempo para responder o questionário. As respostas foram de extrema valia. Gratos

Projeto de Cadeira de Rodas para Terrenos não Pavimentados (Trilhas)

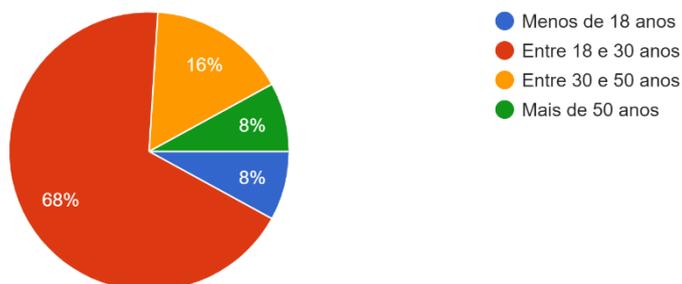
Estamos desenvolvendo uma cadeira de rodas para vias não pavimentadas (trilhas).

A ideia do questionário é com a ajuda dos verdadeiros usuários validar certas questões encontradas durante o estudo e verificar o que vocês realmente gostariam nesse tipo de produto.

Desde já grato.

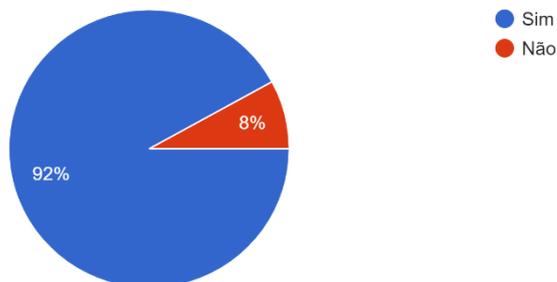
Quantos anos tem?

25 responses



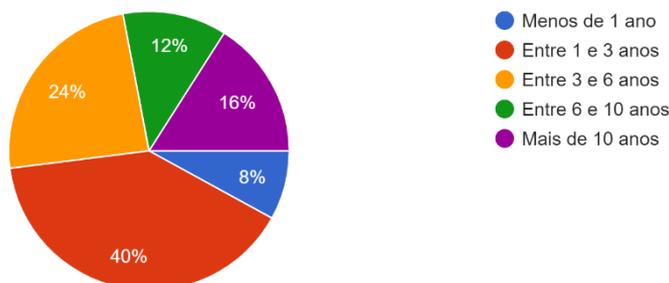
Utiliza a cadeira de rodas como principal meio de translado?

25 responses



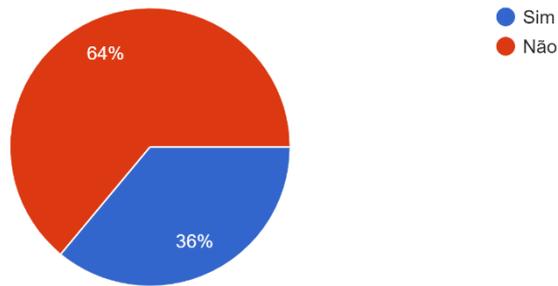
Há quanto tempo utiliza cadeira de rodas?

25 responses



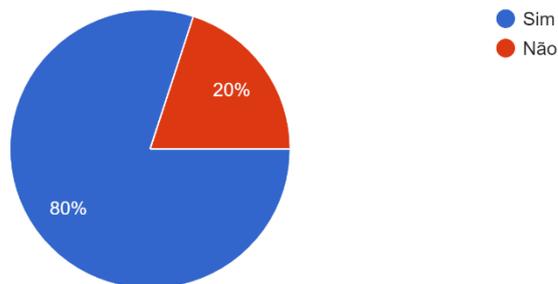
Se sente confortável a utilizando cadeira de rodas?

25 responses



Sente dores por utilizar a cadeiras de rodas?

25 responses



Se sente dores, quais os principais lugares do corpo as sentem?

Resposta	Quantidade
Costas	11
Ombro	3
Lombar	6
Quadril	5
Braços	3
Pernas	2
Todo o corpo	2
Sem resposta	6

Se pudesse, quais modificações faria na cadeira de rodas?

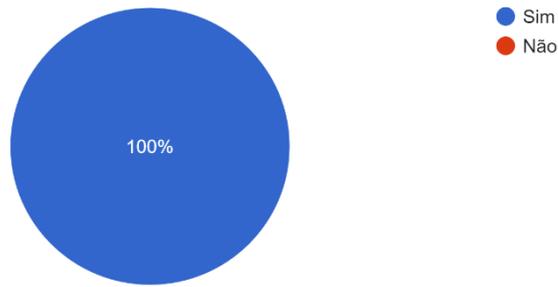
Resposta	Quantidade
Aumentaria a acessibilidade	2
Aumentaria o conforto	8
Melhoraria a parte estrutural	3
Melhoraria o acolchoamento	4
Melhoraria os apoios	3
Sem resposta	7

O que acredita ser mais importante numa cadeira de rodas?

Resposta	Quantidade
Mobilidade	5
Ergonomia	6
Ajustes de postura	3
Conforto	11
Versatilidade	6
Segurança	3
Sem resposta	5

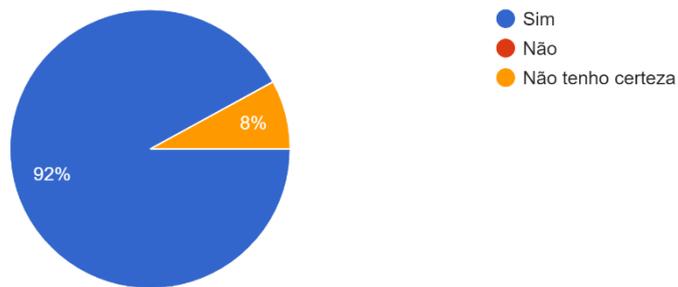
Gosta de estar em contato com a natureza?

25 responses



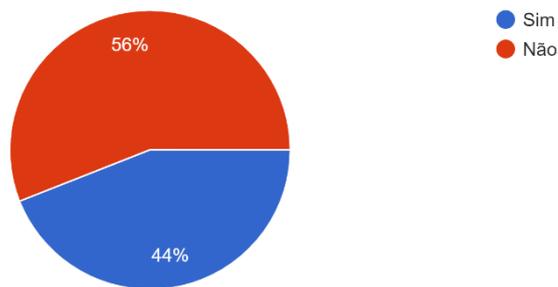
Acredita que o contato com a natureza traga benefícios tanto na saúde física quanto na mental?

25 responses



Você já fez passeios pela natureza, utilizando a cadeira de rodas convencional?

25 responses

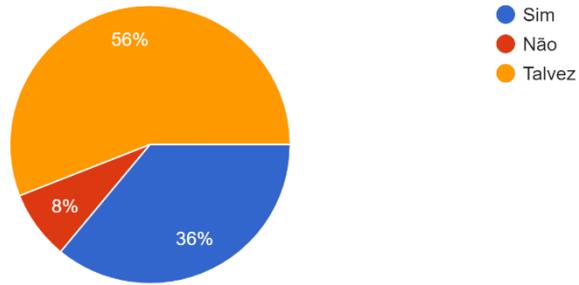


Se já fez passeios pela natureza, utilizando uma cadeira de rodas convencional, de maneira geral como foi a(s) experiência(s)?

Resposta	Quantidade
Muito bom o contato com a natureza	3
Difícil acesso	7
Desconfortável	3
Difícil mobilidade	10
Nunca fiz	3
Sem resposta	11

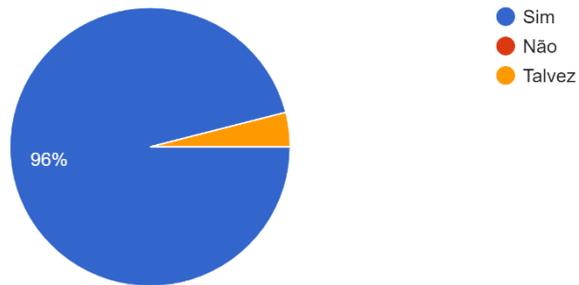
Repetiria esse tipo de passeio?

25 responses



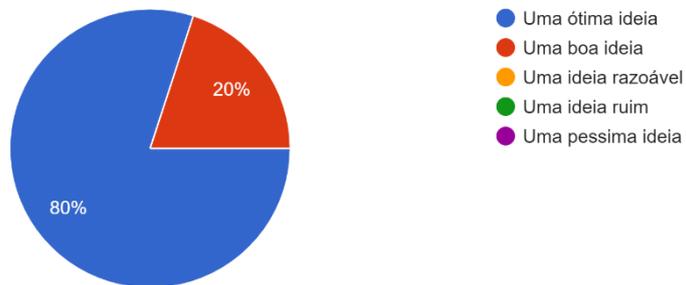
Você gostaria de poder fazer mais atividades ao ar-livre, como trilhas, passeios por parques, etc.?

25 responses



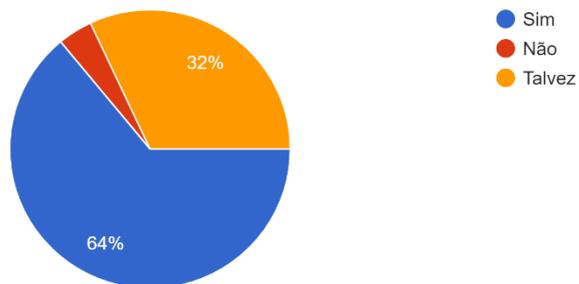
O que acha de uma cadeira de rodas própria para esse tipo de uso?

25 responses



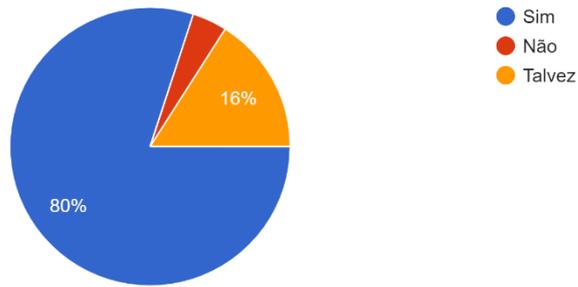
Para realizar esse tipo de passeio utilizando uma cadeira de rodas própria, seria necessário a ajuda de dois carregadores. Para voce seria fácil encontrar 2 pessoas que poderiam ir contigo?

25 responses



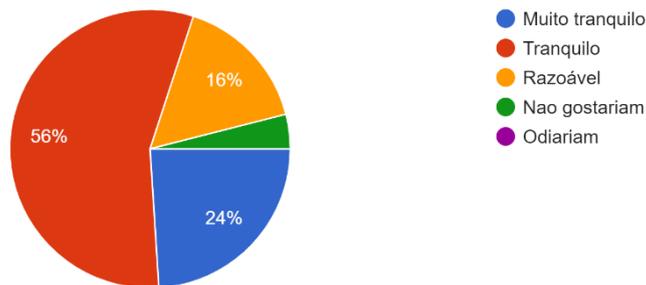
E se precisasse de apenas um carregador, seria mais facil de fazer esse tipo de passeio?

25 responses



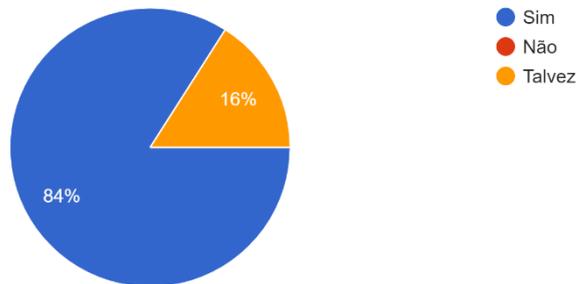
Conhecendo essas pessoas, o que elas achariam ao respeito desse tipo de ajuda (carregamento)?

25 responses



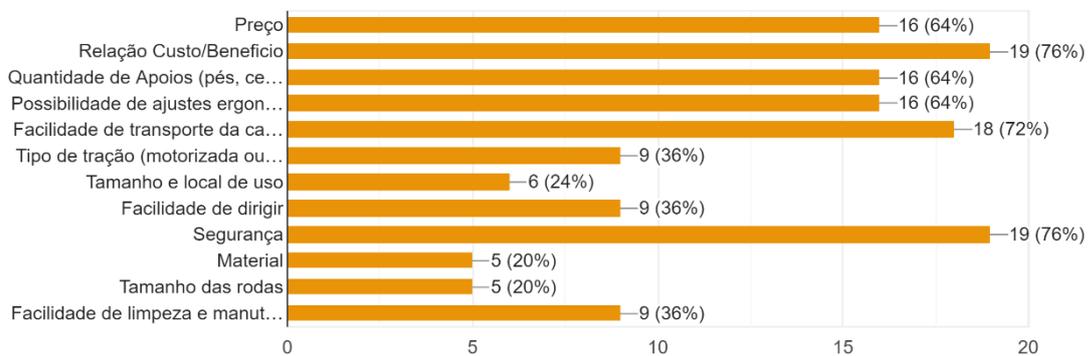
Se existisse esse produto, teria interesse em adquiri-lo?

25 responses



Quais aspectos mais levaria em consideração na hora da compra?

25 responses

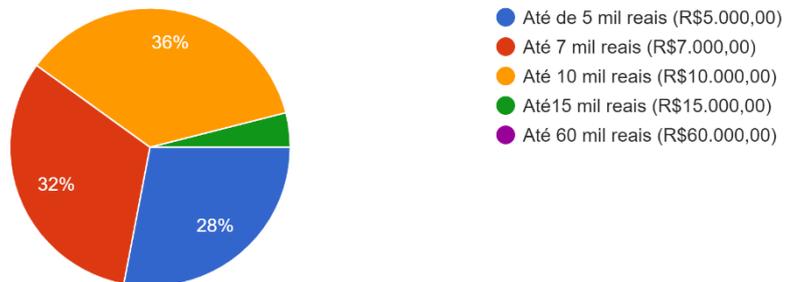


O que o produto não poderia deixar de ter?

Resposta	Quantidade
Praticidade	5
Resistencia	8
Versatilidade	6
Conforto	7
Acessibilidade	8
Segurança	4
Desmontável	7
Ajustes ergonômicos	6
Sem resposta	7

O que acredita ser um valor válido para esse tipo de produto?

25 responses



O que não foi abordado no questionário e gostaria de comentar, fique à vontade!

Resposta	Quantidade
Seria ótimo um produto na intenção de ajudar os cadeirantes a se conectarem com a natureza	1
Sem resposta	23

Agradecemos imensamente pelas respostas!! O questionario é pertinente?

25 responses



APÊNDICE B – Análises Biomecânicas
(*Biomechanics Single Action Analysis*)

Joint	DOF	Moment [kg]	% Pop. Not Capable	Mean [kg]	S.D [kg]	Reference
Right Wrist	Flexion-Extension	0.2 Extension	2.6	11	6	Nordgren (1968, 1972)
	Radial-Ulnar Deviation	0.7 Radial Deviation	0.1	15	5	Vanzwearingen (1983)
Left Wrist	Flexion-Extension	0.2 Extension	2.6	11	6	Nordgren (1968, 1972)
	Radial-Ulnar Deviation	0.7 Radial Deviation	0.1	15	5	Vanzwearingen (1983)
Right Elbow	Flexion-Extension	7.4 Flexion	0.0	71	15	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0.1 Pronation	0.0	7	2	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
Left Elbow	Flexion-Extension	7.4 Flexion	0.0	71	15	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0.1 Pronation	0.0	7	2	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
Right Shoulder	Flexion-Extension	12.9 Flexion	0.0	90	20	Kozki and McGill (1994)
	Abduction-Adduction	8.9 Adduction	DNA	DNA	DNA	DNA
Left Shoulder	Internal-external rotation	3.6 Ext. Rotation	DNA	DNA	DNA	DNA
	Flexion-Extension	12.9 Flexion	0.0	90	20	Kozki and McGill (1994)
Lumbar (L4-L5)	Abduction-Adduction	8.9 Adduction	DNA	DNA	DNA	DNA
	Flexion-Extension	52.6 Flexion	0.0	369	69	Troup and Chapman (1969)
Right-left lateral bend	Right-left lateral bend	0.0	0.0	148	40	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hudley, W., and Goyert, P (1991)
	Right-left twist	0.0	0.0	72	20	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hudley, W., and Goyert, P (1991)

Figura 79 – Análise completa da população da população que não tem força para realizar a tarefa (cadeirante), autores

Joint	DOF	Moment [kg]	% Pop/Net Capable	Mean [kg]	S.D [kg]	Reference
Right Wrist	Flexion-Extension	0.6 Flexion	0.0	6	1	Nordgren (1968, 1972)
	Radial-Ulnar Deviation	0.8 Radial Deviation	0.0	9	2	Vandewarigen (1983)
Left Wrist	Flexion-Extension	0.6 Flexion	0.0	6	1	Nordgren (1968, 1972)
	Radial-Ulnar Deviation	0.6 Radial Deviation	0.0	9	2	Vandewarigen (1983)
Right Elbow	Flexion-Extension	7.5 Flexion	0.1	32	8	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0.0	0.0	4	1	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
Left Elbow	Flexion-Extension	7.3 Flexion	0.1	32	8	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0.0	0.0	4	1	Askins, An, Morrey and Chao (1987)
Right Shoulder	Flexion-Extension	31.7 Flexion	13.0	43	10	Koski and McGill (1994)
	Abduction-Adduction	0.1 Adduction	DNA	DNA	DNA	DNA
Left Shoulder	Internal-external rotation	2.7 Int. Rotation	0.1	15	4	Lannersten, Harms-Ringdahl, Schuldt and Etchelm (1993)
	Flexion-Extension	31.5 Flexion	12.6	43	10	Koski and McGill (1994)
Lumbar (L4-L5)	Abduction-Adduction	0.0	DNA	DNA	DNA	DNA
	Internal-external rotation	2.7 Int. Rotation	0.1	15	4	Lannersten, Harms-Ringdahl, Schuldt and Etchelm (1993)
Lumbar (L4-L5)	Flexion-Extension	2.7 Flexion	0.0	215	50	Troup and Chapman (1969)
	Right-left lateral bend	0.1 Left Lateral Bend	0.1	80	27	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hurdley, W. and Goyert, P (1991)
	Right-left twist	0.5 Left Twist	1.8	34	16	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hurdley, W. and Goyert, P (1991)

Figura 80 – Análise completa da porcentagem da população que não tem força para realizar a tarefa (carregador), autores

APÊNDICE C – Desenhos Técnicos

O desenho técnico é a representação de elementos tridimensionais, voltado primordialmente para a exibição em si, associa-se a concepção, execução e interpretação de peças desenhadas dos projetos. Ou seja, ele é o mapa que guiará o projeto a sair do papel para a realidade. Na engenharia é comum a elaboração de cálculos complexos, análises de riscos, estudos econômicos, etc. normalmente todas essas ações são complementadas com desenhos, os quais resumem, explicam e simplificam a complexidade lógica que foi feita pelo engenheiro. Para a concepção de um projeto, o desenho técnico é a ferramenta mais importante para criar um produto, por ser o meio de comunicação entre quem projeta e quem fabrica, nele constam todos os dados e informações referentes ao projeto, como descrições de como cortar, furar, dobrar e qual o tipo de máquina ou ferramenta a ser utilizada no processo de confecção do produto, além de medidas, tolerâncias, material e escalas (SANTOS; SILVA, 2020).

Todos os desenhos técnicos apresentados nesse apêndice foram feitos seguindo as normas:

- ABNT NBR ISO 8196 - Emprego de escalas (ABNT, 1999b);
- ABNT NBR ISO 8403 - Aplicação de linhas em desenhos - Tipos de linhas - Larguras das linhas (ABNT, 1984);
- ABNT NBR ISO 10067 - Princípios gerais de representação em desenho técnico (ABNT, 1995);
- ABNT NBR ISO 10068 - Folha de desenho - Leitura e dimensões (ABNT, 1987a);
- ABNT NBR ISO 10126 - Cotagem de desenho técnico (ABNT, 1987b);
- ABNT NBR ISO 10582 - Apresentação da folha para desenho (ABNT, 1988)
- ABNT NBR ISO 13142 - Dobramento de copia (ABNT, 1999a).

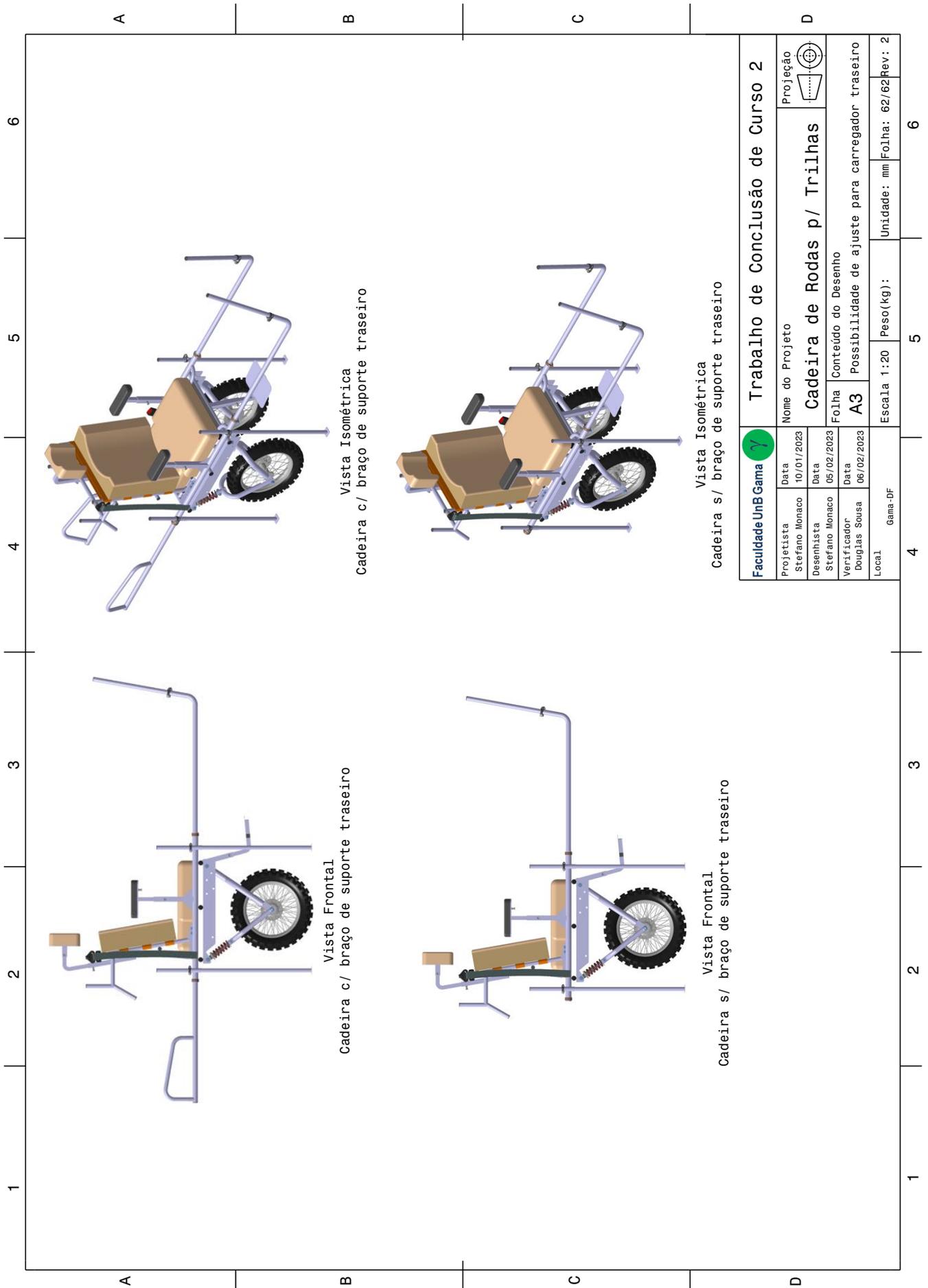


Figura 81 – Possibilidade de ajuste para carregador traseiro, autores

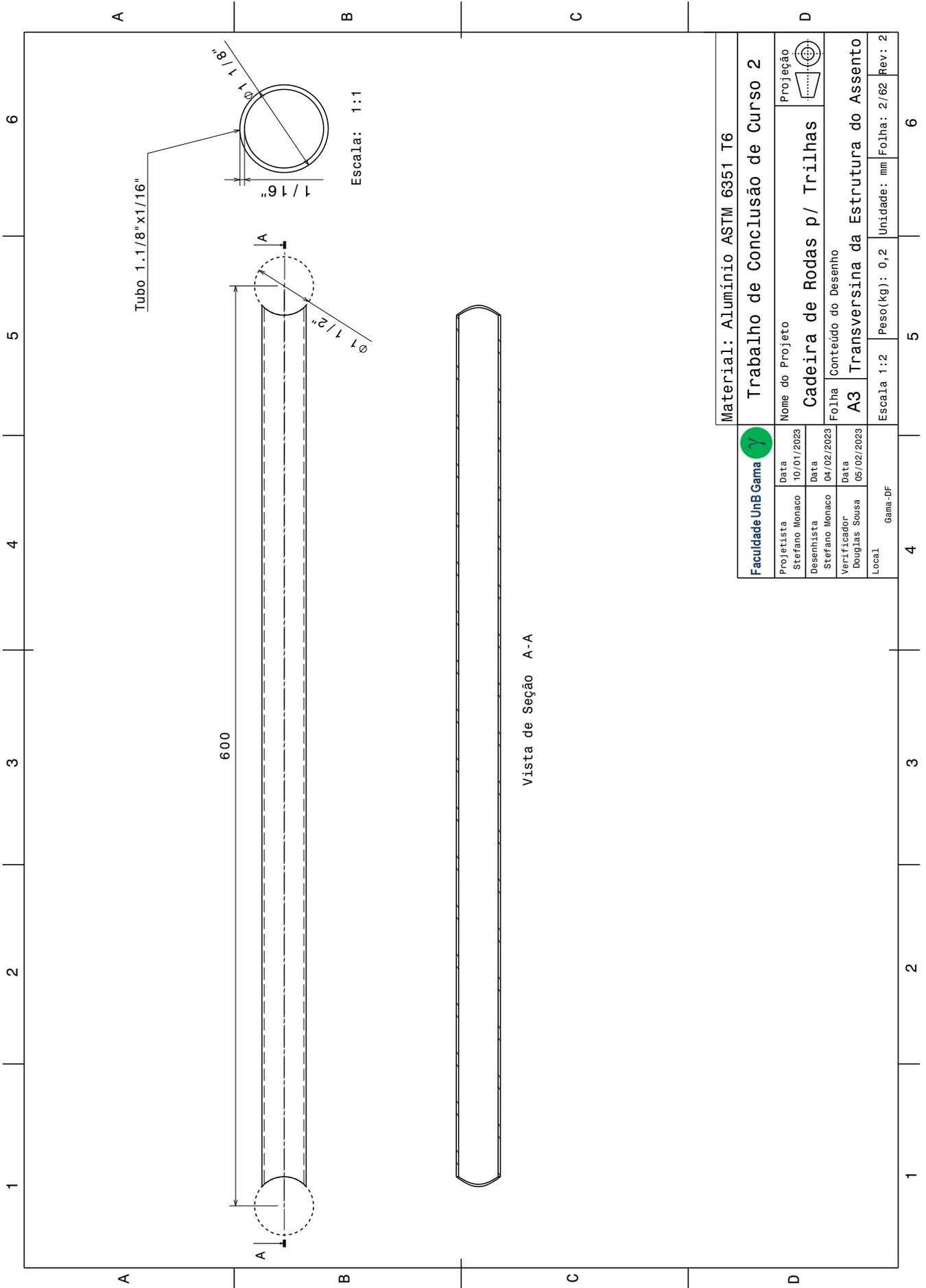


Figura 84 – Transversina Estrutura Assento, autores

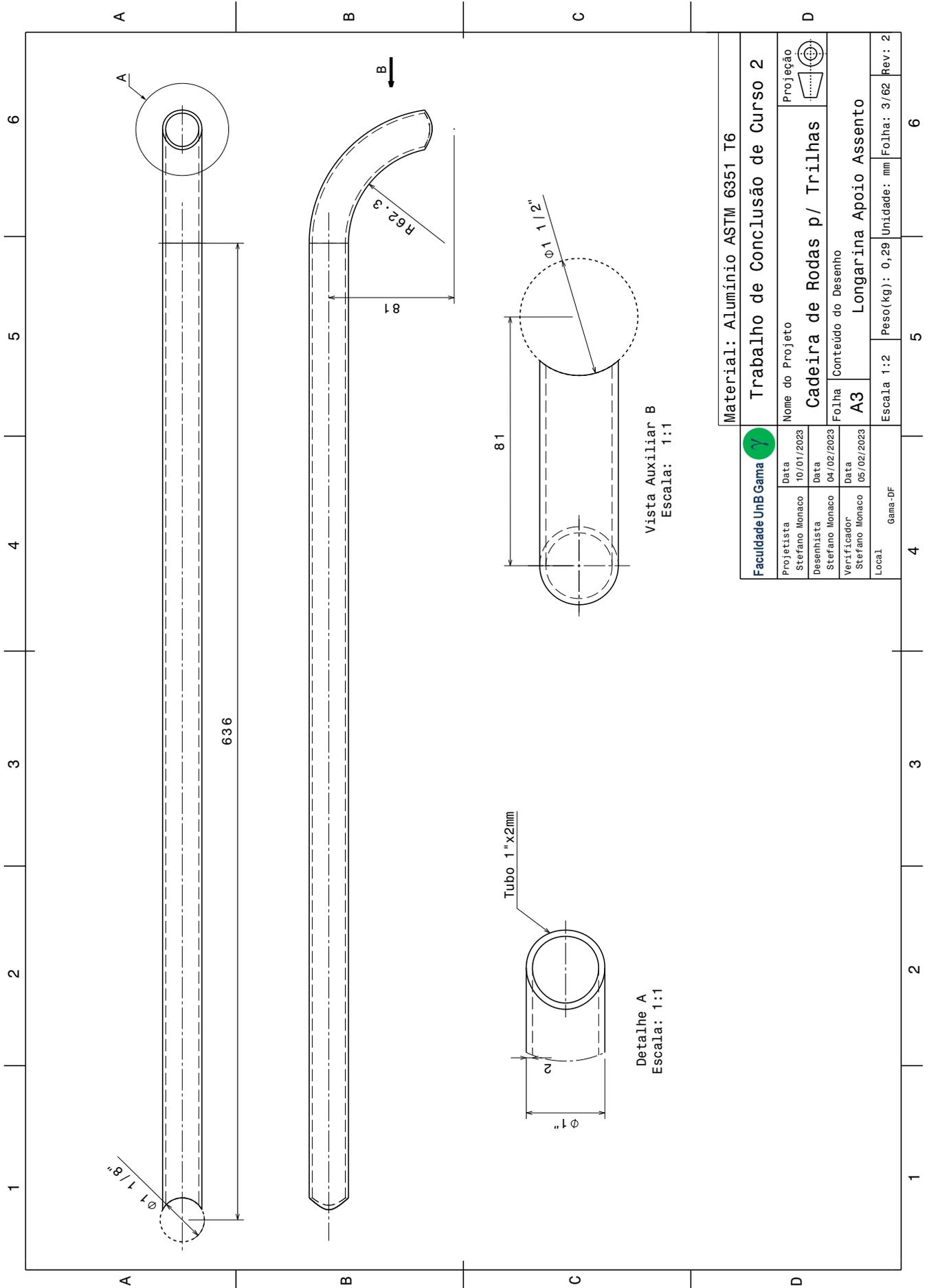


Figura 85 – Longarina Apoio Assento, autores

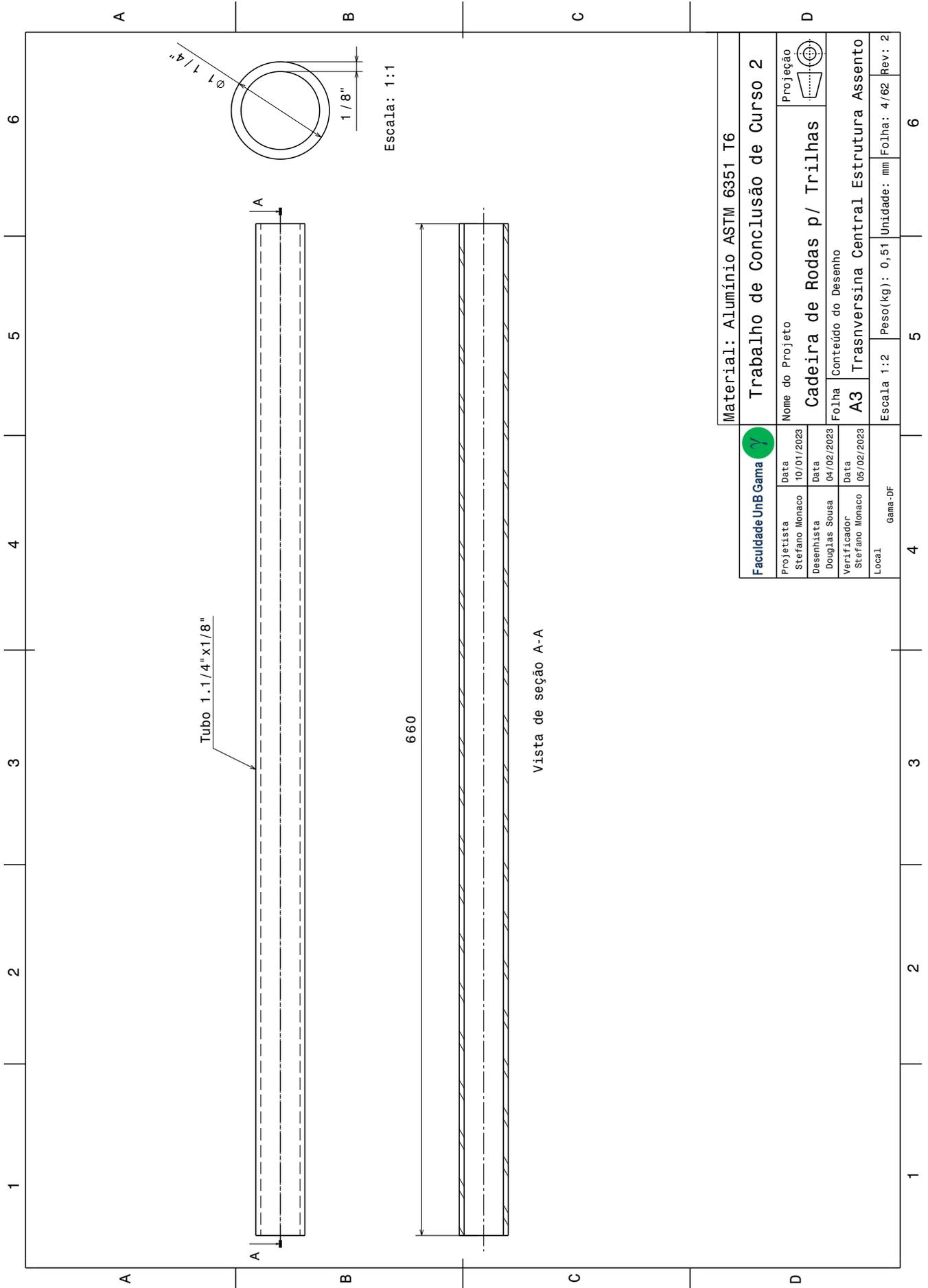


Figura 86 – Transversina Central Estrutura Assento, autores

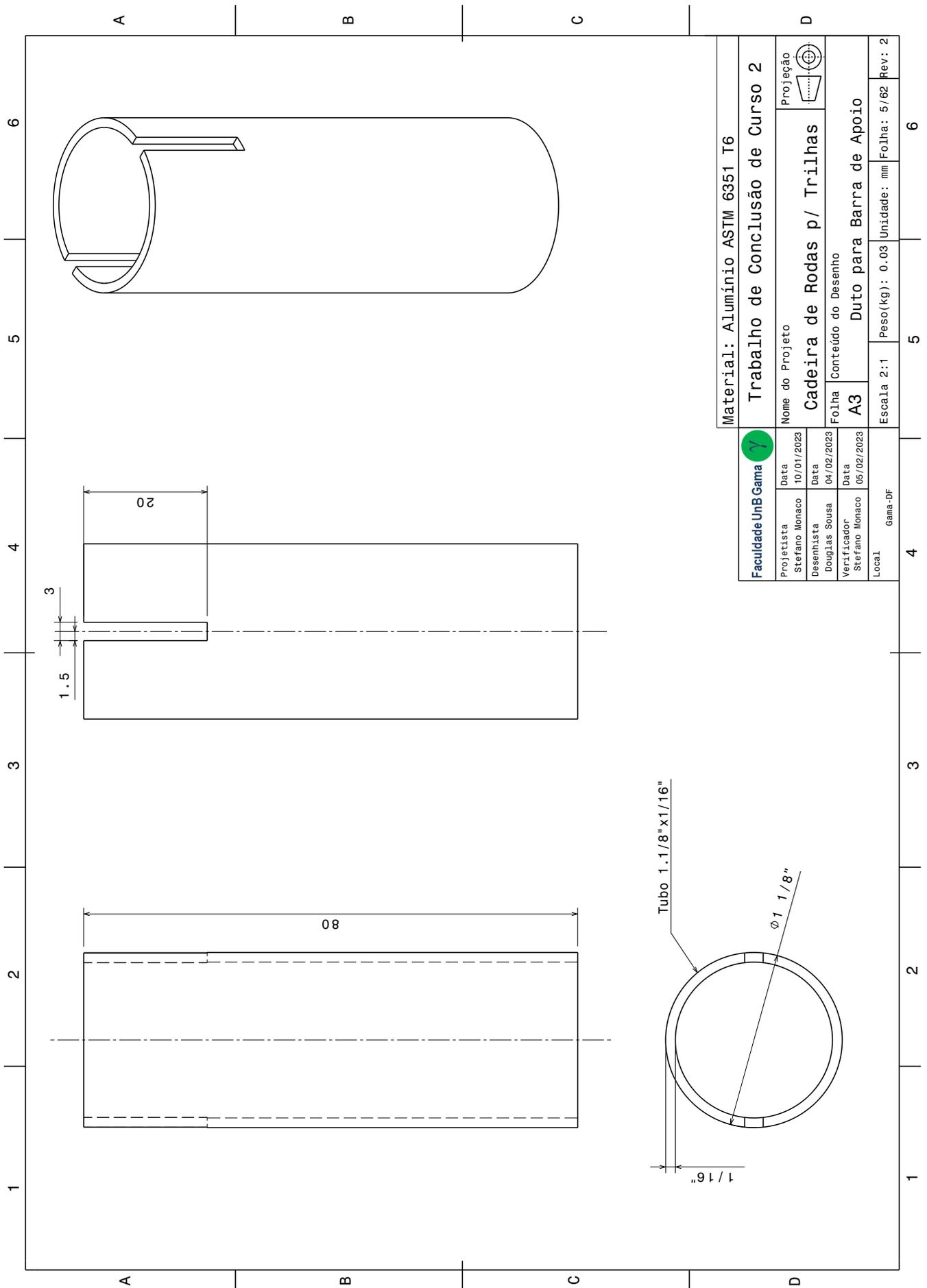


Figura 87 – Duto para Barra de Apoio, autores

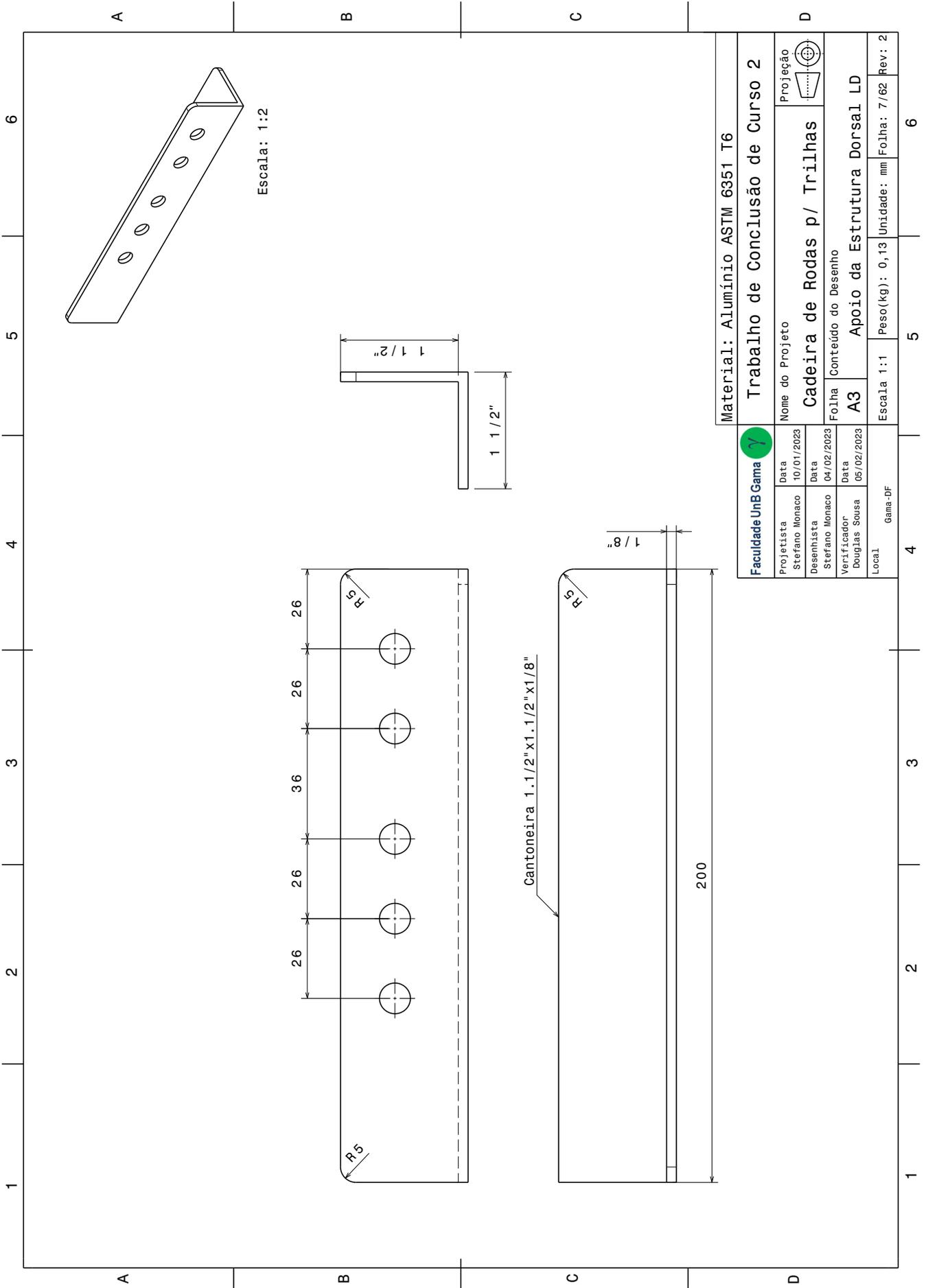


Figura 89 – Apoio da Estrutura Dorsal LD, autores

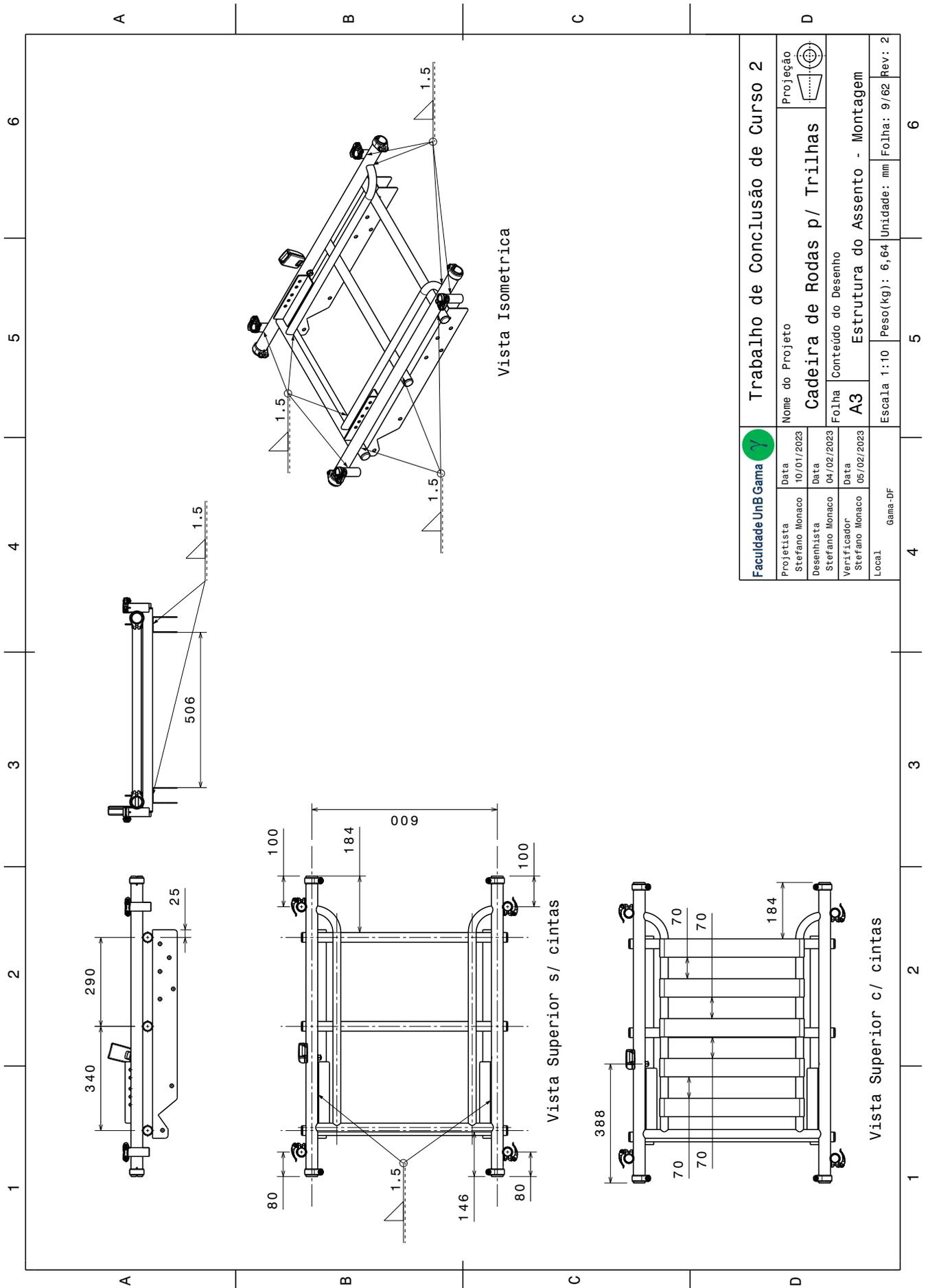


Figura 91 – Estrutura do Assento - Montagem, autores

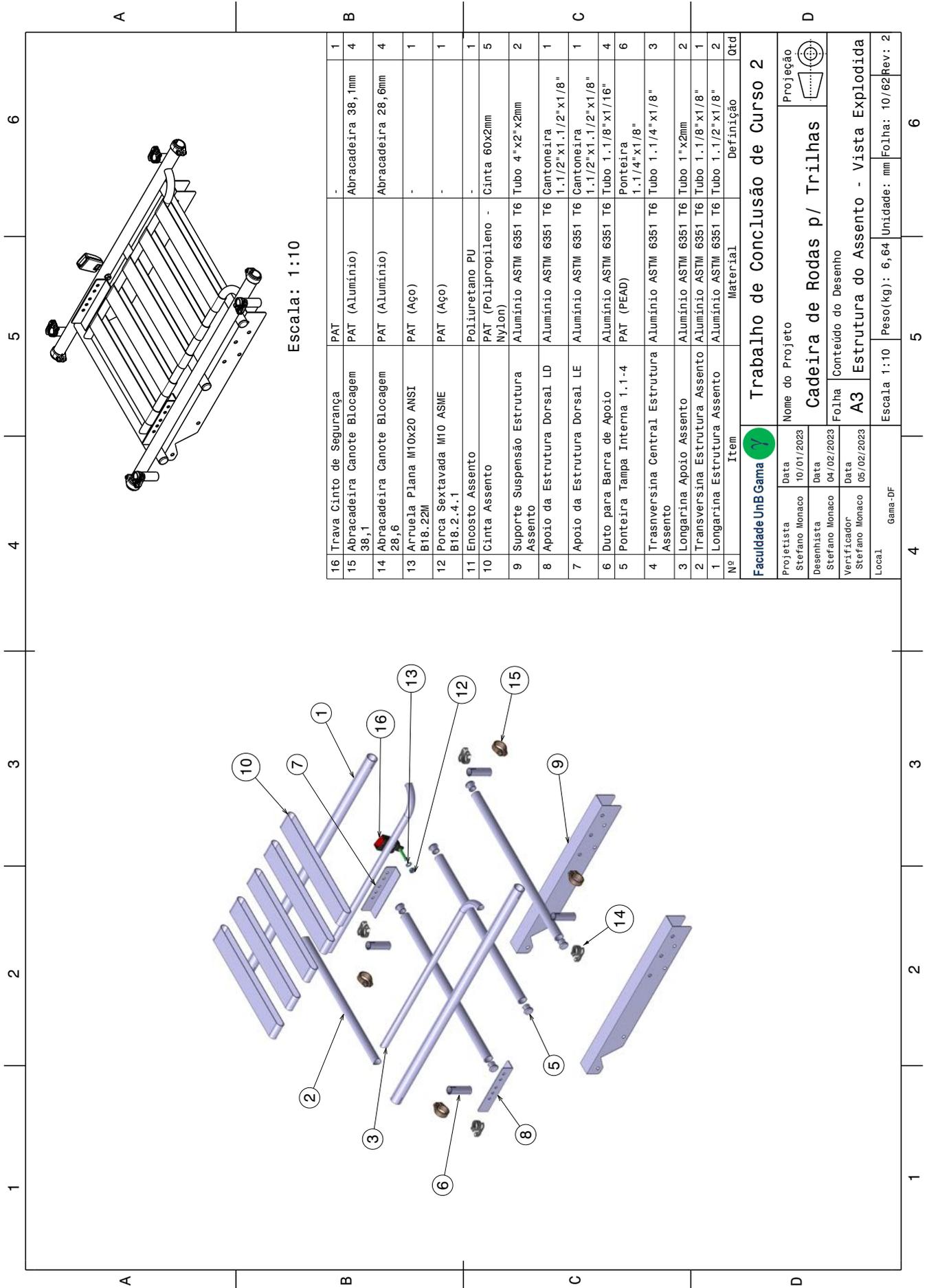
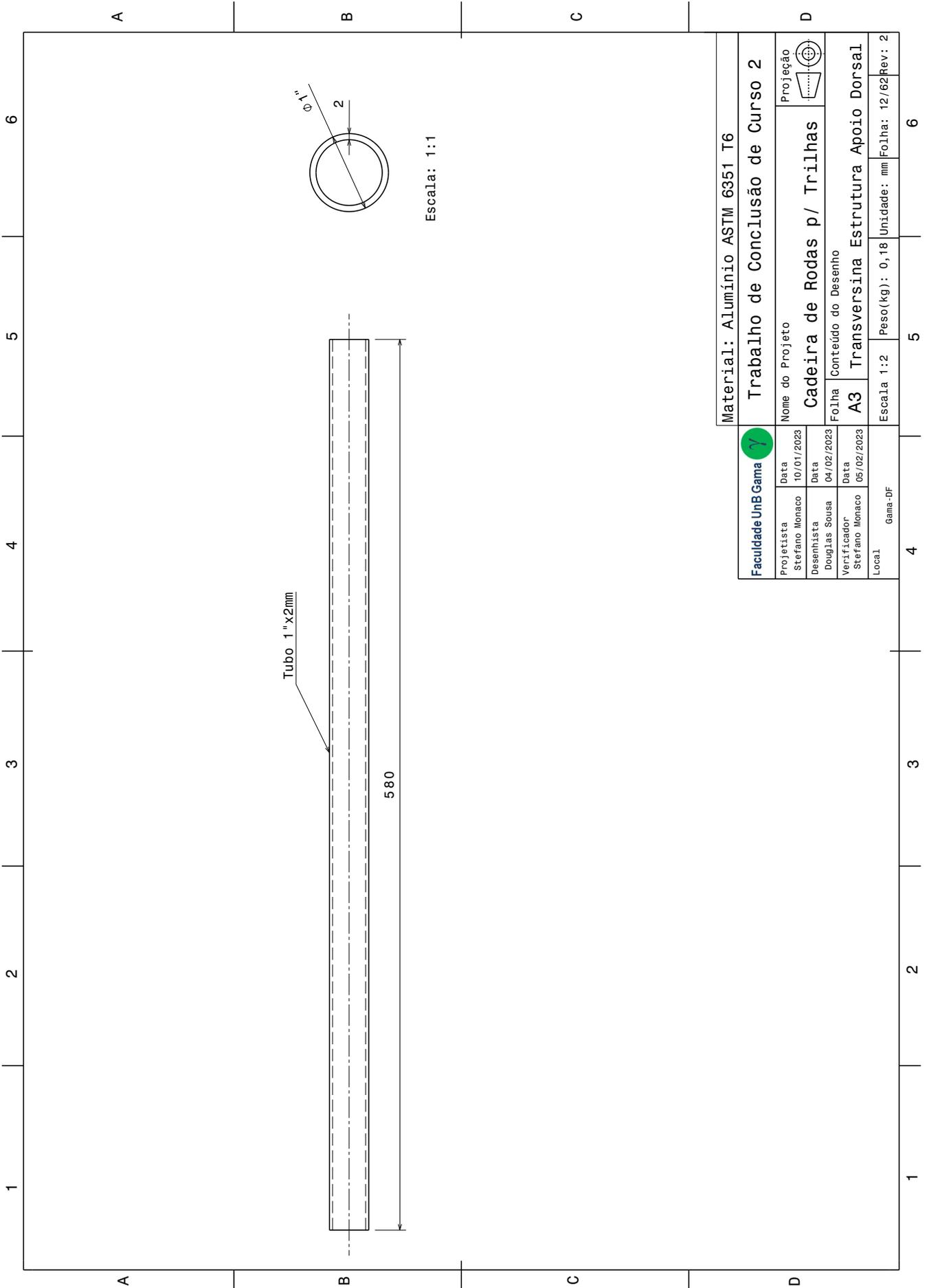


Figura 92 – Estrutura do Assento - Vista Explodida, autores



Faculdade UnB Gama		Material: Alumínio ASTM 6351 T6	
Projeta	Data	Trabalho de Conclusão de Curso 2	
Stefano Monaco	10/01/2023	Nome do Projeto	
Desenhista	Data	Cadeira de Rodas p/ Trilhas	
Douglas Sousa	04/02/2023	Folha	
Verificador	Data	Conteúdo do Desenho	
Stefano Monaco	05/02/2023	A3 Transversina Estrutura Apoio Dorsal	
Local	Gama-DF	Escala	Peso (kg)
		1:2	0,18
		Unidade	Folha
		mm	12/62
			Rev: 2

Figura 94 – Transversina Estrutura Apoio Dorsal, autores

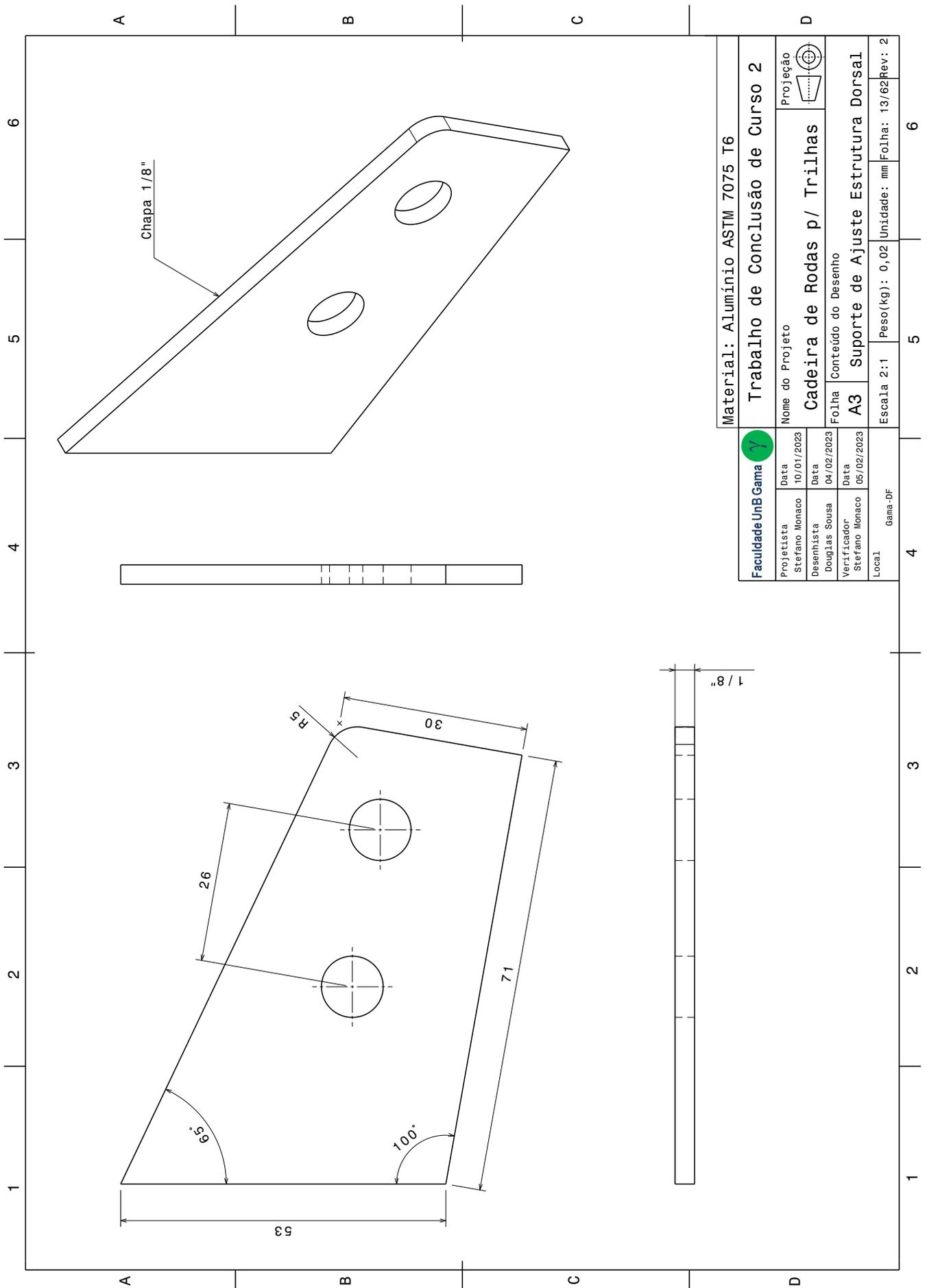


Figura 95 – Suporte de Ajuste Estrutura Dorsal, autores

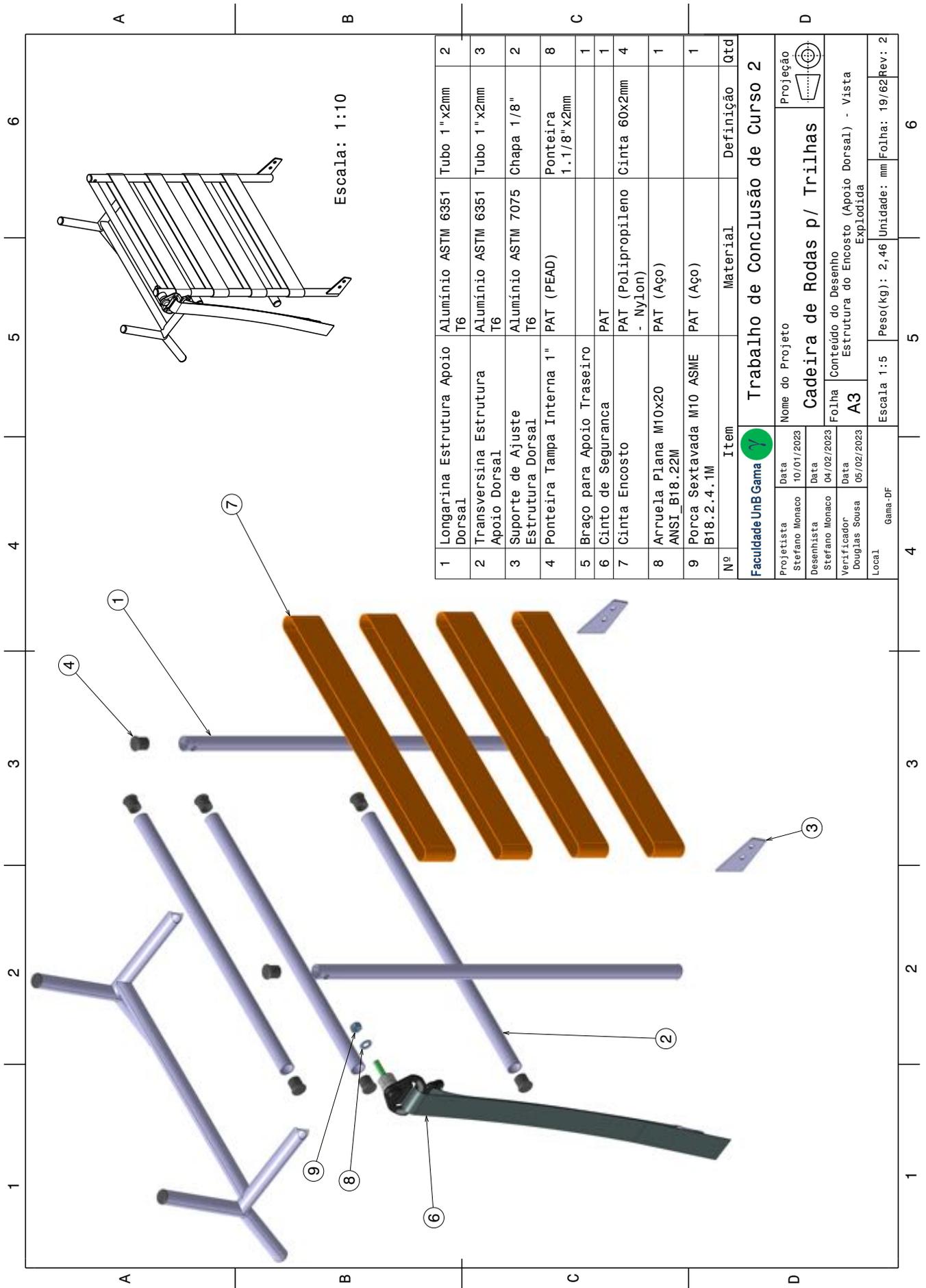


Figura 97 – Estrutura do Encosto (Apoio Dorsal) - Vista Explodida, autores

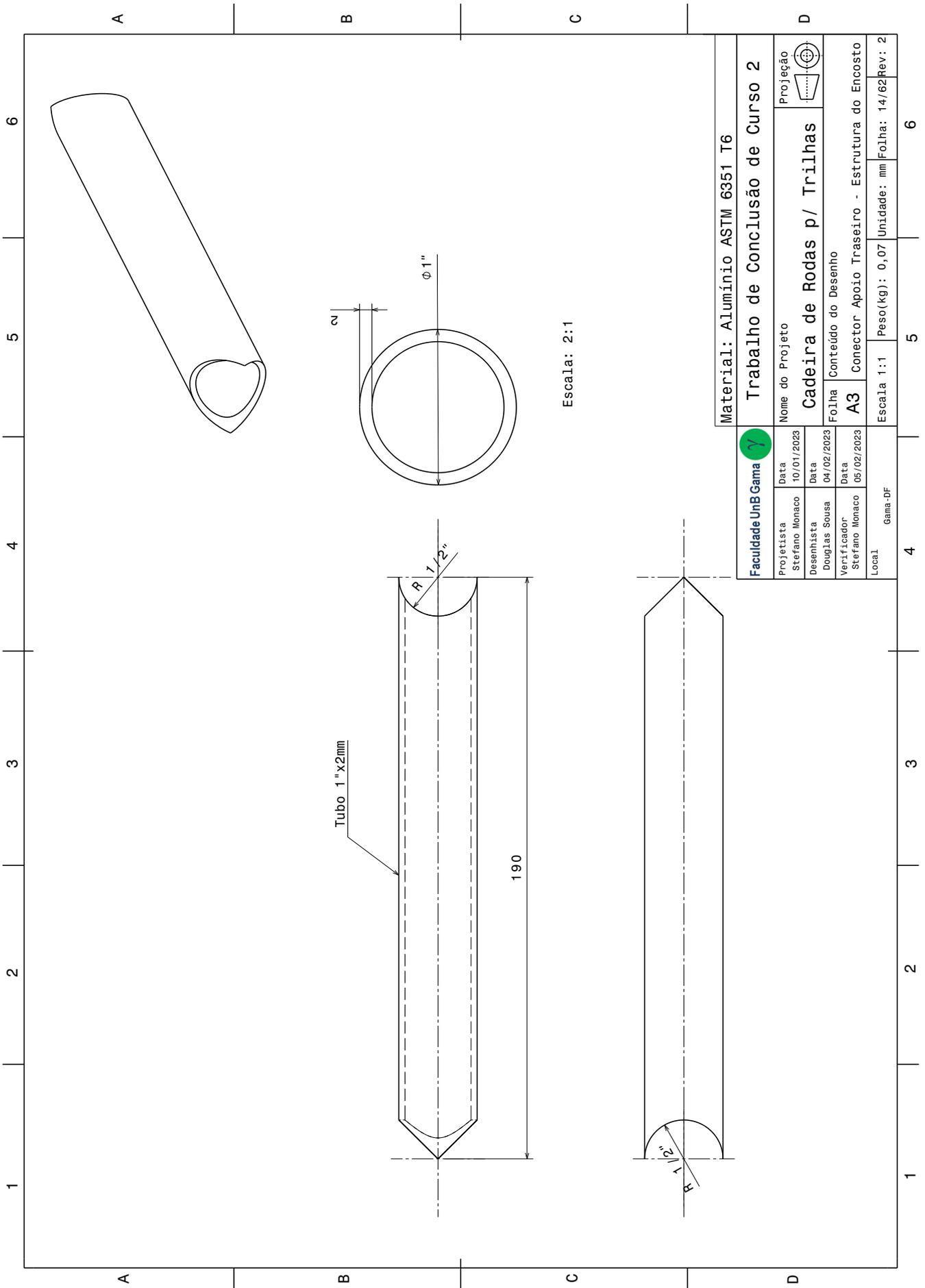


Figura 98 – Conector Apoio Traseiro - Estrutura do Encosto, autores

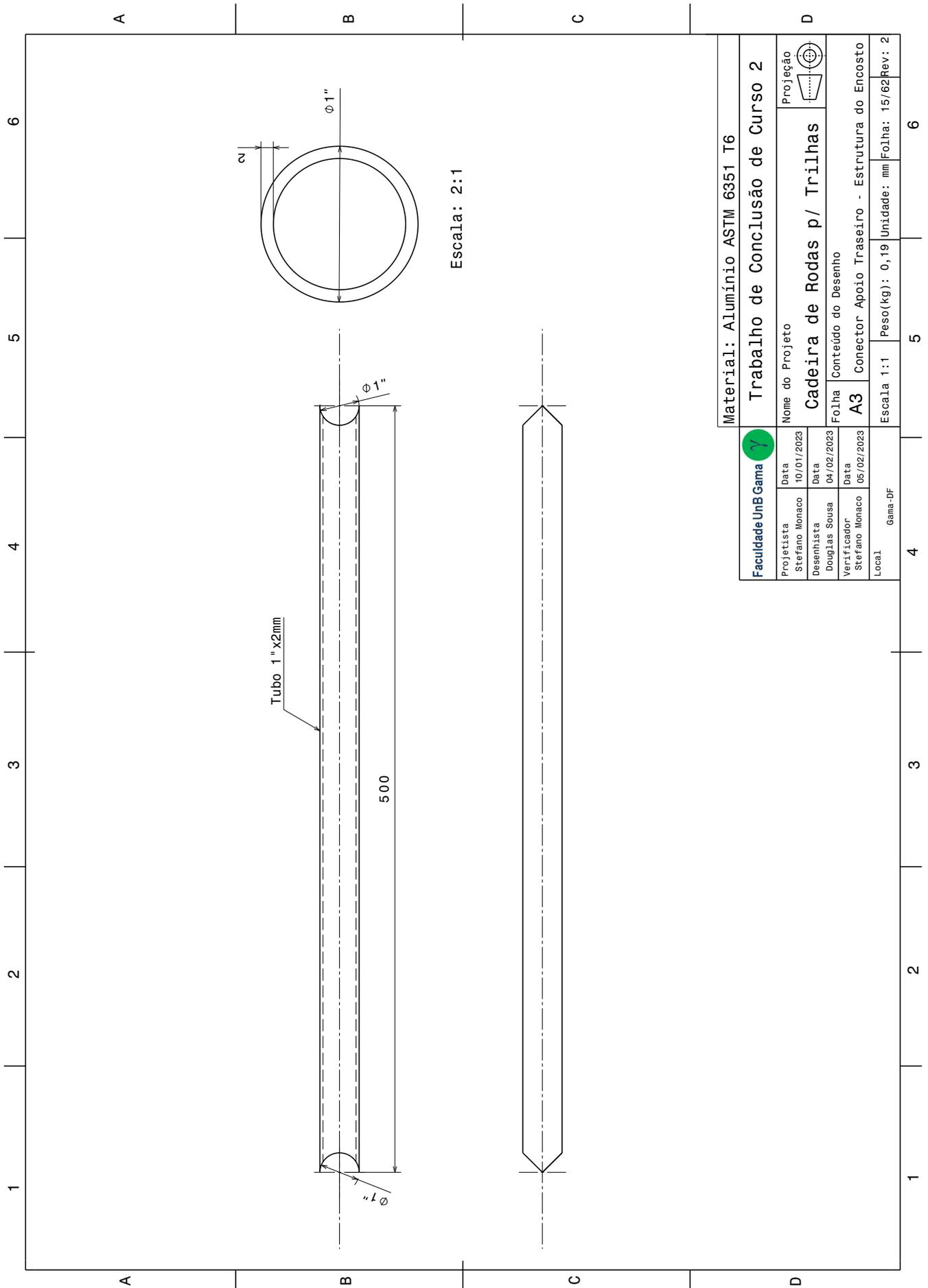


Figura 99 – Transversina Braço Apoio Traseiro, autores

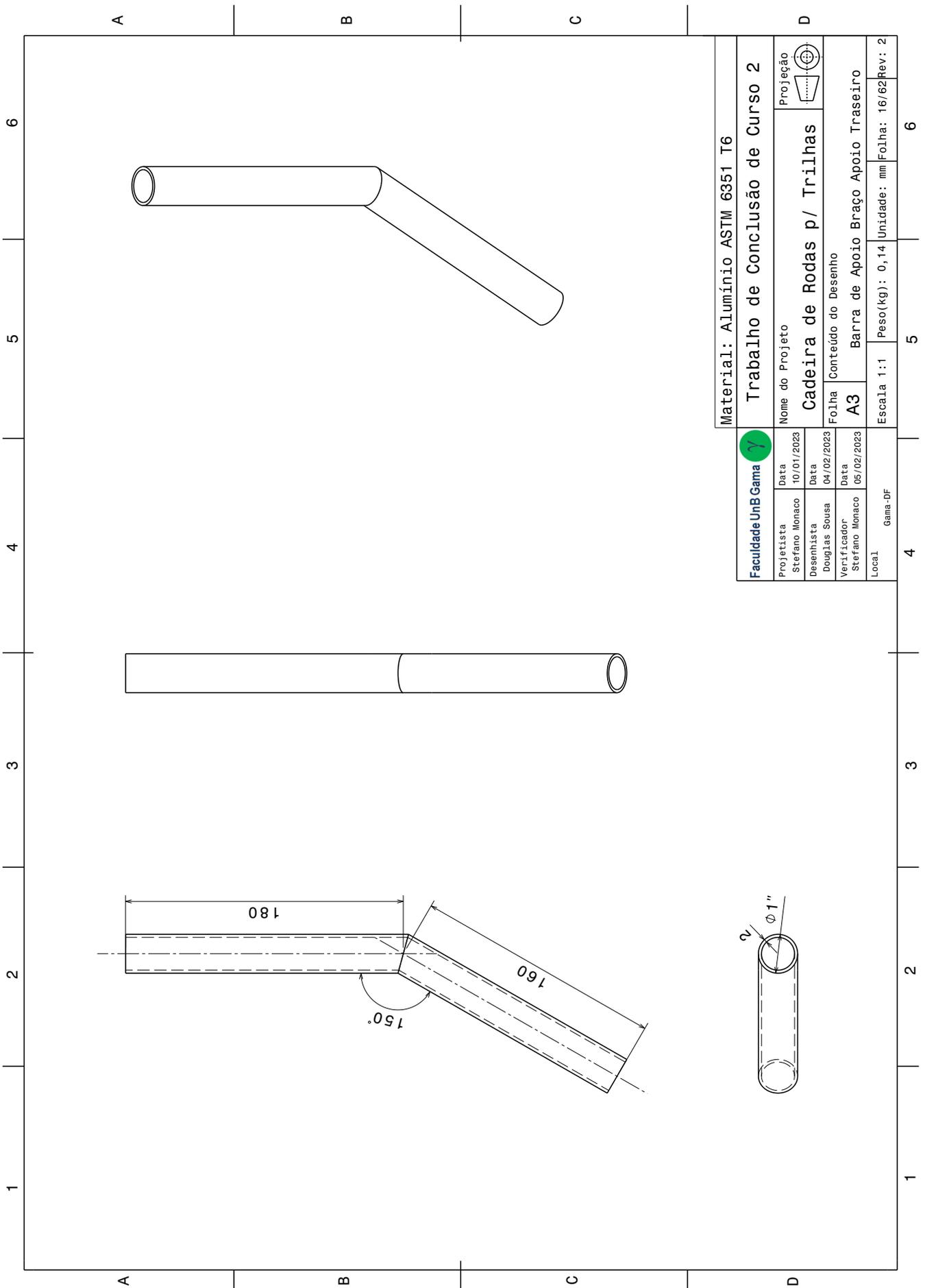
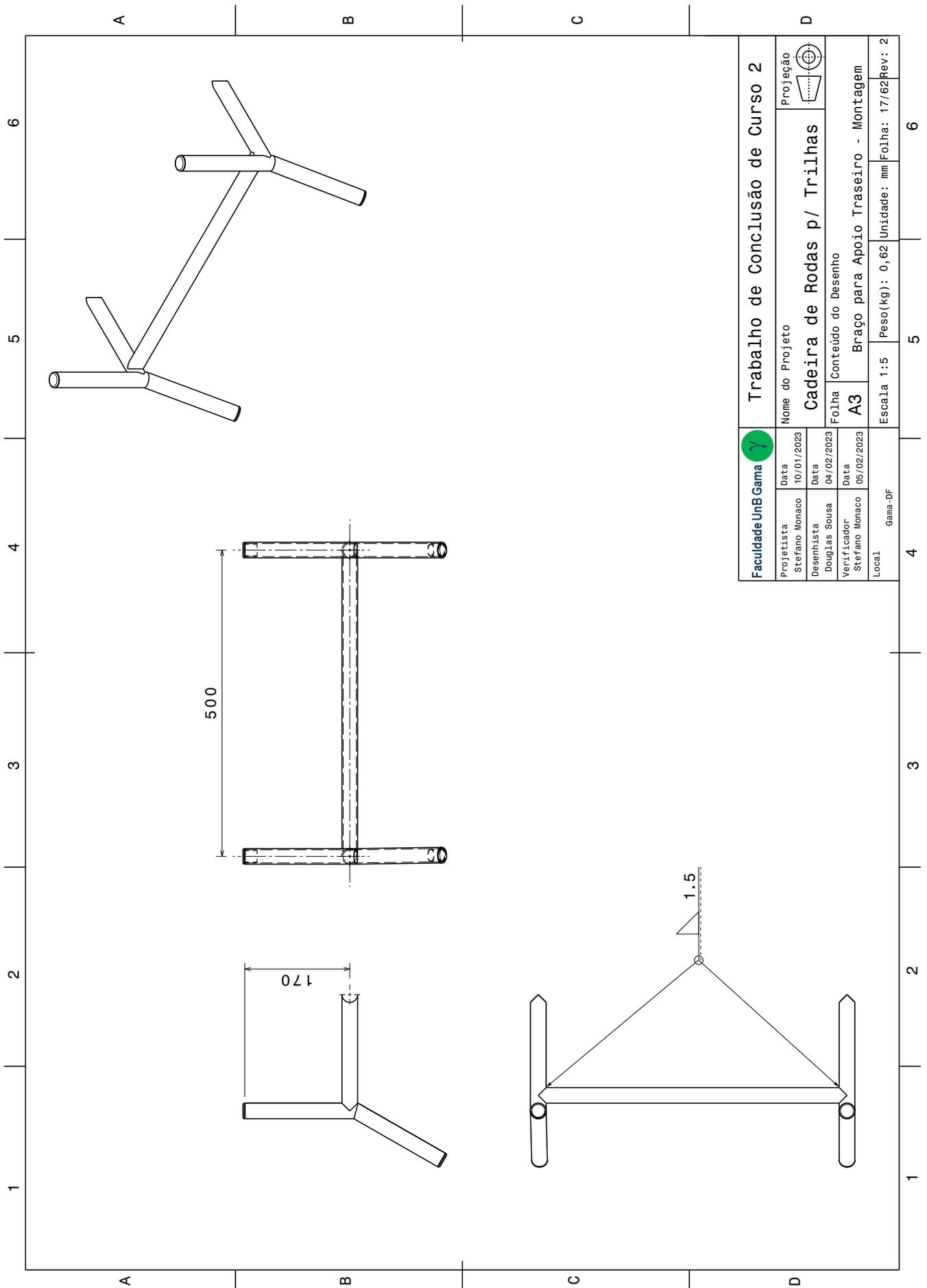


Figura 100 – Barra de Apoio Braço Apoio Traseiro, autores



Faculdade UnB Gama		Trabalho de Conclusão de Curso 2		Projecção	
Projetista	Data	Nome do Projeto		Projecção	
Stefano Monaco	10/01/2023	Cadeira de Rodas p/ Trilhas		Projecção	
Desenhista	Data	Folha		Conteúdo do Desenho	
Douglas Sousa	04/02/2023	A3		Braço para Apoio Traseiro - Montagem	
Verificador	Data	Escala		Peso (kg)	
Stefano Monaco	05/02/2023	1:5		0,62	
Local	Gama-DF	Unidade		Folha	
		mm		17/62	
				Rev: 2	

Figura 101 – Braço para Apoio Traseiro - Montagem, autores

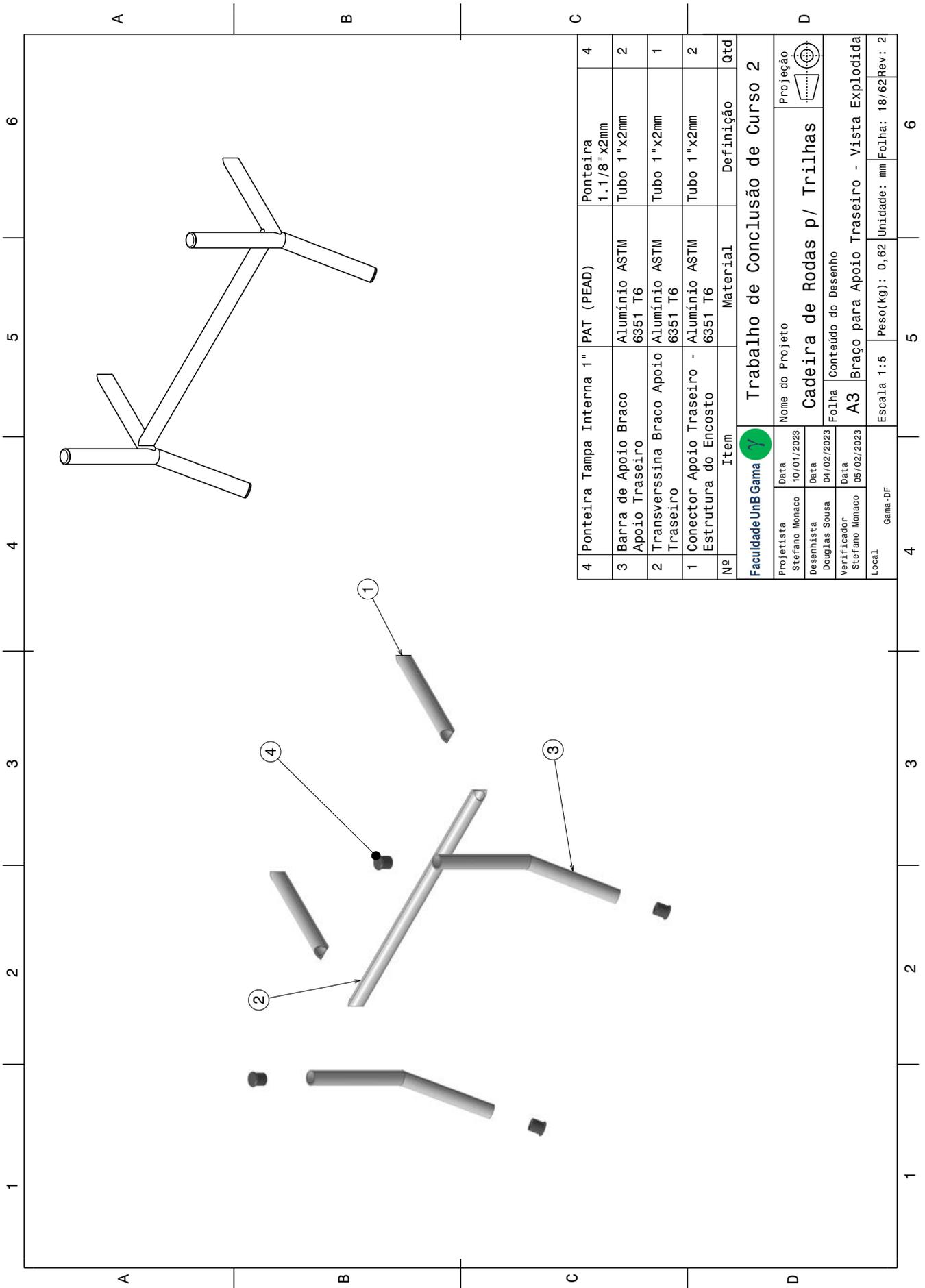
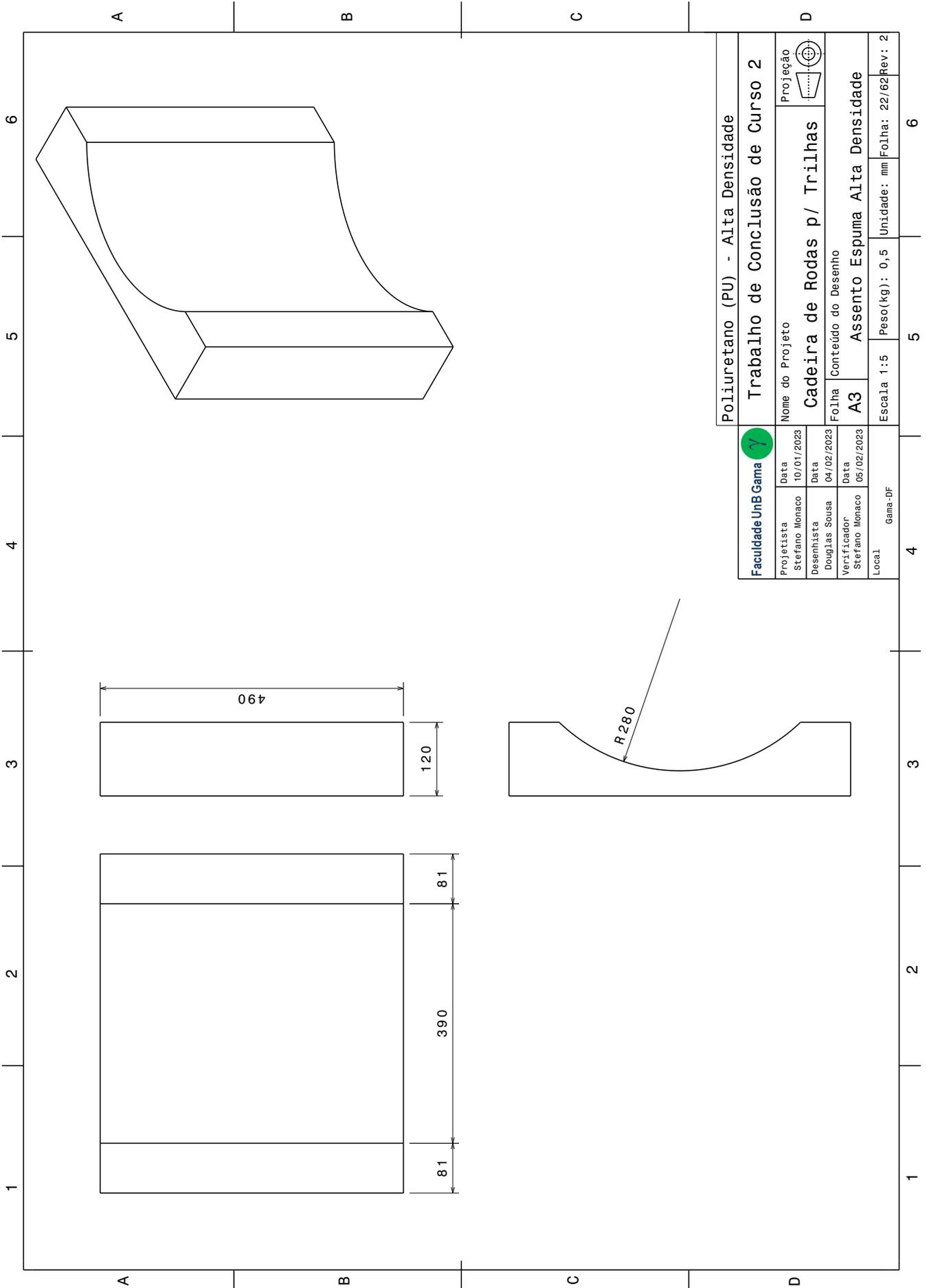


Figura 102 – Braço para Apoio Traseiro - Vista Explodida, autores



Faculdade UnB Gama		Projeto		Poliuretano (PU) - Alta Densidade	
Projeto	10/01/2023	Nome do Projeto		Trabalho de Conclusão de Curso 2	
Desenhista	04/02/2023	Nome do Projeto		Cadeira de Rodas p/ Trilhas	
Verificador	05/02/2023	Folha		Conteúdo do Desenho	
Local	Gama-DF	Folha		A3	
		Escala		1:5	
		Peso (kg)		0,5	
		Unidade		mm	
		Folha		22/62	
		Rev		2	

Figura 103 – Assento Espuma Alta Densidade, autores

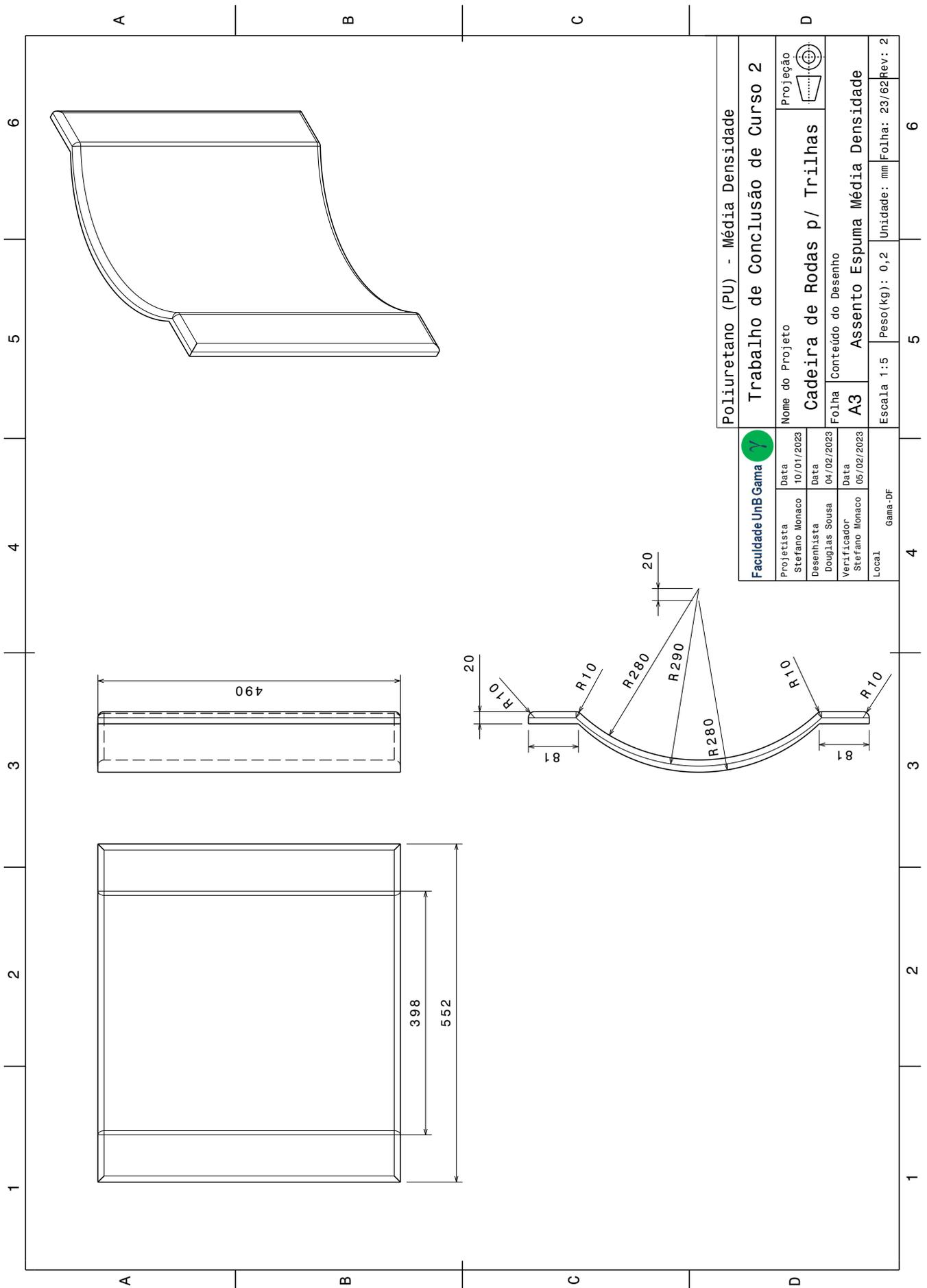


Figura 104 – Assento Espuma Média Densidade, autores

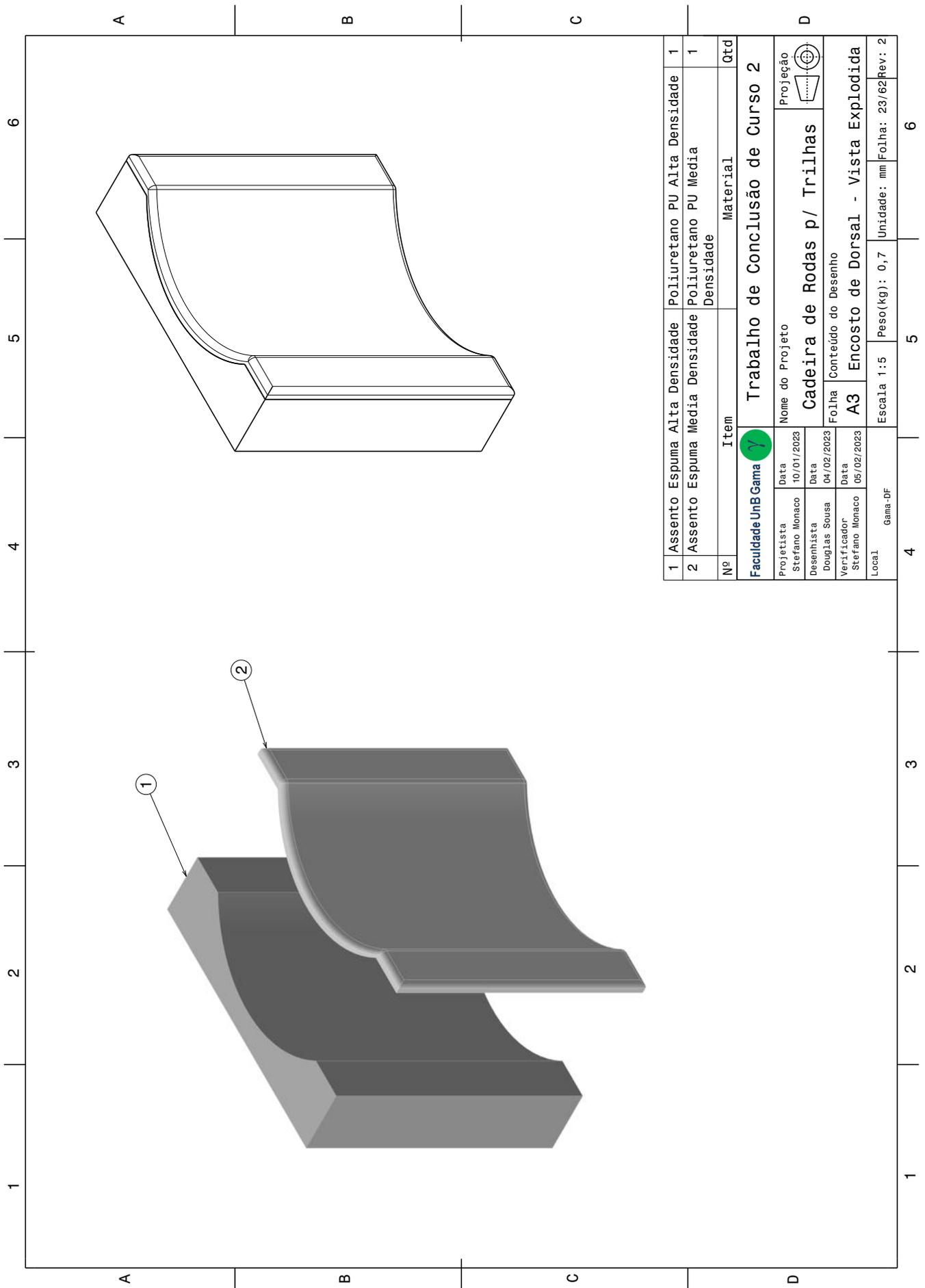


Figura 105 – Encosto de Dorsal - Vista Explodida, autores

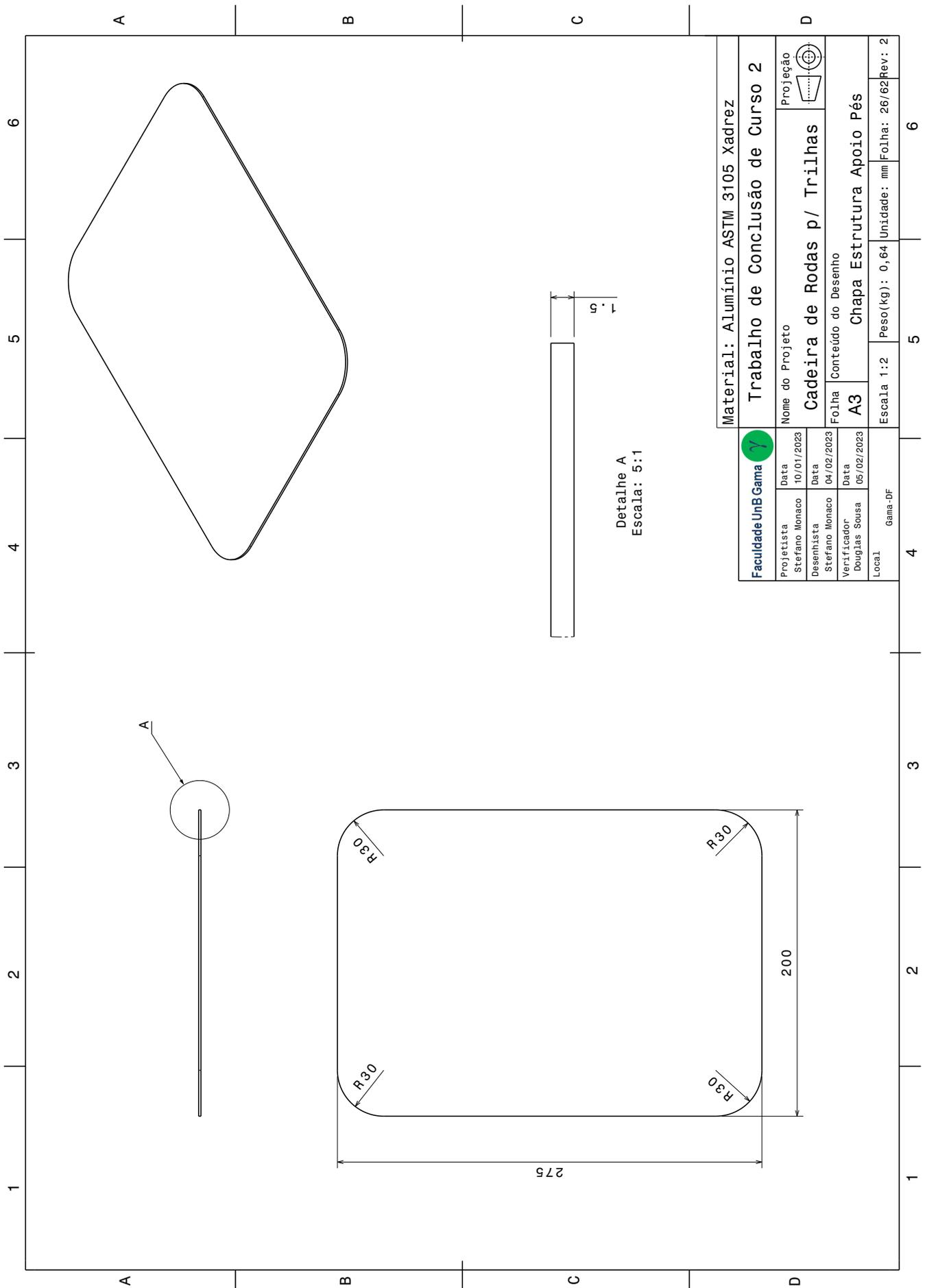
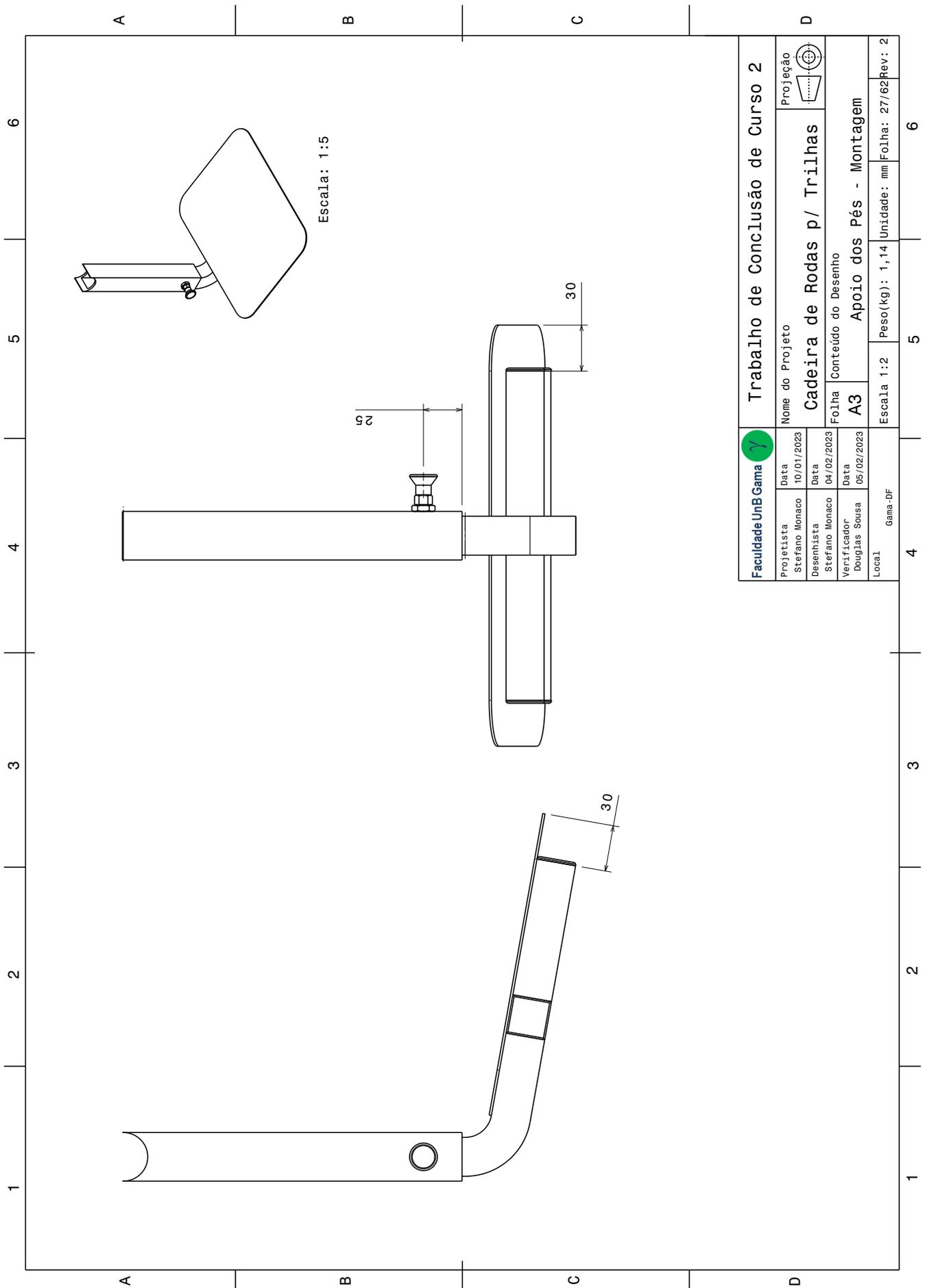


Figura 108 – Chapa Estrutura Apoio Pés, autores



Faculdade UnB Gama		Trabalho de Conclusão de Curso 2		Projecção	
Projetista	Data	Nome do Projeto		Projecção	
Stefano Monaco	10/01/2023	Cadeira de Rodas p/ Trilhas		Projecção	
Desenhista	Data	Folha		Conteúdo do Desenho	
Stefano Monaco	04/02/2023	A3		Apoio dos Pés - Montagem	
Verificador	Data	Escala		Peso (kg)	
Douglas Sousa	05/02/2023	1:2		1,14	
Local	Gama-DF	Unidade		mm	
		Folha		27/62	
		Rev		2	

Figura 109 – Apoio dos Pés - Montagem, autores

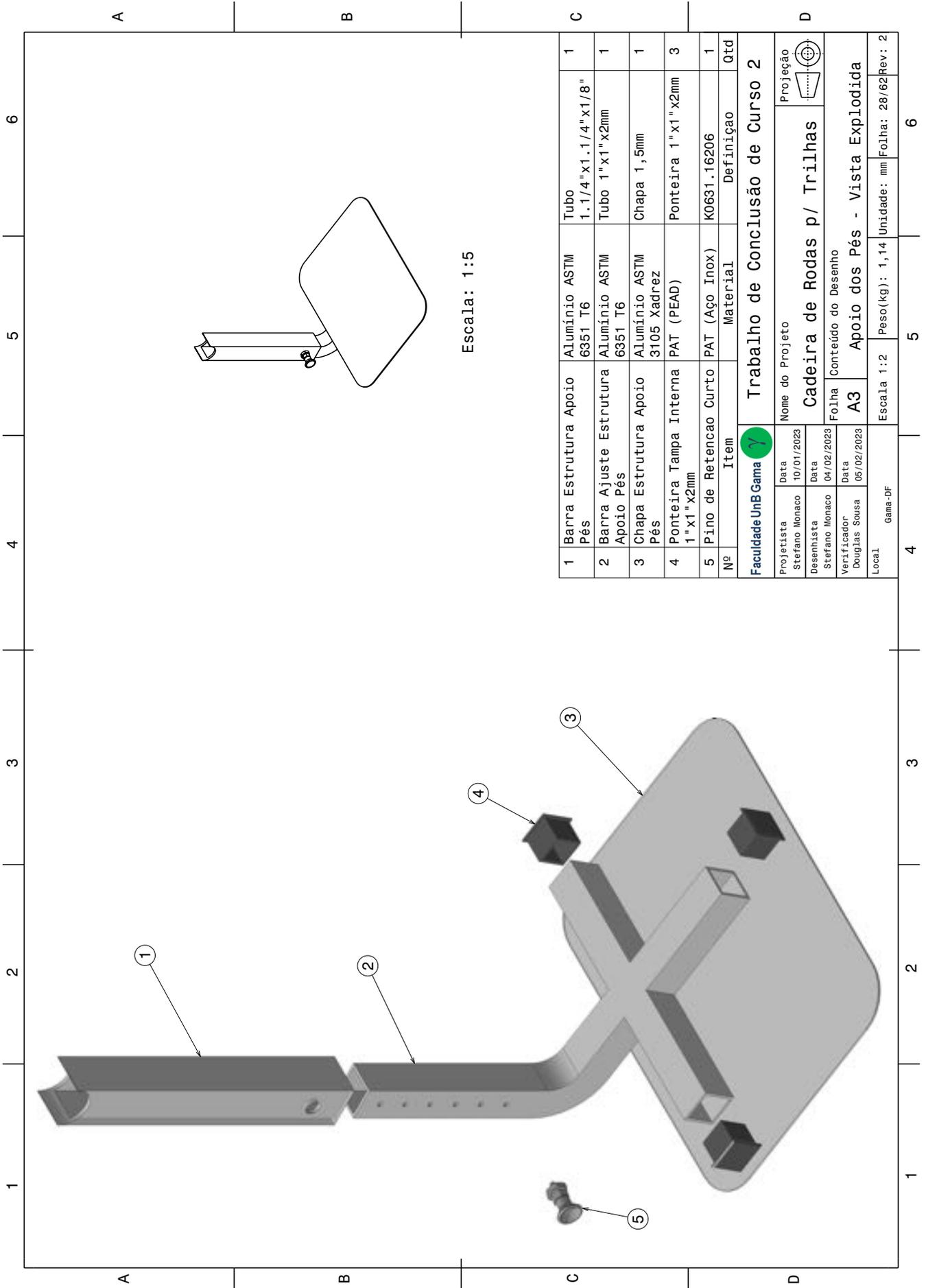


Figura 110 – Apoio dos Pés - Vista Explodida, autores

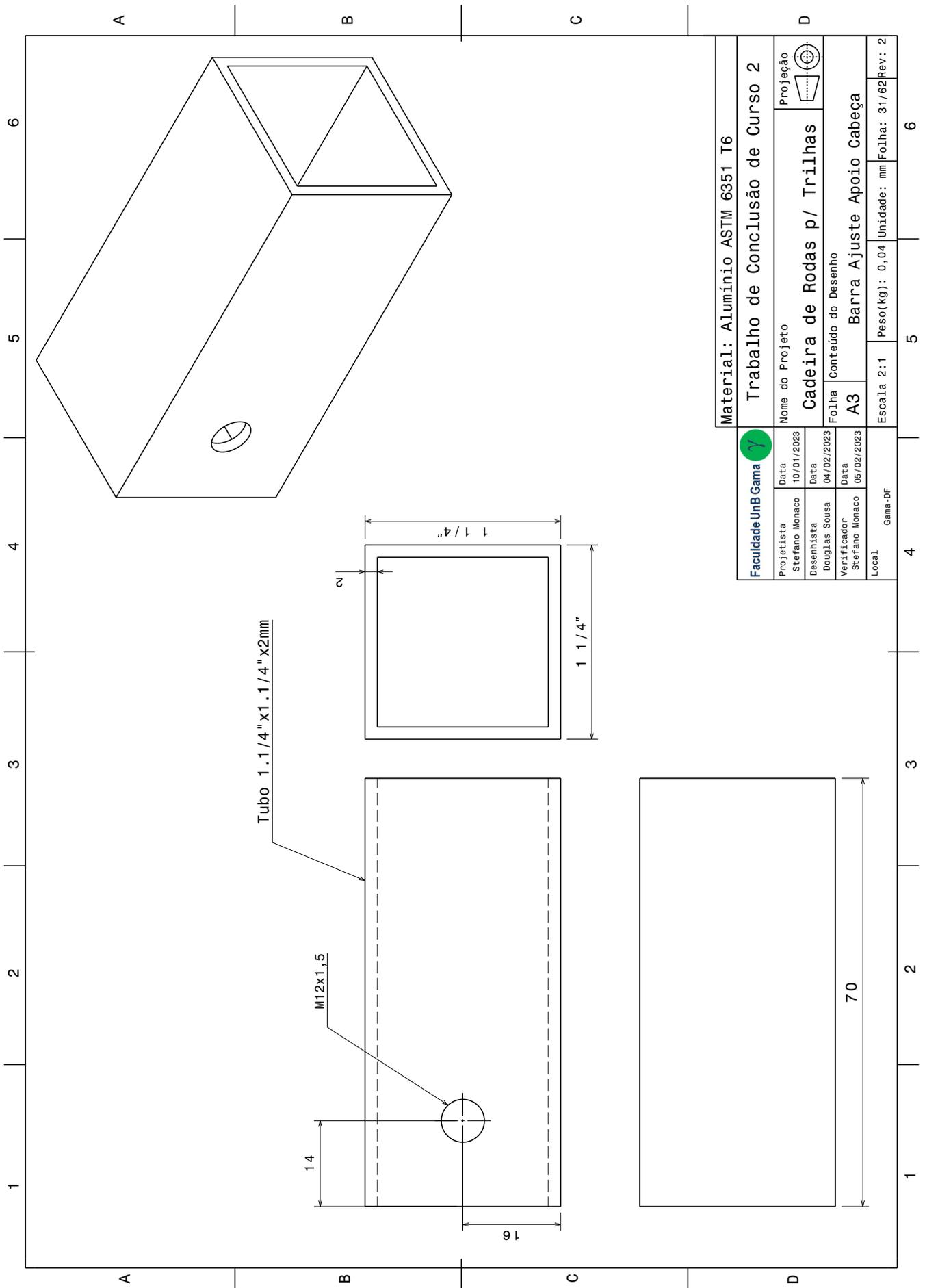


Figura 113 – Barra Ajuste Apoio Cabeça, autores

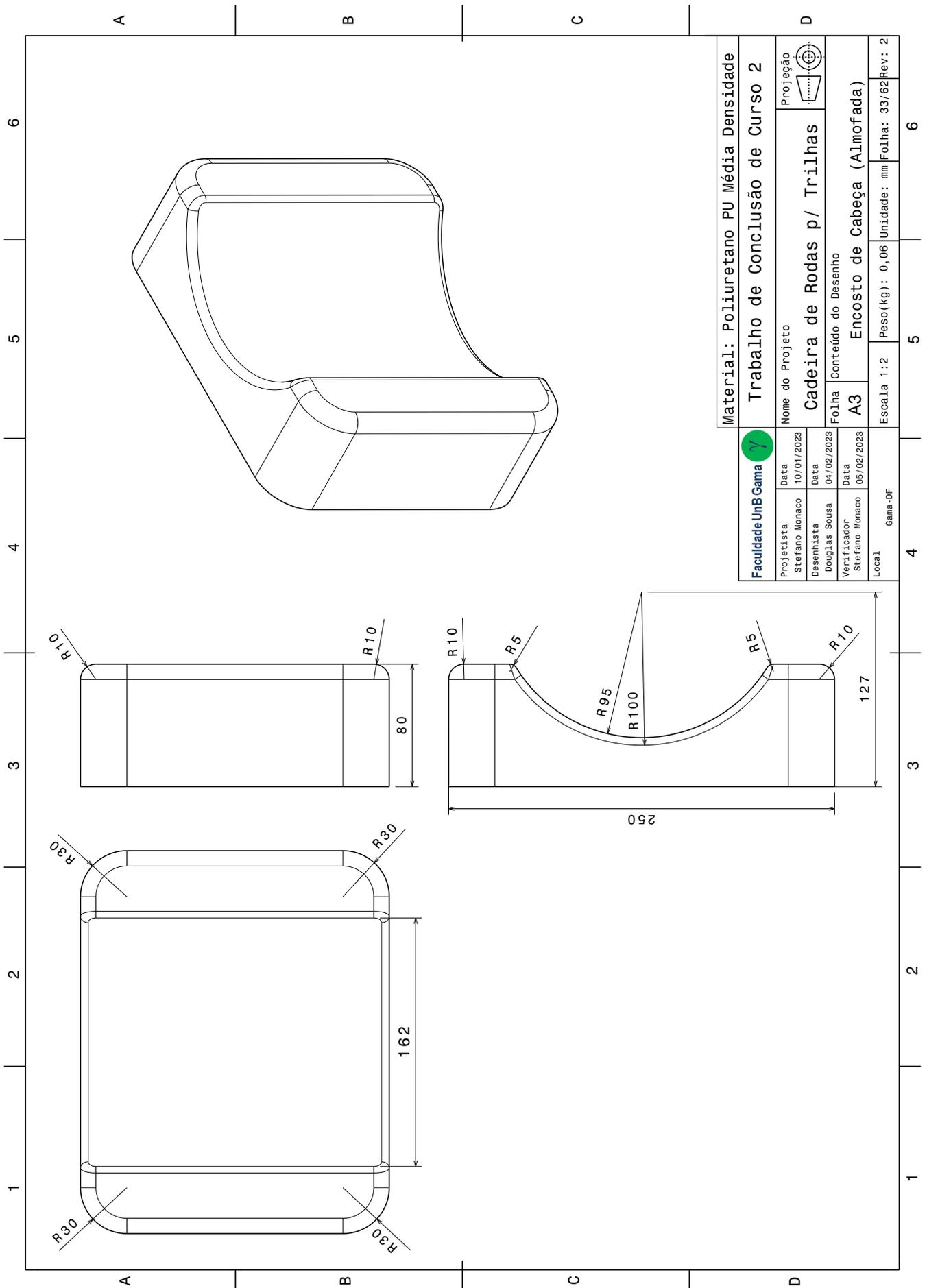


Figura 115 – Encosto de Cabeça, autores

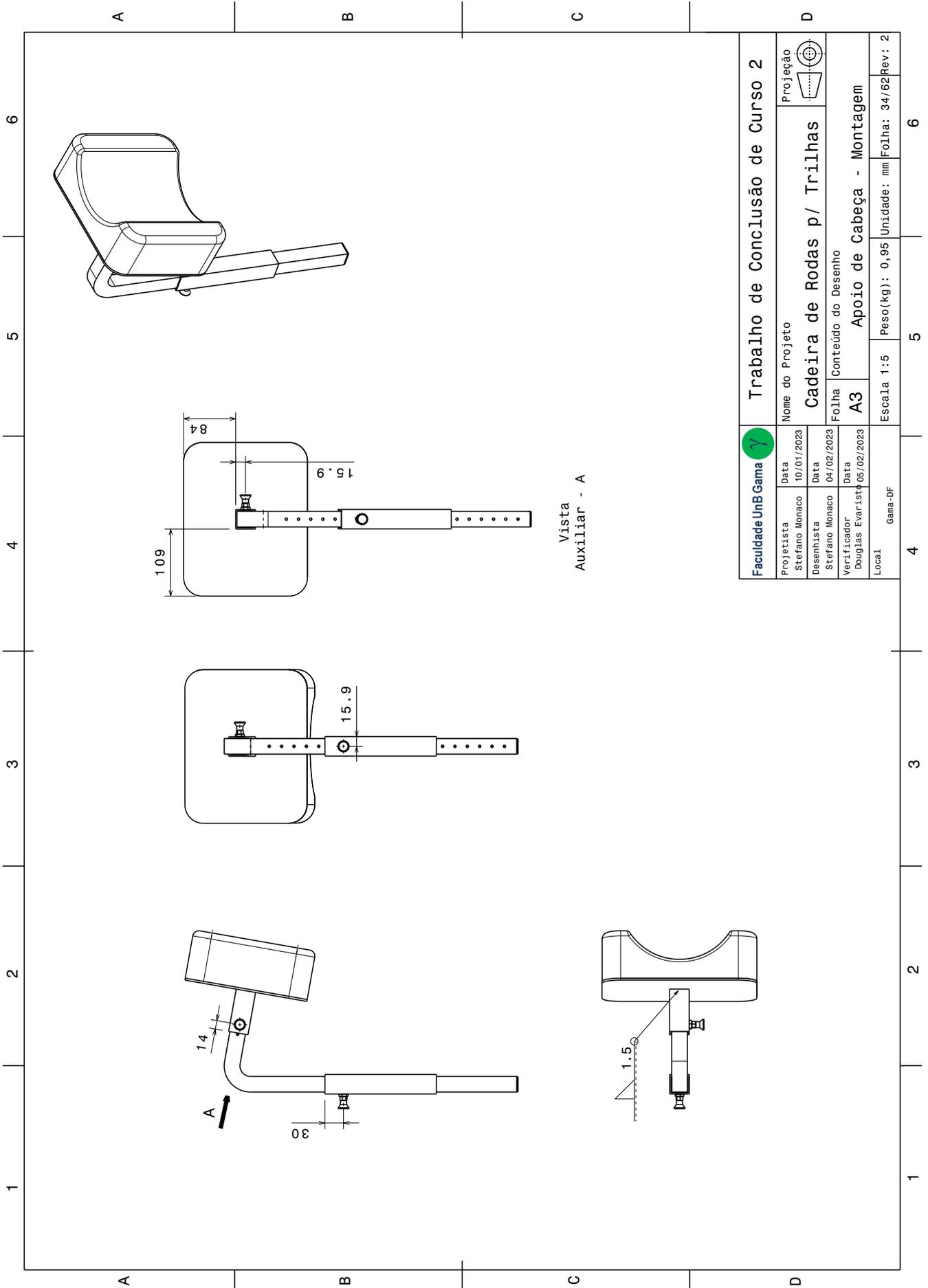


Figura 116 – Apoio de Cabeça - Montagem, autores

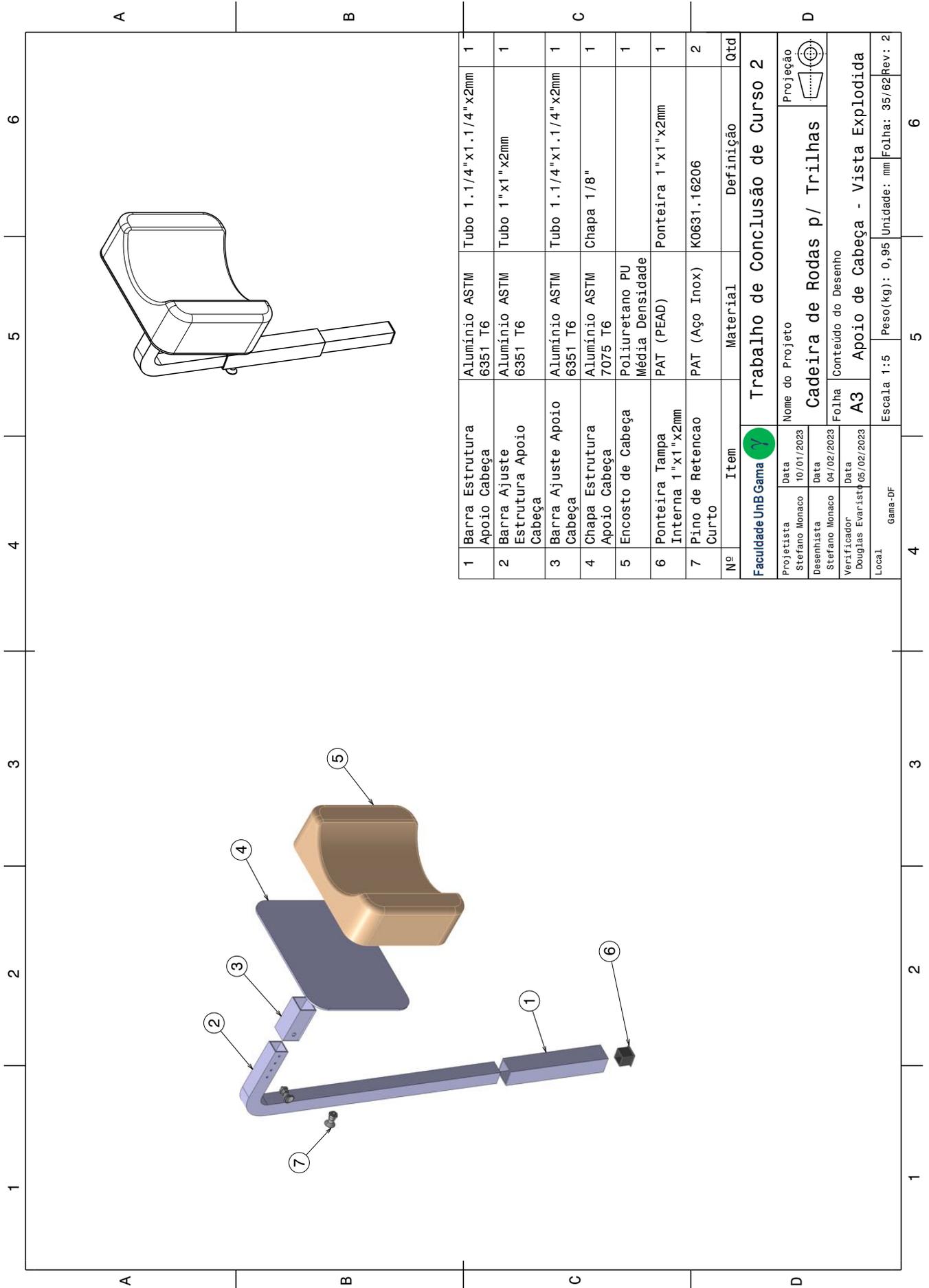


Figura 117 – Apoio de Cabeça - Vista Explodida, autores

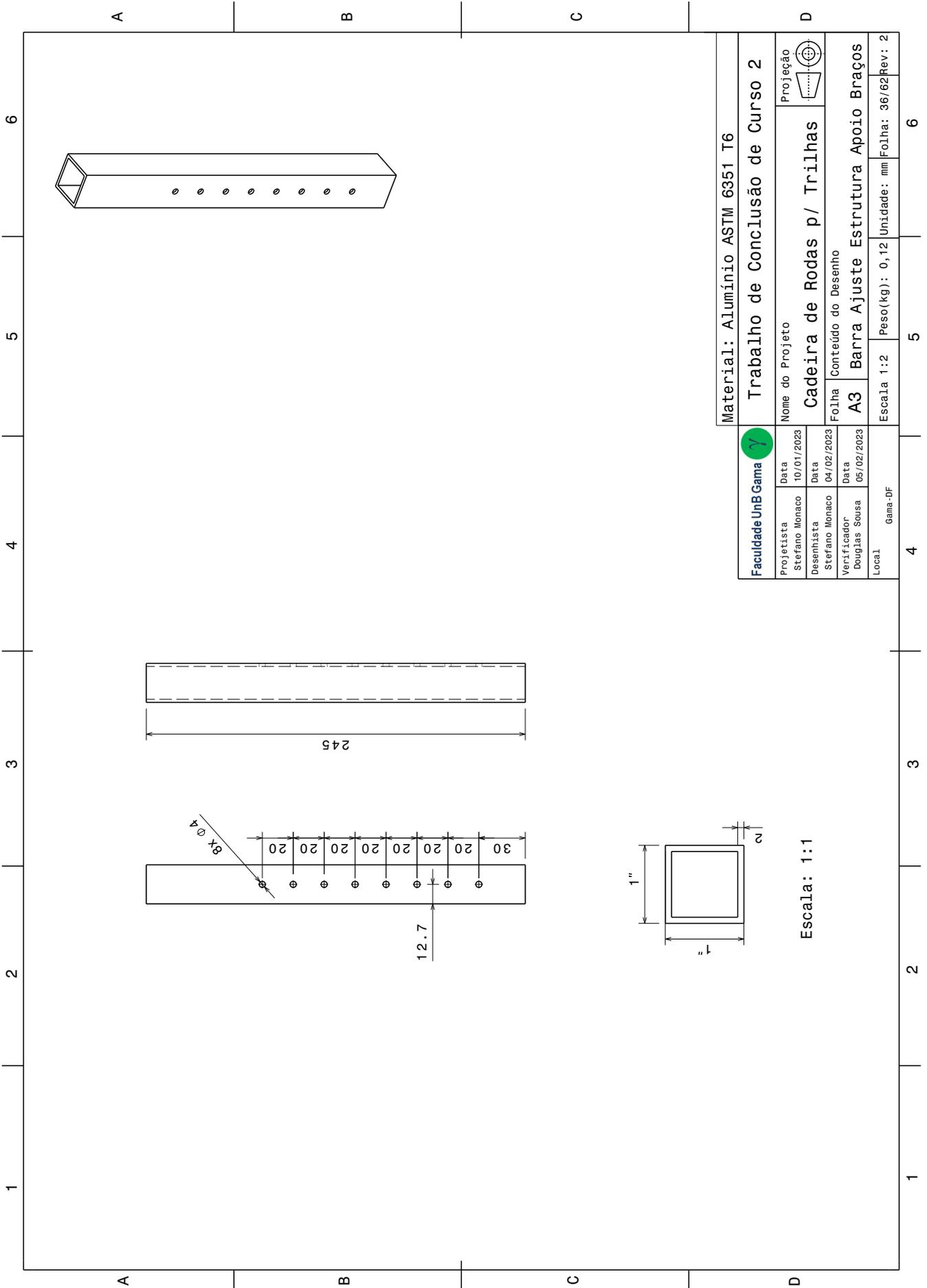


Figura 119 – Barra Ajuste Estrutura Apoio Braços, autores

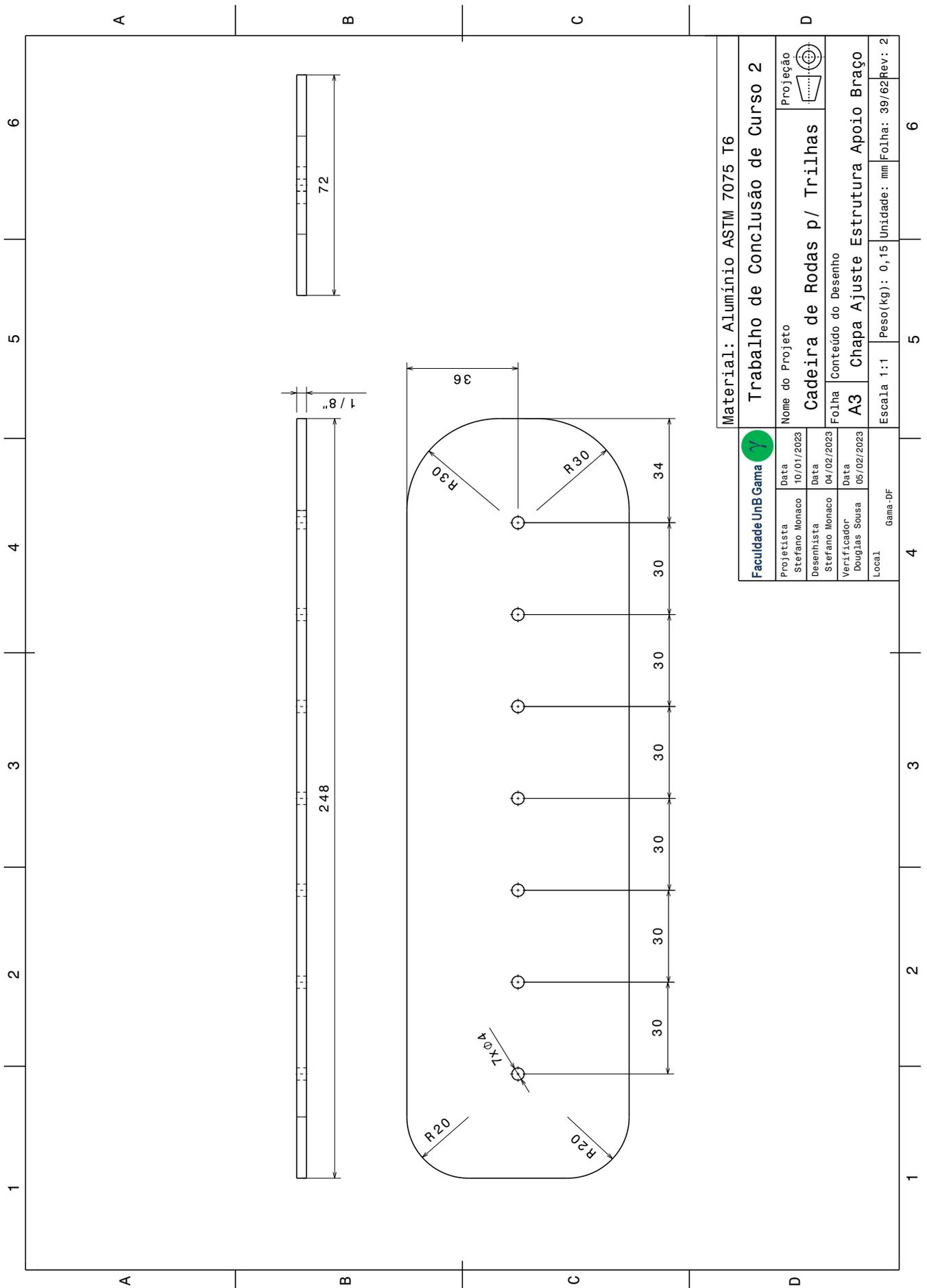
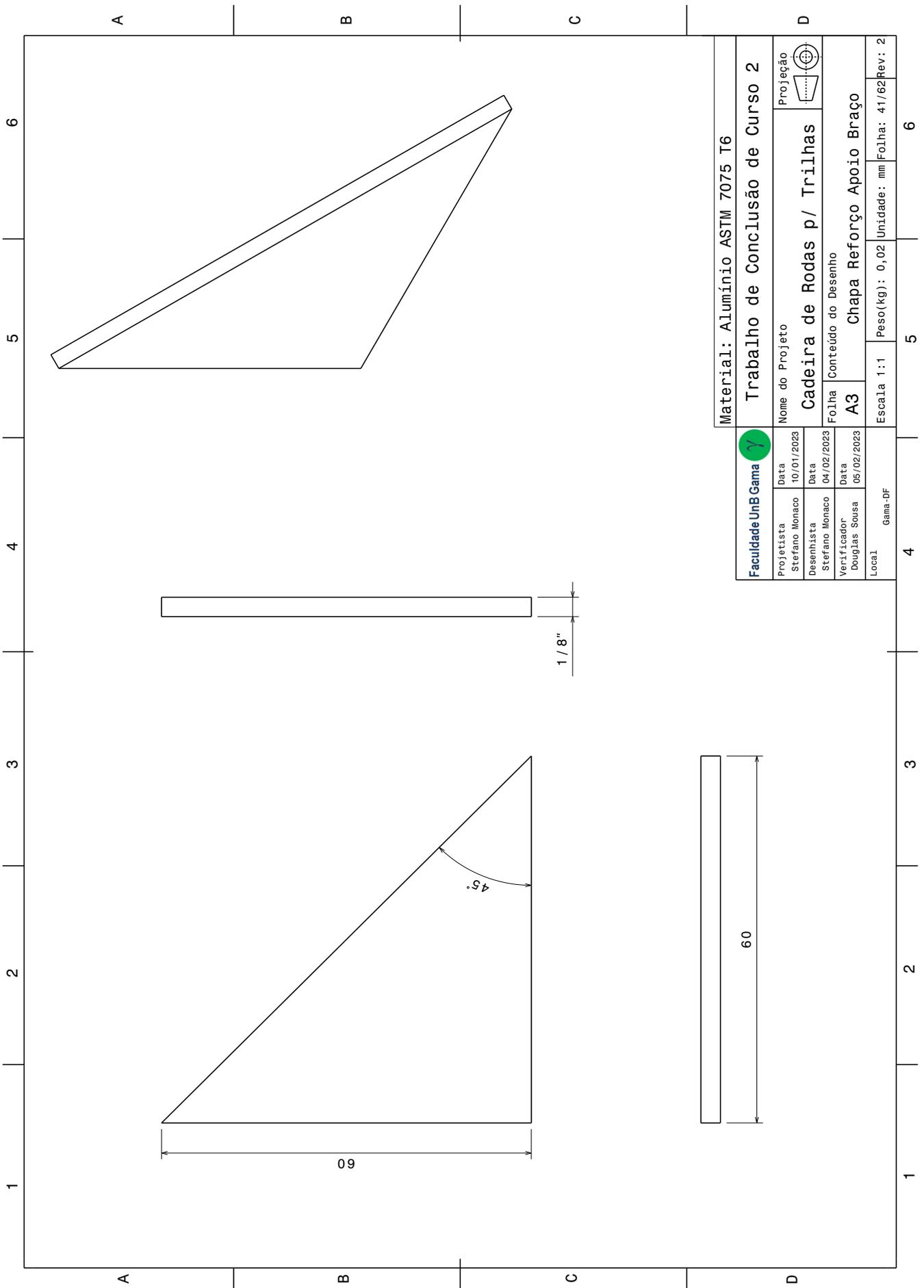


Figura 121 – Chapa Ajuste Estrutura Apoio Braço, autores



Faculdade UnB Gama		Material: Alumínio ASTM 7075 T6	
Projeta	Data	Trabalho de Conclusão de Curso 2	
Stefano Monaco	10/01/2023	Nome do Projeto	
Desenhista	Data	Cadeira de Rodas p/ Trilhas	
Stefano Monaco	04/02/2023	Folha	
Verificador	Data	Conteúdo do Desenho	
Douglas Sousa	05/02/2023	A3	
Local	Gama-DF	Chapa Reforço Apoio Braço	
		Esca	Peso
		1:1	(kg): 0,02
		Unidade:	mm
		Folha:	41/62
		Rev:	2

Figura 123 – Chapa Reforço Apoio Braço, autores

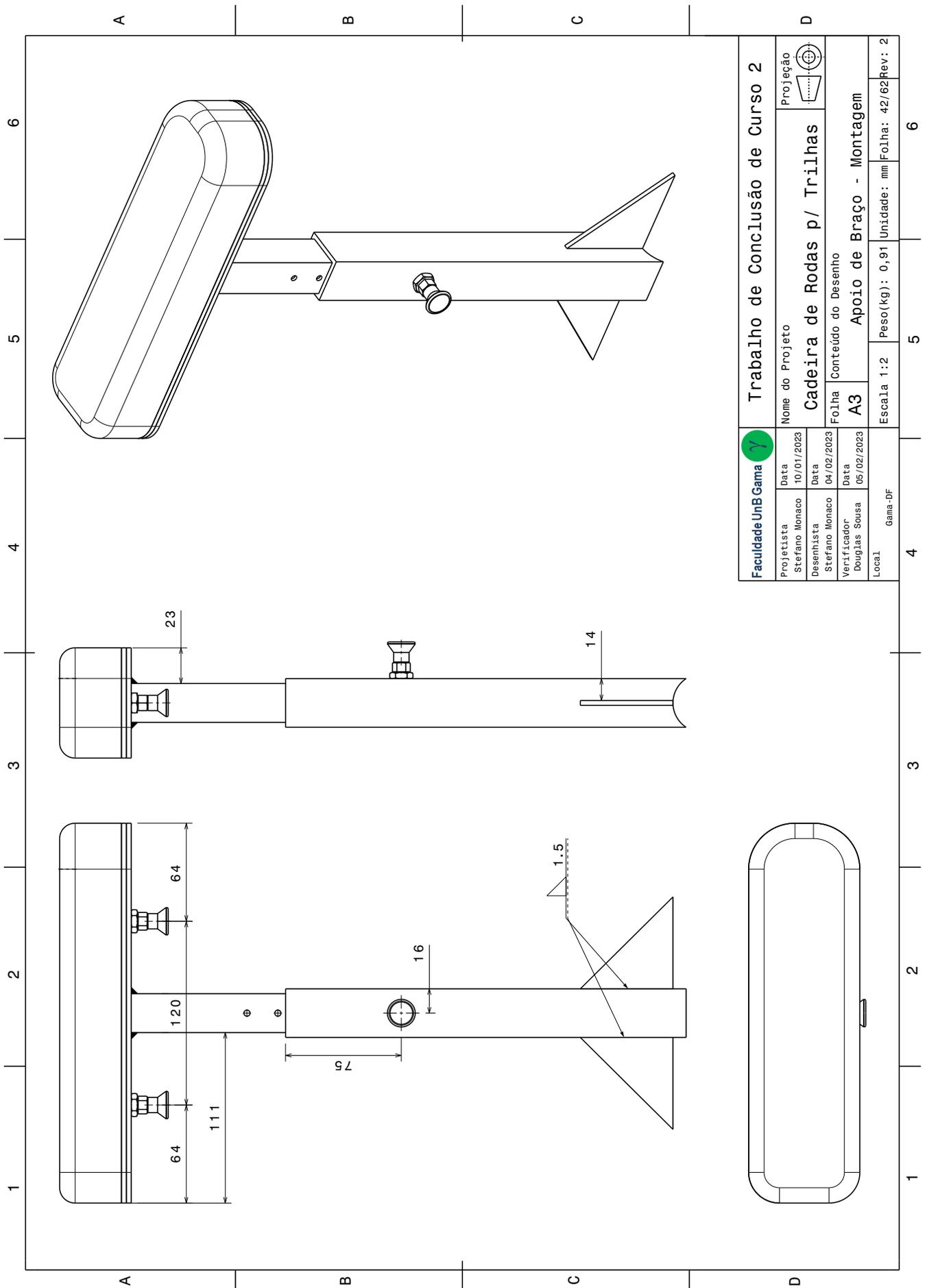


Figura 124 – Apoio de Braço - Montagem, autores

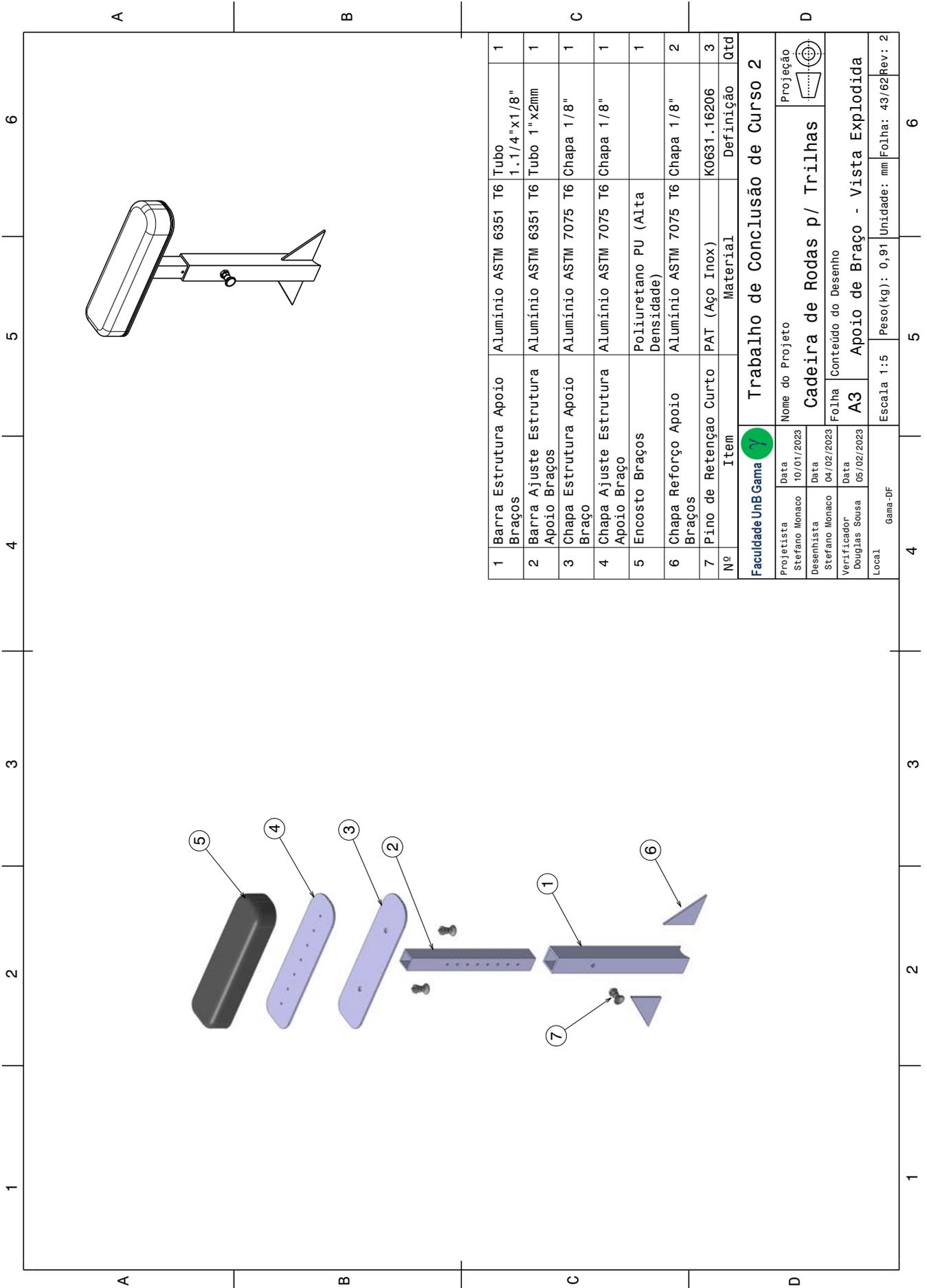


Figura 125 – Apoio de Braço - Vista Explodida, autores

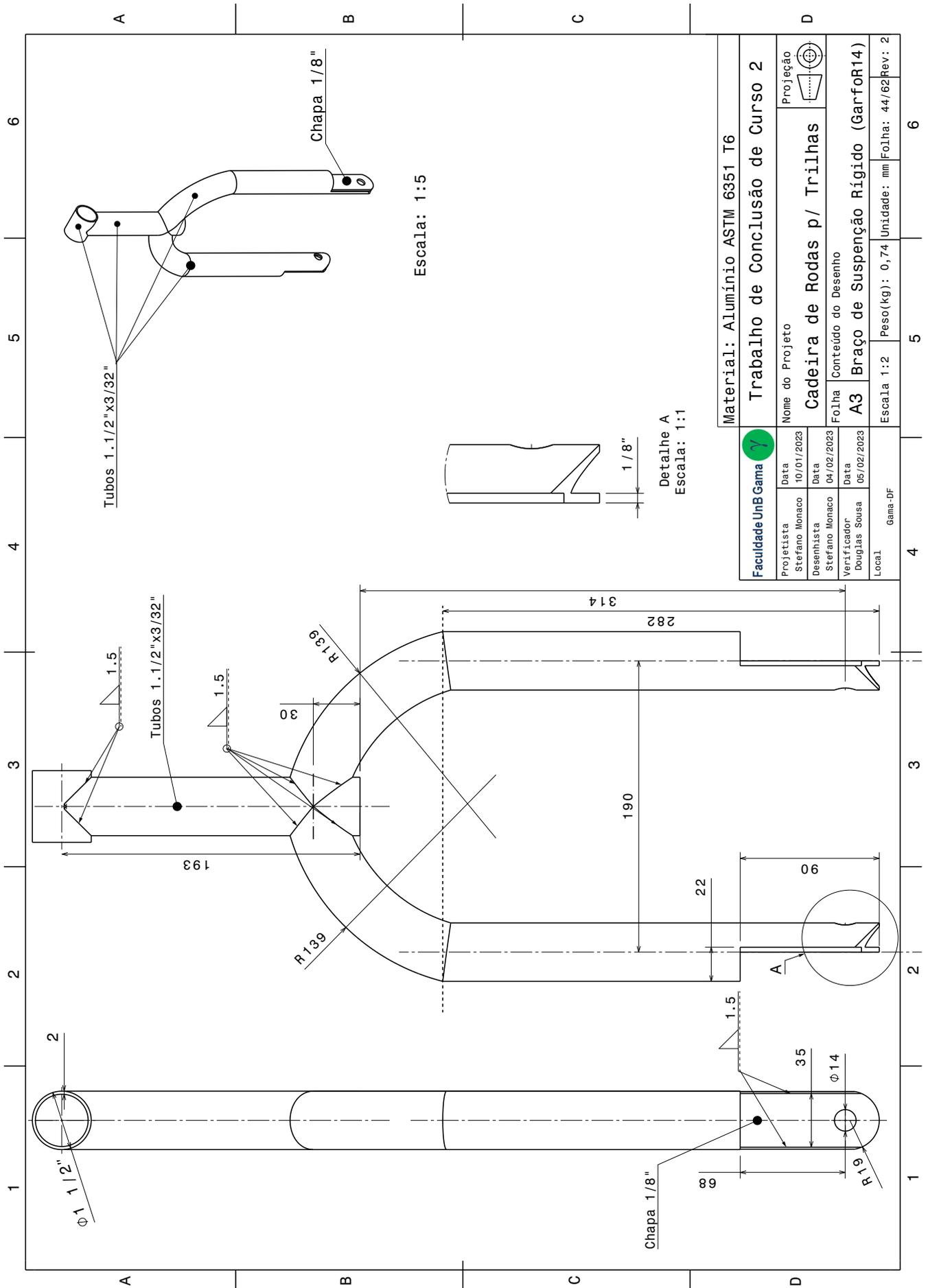


Figura 126 – Braço de Suspensão Rígido (Garfo R14), autores

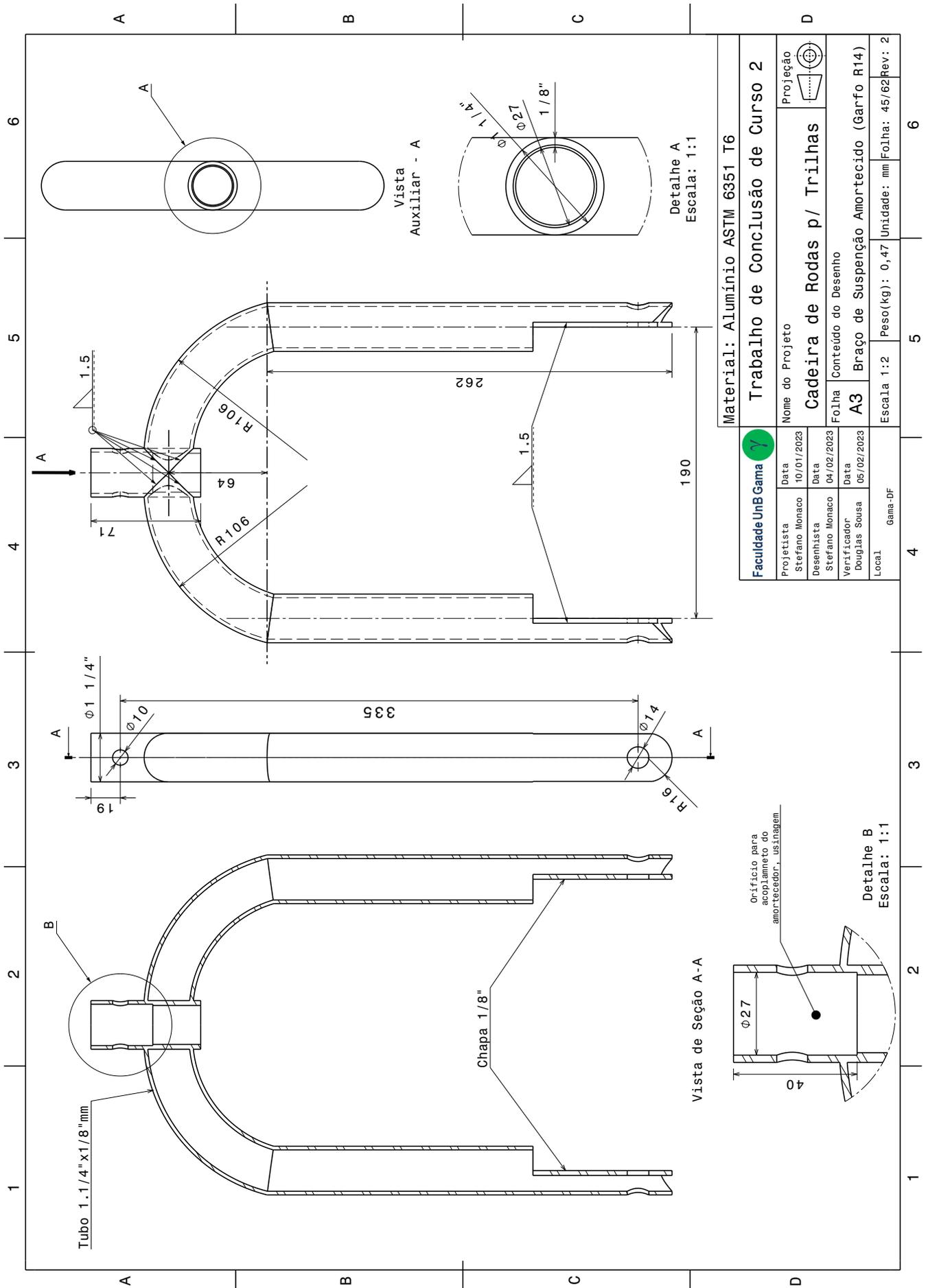


Figura 127 – Braço de Suspensão Amortecido (Garfo R14), autores

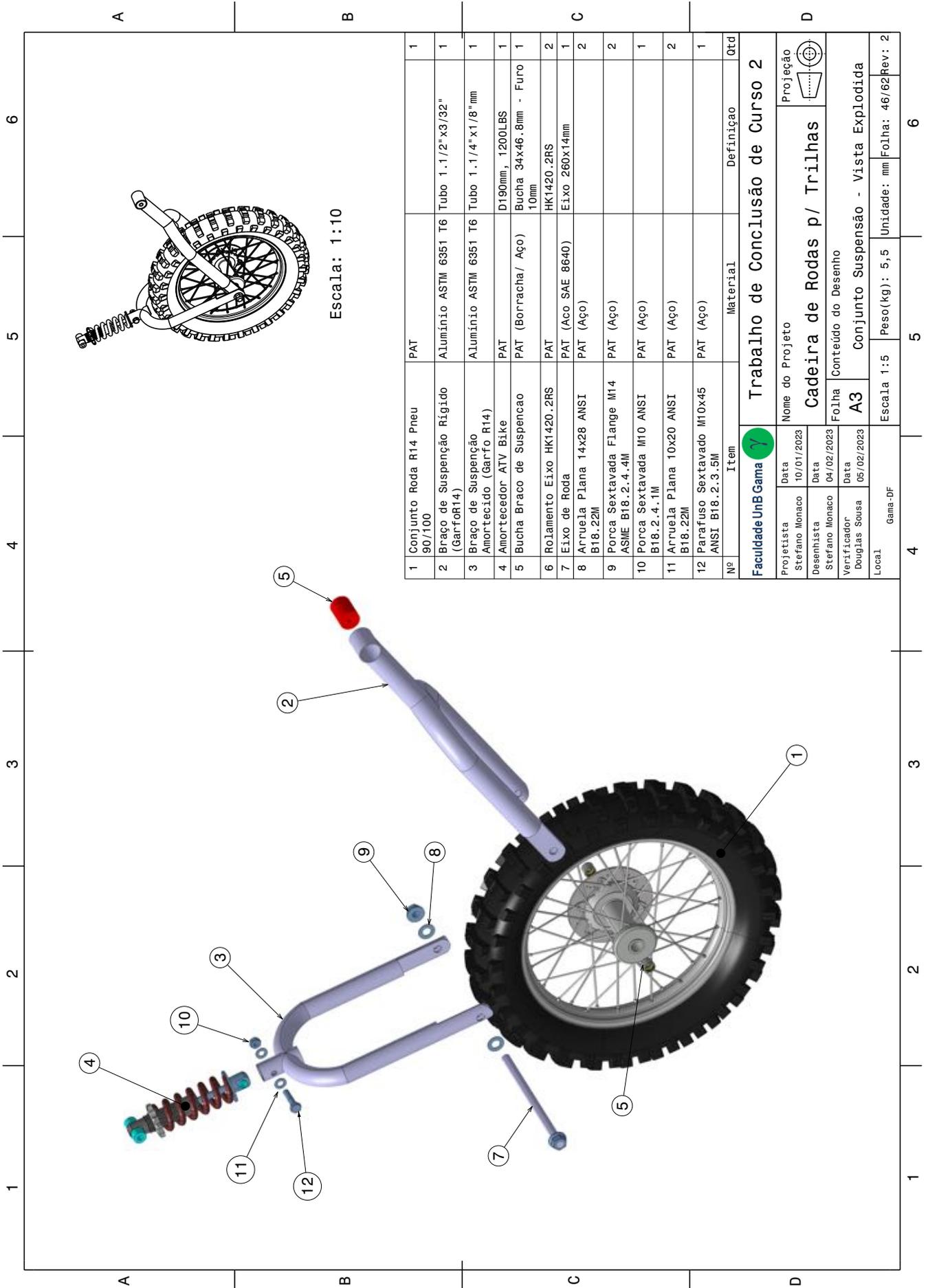


Figura 128 – Conjunto Suspensão - Vista Explodida, autores

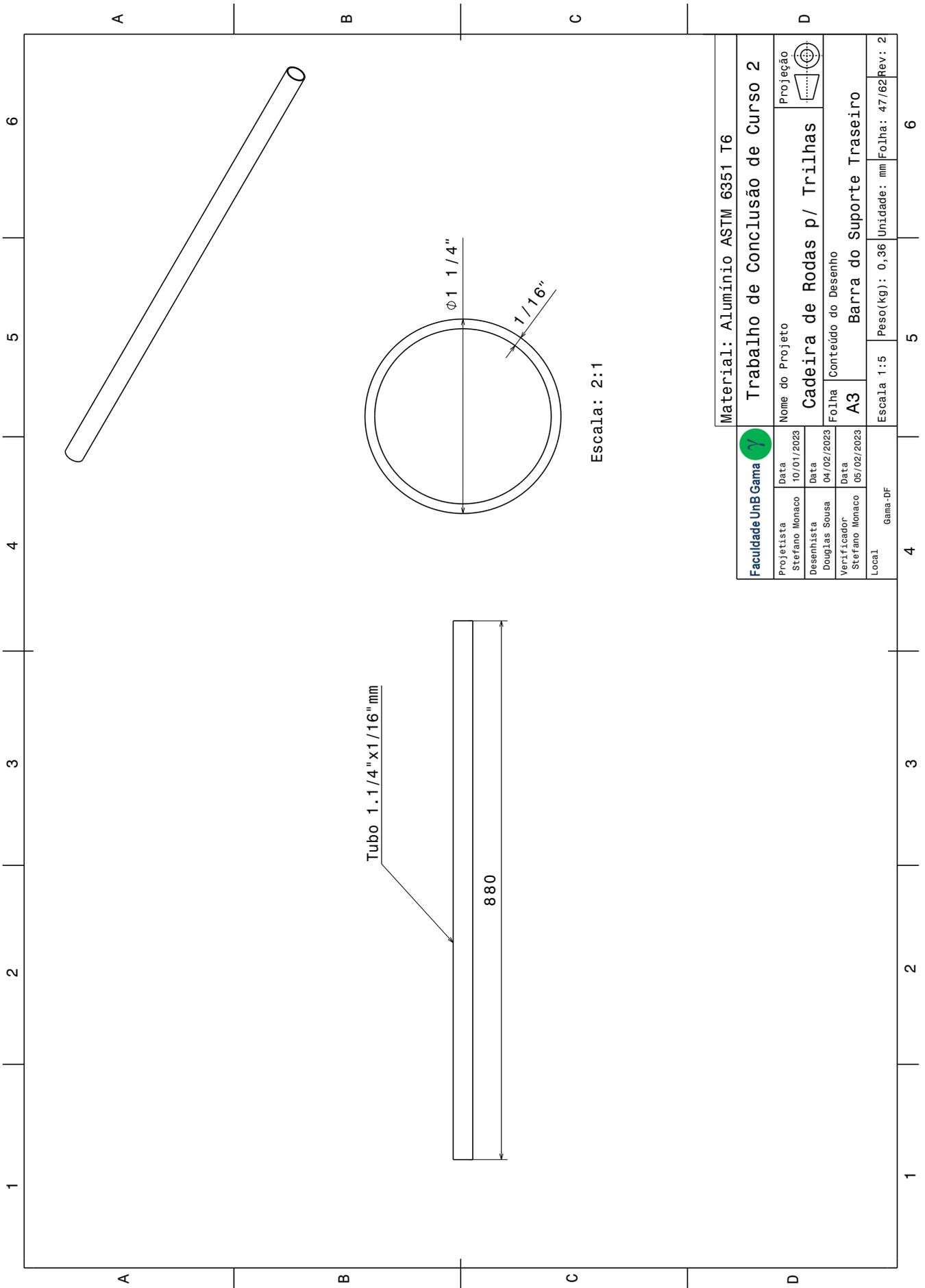


Figura 129 – Barra do Suporte Traseiro, autores

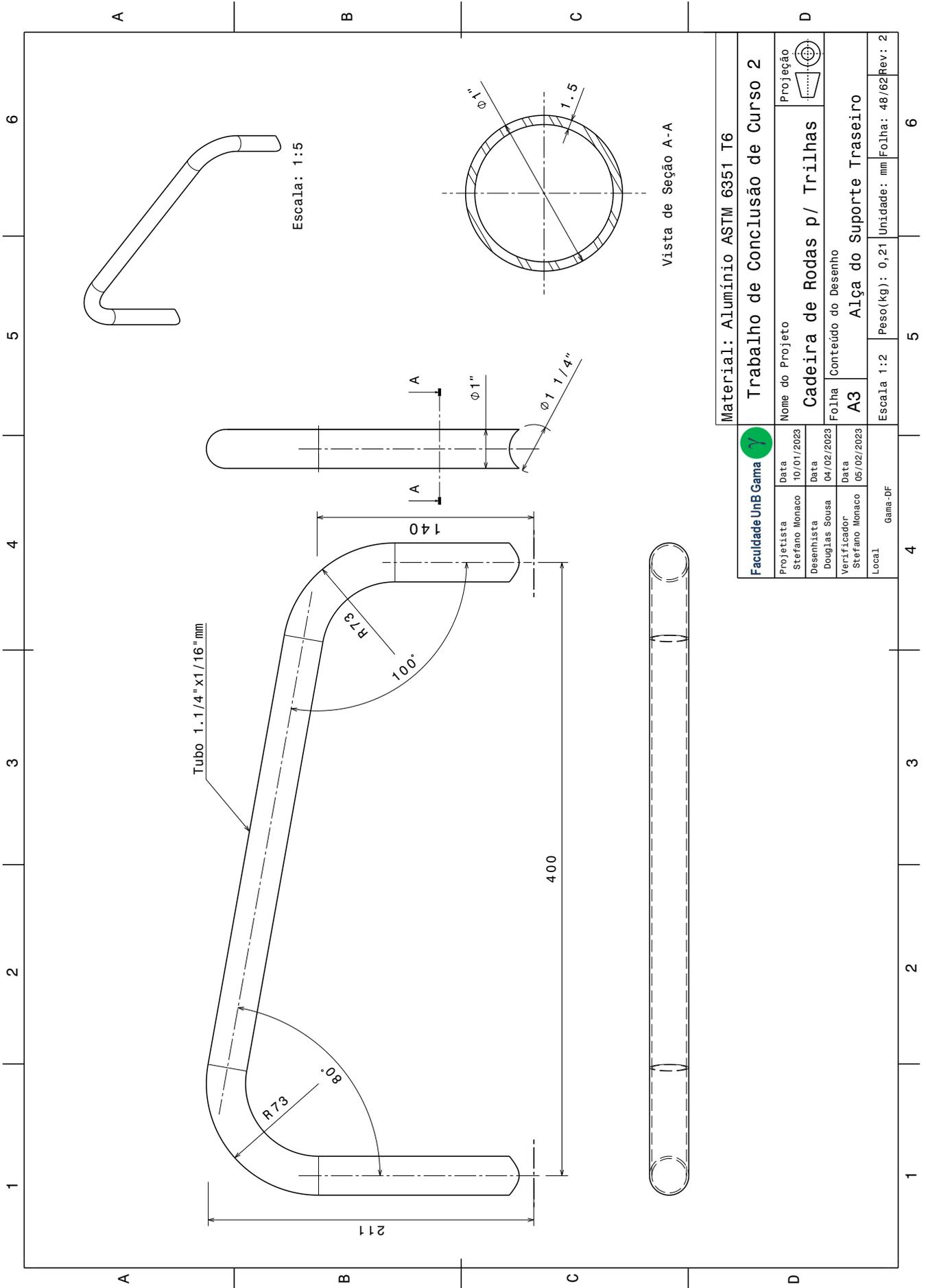
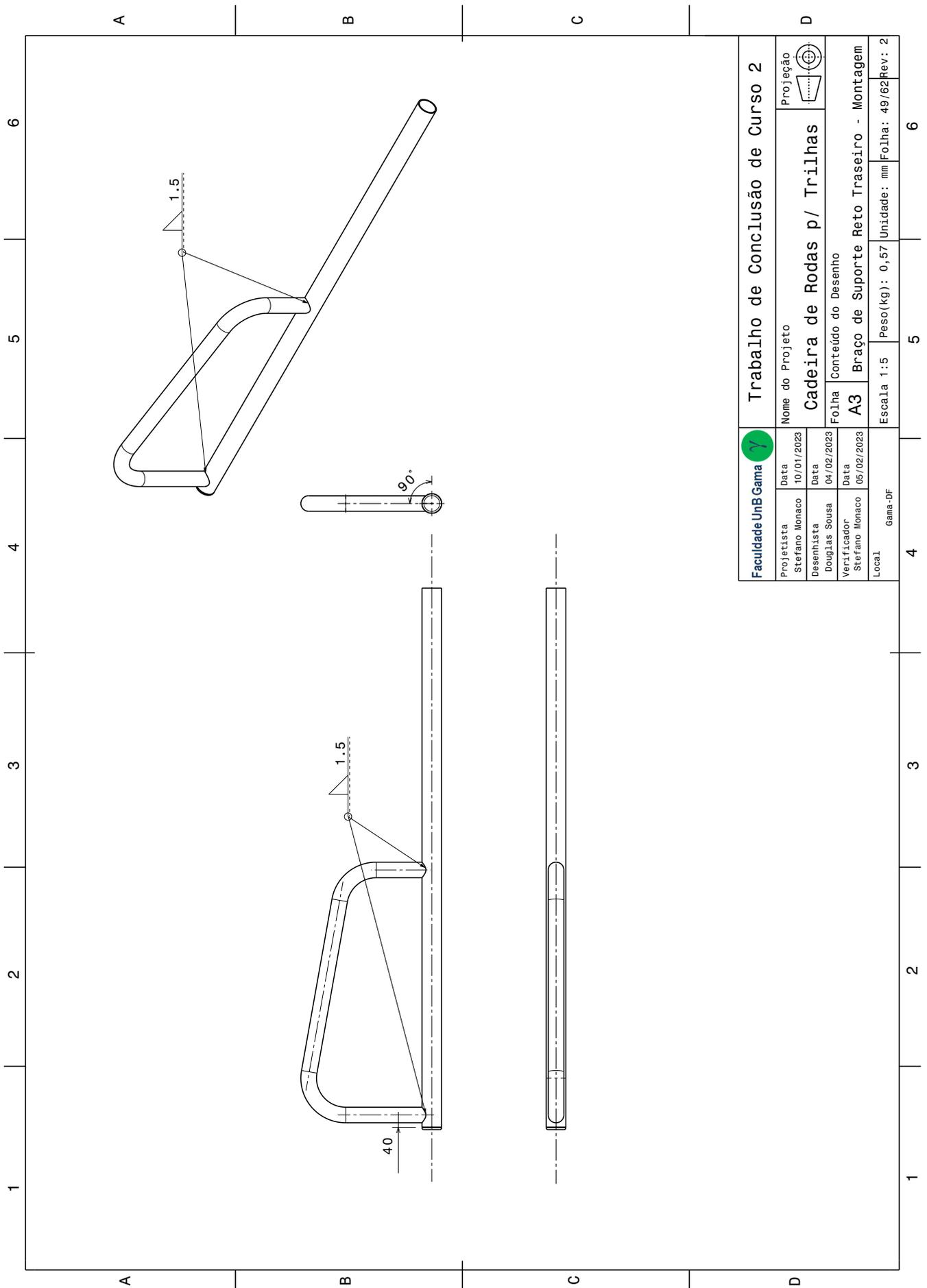


Figura 130 – Alça do Suporte Traseiro, autores



Faculdade UnB Gama		Trabalho de Conclusão de Curso 2			
Projetista	Data	Nome do Projeto		Projeção	
Stefano Monaco	10/01/2023	Cadeira de Rodas p/ Trilhas			
Desenhista	Data	Folha		Conteúdo do Desenho	
Douglas Sousa	04/02/2023	A3		Braço de Suporte Reto Traseiro - Montagem	
Verificador*	Data	Escala		Peso (kg)	
Stefano Monaco	05/02/2023	1:5		0,57	
Local	Gama-DF	Unidade:		Folha:	
		mm		49/62	
				Rev: 2	

Figura 131 – Braço de Suporte Reto Traseiro - Montagem, autores

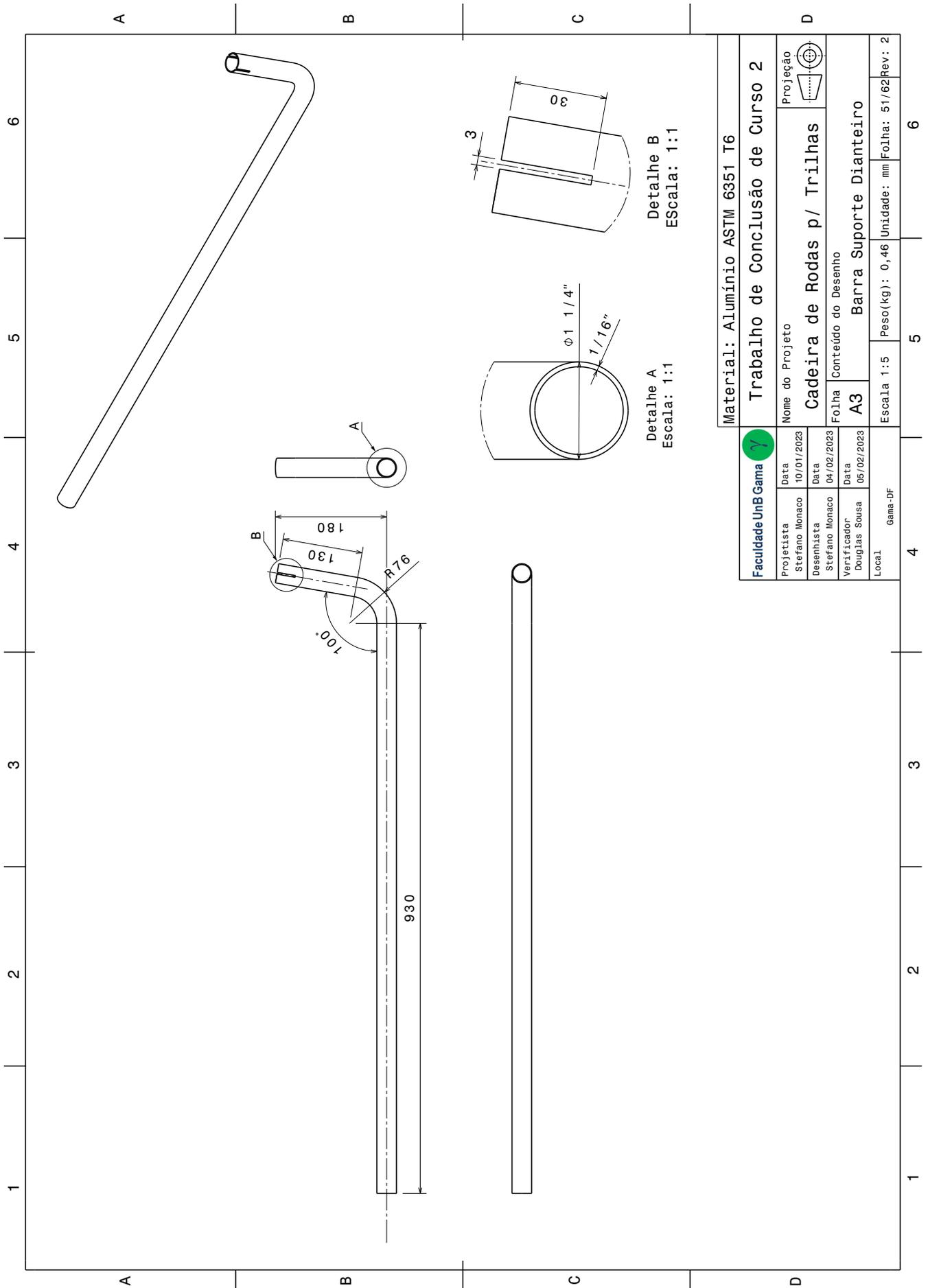


Figura 133 – Barra Suporte Dianteiro, autores

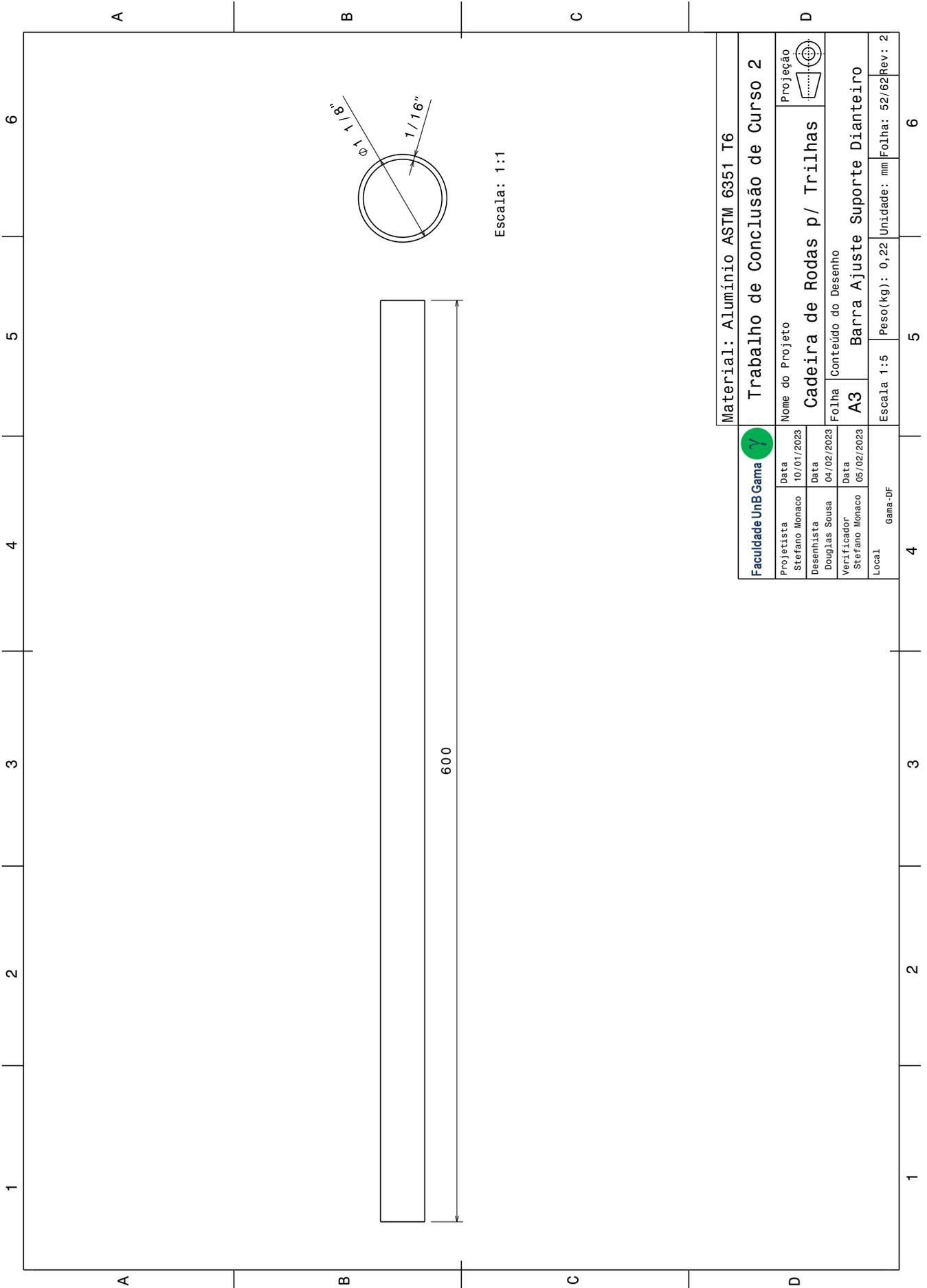


Figura 134 – Barra Ajuste Suporte Dianteiro, autores

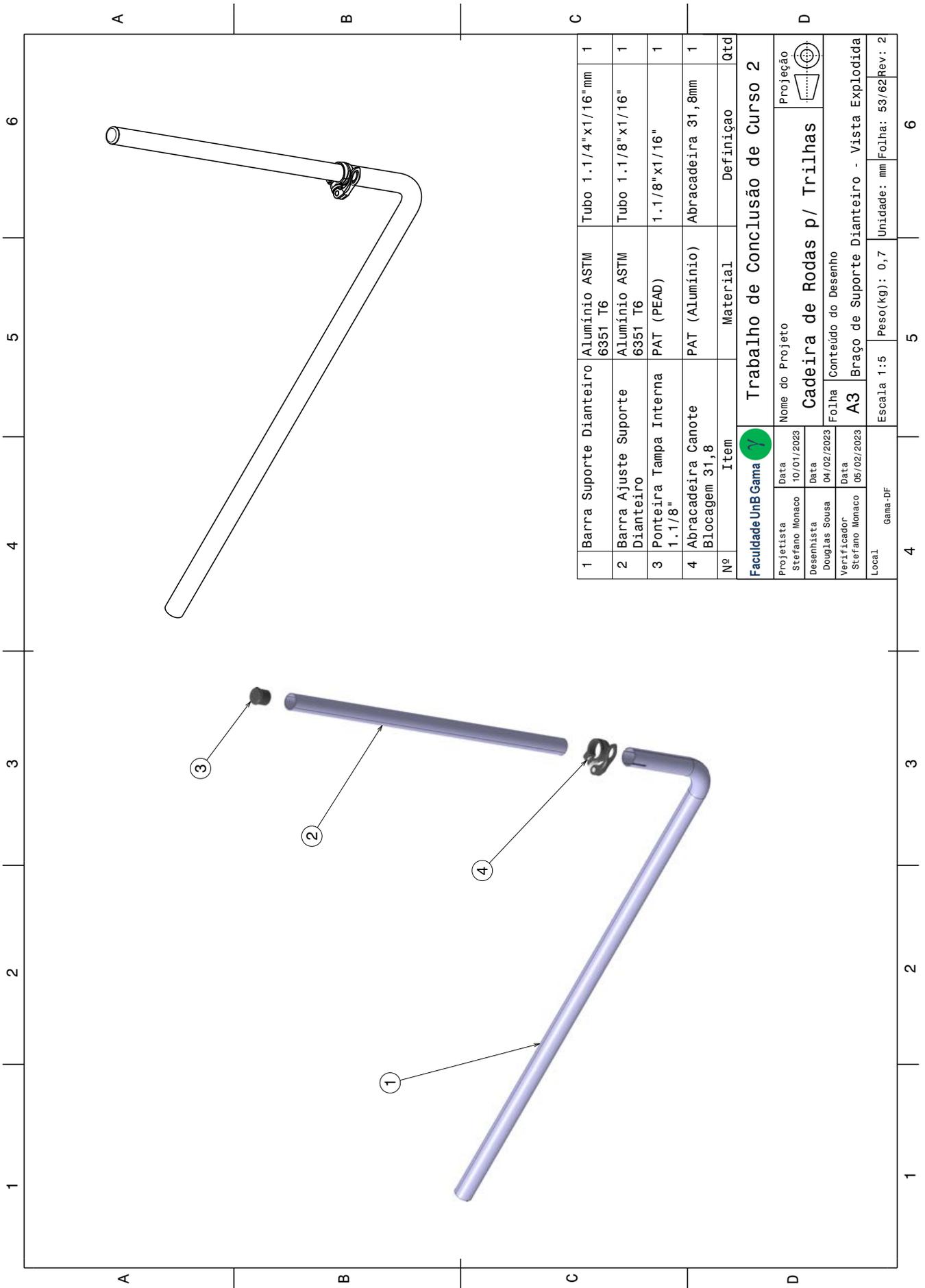
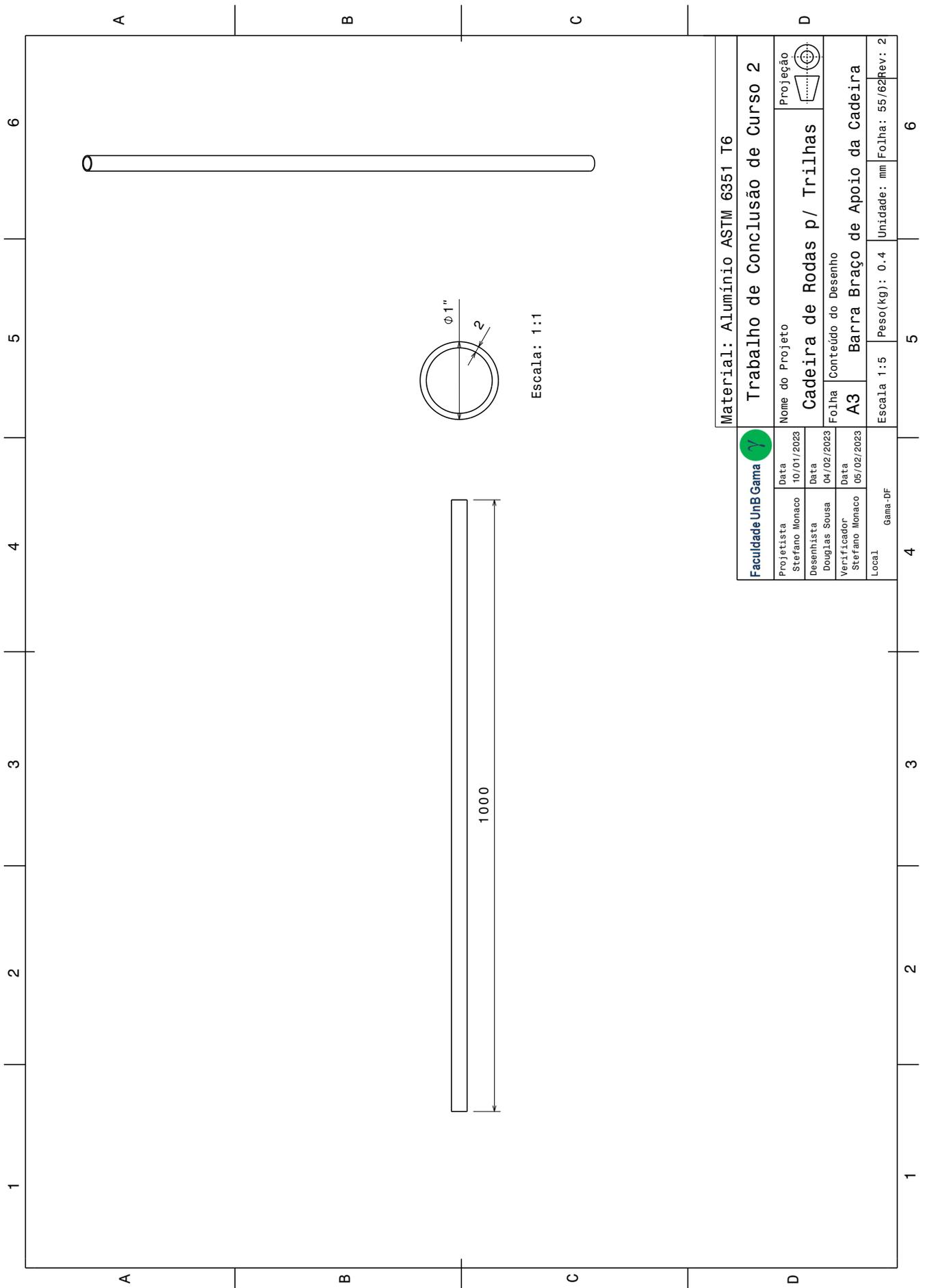


Figura 135 – Braço de Suporte Dianteiro - Vista Explodida, autores



Faculdade UnB Gama		Material: Alumínio ASTM 6351 T6	
Projeto	Nome do Projeto	Trabalho de Conclusão de Curso 2	
Projetista	Data	Projeção	
Stefano Monaco	10/01/2023	Cadeira de Rodas p/ Trilhas	
Desenhista	Data	Folha	
Douglas Sousa	04/02/2023	Conteúdo do Desenho	
Verificador	Data	A3	
Stefano Monaco	05/02/2023	Barra Braço de Apoio da Cadeira	
Local	Gama-DF	Escala	1:5
		Peso (kg)	0.4
		Unidade	mm
		Folha	55/62
		Rev	2

Figura 136 – Barra Braço de Apoio da Cadeira, autores

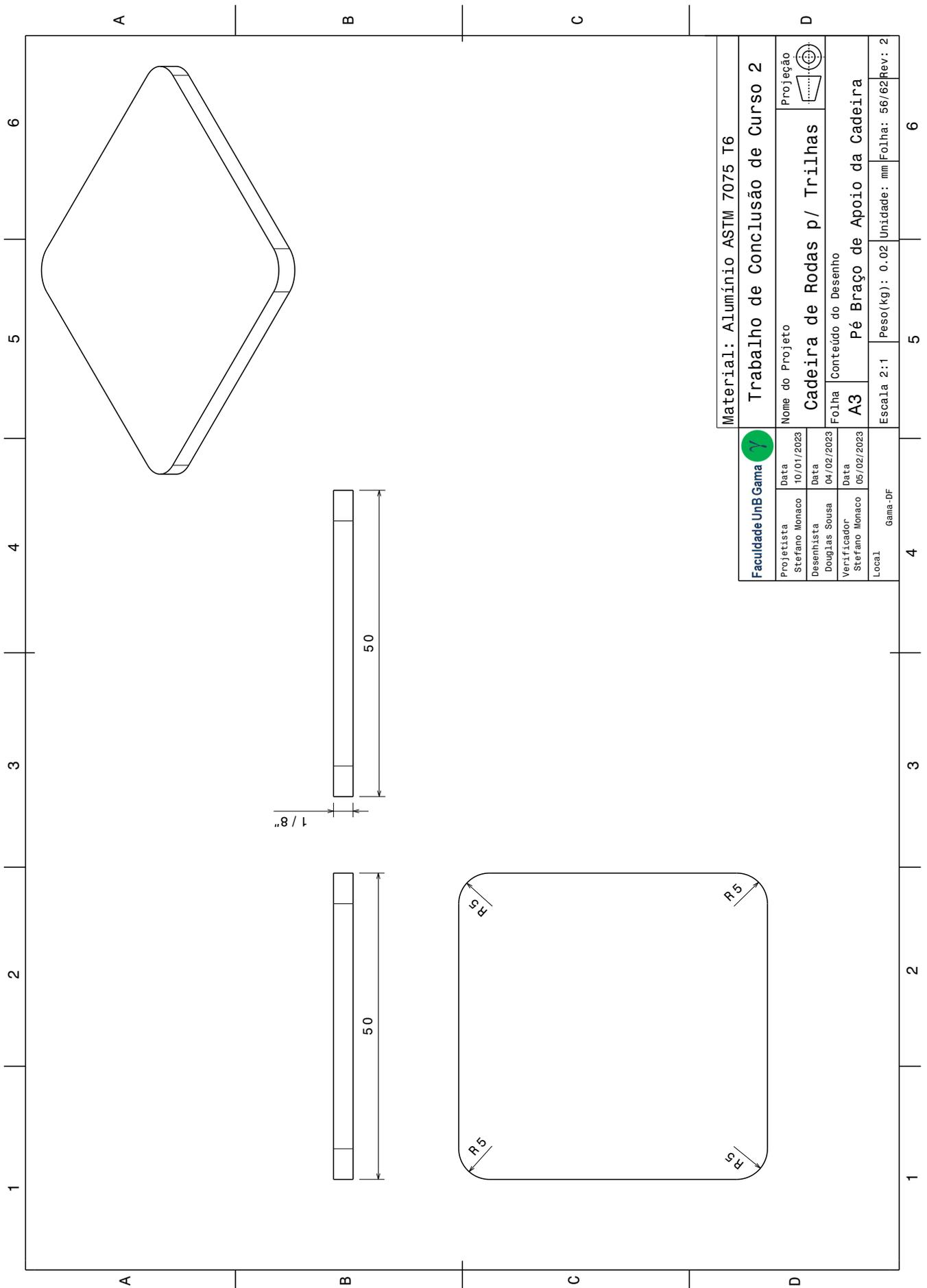


Figura 137 – Pé Braço de Apoio da Cadeira, autores

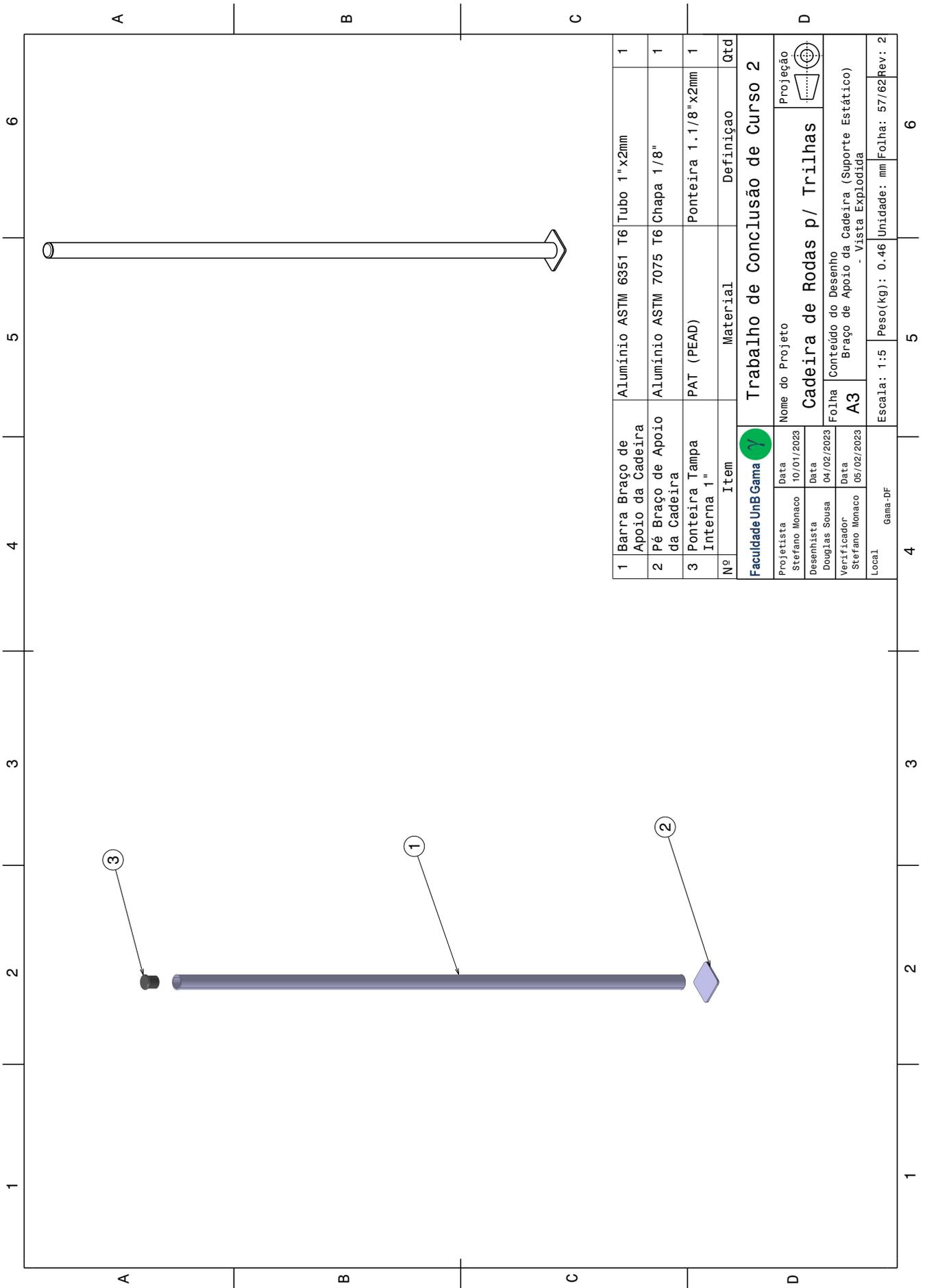


Figura 138 – Braço de Apoio da Cadeira (Suporte Estático) - Vista Explodida, autores

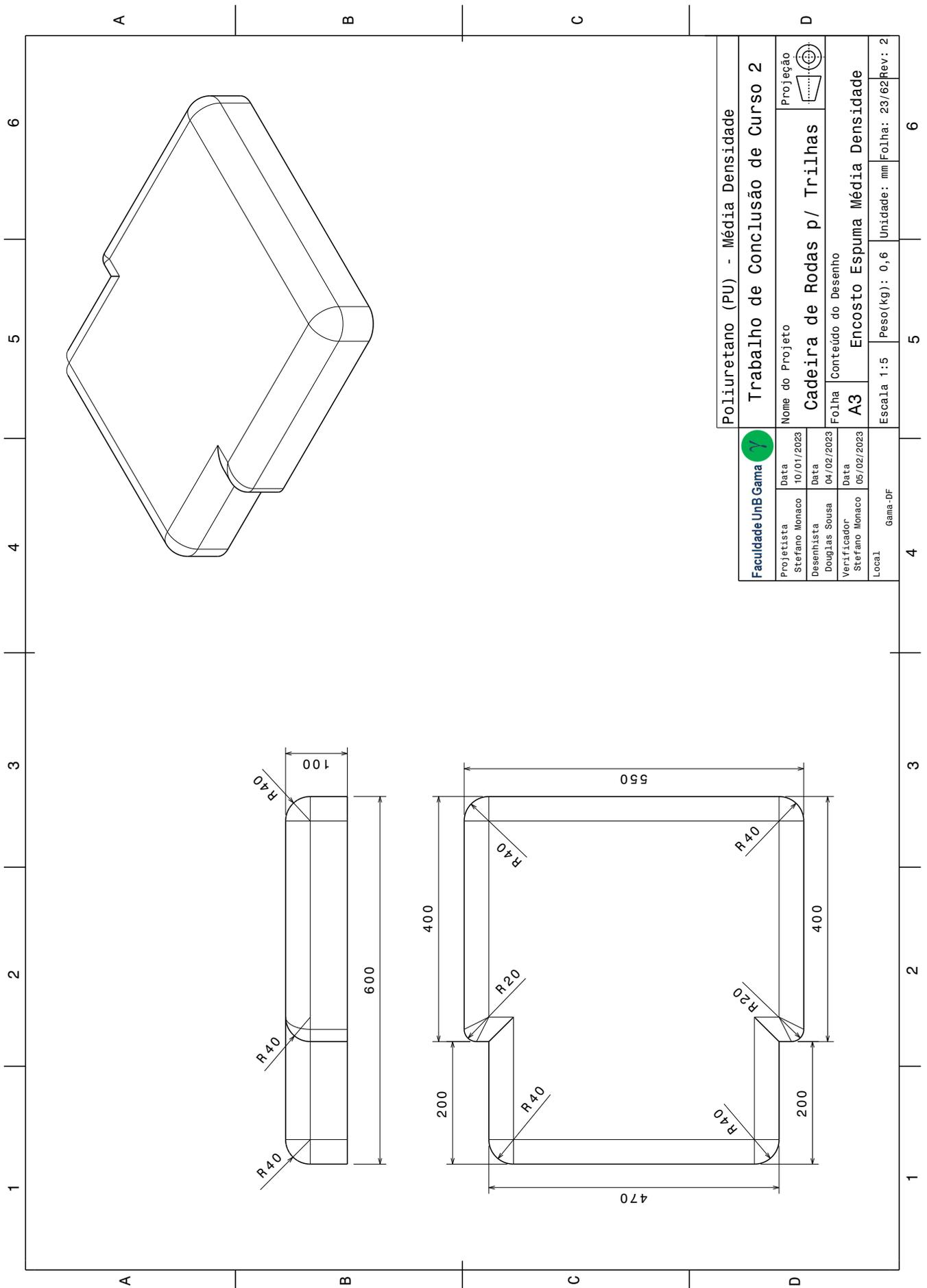


Figura 139 – Encosto Assento, autores

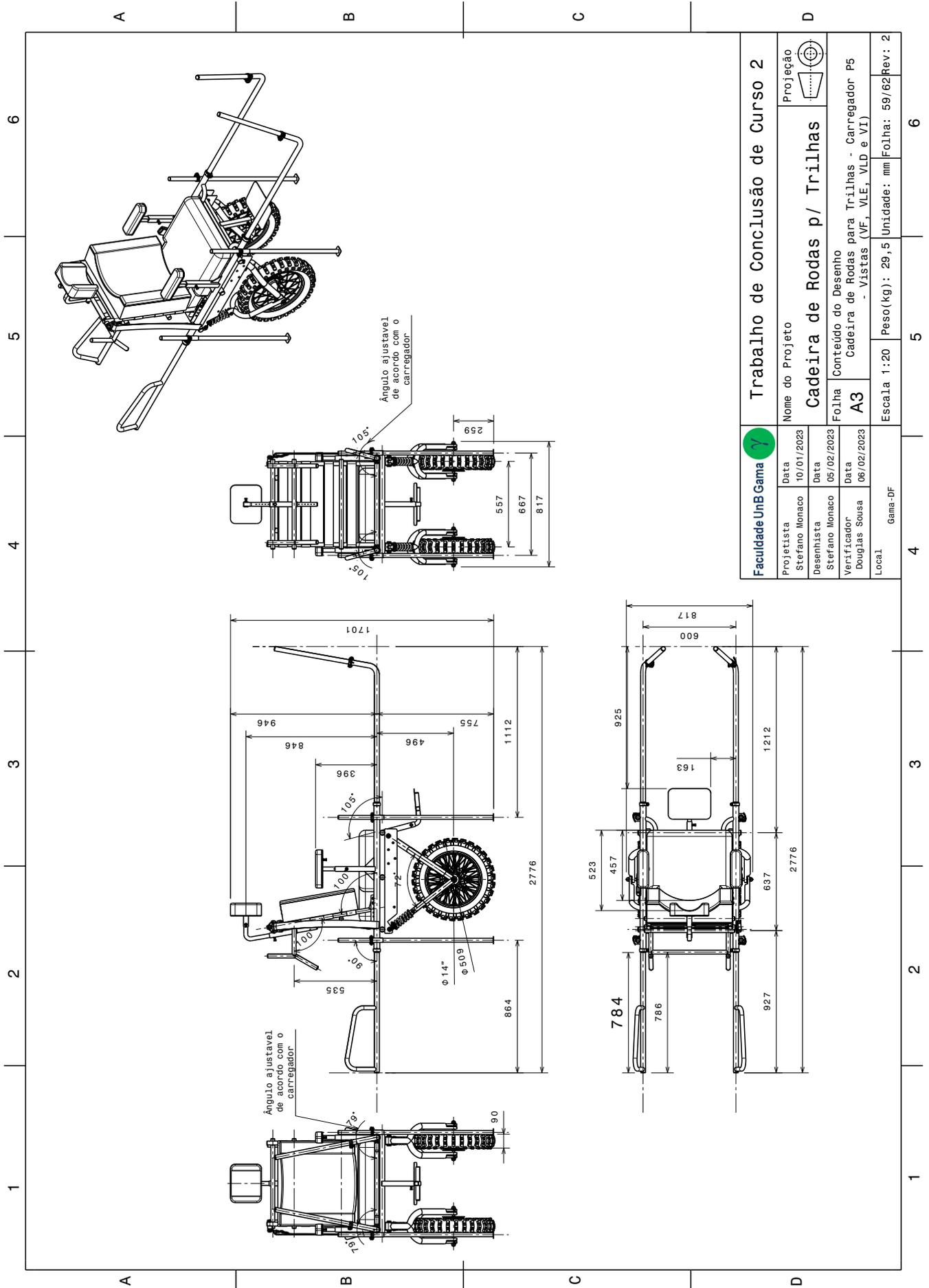


Figura 140 – Cadeira de Rodas para Trilhas - Carregador P5 - Vistas (VF, VLE, VFD e VI), autores

APÊNDICE D – Orçamento - Matéria Prima

No apêndice em questão, há a discriminação dos componentes que compõem a cadeira de rodas, todos já caracterizados a cerca do valor. Diversos componentes são padronizados, logo a venda por parte industrial é feita sob tamanho padrão, podendo gerar um custo residual, como por exemplo os tubos e chapas. Os parafusos, porcas e arruelas, devido a ínfima quantidade foram orçamentados em lojas comuns. Os itens (material de construção e descrição) bem como seus respectivos valores podem ser visualizados na tabela 11.

Tabela 11 – Tabela orçamentária de matéria prima para confecção de uma unidade, autores

Item	Material	Preço	Unidade	Qtd	Total
Chapa Lisa 1/8"	Alumínio ASTM 7075 T6	R\$ 300,00	m ²	0,3	R\$145,17
Chapa Xadrez 1,5mm	Alumínio ASTM 3105	R\$ 150,00	m ²	0,4	R\$106,50
Cantoneira 1.1/2"x1.1/2"x1/8"	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 45,00	unidade	1	R\$45,00
Tubo 1.1/8"x1/8"	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 58,00	metro	1	R\$58,00
Tubo 1.1/8"x1/16"	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 55,00	metro	4,6	R\$253,00
Tubo 1.1/4"x1/16"mm	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 63,00	metro	3,8	R\$239,40
Tubo 1.1/4"x1/8"	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 96,00	metro	3	R\$282,24
Tubo 1.1/4"x2mm	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 75,00	metro	2,2	R\$165,00
Tubo 1.1/2"x1/8"	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 120,00	metro	3,3	R\$392,64
Tubo 1.1/2"x3/32"	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 90,00	metro	3,4	R\$306,00
Tubo 1"x2mm	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 110,00	metro	3,4	R\$374,00
Tubo 4"x2"x2mm	Alumínio ASTM 6351 T6	R\$ 190,00	metro	0,7	R\$129,20
Ponteira Tampa Interna 1"x1"x2mm	PAT (PEAD)	R\$ 2,00	unidade	12	R\$24,00
Ponteira Tampa Interna 1.1/8"x1/16"	PAT (PEAD)	R\$ 2,50	unidade	1	R\$2,50
Ponteira Tampa Interna 1.1/8"x2mm	PAT (PEAD)	R\$ 2,70	unidade	1	R\$2,70
Ponteira Tampa Interna 1.1/4"x1/8"	PAT (PEAD)	R\$ 2,00	unidade	8	R\$16,00
Ponteira Tampa Interna 1"x1"x2mm	PAT (PEAD)	R\$ 3,50	unidade	1	R\$3,50
Ponteira Tampa Interna 1.1/8"x2mm	PAT (PEAD)	R\$ 3,00	unidade	1	R\$3,00
Ponteira Tampa Interna 1.1/8"x1/16"	PAT (PEAD)	R\$ 3,00	unidade	1	R\$3,00
Abracadeira Canote Blocação 38,1mm	PAT (Alumínio)	R\$ 3,00	unidade	4	R\$12,00
Abracadeira Canote Blocação 28,6mm	PAT (Alumínio)	R\$ 2,50	unidade	4	R\$10,00
Abracadeira Canote Blocação 31,8mm	PAT (Alumínio)	R\$ 3,00	unidade	1	R\$3,00
Cinta 60x2mm	PAT (Polipropileno - Nylon)	R\$ 10,00	metro	9,6	R\$96,00
Amortecedor ATV Bike	PAT	R\$ 110,00	unidade	2	R\$220,00
Rolamento Eixo HK1420.2RS	PAT	R\$ 35,00	unidade	4	R\$140,00
Eixo de Roda 260x14mm	PAT	R\$ 200,00	unidade	2	R\$400,00
Pneu Traseiro Aro 14 Mini Moto Cross	PAT	R\$ 300,00	unidade	2	R\$300,00
Pino de Retenção	PAT (Aço Inox)	R\$ 49,00	unidade	9	R\$441,00
Bucha Braço de Suspensão	PAT (Borracha)	R\$ 22,50	unidade	2	R\$45,00
Arruela Plana 14x28 ANSI B18.22M	PAT (Aço)	R\$ 0,50	unidade	4	R\$2,00
Porca Sextavada Flange M14 ASME B18.2.4.4M	PAT (Aço)	R\$ 0,50	unidade	4	R\$2,00
Parafuso Sextavado M10 ANSI B18.2.4.1M	PAT (Aço)	R\$ 1,50	unidade	3	R\$4,50
Arruela Plana 10x20 ANSI B18.22M	PAT (Aço)	R\$ 0,50	unidade	9	R\$4,50
Parafuso Sextavado M10x45 ANSI B18.2.3.5M	PAT (Aço)	R\$ 1,50	unidade	2	R\$3,00
Parafuso Sextavado M10x70 ANSI B18.2.3.5M	PAT (Aço)	R\$ 3,50	unidade	4	R\$14,00
Arruela Plana 10x28 ANSI B18.22M	PAT (Aço)	R\$ 0,50	unidade	8	R\$4,00
Porca Sextavada M10 ASME B18.2.4.2M	PAT (Aço)	R\$ 0,50	unidade	6	R\$3,00
Porca Flangeada M10 ASME B18.2.4.4M	PAT (Aço)	R\$ 0,50	unidade	4	R\$2,00
Parafuso Allen Abaulado M10x20 ANSI B.18.3.4M	PAT (Aço)	R\$ 1,50	unidade	4	R\$2,00
Total					R\$4.263,80

APÊNDICE E – Manual de Montagem

Nessa seção encontram-se as indicações para a montagem da Cadeira de roda para trilhas. Todos os desenhos técnicos com os detalhes dos itens estão no apêndice C, contendo todas as especificações e dimensões para cada componente, devendo ser montados conforme o manual, sendo de extrema importância o correto seguimento das instruções para que a montagem da cadeira de rodas para trilha seja bem sucedida.

MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA MONTAGEM DA CADEIRA DE RODAS PARA TRILHAS



BJ Trail Wheelchairs

MADE IN BRAZIL

❖ Política de Qualidade

A BJ tem por objetivo, pesquisar, desenvolver, produzir e comercializar soluções que melhorem a postura e a locomoção de pessoas com mobilidade reduzida, através de:

- Pesquisa de novas tecnologias;
- Melhoria constante dos seus processos de fabricação e controle;
- Gerenciamento contínuo;
- Atingindo assim a satisfação plena de seus clientes.

Índice

Instruções para a segurança do cadeirante	04
Manutenção	05
Componentes da cadeira de rodas	07
Montagem	08
1. Montagem do encosto e assento	08
2. Montagem do apoio de braço	09
3. Montagem das barras de suporte estático	10
4. Montagem conjunto suspensão	11
5. Montagem do apoio de pés	13
6. Montagem apoio de cabeça	14
7. Montagem dos braços de suporte de carregamento dianteiro	15
8. Montagem dos braços de suporte de carregamento traseiro	16
9. Fixação do assento	17
10. Fixação do encosto de dorsal	18
Cadeira de rodas	19

❖ Instruções para segurança do cadeirante

- O cinto de segurança pélvico deve ser usado em baixo à frente da pélvis de modo que o ângulo do cinto fique dentro da zona confortável de 30 a 75 graus na horizontal. Um ângulo mais acentuado fornece maior conforto, mas nunca deverá ultrapassar os 75 graus.
- O usuário não deverá afastar os cintos de segurança do corpo utilizando-se de componentes ou partes da cadeira de rodas, tais como apoios de braço ou rodas.
- O cinto de segurança superior do tronco deve ser instalado sobre o ombro e ao longo do peito. Devem-se ajustar os cintos com o maior aperto possível sem se tornar incômodo ao usuário.
- Os cintos de segurança e correias diagonais devem ser posicionados entre o assento e o encosto, as correias pélvicas devem estar em total contato com a parte frontal do corpo próximo da junção da coxa com a pélvis.

❖ Manutenção

- Inspecione e mantenha sua cadeira de rodas conforme o quadro de manutenção.
- Se você descobrir algum problema, conserte-o antes do uso.
- Pelo menos uma vez por ano, leve sua cadeira de rodas a um revendedor autorizado para que faça uma inspeção completa.
- A própria manutenção melhorará o desempenho e estenderá a vida útil de sua cadeira de rodas.
- Limpe sua cadeira de rodas regularmente. Isto lhe ajudará a achar partes soltas.
- Conserte ou substitua peças desgastadas ou quebradas antes de usar sua cadeira de rodas.

❖ Limpeza da cadeira de rodas:

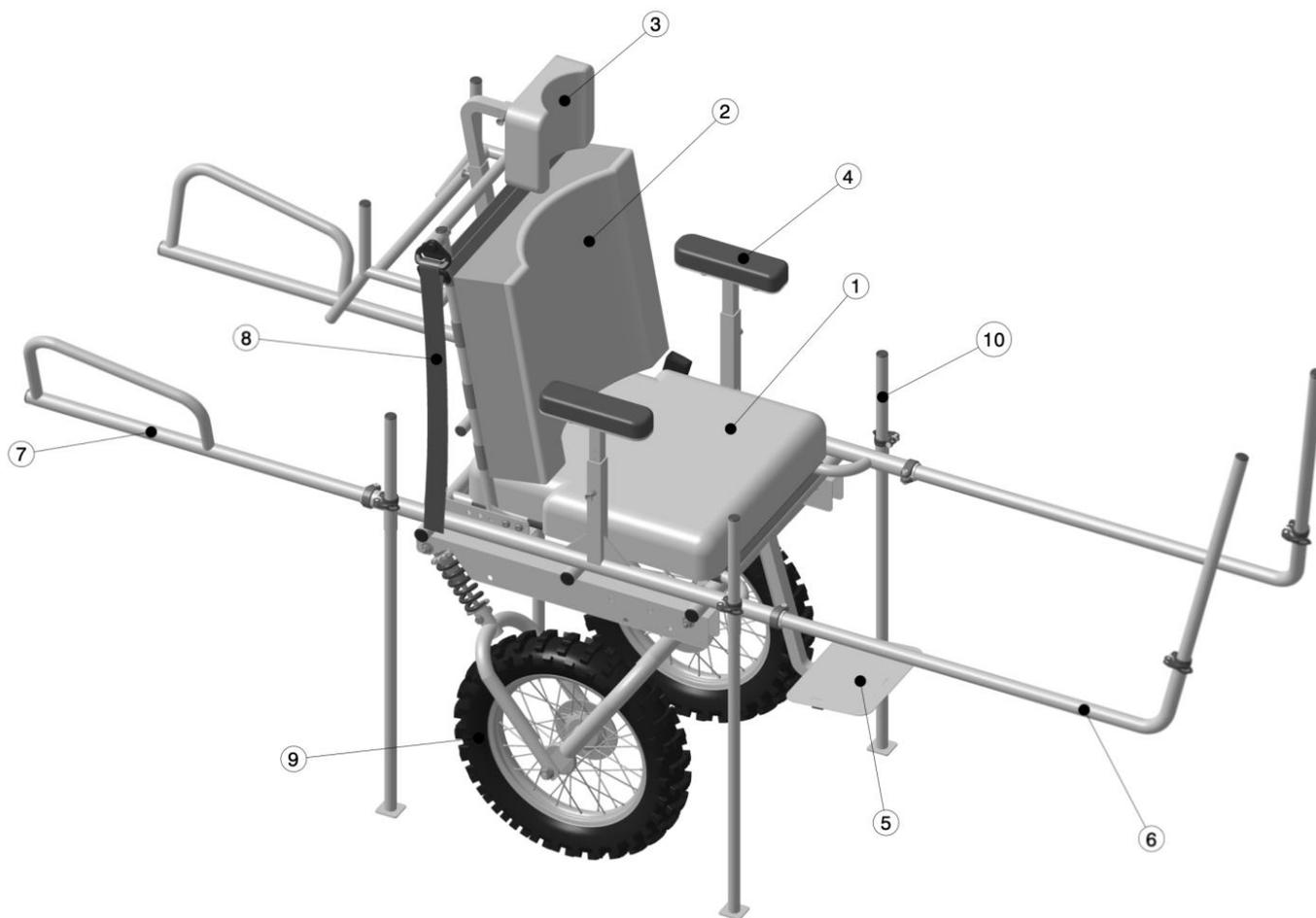
- Pintura:
 - Limpe com pano seco, pelo menos uma vez por mês, as superfícies pintadas.
 - Proteja a pintura. Utilize cera automotiva a cada três meses.
 - Eixos e Partes Componentes:
 - Semanalmente limpe ao redor de eixos e partes móveis com um pano seco.
 - Esfregue para remover qualquer penugem, pó, ou sujeira, especialmente em eixos ou partes móveis.
- Estofamento:
 - Não lave em máquinas de lavar, pois pode danificar o tecido.
 - Não utilize a máquina de secar, pois pode danificar o tecido.
- Armazenamento da cadeira de rodas: a.
 - Guarde sua cadeira de rodas em uma área limpa e seca, pois existem partes que podem oxidar.
 - Guarde-a sempre em pé.
 - Antes de usar sua cadeira de rodas, tenha certeza de seu pleno funcionamento. Inspecione e conserte todos os artigos constantes no quadro de manutenção.

❖ Quadro de manutenção

Sempre que usar	Nível de pressão dos pneus
A cada 3 meses	Aperto dos parafusos da estrutura Pedal Eixos de fixação rápida Rodas, pneus e raios Estofamento
A cada 6 meses	Apoio de braços Encosto Estrutura do assento

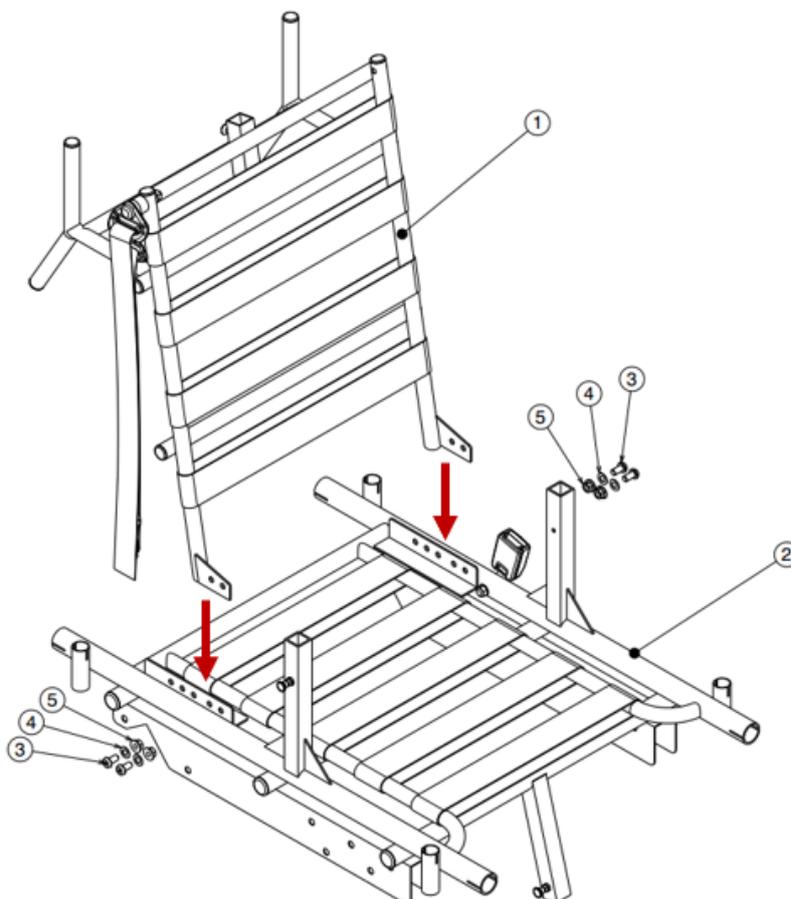
❖ Componentes da cadeira de rodas

- 1 – Assento;
- 2 – Encosto;
- 3 – Apoio de cabeça;
- 4 – Apoio de braço;
- 5 – Apoio de pés;
- 6 – Suporte de carregamento dianteiro;
- 7 – Suporte de carregamento traseiro (opcional);
- 8 – Cinto de segurança;
- 9 – Conjunto motriz.



❖ Montagem

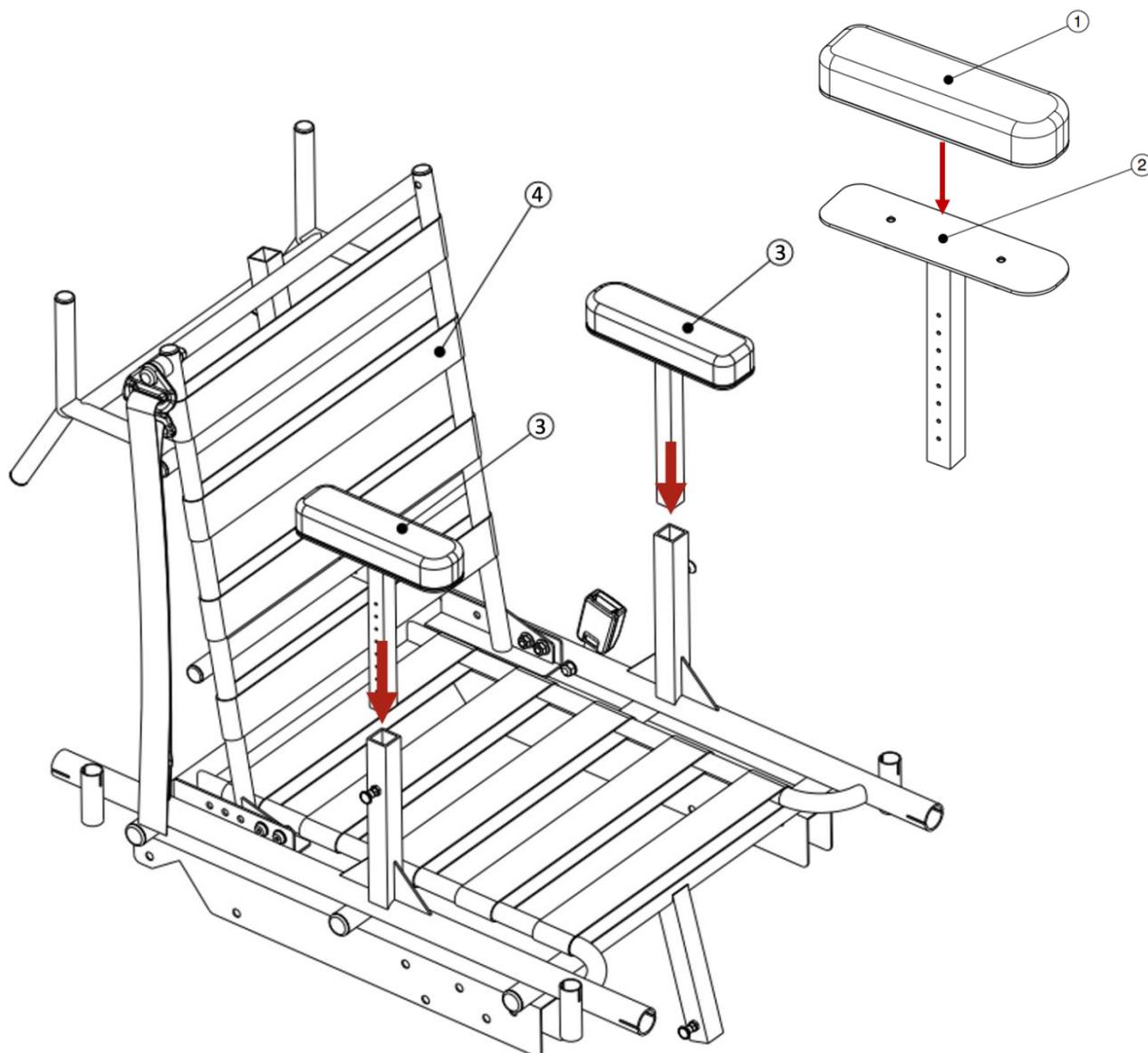
1. Montagem do encosto e assento



- ❖ Passo 1: Acoplar o encosto de dorsal (1) ao assento (2) nas furações de acordo com o percentil do usuário;
- ❖ Passo 2: Colocar os parafusos (3) e arruelas (4) nos furos seleccionados de ambos os lados;
- ❖ Passo 3: Rosquear as porcas (5) dando o aperto devido.

ATENÇÃO – Verificar o aperto dos parafusos (3) e das porcas (5).

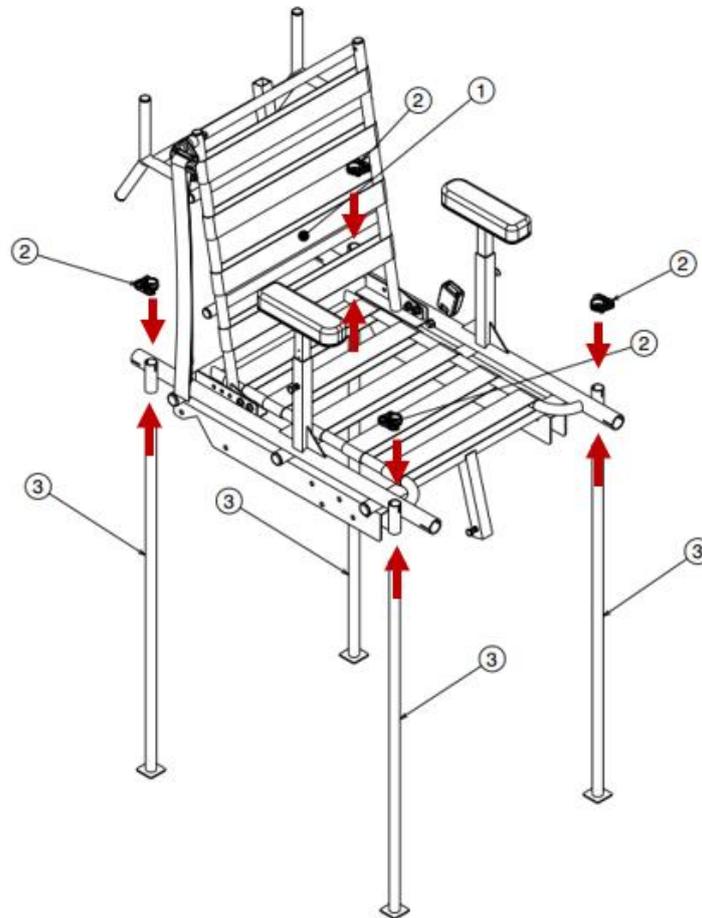
2. Montagem do apoio de braço



- ❖ Passo 1: Inserir o encosto (1) no suporte do braço de apoio (2);
- ❖ Passo 2: Encaixar os apoios de braço (2) no conjunto central (assento e encosto de dorsal) (1) conforme a ilustração.

ATENÇÃO – Puxar o pino de retenção para fazer o acoplamento e travamento.

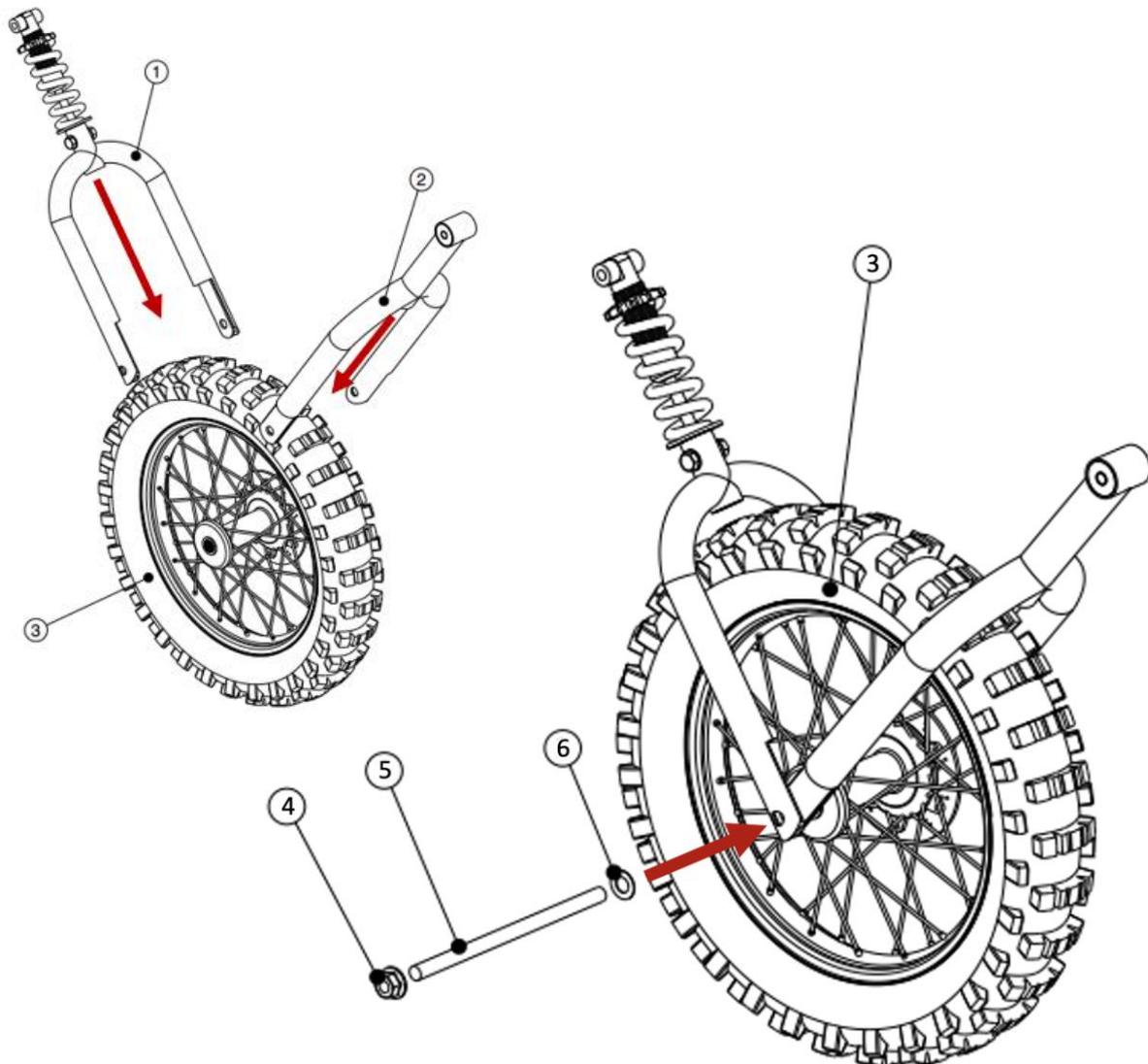
3. Montagem das barras de suporte estático



- ❖ Passo 1: Encaixar as abraçadeiras de bloqueio (2) no conjunto central (1);
- ❖ Passo 2: Encaixar as barras de suporte estático (3) nos dos dutos para acoplamento das barras de apoio conforme ilustração;
- ❖ Passo 3: Prender as barras usando as abraçadeiras (2).

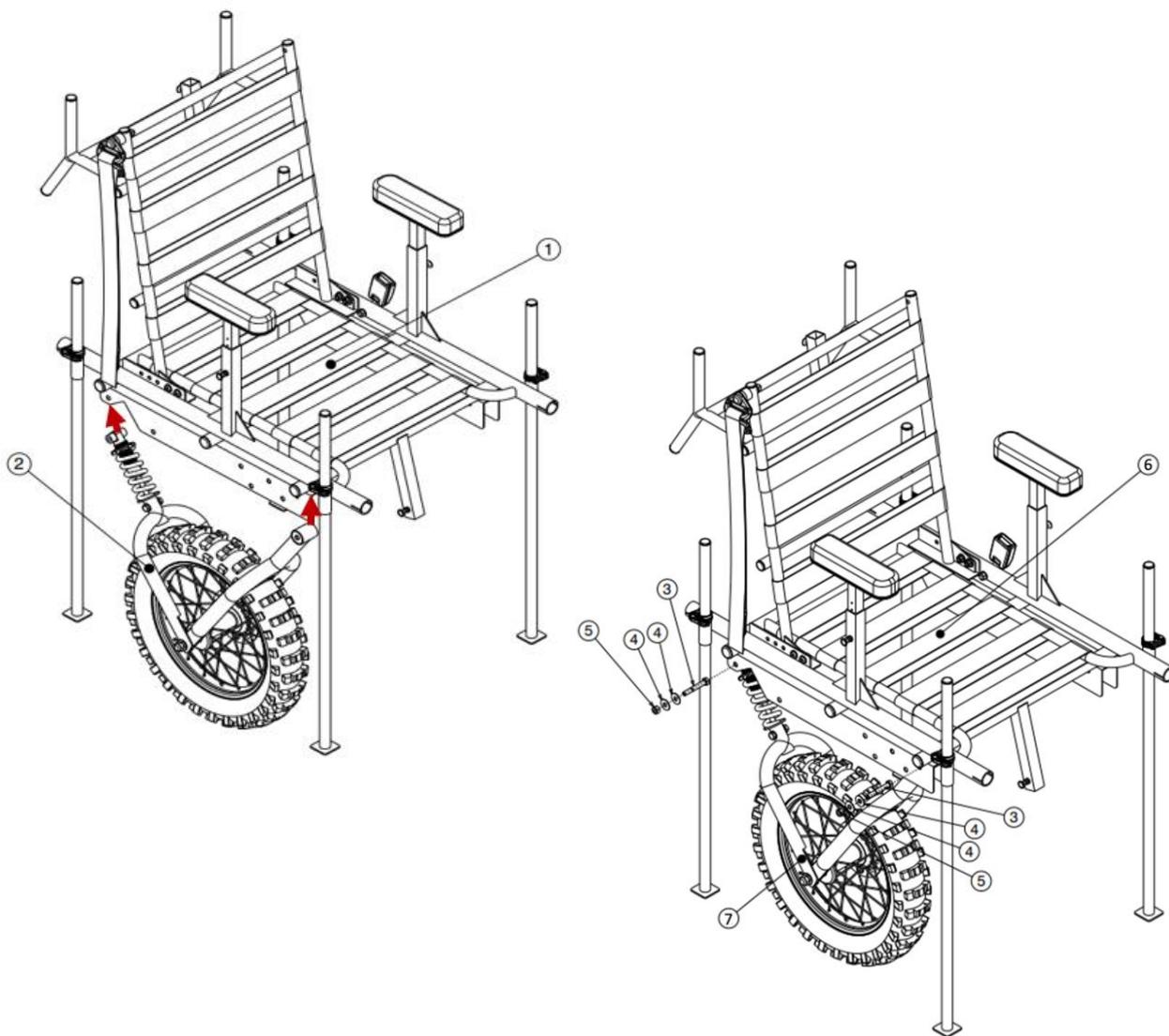
ATENÇÃO – Verificar o aperto das abraçadeiras de bloqueio (2).

4. Montagem conjunto suspensão



- ❖ Passo 1: Inserir o garfo (1) no conjunto da roda (3) centralizando o eixo;
- ❖ Passo 2: Inserir o garfo (2) no conjunto da roda (3) centralizando o eixo;
- ❖ Passo 3: Inserir o eixo de roda (5) no conjunto previamente montado no passo anterior (3);
- ❖ Passo 4: Colocar as arruelas (6) de ambos os lados;
- ❖ Passo 5: Rosquear as porcas (4) de ambos os lados.

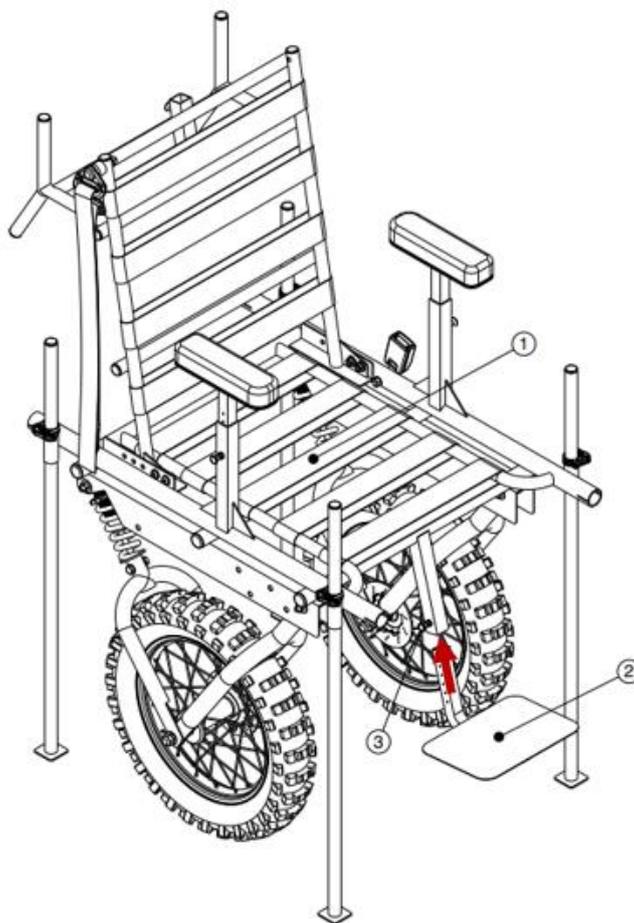
ATENÇÃO – Verificar o aperto das porcas (4).



- ❖ Passo 6: Encaixar o conjunto suspensão (7) no conjunto central (6);
- ❖ Passo 7: Colocar os parafusos (3), arruelas (4) e porcas (5) no furo seleccionado acoplado o conjunto suspensão (2) ao conjunto central (6). As perfurações permitem o ajuste de altura da cadeira, escolha o par que permite a melhor postura por parte do carregador;
- ❖ Passo 8: Repetir o processo para a outra roda.

ATENÇÃO – Verificar o aperto dos parafusos (3) e das porcas (5).

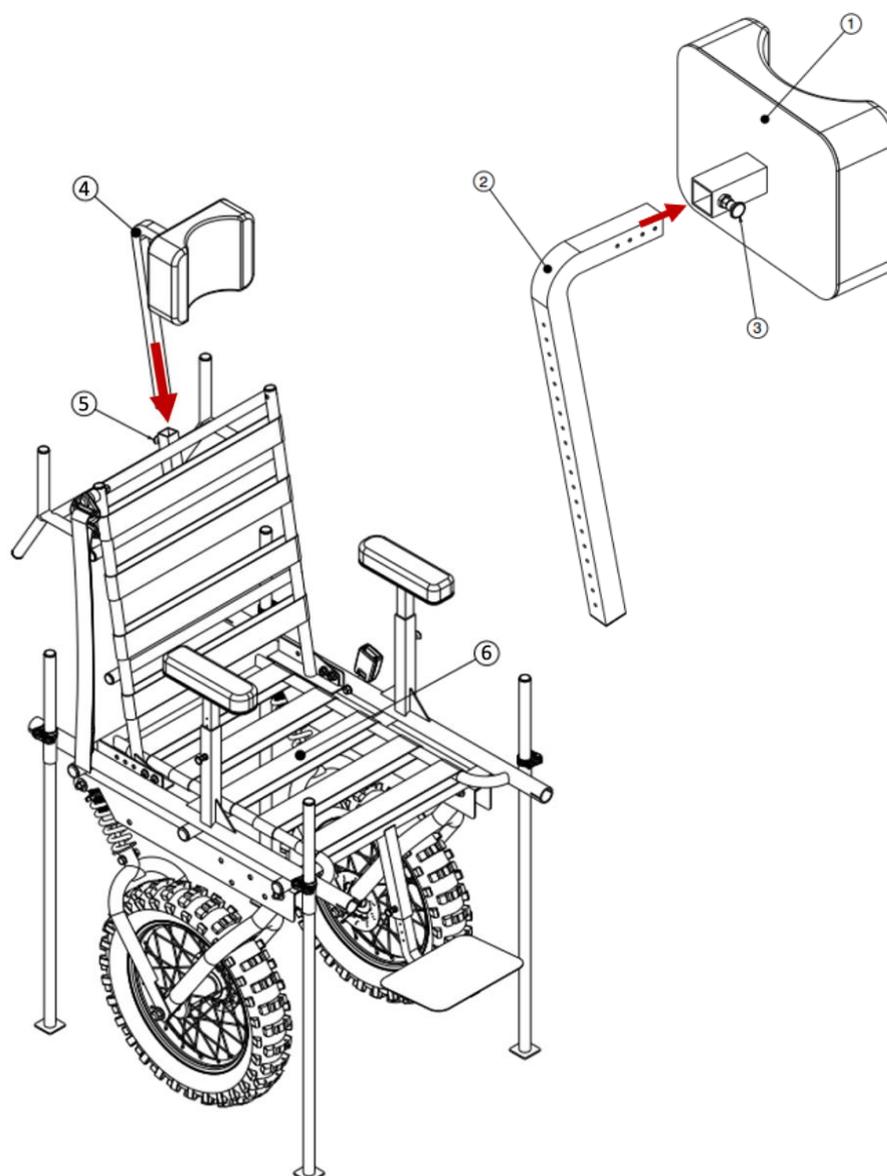
5. Montagem do apoio de pés



- ❖ Passo 1: Encaixar o apoio de pés (2) no conjunto (1). As perfurações permitem ajustes na altura do apoio de pés, escolha o que permite a melhor postura por parte do cadeirante.

ATENÇÃO – Puxar o pino de retenção (3) para fazer o devido acoplamento e travamento.

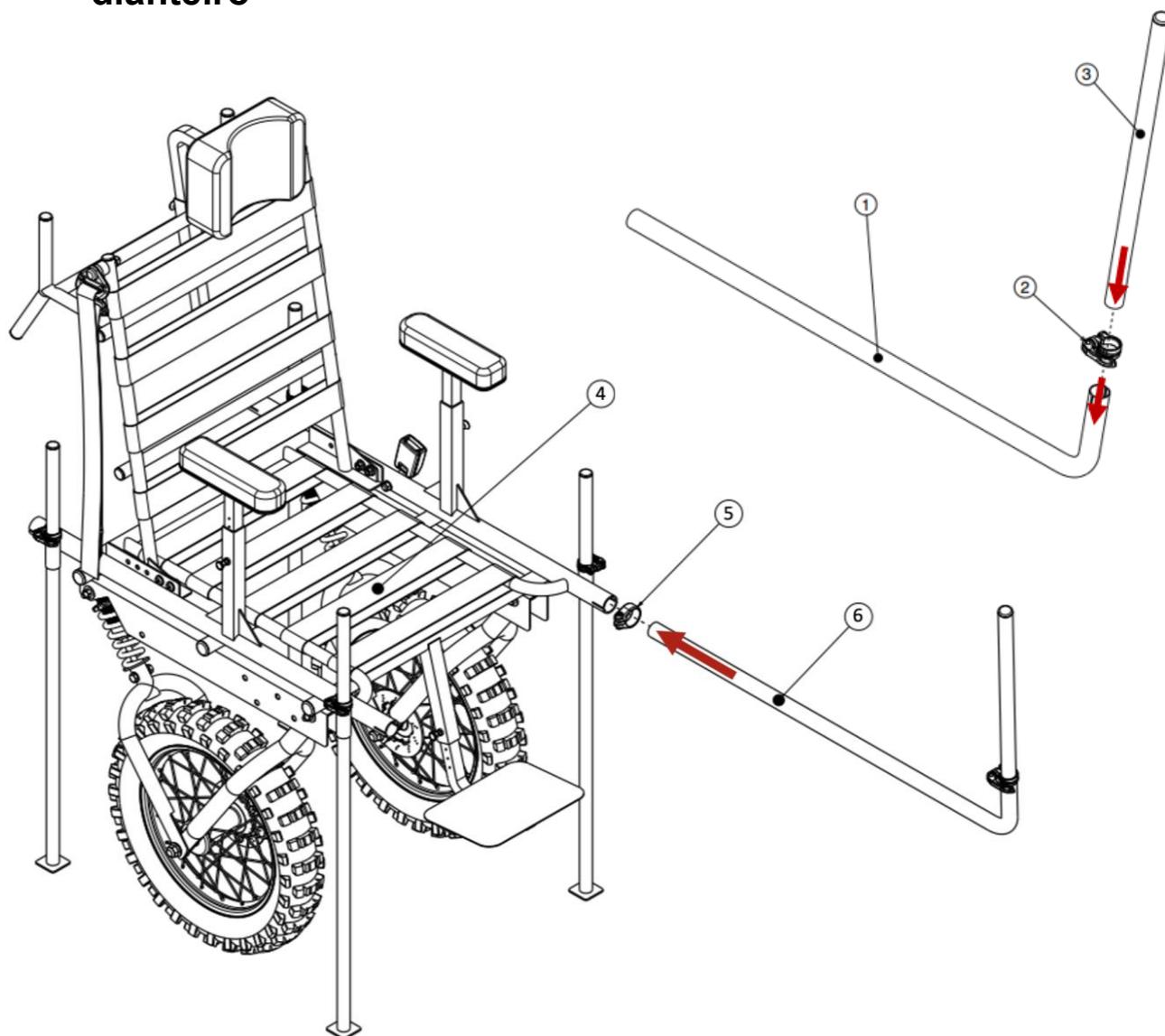
6. Montagem apoio de cabeça



- ❖ Passo 1: Encaixar o tubo (2) no conjunto encosto de cabeça (1);
- ❖ Passo 2: Encaixar o conjunto de apoio da cabeça (4) previamente montado no tubo (5) do conjunto central (6). As perfurações permitem ajustes na profundidade e altura para adequação aos percentis dos usuários, escolha o que permite a melhor postura por parte do cadeirante.

ATENÇÃO – Puxar o pino de retenção (3) e (5) para fazer o devido acoplamento e travamento.

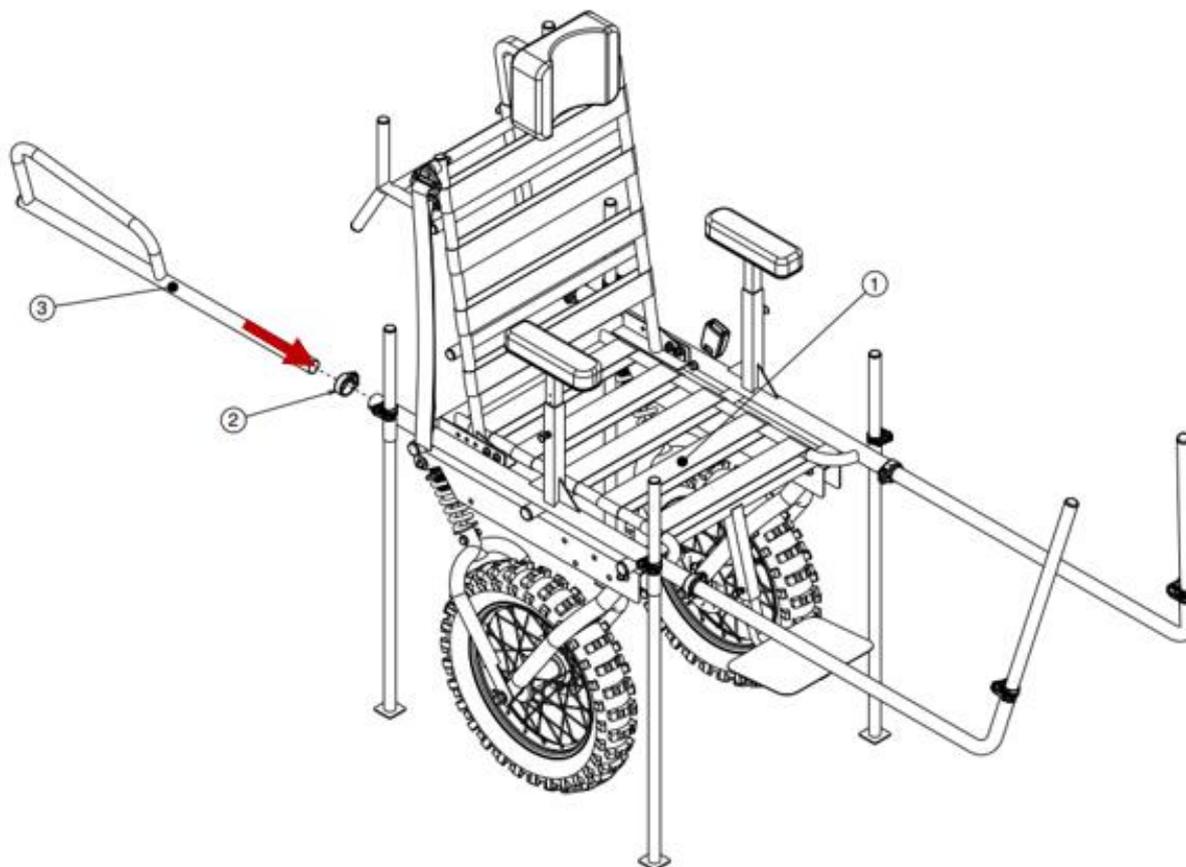
7. Montagem do braço de suporte de carregamento dianteiro



- ❖ Passo 1: Acoplar a abraçadeira de bloqueio (2) no tubo (1);
- ❖ Passo 2: Acoplar o tubo (3) no tubo (1);
- ❖ Passo 3: Acoplar a abraçadeira de bloqueio (5) no conjunto central (4);
- ❖ Passo 4: Acoplar o braço de suporte (6) no conjunto central (4);
- ❖ Passo 5: Repetir o processo para o outro braço de suporte.

ATENÇÃO – Aferir o aperto das abraçadeiras de bloqueio (5).

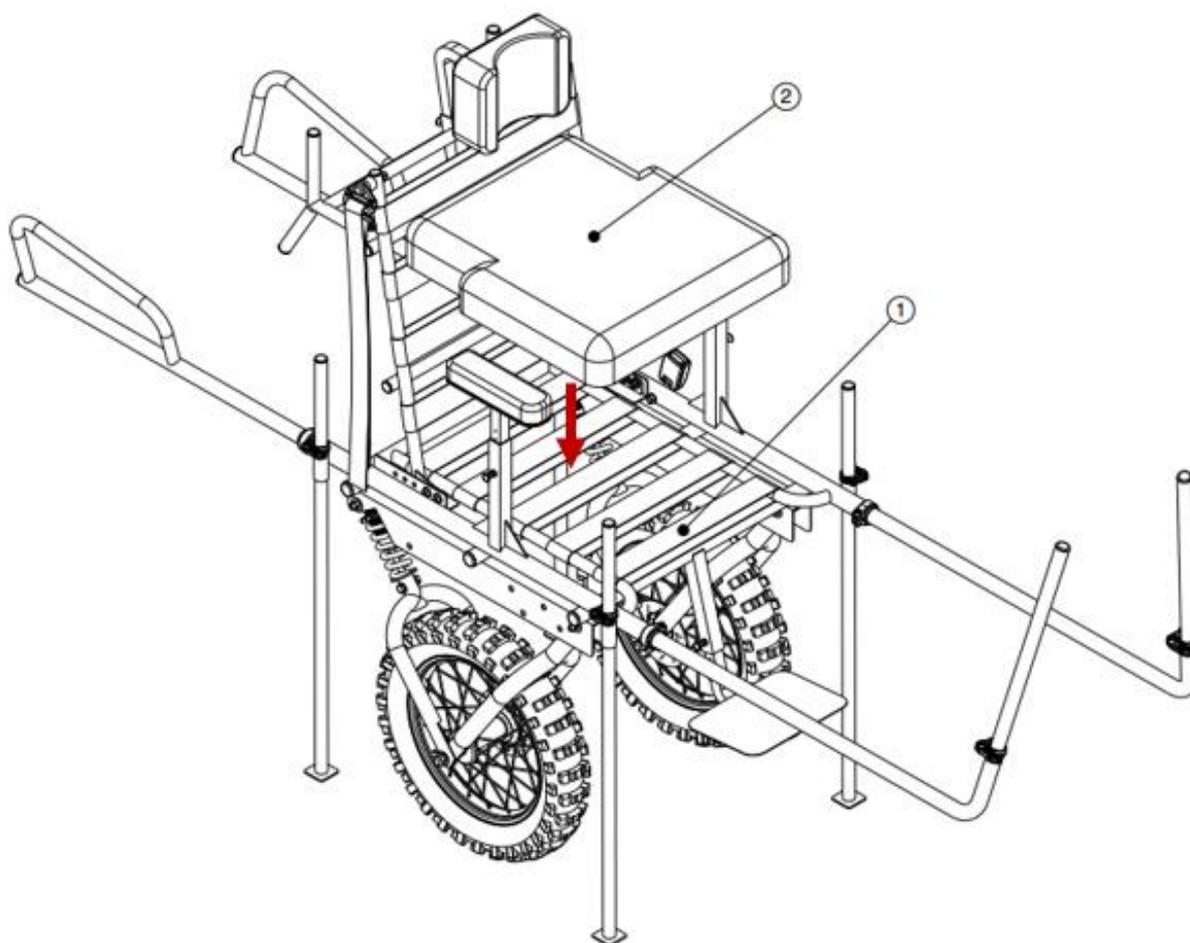
8. Montagem braço de suporte de carregamento traseiro (opcional)



- ❖ Passo 1: Acoplar a braçadeira de bloqueio (2) no conjunto central (1);
- ❖ Passo 2: Acoplar o braço de suporte (3) no conjunto central (1);
- ❖ Passo 3: Repetir o processo para o outro braço de suporte.

ATENÇÃO – Aferir o aperto das abraçadeiras de bloqueio (2).

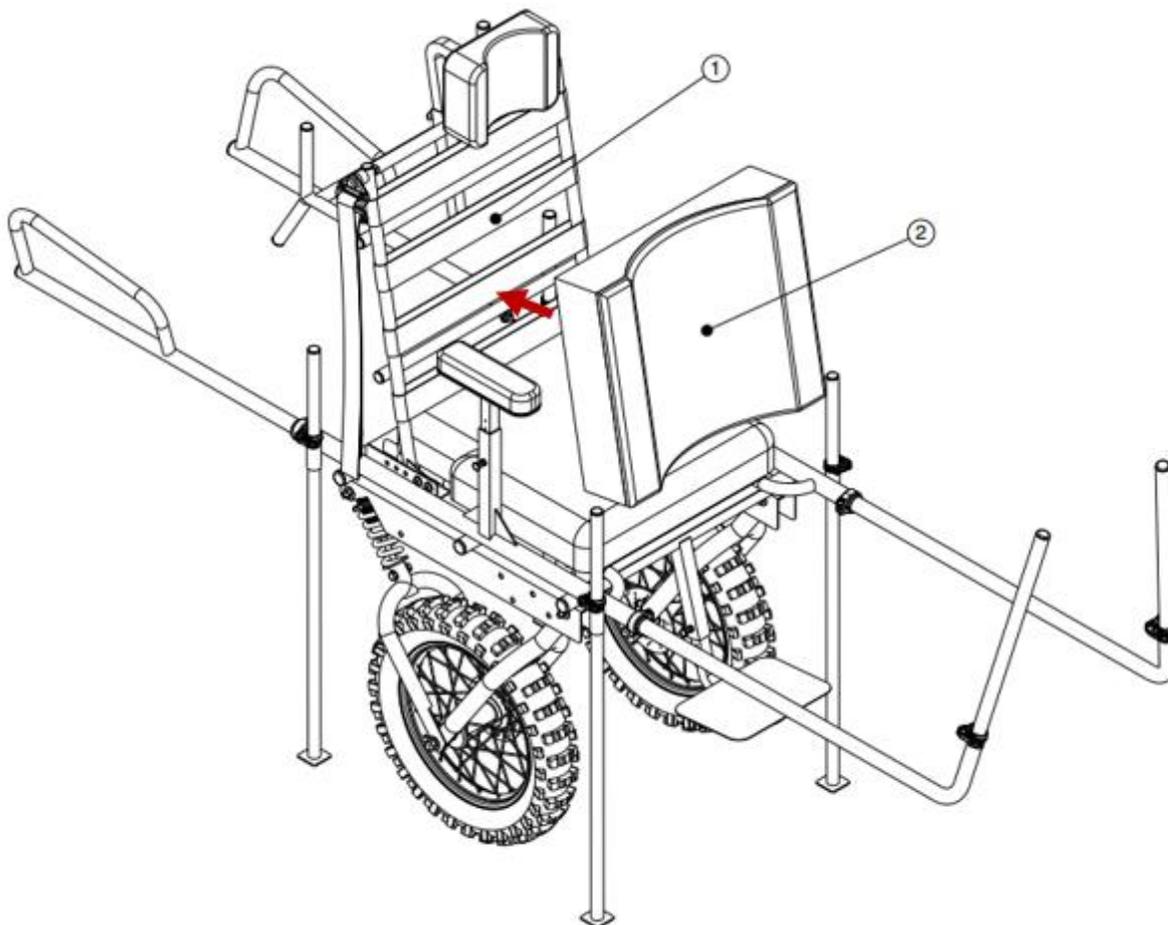
9. Fixação do assento



- ❖ Passo 1: Fixar a almofada do assento (2) no conjunto central (1). O acoplamento da almofada a estrutura é feito usando velcro, garantindo a fixação.

ATENÇÃO: Verificar se a almofada (2) está bem presa.

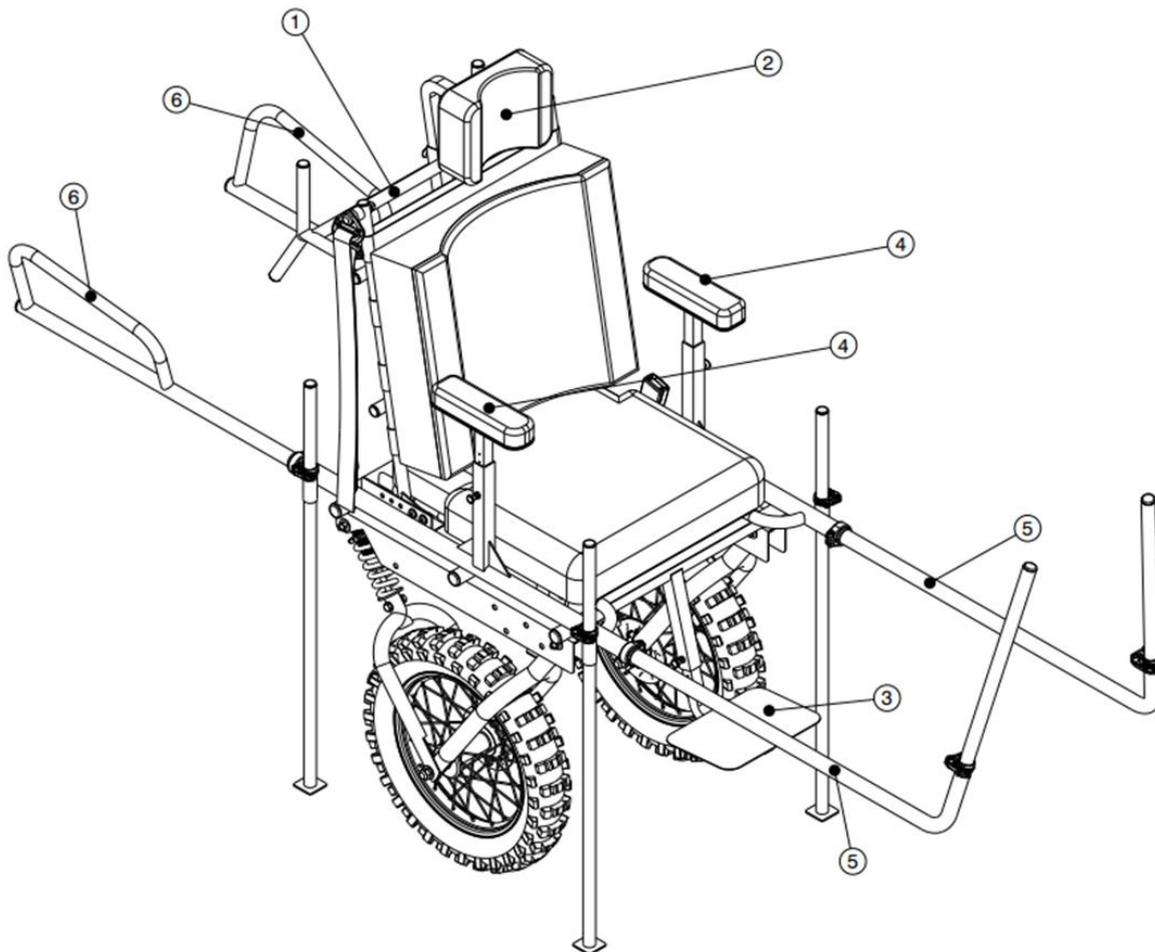
10. Fixação do encosto de dorsal



- ❖ Passo 1: Fixar o encosto do dorsal (2) no conjunto central (1). O acoplamento da almofada a estrutura é feito usando velcro, garantindo a fixação.

ATENÇÃO: Verificar se a encosto (2) está bem presa.

11. Cadeira de Rodas



- ❖ Os apoios ergonômicos (1, 2, 3 e 4) possuem ajustes para melhorar a postura do cadeirante. Todos possuem um intervalo de ajuste, sempre verifique qual deles permite a melhor postura por parte do cadeirante.
- ❖ Os itens 5 e 6 possuem ajustes para melhorar a postura do carregador. Todos possuem um intervalo de ajuste, sempre verifique qual deles permite a melhor postura por parte do carregador.

BJ TRAIL WHEELCHAIRS, LTDA.
ST. LESTE PROJEÇÃO A - GAMA LESTE, BRASÍLIA - DF, 72444-240
stefano.monaco@aluno.unb.br
douglas.souza@aluno.unb.br

Anexos

A.2 Tabela B

Tabela 13 – Tabela B do RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Pontuação da Postura do Pescoço	Tabela B: Pontuação de Postura do Tronco											
	1		2		3		4		5		6	
	Pernas		Pernas		Pernas		Pernas		Pernas		Pernas	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

A.3 Tabela C

Tabela 14 – Tabela C do RULA, (FREITAS, 2021) apud (PLUS; SCIENCE, 1981)

Tabela C		Pontuação do Pescoço, Tronco e Perna						
		1	2	3	4	5	6	7+
Pontuação do Pulso/Braço	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

ANEXO B – Tarifa Aduaneira do Brasil (TAB)

CÓDIGO		MERCADORIA	ALIQUOTA %
Posição	SUBPOSIÇÃO E ITEM		
87.09	02.00	Motociclos, inclusive bicicletas, com motor auxiliar	
	01	Ciclomotores com motor de até 50 cm ³ de cilindrada	105
	99	Qualquer outro	105
	03.00	Motonetas, mesmo com carro lateral	105
	04.00	Carros laterais ("side-cars")	105
	99.00	Outros	105
87.10	00.00	VELOCÍPEDES (BICICLETAS, TRICICLOS E SEMELHANTES) SEM MOTOR, COMPREENDENDO OS TRICICLOS DE CARGA SEMELHANTES	
	01.00	Bicicletas, mesmo com carro lateral ("side-car")	105
	02.00	Triciclos de carga	105
	99.00	Outros	105
87.11	00.00	CADEIRAS DE RODAS E VEÍCULOS SEMELHANTES PARA INVÁLIDOS, MESMO COM MOTOR OU OUTRO MECANISMO DE PROPULSÃO	
	01.00	Com mecanismo de propulsão	30
	02.00	Sem mecanismo de propulsão	55
87.12	00.00	PARTES, PEÇAS SEPARADAS E ACESSÓRIOS DOS VEÍCULOS CLASSIFICADOS NAS POSIÇÕES 87.09 A 87.11	
	01.00	Para veículos da posição 87.09	
	01	Garfo telescópico	30
	99	Qualquer outro	85
	02.00	Para veículos da posição 87.10	
	01	Roda livre	55
	02	Cubo contra-pedal	30
	03	Niple	30
	04	Cone de impulsão	85
	05	Castelo do contra-pedal ou cabeça de engate	85
99	Qualquer outro	85	

ANEXO C – Tabela Antropométrica da População Brasileira

Tabela 15 – Distribuição Percentual para as diferentes medidas antropométricas e IMC na atmosfera (n = 960), (ANAC, 2009)

Percentil	Massa Corporal Total (kg)	Estatura (cm)	Altura Tronco-Cefálica (cm)	Comprimento Glúteo-Joelho (cm)	IMC (kg/m ²)
P3	63,0	162,8	83,4	54,4	21,1
P5	65,0	164,3	84,3	55,0	21,9
P50	83,9	175,1	90,9	60,0	27,4
P95	115,9	187,8	97,5	65,4	35,9
P97	124,6	189,5	98,3	66,1	38,3

Tabela 16 – Distribuição Percentual para as Larguras, Alturas e Comprimento, (ANAC, 2009)

	Largura Bideltóide (cm)	Largura do Quadril (cm)	Comprimento Glúteo-Joelho (cm)	Altura Popliteal (cm)	Altura do Joelho (cm)
P1	38,7	31,0	52,6	39,4	47,2
P2,5	39,7	32,0	53,7	40,1	48,2
P5	40,6	32,9	54,6	40,7	49,1
P10	41,6	33,8	55,6	41,4	50,1
P25	43,1	35,3	57,1	42,5	51,6
P50	46,5	38,6	60,6	45,2	55,5
P75	50,2	42,2	64,3	47,5	58,6
P90	51,7	43,7	65,9	48,6	60,1
P95	52,7	44,6	66,9	49,3	61,1
P97,5	53,6	45,4	67,7	49,9	61,9
P99	54,6	46,4	68,8	50,7	63,0