



**Carlos Maurício da Costa Ramos**

**CADEIRA DE RODAS**  
*com Design Estrutural em Tensegrity de Bambu*

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes e Design da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Design.

Orientador: Prof. José Luiz Mendes Ripper

Rio de Janeiro  
Março de 2016



**Carlos Maurício da Costa Ramos**

**CADEIRA DE RODAS**  
***com Design Estrutural em Tensegrity de Bambu***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes e Design da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Design. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Luiz Mendes Ripper**

Orientador - Departamento de Artes e Design - PUC-Rio

**Profa. Denise Berruezo Portinari**

Departamento de Artes e Design - PUC-Rio

**Prof. Luis Eustáquio Moreira**

Departamento de Engenharia de Estruturas - UFMG

**Prof. Arisio Rabin**

Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

**Profa. Georgia Victor**

Faculdade Angel Vianna-RJ

**Profa. Denise Berruezo Portinari**

Coordenadora Setorial do  
Centro de Teologia e Ciências Humanas - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 31 de março de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Carlos Maurício da Costa Ramos**

Graduado Desenho Industrial na habilitação de Projeto de Produto da UFRJ com projeto final “Cadeira de Rodas Ortostática”, que permite ao usuário ficar na posição de pé e comercializada por dez anos e três patentes, uma de invenção, além de vários prêmios, participação em congressos e seminários em reabilitação. Pós-graduado em Marketing pela FGV-RJ e Complementação Pedagógica na Cândido Mendes-RJ e Mestre em Design na PUC-RIO em 2004. Trabalhou no Sistema FIRJAN - SESI-RJ e SENAI-RJ, na Gerência de Educação a Distância como responsável pelo desenvolvimento e coordenação técnica de cursos *on-line*, na UNIPLI como professor universitário de Design e Arquitetura e Coordenador do curso de Design de Moda. Aprovado em 2º lugar no concurso público para prof. efetivo na UFRJ em 2014 e para prof. substituto em 2015. Atualmente presta auxílio técnico no NEXT-PUC-Rio no Lab. de impressão 3D como pesquisador colaborador e prof. substituto de Laboratório de Modelos na UFRJ.

#### Ficha Catalográfica

Ramos, Carlos Maurício da Costa

Cadeira de rodas com design estrutural em tensegrity de bambu / Carlos Maurício da Costa Ramos; orientador: José Luiz Mendes Ripper. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Letras, 2016.

v, 190 f.: il.color. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design, 2016.

Inclui referências bibliográficas

1. Artes – Teses. 2. Cadeirantes. 3. Projetos de cadeira de rodas. 4. Reabilitação. 5. Tensegrity. 6. Bambu I. Ripper, José Luiz Mendes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes e Design. III. Título.

CDD: 700

Este texto diz respeito a todos que consideram a liberdade e respeito ao próximo, como meta de vida e as põe em prática ao longo do percurso.

A toda minha família que sempre acreditou e pregou todos os preceitos éticos que esmero e pauto em todas as minhas atitudes.

Em especial ao meu filho Bruno, minha esposa Raquel, meus pais Anna Amélia (in memorium), Antonio Carlos e meu irmão Fernando.

## Agradecimentos

Ao meu orientador e amigo Professor José Luiz Mendes Ripper pelo estímulo e parceria para a realização desse trabalho

A PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus professores que tanto ajudaram a estruturar, organizar e desenvolver este texto e aos funcionários da PUC-Rio, em especial ao Romário e Diego que sempre foram extremamente profissionais e solícitos.

A todos que de alguma forma contribuíram para o sucesso desse trabalho como meus colegas de turma, a profa. Carmem Lúcia revisora do texto, aos envolvidos no desenvolvimento e produção da Cadeira de Rodas Ortostática, que deu início a todas as pesquisas na área de acessibilidade como os técnicos da UFRJ, CVI, ABBR e HU da UFRJ e logístico da Sportotec Ltda, pelo seu proprietário Raniero Bassi e a Escola de Belas Artes da UFRJ, por ceder o espaço das oficinas de metal/madeira para produção dos modelos de teste, ao professor Jose Benito Sanchez Gonzalez e os técnicos, Luis, Leandro e Gilvam.

Em especial a minha mãe Anna Amelia, falecida em janeiro de 2015, por ser a pessoa que mais me incentivou em todas as ocasiões da minha vida e teria o maior orgulho em ver seu filho conquistar mais essa importante etapa.

Estaremos sempre juntos!

## Resumo

Ramos, Carlos Mauricio da Costa; Ripper, José Luiz Mendes. **“Cadeira de Rodas com Design Estrutural em Tensegrity de Bambu”**. Rio de Janeiro, 2016. 190 p. Tese de Doutorado - Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta pesquisa está inserida no universo dos portadores de necessidades especiais e pretende desenvolver uma nova tecnologia para projetar a estrutura de cadeira de rodas. Tal estrutura será composta por um módulo *tensegrity* composto de varas de bambu e cabos tensionados e adota todos os padrões antropométricos com a observância aos estudos ergonômicos e necessidades individuais de uso dos cadeirantes. Esse novo conceito de design de estrutura, por ser inédito, resulta num produto inovador e permite novas interpretações e desdobramentos. Essa pesquisa também inicia uma nova interpretação do *tensegrity* por sua aplicação a órteses para reabilitação que atualmente é amplamente difundido nas artes plásticas, arquitetura e no design de produto. O seu emprego pode suprir algumas necessidades como adaptação corporal favorável pela maleabilidade da estrutura que absorve os movimentos mais bruscos que possam causar incômodos, lesões e má acomodação do usuário à cadeira de rodas.

## Palavras-chave

Cadeirantes; projetos de cadeira de rodas; reabilitação; *tensegrity*; tecnologia sustentável; bambu.

## Abstract

Ramos, Carlos Mauricio da Costa; Ripper, José Luiz Mendes. (Advisor) **“Wheelchair with Structural Design in Tensegrity Bamboo”**. Rio de Janeiro, 2016. 190 p. PhD Thesis - Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This research is part of the universe of people with special needs and aims to develop a new technology to design the wheelchair frame. This structure will consist of a compound tensegrity module bamboo poles and tensioned cables and adopts all anthropometric standards with respect to ergonomic studies and individual needs of use of the wheelchair. This new concept of structure design, to be unheard of, resulting in an innovative product and allows new interpretations and developments. This research also initiates a new interpretation of tensegrity by its application to orthoses for rehabilitation that is currently widespread in art, architecture and product design. Your job can fill some needs as body adaptation favor the flexibility of the structure that absorbs the most sudden movements that may cause nuisance, injuries and poor user accommodation to the wheelchair.

## Keywords

Disable; wheelchairs projects; rehabilitation; tensegrity; sustainable technology; bamboo.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>Análise ergonômica e de usabilidade em cadeira de rodas</b>	<b>30</b>
2.1	Aspectos gerais e históricos da cadeira de rodas no Brasil	30
2.2	Ergonomia e usabilidade na cadeira de rodas	32
2.2.1	A importância da prescrição médica	35
2.2.2	Descrição do estudo do CVI	37
2.2.3	Estudo comparativo entre o método do CVI com outros métodos conhecidos	52
<b>3</b>	<b>Aplicações e aspectos formais do <i>tensegrity</i></b>	<b>56</b>
3.1	Aspectos e tipos formais	56
3.2	Aplicações do <i>tensegrity</i>	66
<b>4</b>	<b>Design da cadeira de rodas <i>tensegrity</i> para testes de uso</b>	<b>80</b>
4.1	Design do protótipo da cadeira de rodas <i>tensegrity</i>	80
4.2	Definição dos materiais	95
4.2.1	Vantagens na escolha e utilização do bambu	98
4.2.2	Espécie do bambu utilizado e técnicas empregadas	101
<b>5</b>	<b>Produção dos modelos físicos para testes de uso</b>	<b>108</b>
5.1	Metodologia empregada na produção dos modelos físicos	108
5.2	Produção do gabarito da cadeira de rodas <i>tensegrity</i>	109
5.3	Produção dos acabamentos metálicos e montagem dos bambus	119
5.4	Cabeamento e finalização do modelo de testes da cadeira de rodas <i>tensegrity</i>	122
<b>6</b>	<b>Estrutura, aplicação e análise dos testes com usuários na cadeira de rodas <i>tensegrity</i></b>	<b>128</b>
6.1	Metodologia da aplicação dos testes práticos	128

6.2	Objetivo da aplicação dos testes	132
6.3	Amostra dos testes	133
6.4	Aplicação e análise dos testes	133
<b>7</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>141</b>
<b>8</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>167</b>
<b>9</b>	<b>Glossário</b>	<b>172</b>
9.1	Definições	172
9.2	Conceitos	173
9.3	Incapacidades	173
9.4	Dispositivos	174
9.5	Exigências normativas e legais	175
<b>10</b>	<b>Anexos</b>	<b>176</b>
10.1	Modelo de questionário	176
10.2	Modelo do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	178
10.3	Questionários Aplicados e Termos de Consentimento Assinados	179

## Lista de figuras

Figura 1 - Nicolelis e o exoesqueleto	22
Figura 2 - Exoesqueleto em teste	22
Figura 3 - Juliano Pinto com exoesqueleto na Copa 2014	22
Figura 4 - Ortostática sentada	23
Figura 5 - Ortostática em pé	23
Figura 6 - Ortostática em uso	23
Figura 7 - Ortostática: usuário em pé	24
Figura 8 - Trigonal Tower, 1962 - Snelson	24
Figura 9 - Early X-Piece, 1948 - Snelson	24
Figura 10 - Cúpula geodésica, 1967 - Fuller	25
Figura 11 - <i>Tensegrity</i> esférico, 1927 - Fuller	25
Figura 12 - Escultura Needle Tower, 1968 - Snelson	25
Figura 13 - Arquitetura Kurilpa Bridge - Brisbane, Queensland, Austrália	26
Figura 14 - Modelo <i>tensegrity</i> - Ripper / LILD	26
Figura 15 - Andadores - LILD e CVI	26
Figura 16 - Aplicação <i>tensegrity</i> em produto - LILD	26
Figura 17 - Cadeira de rodas de estrutura rígida 1	27
Figura 18 - Cadeira de rodas de estrutura rígida 2	27
Figura 19 - Cadeira de rodas de estrutura rígida 3	27
Figura 20 - Cadeira de rodas ortostática - Projeto do autor da tese	30
Figura 21 - Cadeira em aço dobrável	32
Figura 22 - Cadeira Ultraleve em alumínio	32
Figura 23 - Cadeira em fibra de carbono para competição	32
Figura 24 - Cadeira de rodas elétrica	32
Figura 25 - Projeto Excludente	33
Figura 26 - Ergodesign	33
Figura 27 - Exemplo de avaliação dimensional preliminar	34
Figura 28 - Cadeiras de rodas expostas para comercialização em lojas	35
Figura 29 - Processo Usual X Processo Ideal	36
Figura 30 - Relação entre a base na posição ortostática e sentada	37

Figura 31 - Evolução postural do homem ao cadeirante	38
Figura 32 - Esforços na postura ortostática - Kapandji, 2000	39
Figura 33 - Esforços na pélvis na postura sentada Kapandji, 2000	39
Figura 34 - Postura sentada – Kapandji, 2000	40
Figura 35 - Pressões intradiscais nas diversas posturas	41
Figura 36 - Postura correta na cadeira de rodas	42
Figura 37 - Equilíbrio ortostático é anteriorizado - equilíbrio dinâmico	42
Figura 38 - Postura cifosada com quadril retro vertido	43
Figura 39 - Postura cifosada com quadril na posição vertical	43
Figura 40 - Postura lordosa com anteroversão excessiva	44
Figura 41 - Fixação da Pélvis	45
Figura 42 - Inclinação do tronco na horizontalização do olhar	46
Figura 43 - Assento estreito	38
Figura 44 - 3 tipos de instabilidade de tronco	38
Figura 45 - Assento largo	49
Figura 46 - Profundidade ideal do assento	49
Figura 47 - Assento comprido	49
Figura 48 - Assento curto	49
Figura 49 - Facilidades na Transferência	50
Figura 50 - Instabilidade do Assento	50
Figura 51 - Coluna humana	51
Figura 52 - Altura do encosto	51
Figura 53 - Pressão nos pés	52
Figura 54 - Altura do pedal	52
Figura 55 - Early X-Piece, 1948 - Snelson	56
Figura 56 - Escultura Tensegrity - Snelson - detalhe	56
Figura 57 - Estrutura molecular	56
Figura 58 - Estrutura molecular epitelial	57
Figura 59 - Cúpula geodésica, 1967 - Fuller	57
Figura 60 - <i>Tensegrity</i> esférico, 1927 - Fuller	57
Figura 61 - Teto Estaiado do Estádio Olímpico de Munique - Frei Otto e Gunther Behnisch	57
Figura 62 - Ponte Estaiada Transcarioca - Rio de Janeiro	57
Figura 63 - Combinações de células tensegrity - Snelson	58

Figura 64 - Combinações de base triangular - Snelson	58
Figura 65 - Montagem de Tensegrity Eliptico - Snelson	59
Figura 66 - Detalhe da montagem Eliptica - Snelson	59
Figura 67 - Formas diferenciadas de Tensegrity - Snelson	59
Figura 68 - Demonstração da maleabilidade do modelo <i>tensegrity</i> esférico	60
Figura 69 - Escultura <i>tensegrity</i> maleável- Snelson	60
Figura 70 - Modelo <i>tensegrity</i> Ripper /LILD adaptado para a Cadeira de Rodas Tensegrity	60
Figura 71 - Modelo <i>tensegrity</i> Ripper /LILD	60
Figura 72 - Forças no modelo <i>tensegrity</i>	61
Figura 73 - Modelo <i>tensegrity</i> tetraedro simulando a curvatura de uma coluna sineticamente combinada	62
Figura 74 - Coluna vertebral em tensegrity - Doutorado Geórgia Victor PUC-Rio 2008	63
Figura 75 - Detalhe Coluna vertebral tensegrity - Doutorado Geórgia Victor PUC-Rio 2008	63
Figura 76 - Tetraedro formado por dois triângulos - Baldwin	63
Figura 77 - Modelo <i>tensegrity</i> - Ripper / LILD	64
Figura 78 - Vortex III Snelson	64
Figura 79 - Esboço Vortex III Snelson	64
Figura 80 - Detalhe Vortex III Snelson	64
Figura 81 - Patente <i>tensegrity</i> - Snelson	65
Figura 82 - Kenneth Snelson	66
Figura 83 - Escultura X-Tend - Snelson	66
Figura 84 - Escultura Eight Up - Snelson	66
Figura 85 - Escultura Eight Up - Snelson	67
Figura 86 - Escultura QuinTet Row – Snelson	67
Figura 87 - Escultura V-X – Snelson	67
Figura 88 - Escultura Easy Landing – Snelson	68
Figura 89 - Torre EC Column - Detalhe	68
Figura 90 - Torre EC Column – Snelson	68
Figura 91 - Escultura Needle Tower - Detalhe	69
Figura 92 - Escultura Needle Tower – Snelson	69

Figura 93 - Kurilpa Bridge – Brisbane, Queensland, Austrália	69
Figura 94 - Frei Otto	70
Figura 95 - Kurilpa Bridge - detalhe 1	70
Figura 96 - Kurilpa Bridge – detalhe 2	70
Figura 97 - Pavilhão Alemão em Montreal - Detalhe	71
Figura 98 - Pavilhão Alemão Exposição Montreal - Otto 1967	72
Figura 99 - Estádio Olímpico de Munique – Interno – Otto 1972	72
Figura 100 - Estádio Olímpico de Munique - Otto 1972	72
Figura 101 - Aviário do Zoo de Munique	73
Figura 102 - Tenda Coração – Detalhe externo	73
Figura 103 - Tenda Coração no Tuwaiq Palace em Riyadh - Otto	73
Figura 104 - Tenda Coração – Detalhe 2	73
Figura 105 - Guarda-sol	73
Figura 106 - Guarda-sol show Pink Floyd EUA - Otto 1977	74
Figura 107 - Modelos das estruturas - Otto	74
Figura 108 - Bicicleta tensegrity idealizada por Flavio Deslandes no LILD/PUC-Rio	75
Figura 109 - Bicicleta tensegrity Maquete	75
Figura 110 - Bicicleta tensegrity - Detalhe	75
Figura 111 - Bicicleta tensegrity – Inout Predescu – Romenia	76
Figura 112 - Bicicleta tensegrity Inout Predescu - Detalhe	76
Figura 113 - Bicicleta tensegrity Inout Predescu – Detalhe 2	76
Figura 104 - Mesa de café tensegrity Theodore Waddell	76
Figura 115 - Mesa tensegrity Theodore Waddell - Detalhe 2	77
Figura 116 - Mesa tensegrity Theodore Waddell - Detalhe 3	77
Figura 117 - Mesa tensegrity de Theodore Waddell	77
Figura 118 - Mesa e cadeira X-tense de Konstantin Achkov	78
Figura 119 - Mesa X-tense de Konstantin Achkov - Detalhe	78
Figura 120 - Mesa e cadeira V-star de Konstantin Achkov	78
Figura 121 - Cadeira X-tense de Konstantin Achkov	78
Figura 122 - Mesa V-star de Konstantin Achkov - Detalhe	78
Figura 123 - Mesa V-star de Konstantin Achkov - Detalhe 2	78
Figura 124 - Mesa Rotor de Konstantin Achkov - Modelo 1	79
Figura 125 - Mesa Rotor de Konstantin Achkov - Modelo 2	79

Figura 126 - Mesa Rotor Modelo 2 - Detalhe	79
Figura 127 - Mesa Rotor Modelo 2 – Detalhe 2	79
Figura 128 - Mesa Rotor Modelo 2 – Detalhe 3	79
Figura 129 - Pipa plana de crianças	80
Figura 130 - Estrutura de pipas duplicadas e paralelas	80
Figura 131 - Estrutura de pipas inseridas num paralelepípedo	81
Figura 132 - Estrutura tensegrity com haste transversal	81
Figura 133 - Estrutura com haste transversal cabeada	81
Figura 134 - Módulo tensegrity prof. Ripper com medidas	82
Figura 135 - Módulo tensegrity original do prof. Ripper	82
Figura 136 - Estrutura tensegrity do designer Mário Seixas	82
Figura 137 - Barraca de estrutura tensegrity - designer Mário Seixas	83
Figura 138 - Barraca de estrutura tensegrity em uso - designer Mário Seixas	83
Figura 139 - Módulos tensegrity desenvolvidos pelo Lild	83
Figura 140 - Conjunto de uso	84
Figura 141 - Conjunto de uso e Rodas sem estrutura (quadro)	84
Figura 142 - Desenho técnico do conjunto de uso e rodas no padrão dimensional	85
Figura 143 - Módulo tensegrity girado com hastes paralelas ao chão coincidentes com as rodas dianteiras	86
Figura 144 - Coincidência da posição das rodas dianteiras com as hastes paralelas	86
Figura 145 - Módulo tensegrity com coincidência das varas de bambu verticais com o conjunto de uso	87
Figura 146 - Coincidência da posição da estrutura do assento com as hastes verticais	87
Figura 147 - Módulo tensegrity com encaixe da haste de bambu com as rodas traseiras	88
Figura 148 - Coincidência da posição das rodas traseiras com a haste transversal	88
Figura 149 - Conjunto de uso e módulo tensegrity posicionados	88
Figura 150 - Módulo tensegrity ajustado ao Conjunto de uso	89
Figura 151- Tensegrity com haste faceada a roda traseira	89

Figura 152 - Ajuste das hastes verticais para assumir simetria	89
Figura 153 - Conjunto de uso e tensegrity com conexões e cabos	90
Figura 154 - Ajuste das hastes verticais para assumir simetria	90
Figura 155 - Design do protótipo da cadeira de rodas de estrutura tensegrity	91
Figura 156 - Projetos das conexões com as presilhas do cabo de aço	91
Figura 157 - Estrutura tensegrity com as conexões nas extremidades das hastes de bambu e indicação de encaixe ao conjunto de uso	92
Figura 158 - Conexões nas extremidades das hastes de bambu que não possuem encaixe ao conjunto de uso e presilhas do cabo de aço na base e borda	92
Figura 159 - Encaixe superior da estrutura tensegrity com o conjunto de uso com presilhas do cabo de aço na borda	93
Figura 160 - Encaixe da estrutura tensegrity com o eixo rodas traseiras com presilhas do cabo de aço na borda	93
Figura 161 - Acoplamentos da estrutura tensegrity, rodas dianteiras; parte inferior do conjunto de uso e presilhas do cabo de aço	93
Figura 162 - Projeto das presilhas do cabo de aço na conexão	93
Figura 163 - Ponto de convergência da força dos cabos de aço dentro da conexão	94
Figura 164 - Kit do cabeamento esticador, cabo de aço, travas e mosquetão	94
Figura 165 - Ponto de convergência da força dos cabos de aço fora da conexão	94
Figura 166 - Conexão com embuchamento de linha grossa de algodão	95
Figura 167 - Comparação do projeto e do modelo de testes da Cadeira de rodas tensegrity	96
Figura 168 - Projeto do conjunto de uso	97
Figura 169 - Conjunto de uso do modelo de teste em duralumínio	97
Figura 170 - Presilhas do cabo de aço soldadas na conexão	98
Figura 171 - Tubos cilíndricos de aço-carbono das conexões	98
Figura 172 - Pisos laminados de bambu	99
Figura 173 - Variedades de bambu	99
Figura 174 - Ambiente de bambu	99

Figura 175 - Touceira de bambu sem limpeza e aproveitamento	100
Figura 176 - Limpeza da touceira de bambu	101
Figura 177 - Mudas de bambu	101
Figura 178 - Caules jovens na touceira limpa	101
Figura 179 - Touceira limpa	101
Figura 180 - Bambu - mirim ou <i>Phyllostachys aurea</i>	102
Figura 181 - Lagarta atacando o interior do Bambu <i>Phyllostachys aurea</i>	102
Figura 182 - Divisões e nós do bambu <i>Phyllostachys aurea</i>	102
Figura 183 - Variação diametral	103
Figura 184 - Corte na borda do Bambu	103
Figura 185 - Segmento de bambu com camada protetora superficial	104
Figura 186 - Pesquisa Lucas Ripper - Estrutura curvada	104
Figura 187 - Bambu cru ou natural sem tratamento	105
Figura 188 - Tratamento superficial com resina (esquerda) e betume (direita)	105
Figura 189 - Tratamento superficial: Doutorado de Arisio Rabin, PUC-Rio 2015	105
Figura 190 - Tintas naturais de tratamento superficial: Doutorado de Arisio Rabin, PUC-Rio 2015	106
Figura 191 - Detalhe: Doutorado de Arisio Rabin, PUC-Rio 2015	106
Figura 192 - Padrões de design e cores nos bambus: Doutorado de Arisio Rabin, PUC-Rio 2015	107
Figura 193 - Gabarito para fabricação de cadeira estudantil	108
Figura 194 - Gabarito para fabricação de cadeira	108
Figura 195 - Gabarito para fabricação de estrutura metálica	108
Figura 196 - Embraer 196	109
Figura 197 - Gabarito do avião Embraer 190	109
Figura 198 - Gabarito do avião Embraer 190 - 2	109
Figura 199 - Linha de montagem automotiva	109
Figura 200 - Oficina UFRJ	110
Figura 201 - Estrutura rígida e móvel da cadeira de rodas ortostática	110
Figura 202 - Ortostática: usuário em pé	110
Figura 203 - Vista Lateral do conjunto de uso	

aproveitado da Cadeira Ortostática	111
Figura 204 - Conjunto de uso virtual	111
Figura 205 - Conjunto de uso da cadeira de rodas ortostática	111
Figura 206 - Desenho técnico do gabarito para o suporte do conjunto de uso	111
Figura 207 - Ortostática: chassi com o sistema de elevação	112
Figura 208 - Conjunto de uso com estrutura <i>tensegrity</i>	112
Figura 209 - Gabarito: Criação da base de madeira	113
Figura 210 - Gabarito: Medições para confecção da base	113
Figura 211 - Gabarito: Base esquadrinhada	113
Figura 212 - Gabarito: União da base com cantoneiras	113
Figura 213 - Gabarito: Apoios dianteiros do conjunto de uso	114
Figura 214 - Gabarito: Encaixe côncavo dos tubos	114
Figura 215 - Gabarito: Amarração transversal das hastes de suporte dianteiras	114
Figura 216 - Gabarito: Parte de sustentação das rodas traseiras	114
Figura 217 - Gabarito: Apoios traseiros dos tubos do assento	114
Figura 218 - Gabarito com suporte do conjunto de uso montado	115
Figura 219 - Estrutura <i>tensegrity</i> com conjunto de uso	115
Figura 220 - Imagem virtual da estrutura <i>tensegrity</i>	116
Figura 221 - Vista frontal - cadeira de rodas <i>tensegrity</i>	116
Figura 222 - Desenho técnico cadeira de rodas <i>tensegrity</i> - vista lateral	116
Figura 223 - Estrutura <i>tensegrity</i> com conjunto de uso	117
Figura 224 - Imagem virtual da estrutura <i>tensegrity</i>	117
Figura 225 - Haste horizontal	117
Figura 226 - Haste transversal (indicado em verde) e suporte (indicado em branco)	117
Figura 227 - Hastes verticais	118
Figura 228 - Conexão estrutura <i>tensegrity</i> com conjunto de uso	118
Figura 229 - Gabarito pronto com as cinco hastes posicionadas	118
Figura 230 - Gabarito montagem	118
Figura 231 - Gabarito montagem 2	118
Figura 232 - Corte dos tubos de 1' ¼"	119
Figura 233 - Tubos cortados	119

Figura 234 - Tubos conexão com tampas soldadas	119
Figura 235 - Conexão dos cabos	119
Figura 236 - Imagem virtual da estrutura <i>tensegrity</i>	119
Figura 237 - Conexão da roda traseira	120
Figura 238 - Conexão da roda dianteira	120
Figura 239 - Acabamento das hastes horizontais com encaixe do conjunto de uso	120
Figura 240 - Acabamento das hastes horizontais finalizado	120
Figura 243 - Acabamento das extremidades das hastes verticais	121
Figura 244 - Distanciador das hastes verticais	121
Figura 245 - Distanciador das hastes horizontais	121
Figura 246 - Gabarito montado com hastes e conexões de metal	121
Figura 247 - Cadeira de rodas <i>tensegrity</i>	122
Figura 248 - Cabo de aço laçado com esticador	122
Figura 249 - Mosquetão	123
Figura 250 - Esticador de cabo girado no sentido horário	123
Figura 251 - Esticador de cabo girado no sentido anti-horário	123
Figura 252 - Presilha do cabo de aço	124
Figura 253 - Cabo de aço travado	124
Figura 254 - Sistema de passar cabo	124
Figura 255 - Imagem virtual da estrutura <i>tensegrity</i>	125
Figura 256 - Conjunto do cabeamento hastes horizontais	125
Figura 257 - Conjunto do cabeamento hastes verticais	125
Figura 258 - Destaque conjunto cabeamento ligações oblíquas	125
Figura 259 - Parte traseira montada e cabeada	125
Figura 260 - Imagem virtual da estrutura <i>tensegrity</i>	126
Figura 261 - Cadeira de Rodas <i>Tensegrity</i> em exposição na PUC-Rio	126
Figura 262 - Orientador da pesquisa testando a cadeira <i>tensegrity</i>	126
Figura 263 - Modelo de testes da cadeira de rodas <i>tensegrity</i> e cadeira de rodas AVD	130
Figura 264 - Renata Vargas a primeira usuária dos testes da cadeira <i>tensegrity</i>	134
Figura 265 - Reunião do grupo multidisciplinar no CVI/PUC-Rio	135
Figura 266 – Renata Vargas a na reunião no CVI/PUC-Rio	136

Figura 267 - Willian de Sousa a segunda pessoa dos testes com a cadeira tensegrity	138
Figura 268 - Willian de Sousa realizando atividade na cadeira tensegrity	138
Figura 269 - Willian de Sousa utilizando a cadeira tensegrity	139
Figura 270 - Willian de Sousa nos testes com a cadeira tensegrity	139
Figura 271 - Dr. José Carlos Moraes nos testes e análises da cadeira tensegrity	140
Figura 272 - Partes alteradas no projeto da cadeira <i>tensegrity</i>	142
Figura 273 - Encurtamento da estrutura da cadeira tensegrity	144
Figura 274 - Variação de altura da cadeira tensegrity	144
Figura 275 - Chapa com uma furação em cada lado	144
Figura 276 - Chapa com três furações para regulagem	145
Figura 277 - Encaixe de 3 estágios na parte frontal	145
Figura 278 - Sistema de Engate com detalhe do encaixe no eixo	145
Figura 279 - Trava do Sistema de Encaixe	146
Figura 280 - Afastador das rodas dianteiras	147
Figura 281 - Barra estabilizadora	147
Figura 282 - Rebaixamento do apoio dos pés	147
Figura 283 - Assento rígido na cadeira <i>tensegrity</i>	147
Figura 284 - Angulação das presilhas dos cabos de aço	148
Figura 285 - Bambu fosco claro e escuro	149
Figura 286 - Cadeira de rodas tensegrity em bambu fosco	149
Figura 287 - Cadeira de rodas tensegrity em bambu brilhante	150
Figura 288 - Cadeira de rodas tensegrity em bambu escuro brilhante	151
Figura 289 - Bambu com padrões e cores - Doutorado Arisio	152
Figura 290 - Acabamento superficial do bambu - Doutorado Arisio	152
Figura 291 - Cadeira de rodas tensegrity em bambu pintado de preto com padrão de listras coloridas	153
Figura 292 - Detalhe do bambu pintado de preto com listras coloridas	153
Figura 293 - Cadeira de rodas tensegrity em bambu pintado de azul com padrão de listras coloridas	154
Figura 294 - Detalhe do bambu pintado de azul com listras coloridas	154
Figura 295 - Cadeira de rodas tensegrity em bambu	

pintado de vermelho com padrão esfumaçado	155
Figura 296 - Detalhe do bambu pintado de vermelho com esfumaçado preto	155
Figura 297 - Cadeira de rodas tensegrity em bambu amarelo	156
Figura 298 - Cadeira de rodas tensegrity em fibra de carbono clara	157
Figura 299 - Cadeira de rodas tensegrity em fibra de carbono escura	158
Figura 300 - Cadeira de rodas tensegrity híbrida de metal e bambu claro	159
Figura 301 - Cadeira de rodas tensegrity híbrida de metal bambu escuro	160
Figura 302 - Cadeira de rodas tensegrity híbrida metal escuro com bambu escuro	161
Figura 303 - Detalhe do conjunto das conexões com cabeamento	162
Figura 304 - Touceira de bambu	162
Figura 305 - Alongamento das presilhas	163
Figura 306 - Perspectiva das conexões	163
Figura 307 - Alteração da direção das presilhas	163
Figura 308 - Facilidade de enlaçamento do cabo de aço	163
Figura 309 - Exemplo de produção complexa por impressão 3D	164
Figura 310 - Imagens das peças em aço inox sem soldas	165
Figura 311 - Conexão nova cabeada e montada na cadeira	166

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Quadro de avaliação	48
Tabela 2 - Relação resistência à tração X peso específico	
Fonte: Ghavami (1992)	98
Tabela 3 - Relação energia de produção por unidade de tensão	
Fonte: Ghavami (1992)	98