

ÉRIKA MARI TAGUTI

DISPOSITIVO PARA AUXILIAR NA RECUPERAÇÃO DA MARCHA

Érika Mari Taguti

DISPOSITIVO PARA AUXILIAR NA RECUPERAÇÃO DA MARCHA

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini

T128d	Taguti, Érika Mari Dispositivo para auxiliar na recuperação da marcha / Érika Mari Taguti – Guaratinguetá, 2016. 56 f : il. Bibliografia: f. 51-53
	Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini
	1. Biomecânica 2. Marcha humana 3. Pacientes – reabilitação I. Título CDU 612.766

ÉRIKA MARI TAGUTI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

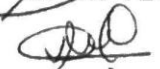
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSE ELIAS TOMAZINI
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
UNESP-FEG


Profª. Drª. VANIA C. DOS REIS MIRANDA
FUNVIC

Dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Não existem regras ou condutas para agradecimentos. Podemos escrever, expressar através de gestos ou pronunciar um simples obrigado. A facilidade com que somos capazes de agradecer tornou tal ação em questão de educação e um hábito positivo, quando a essência não reside no modo como o fazemos, nem se somos politizados ou não. A base está justamente no conhecimento, que nos leva ao reconhecer a sua justificativa. Sendo assim, possuo muitas razões para agradecer e a quem dedicá-las.

Minha história começa com minha família. Não importa quantos tropeços, fraquezas ou dúvidas quanto ao caminho a seguir, minha família é a chave chefe para as diversas portas existentes, através de seu apoio permanente e incondicional.

Ao compartilhamento, cito meus amigos. À amizade intrínseca à nós assim como o desejo de aprender e compartilhar idéias e emoções.

Ao ensinamento, cito os professores. Existem diversos conhecimentos a serem assimilados e o ato de ensinar está além das páginas de livros. Com todos aprendi o significado e o devido valor de cada um, e é através desta retribuição mútua, seja de trocas de sentimentos, amizades ou conhecimentos, é que consiste a razão de um simples obrigado.

Muito obrigada.

RESUMO

A reabilitação da marcha em pacientes que são incapazes de produzir o conjunto de movimentos coordenados que a definem, seja devido por afecções neurológicas como por afecções musculoesqueléticas, é uma tarefa difícil e lenta. Restaurar a deambulação exige técnica e assistência significativa do terapeuta para orientar/auxiliar o paciente. Para tal, os métodos aplicados vêm evoluindo com o auxílio da engenharia e um dos principais dispositivos que auxilia nesta recuperação da marcha é o suporte parcial de peso corporal (SPPC) que tem como finalidade suspender o paciente sobre uma esteira. Através do treino locomotor com o suporte, há melhores resultados quanto ao aumento da capacidade em percorrer maiores distâncias, menor gasto energético, treinar com velocidades maiores quando comparada ao treino convencional e entre outros. Assim, este trabalho tem como objetivo obter um design de um protótipo de dispositivo de SPPC cujos principais componentes são uma estrutura metálica na qual o paciente será suspenso, o cabo de aço a ser utilizado e o dispositivo de controle de alívio de peso. Foram determinados requisitos de projetos que envolviam segurança, controle do alívio de peso, e fácil posicionamento paciente/suporte. Através destas considerações foi possível obter um dispositivo mecânico simples, porém que ainda é necessário realizar um estudo quanto ao orçamento real e montagem completa, apesar do projeto ter se baseado em baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: Suporte de peso corporal. Marcha. Reabilitação. Dispositivo de controle de peso.

ABSTRACT

The rehabilitation of gait in patients, who are unable to produce the coordinated movements due to of neurological affections or musculoskeletal affections, is a difficult and a slow task. Restoring ambulation requires significant technique and support from the physiotherapist to guide and assist the patient. So, the methods of the rehabilitation have been developed with the aid of the engineering and the main device used the partial weight support (PWS) which consists in suspending the individual over a treadmill. Through this type of locomotor training with PWS, better results can be achieved as the increase of the ability to travel greater distances, lower energy expenditure and training with higher speeds when compared to conventional one. Thus, this work aims to obtain a prototype design of an PWS device whose main components are a metal structure in which the patient is suspended, the steel cable and the weight control device. Project requirements have been defined to have a safety device, an weight control and an easy patient / support placement. Through these considerations, it was possible to obtain a simple mechanical device, but there are still things to study as the actual budget and the complete assembly, although the project has been designed to have low cost.

KEYWORDS: Partial weight support. Gait. Rehabilitation. Weight control device.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática das etapas da marcha.....	9
Figura 2 – Requisitos de Projeto	10
Figura 3 – Esboço do dispositivo SPPC	13
Figura 4 – Sistema de suporte peso corporal.....	14
Figura 5 – Sistema de suporte peso corporal.....	15
Figura 6 – Equipamento robotizado..	16
Figura 7 – Dispositivo suporte de peso corporal.....	16
Figura 8 – Composição de cabo de aço.....	17
Figura 9 – Tipos de construção de cabos de aços.....	17
Quadro 1 – Característica mecânica dos cabos de aços, conforme a sua configuração.	19
Figura 10 – Tipo e sentido de torção do cabo de aço.....	19
Figura 11 – Principais dimensões da mola helicoidal de compressão.....	26
Figura 12 – Diâmetros nominais de mola helicoidal de compressão, conforme material.....	26
Figura 13 – Tipos de tratamentos de extremidades de molas.....	27
Figura 14 – Comprimentos da mola de compressão em serviço.....	28
Figura 15 – Gráfico força x deflexão da mola de compressão.....	29
Figura 16 – Estabilidade quanto à flambagem de molas helicoidais de compressão.....	31
Figura 17 – Resistências mínimas sob tração de fios de mola.....	31
Figura 18 – Comportamento linear força x deflexão da mola helicoidal de compressão.....	39
Figura 19 – Vista explodida do dispositivo de mola.....	40
Figura 20 – Vista seção transversal do dispositivo de mola.....	41
Figura 21 – Estrutura do suporte de peso parcial.....	43
Figura 22 – Dados de entrada da estrutura de metalon.....	43
Figura 23 – Fixações da estrutura de metalon.....	44
Figura 24 – Aplicação da carga em um ponto (em azul) do metalon horizontal.....	44
Figura 25 – Aplicação da malha de elementos finitos.....	45
Figura 26 – Tensão de Von Mises equivalente.....	45
Figura 27 – Deslocamento resultante.....	46
Figura 28 – Deformação equivalente.....	46
Figura 29 – Roldana comercial para cabo de aço.....	47
Figura 30 – Guincho manual para elevação do paciente.....	48
Figura 31 – Design do dispositivo: suporte de peso parcial.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de Carga de Ruptura Mínima	20
Tabela 2 – Categoria de resistência à tração de arames.	21
Tabela 3 – Fator de Segurança	21
Tabela 4 – Carga de ruptura mínima para cabo de aço 6 x 9 com alma de aço	23
Tabela 5 – Coeficientes para cálculo d resistência à tração	32
Tabela 6 – Resistência de escoamento torcional máxima para molas de compressão	32
Tabela 7 – Dados de entrada do projeto	33
Tabela 8 – Projeto Estrutural da Mola.....	34
Tabela 9 – Projeto Operacional	36
Tabela 10 – Deflexão da mola helicoidal de compressão e os pesos correspondentes	42

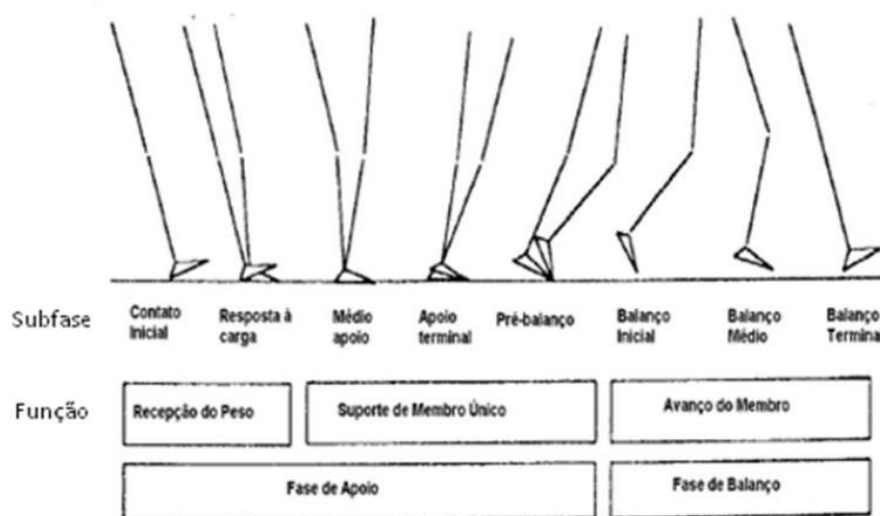
SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVO	11
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2	DESENVOLVIMENTO	13
2.1	IDEALIZAÇÃO DO PROJETO	13
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.3	CABO DE AÇO	17
2.3.1	Cálculo das forças atuantes no cabo de aço	21
2.4	MOLA HELICOIDAL DE COMPRESSÃO	24
2.4.1	Parâmetros de mola	25
2.4.2	Resistência da mola	31
2.4.3	Cálculo dimensional da mola	32
2.4.3.1	Projeto estrutural (I)	34
2.4.3.2	Projeto Operacional (II)	36
2.5	DISPOSITIVO DE CONTROLE DE ALÍVIO DE PESO	39
2.6	ESTRUTURA DO SUPORTE SPPC	42
2.7	MONTAGEM DO DISPOSITIVO SPPC	47
3	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICE I – DESENHO DISPOSITIVO MOLA	54
	APÊNDICE II – DESENHO ESTRUTURA SPPC	55

1 INTRODUÇÃO

A marcha é um conjunto de movimentos repetidos, conforme a Figura 1, dos membros inferiores que avançam o corpo em uma linha de progressão, associado à mobilização articular, oscilação do centro de gravidade, consumo energético, manutenção de uma postura estável de sustentação do corpo e movimento da cabeça e dos olhos (OTTOBONI; FONTES; FUKUJIMA, 2002).

Figura 1 – Representação esquemática das etapas da marcha.



Fonte: Santos (2010).

Em pacientes que são incapazes de produzir esse conjunto de movimentos coordenados, seja devido por afecções neurológicas como lesões medulares, paralisia cerebral ou por afecções musculoesqueléticas, a recuperação da marcha é uma tarefa difícil e lenta. Restaurar a deambulação exige técnica e assistência significativa do terapeuta para orientar/auxiliar o paciente.

Além disso, no treino convencional, os resultados podem não ser satisfatórios devido a padrões assimétricos de movimentos e dificuldade em percorrer distâncias maiores. Com base nestas dificuldades, iniciou-se o treino da recuperação da marcha, em esteiras ou em solo, com auxílio de suporte parcial de peso corporal (SPPC). Através deste, foi verificado que os pacientes apresentavam melhores resultados ao conseguir percorrer maiores distâncias, iniciar o treino mais cedo devido ao menor gasto energético já que o consumo de oxigênio e a frequência cardíaca eram menores, quando comparado ao treino convencional. Ademais, os pacientes apresentavam mais confiança para iniciar o treino, sem receio de queda (HAUPENTHAL et al., 2008).

Apesar de não existir, atualmente, um protocolo de treino com suporte parcial de peso corporal, na qual se devem seguir determinados parâmetros tal como a porcentagem de peso que deve ser aliviada, ou a duração/frequência da terapia, o treino locomotor com SPPC se mostra viável e benéfico para pacientes com patologia neurológicas ao apresentarem aumento da força muscular, manutenção ou aumento da densidade óssea, diminuição da frequência cardíaca e aumento do condicionamento físico (DUTRA et al., 2013).

O suporte tem como objetivo a sustentação parcial do paciente através de um colete suspenso. Existem diferentes tipos de suporte, porém todos apresentam dispositivo que permitem regular a altura e o alívio de peso corporal do paciente, de modo que este possa estar parcialmente ou totalmente suspenso (MATSUNO et al.; 2010).

O desenvolvimento do suporte parcial de peso corporal, foco deste trabalho, irá desde o projeto inicial até o design de um possível protótipo, uma vez que este pode apresentar variações conforme os componentes comerciais a serem utilizados. As informações referentes ao colete utilizado para sustentar o paciente não irão entrar no escopo deste trabalho, assim como o projeto da barra horizontal à qual o colete é fixado.

Para o projeto do dispositivo foram considerados alguns requisitos base, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Requisitos de Projeto.



Fonte: Própria da autora (2016).

A altura ajustável será controlada através de um guincho manual de cabo de aço para que o suporte SPPC seja aplicável para diferentes estaturas de crianças.

O baixo custo está limitado à segurança do projeto, ou seja, os custos dos componentes do projeto envolvidos serão definidos de modo a ter uma margem de segurança ideal.

O SPPC deve ser móvel a fim de permitir a sua utilização tanto em esteiras elétricas como em solo. Além disso, tal fator irá possibilitar maior facilidade em colocar o colete em pacientes paraplégicos ao deslocar o SPPC até estes, ou seja, posicionamento do paciente/suporte mais acessível, ao invés de um SPPC fixo no solo.

A porcentagem de alívio de peso, controlada através de um dispositivo de mola, será um parâmetro para o fisioterapeuta monitorar a terapia e controlar seus resultados, além de aliviar o peso sobre os membros inferiores e auxiliar na marcha.

1.1 JUSTIFICATIVA

A idéia do projeto teve início no Instituto Lucas Amaroso (ILA), em Guaratinguetá, quando foi verificada a necessidade de um dispositivo para auxiliar na reabilitação da marcha em pacientes com afecções neurológicas e/ou musculoesquelética, além de permitir seções de fisioterapias interativas, na qual é possível realizar outras atividades concomitantemente com o paciente, já que o fisioterapeuta responsável não ficará limitado à segurá-lo. O ILA, fundado em 03 de outubro de 2006, é uma associação sem fins lucrativos, cujo objetivo é apoiar, incentivar, desenvolver e promover assistência social para a melhoria da qualidade de vida de pessoas com deficiência e seus familiares.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho de graduação tem como objetivo o projeto inicial de um dispositivo protótipo para auxiliar na recuperação da marcha de pacientes com afecções neurológicas ou musculares, denominado suporte parcial de peso corporal, cuja característica é o controle da porcentagem de peso a ser sustentada pelo indivíduo.

O intuito deste trabalho, portanto, é conseguir obter um design de um protótipo de dispositivo de SPPC com os principais componentes, tais como a estrutura metálica na qual o paciente será suspenso, o cabo de aço a ser utilizado e o dispositivo de controle de alívio de peso. Os outros componentes comerciais não entraram neste trabalho, uma vez que há uma ampla faixa de tipos de produtos, tais como as rodas a serem utilizadas, ou os guinchos manuais que não são componentes críticos para o andamento do projeto inicial.

1.3 ESTRUTURA DE TRABALHO

No capítulo 1 foi apresentado o objetivo do projeto, assim como os requisitos estipulados inicialmente e o resultado que se espera alcançar.

No capítulo 2 será apresentado um esboço inicial do SPPC e uma revisão bibliográfica sobre os dispositivos experimentais e comerciais que auxiliam na recuperação da marcha em pacientes com doenças neurológicas ou musculares.

Além disso, ainda no capítulo 2, será apresentado, em subseções, o desenvolvimento do projeto dos componentes que irão compor o SPPC: estrutura, cabo de aço, sistema de alívio de peso.

No capítulo 3 serão apresentadas as conclusões do projeto.

No anexo, serão apresentados os desenhos técnicos referentes aos componentes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 IDEALIZAÇÃO DO PROJETO

O projeto do dispositivo que irá auxiliar na recuperação da marcha será direcionado para crianças de até no máximo 80 kg.

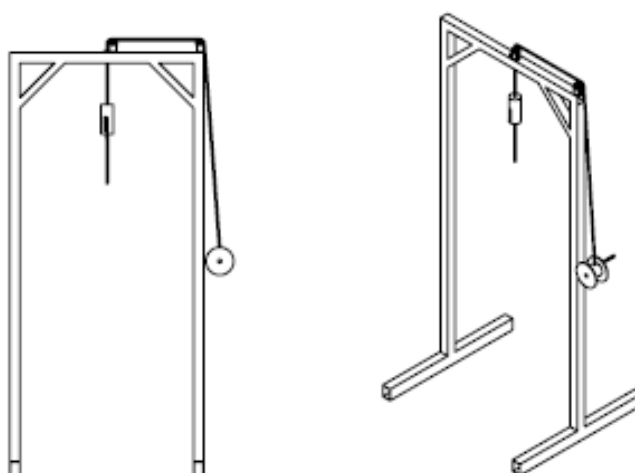
O SPPC será composto por uma estrutura metálica de seção transversal quadrada, na qual serão fixadas as polias por onde passarão o cabo de aço. Para a suspensão do paciente será utilizado um guincho manual na qual o cabo de aço será tracionado, levantando o indivíduo através de um colete, acoplado ao cabo.

A Figura 3 mostra um esboço do suporte parcial de peso corporal. Nas próximas seções serão descritos com detalhes os principais componentes deste projeto.

O dispositivo de controle de alívio de peso será realizado através de uma mola, que funcionará como um dinamômetro, ou seja, com a deflexão da mola, será possível determinar a força atuante e, portanto, a porcentagem de peso que foi suspensa pelo SPPC.

Para o uso do suporte corretamente, é necessário, primeiramente, que a altura do cabo de aço seja ajustada através do guincho manual. Depois de posicionado corretamente, deve-se acoplar o colete com o paciente no cabo de aço. Assim, a medida que for tracionando o cabo, o indivíduo começa ser suspenso, e a mola começa a ser comprimida cuja deflexão é equivalente a porcentagem de alívio de peso.

Figura 3 – Esboço do dispositivo SPPC



Fonte: Própria da autora (2016).

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

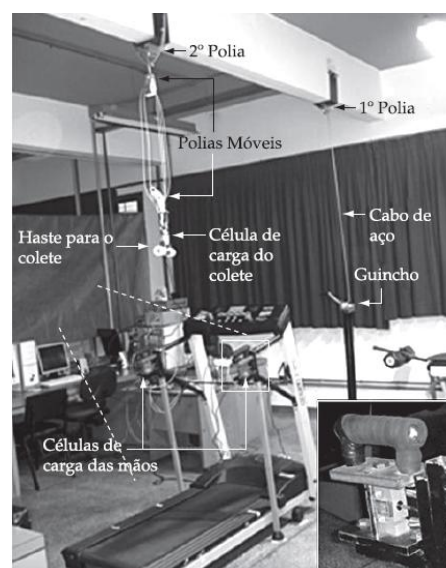
O uso do suporte de peso parcial na reabilitação da marcha foi desenvolvido a partir de estudos que demonstraram a recuperação da marcha próxima ao normal, em gatos com lesão medular, após treinamento intensivo, na qual consistia em suspender parte do peso dos membros traseiros do animal (BARBEAU; ROSSIGNOL, 1987).

A suspensão do paciente é realizada, como citado anteriormente, através de um colete adaptado e conectado a um sistema de contrapeso. Este, por sua vez, tem como objetivo a diminuição da descarga de peso sobre os membros paréticos. Apesar de o dispositivo facilitar e auxiliar o treino da marcha, o papel do fisioterapeuta é essencial para guiar a trajetória dos membros inferiores, de modo a prevenir a hiperextensão do joelho na fase de apoio. Além de orientar e corrigir a postura do paciente (SANTOS, 2010).

Atualmente, há protótipos desenvolvidos do dispositivo, assim como, equipamentos comerciais que serão apresentados a seguir.

Pereira et. al. (2009) realizaram um estudo cujo objetivo era a construção de um sistema de peso corporal, na qual fosse possível obter a carga sustentada pelo colete e pelos membros superiores, ao considerar que o paciente se apóia em barras laterais, durante o treino. Para tal, o dispositivo é composto por um sistema de suporte peso corporal (SPC), sensores para avaliação cinemática e eletromiográfica, e um sistema de aquisição de sinais.

Figura 4 - Sistema de suporte peso corporal.



Fonte: Pereira et al. (2009).

O SPC, construído no Laboratório de Engenharia de reabilitação da PUC-PR, conforme Figura 4, utiliza um sistema de polias fixado no teto em uma viga de concreto por onde passa um cabo de aço controlado por um guincho manual.

Outro trabalho em que se construiu um dispositivo para recuperação da marcha foi de FRANZ et al (2007), na qual o dispositivo (Figura 5) era composto por uma estrutura de tubos de alumínio de 3,3 m de altura. A suspensão do paciente era realizada através de um cabo de aço conectado a um motor elétrico com força máxima de 3300 N.

Figura 5 – Sistema de suporte peso corporal



Fonte: Franz et al. (2007).

Existem ainda, dispositivos comerciais tais como da marca LOKOMAT que apresenta diversos tipos de equipamento que englobam desde a suspensão do paciente até equipamentos robotizados, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Equipamento robotizado.



Fonte: Lokomat (2016).

Outro modelo comercial muito utilizado para pesquisa dos resultados do treino locomotor com SPPC é a BIODEX, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Dispositivo suporte de peso corporal



Fonte: Biodex (2016)

Assim, através desta breve revisão bibliográfica pode-se observar que os suportes que auxiliam na recuperação da marcha apresentam diversas características que variam de um projeto para o outro de acordo com o objetivo ou quais resultados que se deseja alcançar.

No entanto, algumas características estão presentes em todos os equipamentos supracitados, tais como, a suspensão do paciente através de um cabo de aço, colete, a

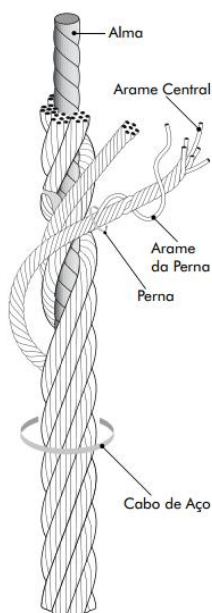
mobilidade do suporte e um método de controle de alívio de peso. Todos estes requisitos foram considerados e apresentados no capítulo anterior.

2.3 CABO DE AÇO

Os cabos de aço, como citado anteriormente, serão os responsáveis por suspender o paciente durante o treino com o suporte de peso parcial.

Os cabos de aço são compostos por pernas e alma, como mostrado na Figura 8.

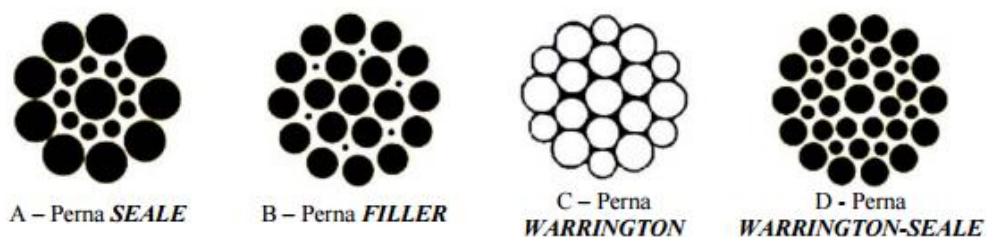
Figura 8 - Composição de cabo de aço



Fonte: Catálogo Morsing StahlRitzmann (2016).

As pernas são um conjunto de arames entrelaçados de modo a formar diferentes classes, de acordo com número de arames e diâmetros destes. Tais classes podem ser classificadas em Seale, Filler, Warrington e Warrington-Seale, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Tipos de construção de cabos de aço



Fonte: UFRJ (2009).

A perna Seale apresenta, em sua última camada, arames de diâmetros maiores conferindo-lhe maior resistência à abrasão.

A perna Filler caracteriza-se por fios finos que preenchem o espaço entre duas camadas de arames. Esta condição aumenta a área de contato, flexibilidade, resistência ao amassamento e reduz o desgaste entre os arames.

A perna Warrington é formada por uma camada externa de arames de dois diâmetros diferentes alternados em sua colocação. Cabos com tal construção apresentam boa resistência ao desgaste e resistência à fadiga.

A perna Warrington-Seale apresenta as principais características de cada composição, o que o proporciona alta resistência à abrasão e à fadiga de flexão.

Existem outros diversos tipos de construção, que não estão no escopo deste trabalho, já que são considerados para casos especiais, na qual se têm aplicações específicas, tais como, pesca, indústria mineradora, pontes rolante e entre outros.

Quanto a alma, esta pode ser composta por fibras naturais, como o sisal (AF) ou artificiais de polipropileno (AFA), estas apresentam maior durabilidade quando em contato com água ou substâncias agressivas. Além disso, a alma também pode ser metálica, ou seja, de aço de uma perna (AA) ou pode ser de aço formado por cabo independente (AACI), o que garante maior resistência aos amassamentos e à tração.

Como apresentado anteriormente, existem diferentes tipos de construção de cabo e para cada um tem-se uma característica diferente. No entanto, a sua durabilidade e desempenho irão depender do número de arames, o diâmetro e arranjo destes, manuseio e do material da alma (ROSSNAGEL; HIGGINS; MACDONALD, 1976).

Assim, um dos fatores de escolha do cabo de aço é de acordo com sua aplicação, já que suas características mecânicas estão associadas ao seu diâmetro. A resistência à abrasão é diretamente proporcional ao diâmetro, enquanto que a flexibilidade é inversamente proporcional. Portanto, para aplicações nas quais há desgaste por abrasão, deve-se ter uma composição de arames com diâmetros maiores, que é o caso deste trabalho. O Quadro 1 mostra essas relações. Com base nesta, foi selecionado inicialmente o cabo de classe 6x19 Sealer (AACI), por apresentar relativa resistência à flexão e boa resistência à abrasão. Ademais, é uma das classes mais utilizadas por ser adequada para a maior parte das aplicações (MELCONIAN, 2012).

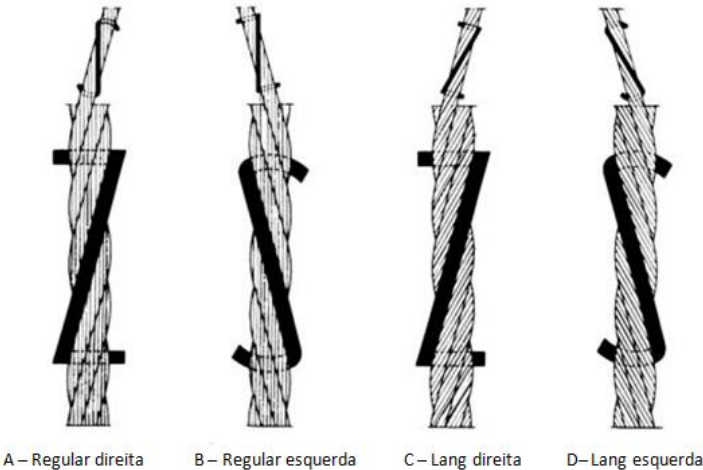
Quadro 1 – Característica mecânica dos cabos de aços, conforme a sua configuração.

Máxima flexibilidade	6 x 41 Warrington-Seale 6 x 36 Warrington-Seale 6 x 25 Filler 6 x 21 Filler	Mínima resistência à abrasão
Mínima flexibilidade	6 x 19 Seale 6 x 7	Máxima resistência à abrasão

Fonte: CIMAF (2016).

Além da aplicação, deve-se atentar para o sentido e tipo de torção. Existem dois tipos de torção: regular e Lang, podendo se classificar ainda em, à direita (Z), quando as pernas são torcidas da esquerda para direita, e à esquerda, quando são torcidas da direita para esquerda, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Tipo e sentido de torção do cabo de aço.



Fonte: UFRJ (2009).

Para o caso mais comum, torção regular, que será aplicada neste trabalho, os arames das pernas são torcidos em sentido oposto ao das próprias pernas, o que lhe confere estabilidade, boa resistência ao desgaste interno e torção e fácil manuseio. Ademais, apresentam significativa resistência a amassamentos e deformações.

Nos cabos de torção Lang, o sentido de torção dos arames que compõe as pernas e estas são os mesmos, e apesar, de serem mais flexíveis e apresentar maior resistência à fadiga, quando comparados a torção regular, estão mais sujeitos ao desgaste interno, distorções e deformações. Além de não serem recomendados para movimentar cargas com apenas uma linha de cabo.

Outra especificação do cabo de aço é o diâmetro, que está intrinsecamente associado a carga de ruptura. A carga de ruptura mínima ($F_{\min}$), expressa em kN, segundo a NBR 6327 (2006), é calculada de acordo com a seguinte equação:

$$F_{\min} = \frac{d^2 \times R_r \times K}{1000} \quad (1)$$

onde,

d é o diâmetro nominal do cabo [mm];

R_r é a categoria de resistência à tração do cabo [N / mm^2];

K é o fator de carga de ruptura mínima para uma determinada classe de cabo.

A Tabela 1 apresenta os fatores de carga para diferentes classes de cabo.

Tabela 1 - Fator de Carga de Ruptura Mínima

Classe	Fator de carga de ruptura mínima
6 x 7 com alma de fibra (ver Tabela C.1)	0,332
6 x 7 com alma de aço (ver Tabela C.2)	0,359
6 x 24AF com alma de fibra (ver Tabela C.3)	0,286
6 x 37M com alma de fibra (ver Tabela C.4)	0,295
6 x 37M com alma de aço (ver Tabela C.5)	0,319
6 x 19 com alma de fibra (ver Tabela C.6)	0,330
6 x 19 com alma de aço (ver Tabela C.7)	0,356
6 x 36 com alma de fibra (ver Tabela C.8)	0,330
6 x 36 com alma de aço (ver Tabela C.9)	0,356
8 x 19 com alma de aço (ver Tabela C.10)	0,356
8 x 36 com alma de aço (ver Tabela C.11)	0,356
18 x 7 (ver Tabela C.12)	0,328
34(M) x 7 (ver Tabela C.13)	0,318
35(W) x 7 (ver Tabela C.14)	0,360 (até a categoria de cabo 1960)
	0,350 (acima da categoria de cabo 1960)

Fonte: NBR 6327 (2006).

Os aços podem ser fabricados de acordo com algumas categorias de resistência à tração, conforme a Tabela 2. Para cabos de aços que apresentam diferentes diâmetros em sua composição, deve se desconsiderar os arames centrais e de preenchimentos.

Tabela 2 - Categoria de resistência à tração de arames.

Categoria de resistência de cabos	Faixa de categorias de resistência à tração de arames
	N/mm ²
1570	1 370 a 1 770
1770	1 570 a 1 960
1960	1 770 a 2 160
2160	1 960 a 2 160

Fonte: NBR 6327 (2006).

Para alguns fabricantes de cabos de aço essa denominação de categorias de resistência de cabos pode ser diferente, como no caso da CIMAF, porém seguem o mesmo intervalo de valores, diferem apenas na denominação.

Assim, com base nos critérios explanados anteriormente, tem-se um cabo de aço 6 x 19 Sealer –AACI, com acabamento polido, já que o ambiente de trabalho não será agressivo, ou seja, não é necessário acabamento galvanizado contra corrosão, e torção regular à direita. O diâmetro será determinado conforme a solicitação de esforços de trabalho, calculado adiante.

2.3.1 Cálculo das forças atuantes no cabo de aço

O cabo de aço tem como finalidade suspender o paciente, durante o treino de recuperação da marcha, portanto, estará submetido à força de tração. Para o cálculo de esforço do cabo de aço, considerou-se a situação mais crítica, ou seja, o peso máximo que este deverá suportar será um paciente de até 200 kg. Portanto, uma força de tração de 2000 N, considerando aceleração da gravidade de 9,81 m/s².

O coeficiente de segurança para projetos com cabos de segurança, segundo a CableMax (2016), é conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Fator de Segurança

Aplicações	Fator de Segurança
Cabos estáticos	3 a 4
Cabo para tração no sentido horizontal	4 a 5
Guinchos, guindastes, escavadeiras	5
Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas e outras	7
Guindastes estacionários	6 a 8
Laços	5 a 6
Elevadores de obra	8 a 10
Elevadores de passageiro	12

Fonte: Cable Max (2016)

Tais valores fornecidos pela fabricante Cable Max é semelhante a outros fornecedores como a CIMAF. Assim, como a aplicação deste projeto é a suspensão do paciente para treino de recuperação da marcha, deve-se ter um FS (Fator de Segurança) elevado. De acordo com a Tabela 3 tem-se que para elevadores de passageiro, FS é igual a 12, e apesar de tal situação ser diferente do projeto, em questão, devido ao carregamento e riscos de acidentes menores, será adotado FS igual à 12.

Assim, a carga de ruptura pode ser calculada ao considerar uma margem de segurança elevada e carga de trabalho de 2000 N, conforme a equação abaixo.

$$FS = \frac{F_{\min}}{CT} \quad (2)$$

Portanto, tem-se que:

$$\begin{aligned} F_{\min} &= FS \times CT \\ F_{\min} &= 12 \times 2000 \\ F_{\min} &= 24000[N] \end{aligned}$$

onde,

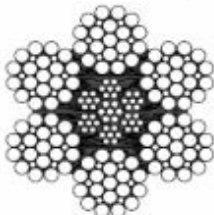
FS é o fator de segurança;

$F_{\min}$ é a carga de ruptura mínima;

CT é carga de trabalho.

De acordo com a Tabela 4 da ABNT NBR 6327 (2006), têm-se os valores de carga de ruptura mínima para o cabo de aço 6x19 Sealer AACI.

Tabela 4 - Carga de ruptura mínima para cabo de aço 6 x 9 com alma de aço.

Corte transversal típico 		Construção típica		
		Construção do cabo	Construção da perna	Arame externos
				Total Por perna
		6 x 19S- AACI	1-9-9	54 9
		6 x 21F- AACI	1-5-5F-10	60 10
		6 x 26WS- AACI	1-5-5+5-10	60 10
		6 x 19W- AACI	1-6-6+6	36 12
		6 x 25F- AACI	1-6-6F-12	72 12
Diâmetro nominal do cabo	Massa nominal aproximada	Carga de ruptura mínima		
mm	Kg/100 m	Categoria 1770 kN	Categoria 1960 kN	Categoria 2160 kN
3,2	4,1	6,5	7,1	—
4,8	9,2	14,5	16,1	—
6*	14,4	22,7	25,1	27,7
6,35	16,1	25,4	28,1	—
7*	19,6	30,9	34,2	37,7
7,94	25,2	39,7	44,0	—
8*	25,6	40,3	44,7	49,2
9*	32,4	51,0	56,5	62,3
9,5	36,1	56,9	63,0	—
10*	40,0	63,0	69,8	76,9
11*	48,4	76,2	84,4	93,0
11,1	49,3	77,6	86,0	—
12*	57,6	90,7	100	111
12,7	64,5	102	112	124
13*	67,6	106	118	130
14*	78,4	124	137	151
14,3	81,8	129	143	157
15,9	101	159	176	194
16*	102	161	179	197
18*	130	204	226	249
19*	144	227	252	278
19,1	146	230	255	280
20*	160	252	279	308
22*	194	305	338	372
22,2	197	310	344	379
24*	230	363	402	443
25,4	258	406	450	496
26*	270	426	472	520
28*	314	494	547	603
28,6	327	515	571	630
31,8	405	637	706	777
32*	410	645	715	787
34,9	487	767	850	937
35*	490	772	855	942
36*	518	817	904	997
38*	578	910	1 010	1 110
38,1	581	915	1 013	1 126
40*	640	1 010	1 120	1 230
41,3	682	1 075	1 190	1 312
44*	774	1 220	1 350	1 490
44,5	792	1 248	1 382	1 523
45*	810	1 280	1 410	1 560
47,6	906	1 428	1 581	1 742
48*	922	1 450	1 610	1 770
50,8	1 032	1 626	1 800	1 985
51*	1 040	1 640	1 810	2 000
52*	1 080	1 700	1 890	2 080
54,0	1 166	1 837	2 035	2 242
56*	1 250	1 980	2 190	2 410
57,2	1 309	2 062	2 283	2 516
60*	1 440	2 270	2 510	2 770
60,3	1 466	2 291	2 537	2 796

* Tamanhos recomendados.

Fonte: NBR6327 (2006).

Assim, de acordo com a Tabela 4 e para uma categoria de 1770, o diâmetro ideal do cabo nominal é de 7 [mm], com uma carga de ruptura nominal de 30,9 kN, superior aos 24 kN do projeto.

Ou ainda, de acordo com equação (1), tem-se que:

$$d = \sqrt{\frac{F_{\min} \times 1000}{R_t \times K}} \quad (3)$$

Para o cabo de aço 6x19 Sealer com alma de aço, tem-se um fator de carga de ruptura mínima (K) igual a 0,356. Portanto, o diâmetro ideal para a carga de ruptura de 24 kN é igual à:

$$d = \sqrt{\frac{24 \times 1000}{1770 \times 0,356}}$$

$$d = 6,17[\text{mm}]$$

Assim, tem-se que o diâmetro nominal é igual a 7 mm, de acordo com a Tabela 4.

2.4 MOLA HELICOIDAL DE COMPRESSÃO

O controle da descarga sobre os membros inferiores é essencial para obter sucesso no treino de recuperação da marcha com SPPC, e o método mais comum utilizado recentemente são as células de carga, acopladas no cabo responsável pela suspensão do paciente (PEREIRA et al., 2009).

A célula de carga apresenta uma gama de aplicações que variam desde balanças comerciais até automatização e controle de processos industriais. Seu princípio de funcionamento é transformar uma solicitação mecânica em sinal elétrico, ou seja, é possível medir a força aplicada no material através de um sensor denominado extensômetro ou strain gage, que registra a deformação ou deflexão do material (REIS; JUNIOR; FILHO, 2007).

O controle do alívio de peso poderia ser realizado através da célula de carga como propôs Pereira et al. (2009), já que através deste dispositivo é possível determinar a força aplicada, ou seja, o peso do paciente, porém, o custo deste produto é alto e incompatível com este projeto. Além disso, seria necessária uma interface para leitura e interpretação dos dados, o que encarecia ainda mais.

Portanto, foi analisada uma alternativa na qual pudesse obter dados confiáveis sobre a porcentagem de peso e viável financeiramente.

As molas são elementos mecânicos comumente utilizados na engenharia por permitir desde aplicação de forças constantes, isolamento de vibrações, absorção de energia de impacto até medir forças (DUVAL; FILHO, 2000). E apesar das molas, geralmente, serem projetadas para fornecer força de tração, compressão ou torque, estas apresentam um comportamento linear de deformação x deflexão, que será ideal para o projeto, e um substitutivo para célula de carga.

2.4.1 Parâmetros da Mola

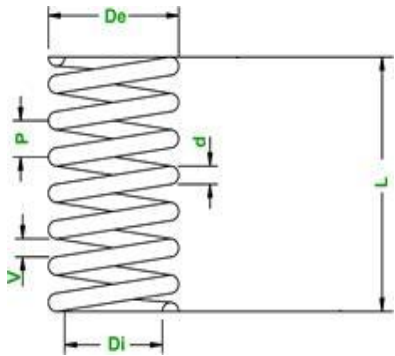
Dentre os diversos tipos de mola, a mola de compressão foi selecionada, por apresentar construção e estrutura mais simples quando comparado com a mola de tração, que apresenta ganchos em suas extremidades. Além disso, a mola de compressão já preenche o requisito necessário para o projeto, ou seja, a relação entre a deflexão da mola e a força atuante, no caso, o peso do paciente.

Existem diferentes tipos de molas no mercado, quanto a formas de arranjo, tais como cônico, em forma de barril, ampulheta, passo variável e entre outros. Será adotado o perfil de mola mais comum, ou seja, a mola helicoidal de compressão padrão (HCS), cujos principais parâmetros dimensionais são apresentados a seguir. A Figura 11 ilustra alguns dos parâmetros da mola.

Além disso, os critérios de cálculos para este elemento de máquina serão baseados no NORTON (2004).

- 1) Diâmetro do fio (d);
- 2) Diâmetro médio da espira (D);
- 3) Número de espiras (N);
- 4) Comprimento livre (L);
- 5) Índice de Mola (C);
- 6) Constante da Mola (k).

Figura 11 - Principais dimensões da mola helicoidal de compressão



Fonte: Molas FBM (2016).

Entre outros parâmetros, os citados acima são utilizados para definir a geometria da mola para fins de cálculo e fabricação. Cada parâmetro será detalhado a seguir:

1) Os diâmetros de fios comerciais são apresentados na Figura 12, assim como o intervalo de dimensões disponíveis para ligas comuns de aço, identificados pelo número ASTM.

Figura 12 - Diâmetros nominais de mola helicoidal de compressão, conforme material.

		US (in)	SI (mm)
A228		0,004	0,10
		0,005	0,12
		0,006	0,16
		0,008	0,20
		0,010	0,25
		0,012	0,30
		0,014	0,35
		0,016	0,40
		0,018	0,45
		0,020	0,50
A227		0,022	0,55
		0,024	0,60
		0,026	0,65
		0,028	0,70
		0,030	0,80
		0,035	0,90
		0,038	1,00
		0,042	1,10
		0,045	1,20
		0,048	1,40
A232		0,051	1,40
		0,055	1,60
		0,059	1,80
		0,063	2,00
		0,067	2,20
		0,072	2,50
		0,076	2,80
		0,081	3,00
		0,085	3,50
		0,092	4,00
A401		0,098	4,50
		0,105	5,00
		0,112	5,50
		0,125	6,00
		0,135	6,50
		0,148	7,00
		0,162	8,00
		0,177	9,00
		0,192	10,0
		0,207	11,0
A229		0,225	12,0
		0,250	13,0
		0,281	14,0
		0,312	15,0
		0,343	16,0
		0,362	
		0,375	
		0,406	
		0,437	
		0,469	
		0,500	
		0,531	
		0,562	
		0,625	

Fonte: Norton (2004).

O material utilizado em molas é limitado devido aos requisitos exigidos tais como alta resistência à tração, e de escoamento acompanhado de baixo módulo de elasticidade, com a finalidade de proporcionar o máximo armazenamento de energia. As duas primeiras características podem ser encontradas em aço de médio e alto carbono, e por serem materiais comuns são os mais utilizados em molas, apesar do módulo de elasticidade elevado.

Quanto a fabricação, os fios, geralmente, são repuxados à frio ou são produzidas a partir de tiras finas laminadas à frio. Quando é necessária uma resistência à fadiga significativa, o material é laminado a quente ou forjado.

2) O diâmetro interno (D_i) ou externo (D_e) é importante para definir o tamanho mínimo do pino ou do furo na qual será posicionado a mola, respectivamente. Estes diâmetros são calculados a partir da soma ou subtração do diâmetro do fio de mola ao diâmetro médio da espira. As folgas mínimas recomendadas, para ambos os casos, são:

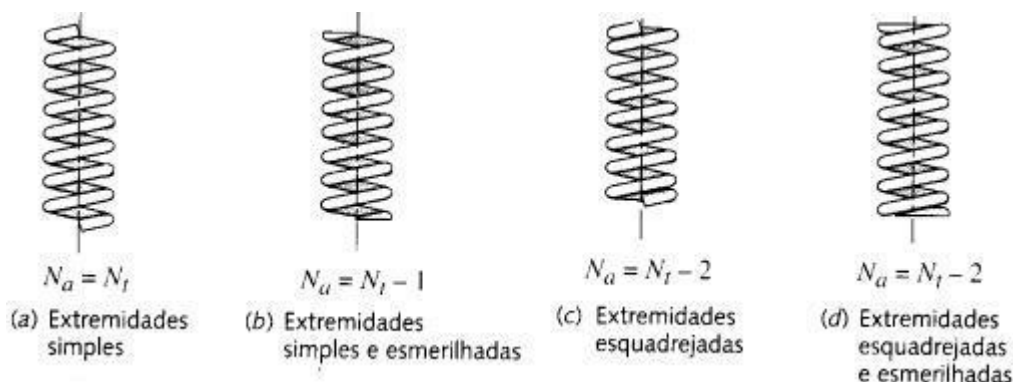
$$0,10 \times D \text{ para } D < 0,5 \text{ [in]}$$

$$0,05 \times D \text{ para } D > 0,5 \text{ [in]}$$

3) O número total de espiras (N_t) que contribui na deflexão da mola irá depender do tipo de tratamento da extremidade. Extremidades simples, o número de espiras ativas (N_a) que participam da deflexão é igual ao total de espiras (Figura 13-a). Extremidades esquadrejadas eliminam duas espiras na deflexão, conforme mostra a Figura 13-c. O mesmo vale para extremidades esquadrejadas e esmerilhadas (Figura 13-d). Para extremidades esmerilhadas (Figura 13-b), se remove, no total, uma espira.

Portanto, o número de espiras ativas é calculado conforme o tipo de extremidade e arredondado para o $\frac{1}{4}$ mais próximo, já que o processo de fabricação não garante precisão melhor que esta.

Figura 13 - Tipos de tratamentos de extremidades de molas



Fonte: Norton (2004).

4) Com relação ao comprimento da mola, existem algumas definições:

4.1) Comprimento livre (L_f) é o comprimento global na condição descarregada, ou seja, conforme proveniente do processo de fabricação. O comprimento livre é a soma do comprimento fechado, deflexão de interferência, de trabalho e inicial.

4.2) Comprimento montado (L_a) é o comprimento da mola quando instalada, ou seja, com uma deflexão inicial ($y_{inicial}$) causada pela pré-carga necessária à montagem da mola.

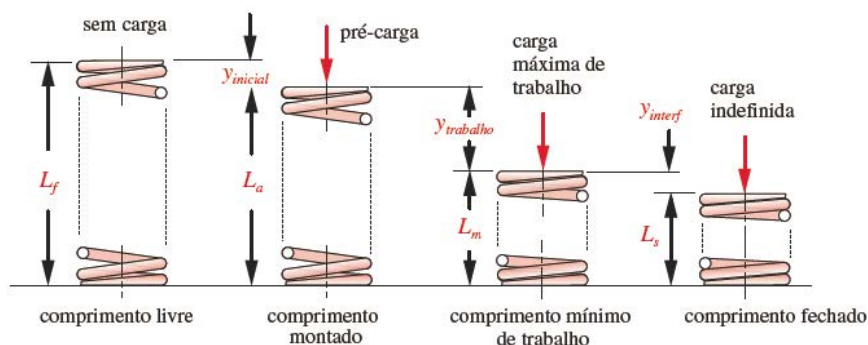
4.3) Comprimento mínimo de trabalho (L_m) é o menor comprimento que a mola alcança durante o serviço, ao atingir um deflexão de trabalho ($y_{trabalho}$).

4.4) Comprimento fechado ou altura sólida (L_s) é o comprimento quando todas as espiras estão em contato, quando comprimidas.

A Figura 14 apresenta os diferentes tipos de comprimentos durante o serviço.

Ainda com relação ao comprimento, tem-se o limite de interferência (y_{interf}) que é a diferença entre o comprimento fechado e mínimo de trabalho, ou seja, a mola não deve alcançar ou ultrapassar este comprimento durante a sua vida. Para tal, recomenda-se um valor mínimo de interferência de 10-15% de modo que a mola não atinja a altura de fechamento quando se tem deflexões excessivas.

Figura 14 - Comprimentos da mola de compressão em serviço.



Fonte: Norton (2004).

5) Outra característica referente a mola é o seu índice (C) que é definido de acordo com a equação abaixo:

$$C = \frac{D}{d} \quad (4)$$

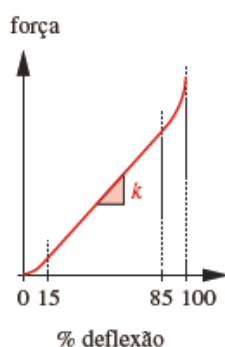
O índice deve estar no intervalo de $4 < C < 12$, já que valores menores que 4, o processo de fabricação é mais difícil, enquanto que, para índices superiores a 12, a mola tende a flambar.

6) A constante da mola (k) é a característica importante deste projeto, pois através desta sabe-se que o comportamento de força x deflexão é essencialmente linear, para molas de

compressão. Somente, no início e o final da deflexão é que se tem uma relação não-linear quando as espiras estão em contato.

Portanto, recomenda-se que a constante da mola deve ser definida no intervalo entre 15% - 85% da deflexão total, para se ter obter uma relação linear e resultados confiáveis no projeto, como mostra o Figura 15.

Figura 15 - Gráfico força x deflexão da mola de compressão



Fonte: Norton (2004).

A equação (5) define o cálculo para constante da mola:

$$k = \frac{F}{y} = \frac{d^4 \times G}{8 \times D^3 \times N_a} \quad (5)$$

Sendo que:

F é a força atuante na mola;

y é a deflexão da mola ao aplicar uma força F;

d é o diâmetro do fio da mola;

D é o diâmetro de espira;

G é o módulo de cisalhamento do material;

N_a é o número de espiras ativas;

Durante a aplicação de uma determinada força na mola de compressão, observa-se que além da carga de compressão, o fio de mola também está em torção, uma vez que a carga tende a torcer o fio em relação ao seu eixo.

As tensões atuantes em cada seção transversal da espira são tensão de cisalhamento por torção e a tensão de cisalhamento devido a força cortante F.

Assim, a combinação destas tensões tem-se que a tensão de cisalhamento é igual a:

$$\tau_{\max} = \frac{T \times r}{J} + \frac{F}{A} \quad (6)$$

$$\tau_{\max} = \frac{F \times (D/2) \times (d/2)}{\pi \times d^4 / 32} + \frac{F}{\pi \times d^2 / 4}$$

$$\tau_{\max} = \frac{8 \times F \times D}{\pi \times d^3} + \frac{4 \times F}{\pi \times d^2} \quad (7)$$

Substituindo a expressão do índice da mola na equação (7), tem-se que:

$$\tau_{\max} = \frac{(8 \times F \times C) + (4 \times F)}{\pi \times d^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{(8 \times F \times C)}{\pi \times d^2} \times \left(1 + \frac{1}{2 \times C}\right)$$

$$\tau_{\max} = k_s \times \frac{(8 \times F \times D)}{\pi \times d^3}, \text{ onde } k_s = \left(1 + \frac{0,5}{C}\right) \quad (8)$$

onde F é a força máxima aplicada na mola.

O k_s é o fator de cisalhamento direto. Apesar de haver outro fator de concentração pelo fio ser curvado na forma de espira, não será considerado no projeto, já que este não é aplicável, uma vez que o carregamento da mola é estático.

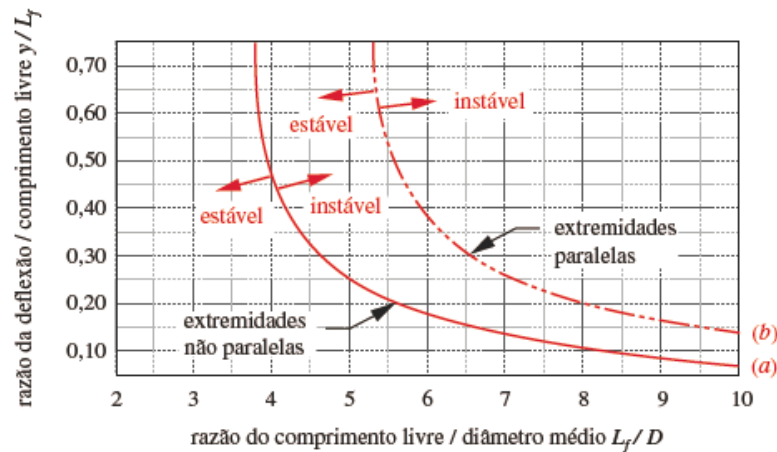
A mola de compressão quando carregada pode flambar dependendo da sua razão de esbeltez, que relaciona o comprimento livre e o diâmetro da espira (L_f / D).

Para valores em que $\frac{L_f}{D} > 4$, a mola pode flambar.

A condição da extremidade influencia no comportamento da mola quanto a flambagem, para extremidades livres, a mola tende a inclinar, já que não se garante um paralelismo entre as faces extremas da mola. Portanto, deve-se manter a mola entre placas paralelas e alojada em um furo ou pino.

Outro fator que afeta a flambagem é a razão entre a deflexão da mola e seu comprimento livre. A Figura 16 indica o limite de estabilidade ao considerar os dois fatores de influência e a condição de extremidades.

Figura 16 – Estabilidade quanto à flambagem de molas helicoidais de compressão.

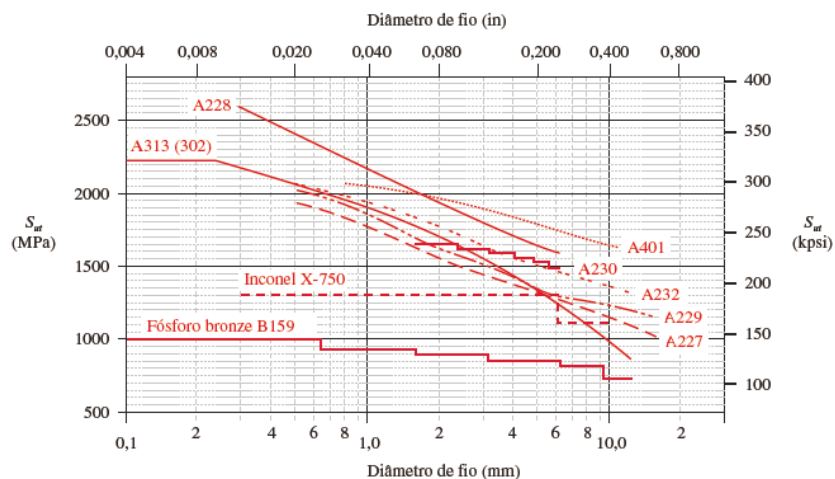


Fonte: Norton (2004).

2.4.2 Resistência da Mola

A resistência à tração da mola (S_{ut}) pode ser verificada na Figura 17. Através deste, é possível observar que a resistência à tração para diâmetros menores é maior quando comparada a arames de maiores calibres. Isto ocorre devido ao estiramento do material a frio, o que resulta no encruamento e aumento da resistência à custa de grande parte da sua ductilidade.

Figura 17 – Resistências mínimas sob tração de fios de mola.



Fonte: Norton (2004).

A equação (9) é uma aproximação dos dados dos materiais mostrados na Figura 17.

$$S_{ut} \cong A \times d^b \quad (9)$$

onde A e b são constantes, definidos na Tabela 5, de acordo com o material do arame e os intervalos de diâmetros especificados (em [mm]).

Tabela 5 – Coeficientes para cálculo d resistência à tração.

N° ASTM	Material	Intervalo		Expoente b	Coeficiente A		Fator de correlação
		mm	in		MPa	psi	
A227	Repuxado a frio	0,5-16	0,020-0,625	-0,182 2	1753,3	141040	0,998
A228	Fio musical	0,3-6	0,010-0,250	-0,162 5	2153,5	184649	0,9997
A229	Revenido em óleo	0,5-16	0,020-0,625	-0,183 3	1831,2	146780	0,999
A232	Cromo-v	0,5-12	0,020-0,500	-0,145 3	1909,9	173128	0,998
A401	Cromo-s	0,8-11	0,031-0,437	-0,093 4	2059,2	220779	0,991

Fonte: Norton (2004).

A resistência ao escoamento sob torção (S_{ys}) de fios depende do material e se foi calibrada ou não.

A calibragem da mola refere-se ao ajuste, ou seja, o processo no qual são introduzidas tensões residuais benéficas no arame, aumentando a sua capacidade de carga estática. Tal processo consiste em comprimir a mola até a altura fechada e produzir escoamento do material para introduzir tensões residuais benéficas. A Tabela 6 mostra a resistência ao escoamento para molas ajustadas ou não, de acordo com o material.

Tabela 6 – Resistência de escoamento torcional máxima para molas helicoidal de compressão.

Material	Percentagem máxima do limite da resistência de tração	
	Antes da remoção de deformação permanente: Ajuste (use Equação 14.9b)	Depois da remoção de deformação permanente: Ajuste (use Equação 14.8b)
Aço-carbono repuxado a frio (por exemplo, A227, A228)	45%	60-70%
Aço-carbono endurecido e revenido e aço de baixa liga (por exemplo, A229, A230, A232, A401)	50	65-75
Aço inoxidável austenítico (por exemplo, A313)	35	55-65
Ligas não ferrosas (por exemplo, B134, B159, B197)	35	55-65

Fonte: Norton (2016).

Assim, para um carregamento estático, como será este projeto, deve-se obter uma mola helicoidal de compressão de modo a não ultrapassar a resistência ao escoamento do material.

2.4.3 Cálculo Dimensional da Mola

O dimensionamento da mola é um processo iterativo, ou seja, parte-se de suposições iniciais quanto ao seu diâmetro inicial de fio e o índice da mola até obter um coeficiente de segurança adequado ao projeto.

O estudo será dividido em duas partes:

- I) Projeto estrutural visando a resistência ao escoamento;
- II) Projeto operacional que consiste em verificar a margem de segurança quanto às tensões atuantes e a resistência do material, quando em serviço.

Aprovado no projeto estrutural será calculado os parâmetros da mola, tais como, a constante da mola, número de espiras ativas, comprimento e entre outros, ou seja, a dimensão da mola para fabricação.

O projeto da mola consiste, como citado anteriormente, obter uma relação entre a deflexão e a força atuante nela, através da constante da mola. A partir desta relação, será possível determinar a porcentagem de alívio de peso.

Para o projeto foram realizadas algumas considerações importantes, quanto aos dados de entradas, que serão apresentados na Tabela 7.

- 1) O material utilizado será o ASTM A227, similar ao SAE 1056, por apresentar custo mais baixo e sem tratamento de jateamento e repuxado a frio.
- 2) O carregamento máximo da mola será de 800 N, ou seja, o SPCC será destinado para crianças de até no máximo 80 kg.
- 3) A deflexão de trabalho será de 60 mm para obter uma escala de fácil visualização.
- 4) A deflexão inicial é 15% da deflexão de trabalho para descartar o comportamento não linear no início da deflexão da mola, portanto, igual a 9 mm. O mesmo foi considerado para a deflexão de interferência.
- 5) Foi realizado o ajuste, ou seja, as molas foram calibradas, aumentando a resistência ao escoamento do material.
- 6) As extremidades serão esmerilhadas e simples por ser o processo de fabricação com menor custo.
- 7) Foi adotado inicialmente um diâmetro de fio de 6 mm.

Como é um processo iterativo, o cálculo foi realizado no Excel de modo a facilitar o projeto. Abaixo segue o memorial de cálculo de dimensionamento da mola helicoidal de compressão e as planilhas de Excel utilizadas.

Tabela 7 - Dados de entrada do projeto.

Dados de Entrada		
Força Mínima	800	[N]
Deflexão Inicial ($y_{inicial}$)	9	[mm]
Deflexão de Trabalho ($y_{trabalho}$)	60	[mm]
Material	Aço ASTM A227	
Resistência à Tração (S_{ut})	1265	[MPa]
Resistência de Escoamento Torcional (S_{ys})	759	[MPa]
Módulo de Cisalhamento (G)	80800	[MPa]
Acabamento Extremidade	Simple e Esmerilhadas	

Fonte: Própria da autora (2016).

Para o cálculo da resistência à tração (S_{ut}), foi utilizada a equação (9) para um coeficiente A igual a 1753,3 [N], e o expoente b igual a -0,1822. Tais dados são referente ao material ASTM A227, repuxado a frio com 6 mm de diâmetro de fio, conforme mostra na Tabela 5.

Portanto, tem-se que:

$$S_{ut} = 1753,3 \times 6^{-0,1822}$$

$$S_{ut} = 1264,96 \text{ MPa}$$

A resistência de escoamento torcional, considerando que foi realizado o ajuste na mola, é de 60% da resistência à tração. Foi considerado o mínimo do intervalo, favorável ao projeto, conforme Tabela 6. Assim, tem-se que:

$$S_{ys} = 0,6 \times S_{ut}$$

$$S_{ys} = 0,6 \times 1264,96$$

$$S_{ys} = 758,98 \text{ MPa}$$

2.4.3.1 Projeto Estrutural (I)

Para o projeto estrutural, iniciou-se o processo iterativo na planilha de Excel, de modo a obter os seguintes resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Projeto Estrutural da Mola

Projeto Estrutural		
Diâmetro do fio inicial (d)	6	[mm]
Índice de Mola (C)	8	APROVADO
Diâmetro da Espira (D)	48	[mm]
Fator de cisalhamento direto (k_s)	1,06	
Tensão Cisalhante Máxima	481	[MPa]
Coeficiente de Segurança em Relação ao Escoamento	1,58	APROVADO

Fonte: Própria da autora (2016).

Para um diâmetro do fio de 6 mm e para um índice de mola adotado de 8, tem-se que o diâmetro médio da espira, conforme a 4, é igual a:

$$D = C \times d$$

$$D = 8 \times 6$$

$$D = 48$$

O fator de cisalhamento direto, de acordo com a equação 8:

$$k_s = (1 + \frac{0,5}{C})$$

$$k_s = (1 + \frac{0,5}{8})$$

$$k_s = 1,0625$$

A tensão de cisalhamento máxima, conforme a 8 segue abaixo.

$$\tau_{\max} = k_s \times \frac{(8 \times F \times D)}{\pi \times d^3}$$

$$\tau_{\max} = 1,0625 \times \frac{(8 \times 800 \times 48)}{\pi \times 6^3}$$

$$\tau_{\max} = 481,00[\text{MPa}]$$

Assim, tem-se que o coeficiente de segurança para o projeto estrutural (Parte I) é igual a 1,58.

$$CS = \frac{S_{ys}}{\tau_{\max}}$$

$$CS = \frac{758,98}{481,00}$$

$$CS = 1,58$$

Portanto, com uma margem de segurança de 58% é possível prosseguir para análise dos esforços atuantes quando a mola está em serviço.

2.4.3.2 Projeto Operacional (II)

O projeto operacional consiste em determinar os outros parâmetros da mola, após definido o diâmetro do fio e o índice da mola, no projeto estrutural (I). Os resultados desta parte do projeto são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Projeto Operacional.

Projeto Operacional		
Número de Espiras Ativas Adotado	10	[espiras]
Constante da Mola Real	11,84	[N/mm]
Diâmetro Interno da Espira (D_i)	42	[espiras]
Diâmetro Externo da Espira (D_e)	54	[espiras]
Furo Mínimo do Suporte	56,4	[mm]
Pino Máximo do Suporte	39,6	[mm]
Número de Espiras Inativas	1	[espiras]
Número Total de Espiras	11	[espiras]
Comprimento Fechado (L_s)	66	[mm]
Comprimento Montado (L_a)	135	
Deflexão de Interferência ($y_{interferencia}$)	9	[mm]
Comprimento Livre (L_f)	144	[mm]
Deflexão Fechada ($y_{fechada}$)	78	[mm]
Força na Deflexão de Altura Fechada	923,2	[N]
Tensão de Altura Fechada	555,1	[Mpa]
Razão Flambagem (L_f / D)	3	APROVADO
Razão Flambagem ($(y_{inicial} + y_{trabalho}) / L_f$)	0,48	APROVADO
Coeficiente de Segurança Mola Fechada	1,37	APROVADO

Fonte: Própria da autora (2016).

A partir de um número de espiras ativas de 10 adotado, a constante da mola é calculada, equação 5, conforme a carga atuante e a deflexão de trabalho.

$$k = \frac{6^4 \times 80800}{8 \times 48^3 \times 10}$$

$$k = 11,84[\text{N} / \text{mm}]$$

Considerando extremidades da mola esmerilhada e simples, o número de espiras inativas é igual a 1, portanto, o número total é de 11 [espiras].

O comprimento fechado, ou seja, quando as espiras encostam entre si, é dado pela equação seguinte.

$$L_s = d \times N_t$$

$$L_s = 6 \times 11$$

$$L_s = 66[\text{mm}]$$

Assim, tem que o comprimento livre da mola, ou seja, sem pré-carga é dada pela equação 10, abaixo.

$$L_f = L_s + y_{\text{interferência}} + y_{\text{trabalho}} + y_{\text{inicial}} \quad (10)$$

$$L_f = 66 + 9 + 60 + 9$$

$$L_f = 144[\text{mm}]$$

O comprimento montado (L_a) é o comprimento livre menos a deflexão inicial.

$$L_a = L_f - y_{\text{inicial}}$$

$$L_a = 135[\text{mm}]$$

A deflexão fechada ou máxima da mola (y_{fechada}) é a comprimento livre menos o comprimento fechado.

$$y_{\text{fechada}} = L_f - L_s$$

$$y_{\text{fechada}} = 78[\text{mm}]$$

A força máxima para alcançar a condição de mola fechada é igual a:

$$F_{\text{máx}} = k_{\text{real}} \times y_{\text{fechada}}$$

$$F_{\text{máx}} = 11,84 \times 78$$

$$F_{\text{máx}} = 923,52[\text{N}]$$

O resultado da força máxima obtida é adequado já que se considera um carregamento de serviço no máximo 800 N.

A tensão cisalhante atuante, para a força máxima é dada por:

$$\tau_{\text{max}} = k_s \times \frac{(8 \times F_{\text{máx}} \times D)}{\pi \times d^3}$$

$$\tau_{\text{max}} = 1,0625 \times \frac{(8 \times 923,52 \times 48)}{\pi \times 6^3}$$

$$\tau_{\text{max}} = 555,27[\text{MPa}]$$

Assim, tem-se um coeficiente de segurança, de modo a não atingir a altura de mola fechada, igual a:

$$CS_{\text{fechada}} = \frac{S_{ys}}{\tau_{\text{máx}}}$$

$$CS_{\text{fechada}} = \frac{758,98}{555,27}$$

$$CS_{\text{fechada}} = 1,37$$

Quanto à análise de flambagem, ao considerar os dois parâmetros (L_f / D) e $((y_{\text{inicial}} + y_{\text{trabalho}}) / L_f)$, tem-se que a mola não irá flambar, de acordo com o gráfico mostrado na Figura 16.

O diâmetro nominal interno é igual a:

$$D_i = D - d = 48 - 6$$

$$D_i = 42[\text{mm}]$$

O diâmetro nominal externo é igual a:

$$D_e = D + d = 48 + 6$$

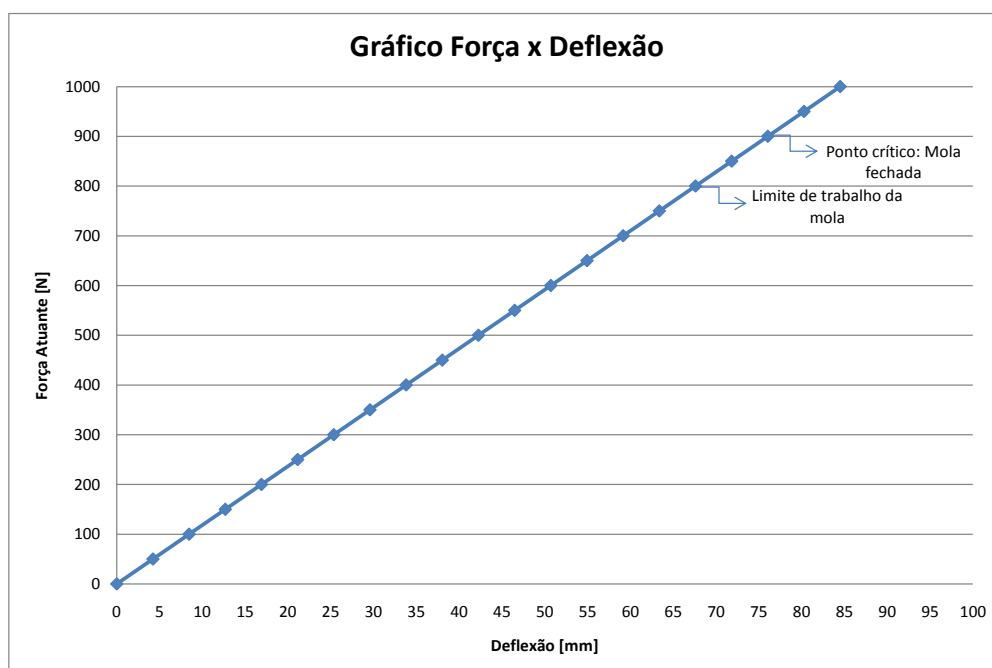
$$D_e = 54[\text{mm}]$$

A partir dos dados calculados acima é possível desenhar a mola helicoidal de compressão de 11 espiras, diâmetro de fio igual 6 mm, diâmetro médio de espira de 48 mm, com um passo igual a 14,4 mm. Este último valor foi obtido a partir do desenho no software SolidWorks. O desenho segue no Anexo I.

Além disso, com a obtenção da constante da mola foi possível traçar o gráfico mostrado na Figura 18, força x deflexão. Para uma faixa de variação de força permitida na mola de 0 à 800 N, o que corresponde a uma deflexão de 67,6 mm.

O ponto crítico não pode ser alcançado uma vez que se atingirá o comprimento de mola fechada, ultrapassando a recomendação de 15% da deflexão de trabalho, ou seja, as espiras irão encostar entre si.

Figura 18 - Comportamento linear força x deflexão da mola helicoidal de compressão.



Fonte: Própria da autora (2016).

2.5 DISPOSITIVO DE CONTROLE DE ALÍVIO DE PESO

Como apresentado anteriormente, a mola será responsável para se ter controle da porcentagem de peso do paciente que se deseja aliviar. Para tal, será construído um suporte para alojar o elemento de máquina e apresentará uma escala que indicará a deflexão da mola e o peso correspondente a este deslocamento.

Para o projeto do suporte da mola, foi considerada a facilidade na montagem e que apresentasse a pré-carga exigida do projeto.

De acordo com os cálculos anteriores tem-se que o diâmetro do furo para alojar a mola deve ser no mínimo 56,4 mm, será adotado um valor de 58 mm. E o diâmetro do pino será igual a 39 mm. Ambas foram consideradas de acordo com as recomendações de NORTON (2004).

Para obter uma pré-carga inicial da mola, e trabalhar dentro do comportamento linear força x deflexão, foi desenhada uma tampa que será soldada ao suporte.

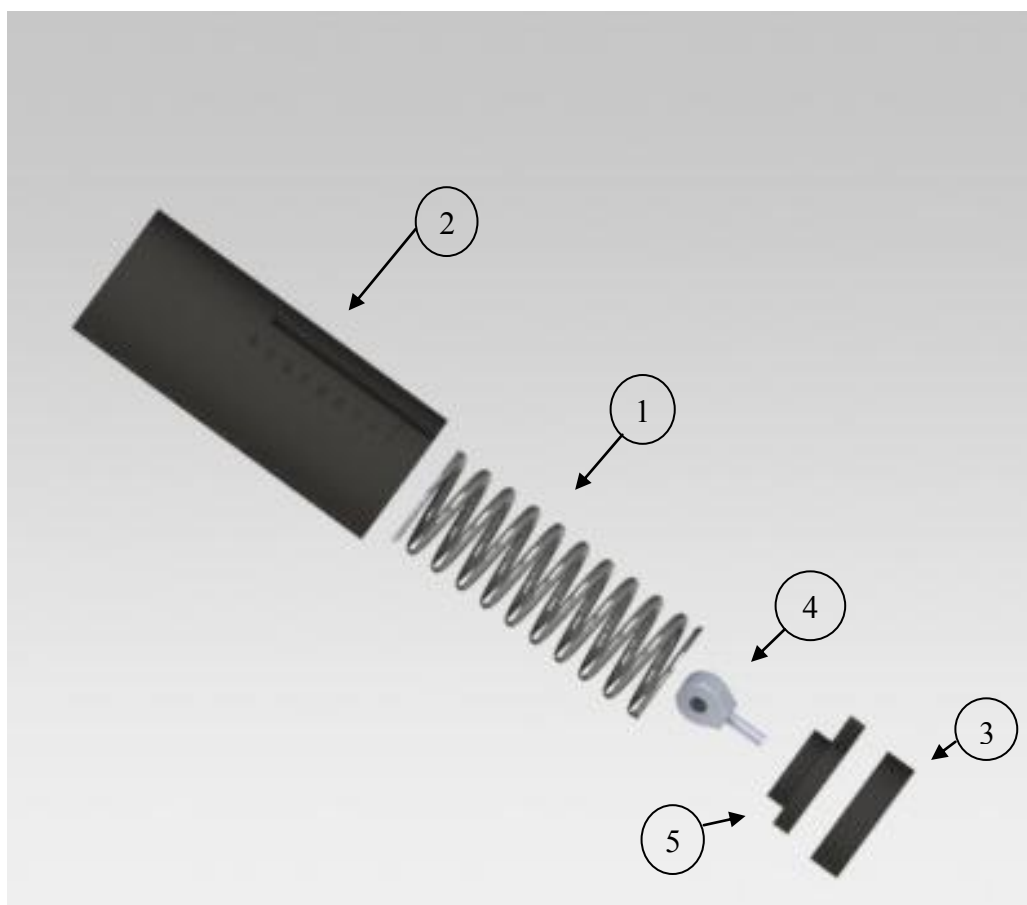
Portanto, o dispositivo de mola será composto pelos seguintes componentes:

- 1) Mola helicoidal de compressão;
- 2) Suporte cilíndrico para alojar a mola;

- 3) Tampa do suporte;
- 4) Ball joint;
- 5) Platina de compressão;

O último componente apresentado irá ser o responsável por comprimir a mola quando o cabo de aço for tracionado. Este por sua vez é fixado na platina através de um laço que passa pela Ball joint. Para melhor compreender o sistema, segue o desenho em 3D do dispositivo.

Figura 19 - Vista explodida do dispositivo de mola

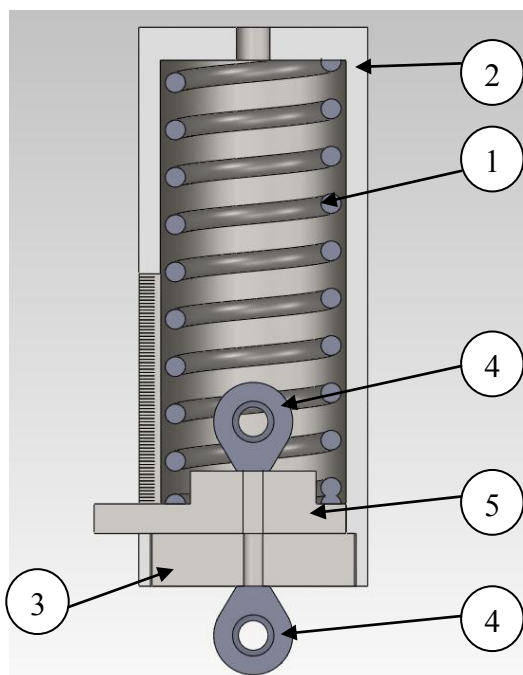


Fonte: Própria do autor (2016).

O componente 3, conforme a Figura 19, tem a finalidade de apoiar todos os componentes internos do dispositivo e de fornecer a pré-carga para mola. Além disso, o componente 3 é alojado no suporte (componente 2) com batente em uma de suas faces, enquanto que a outra face, a externa, deve ser soldada no componente 2. A Figura 20 é uma vista cortada do dispositivo, na qual, é possível observar a montagem da estrutura do dispositivo de mola e que a tampa do suporte não avança para dentro do cilindro.

Os desenhos de todos os componentes estão no Anexo I.

Figura 20 - Vista seção transversal do dispositivo de mola.



Fonte: Própria da autora (2016).

O suporte apresenta um espaço interno de 160 mm de comprimento, para alocar a mola com comprimento de montagem de 135 mm, mais a platina de compressão de 19 mm de espessura e a tampa do suporte de 6 mm.

O material selecionado para o dispositivo foi o aço SAE 1020, já que a carcaça do dispositivo, componente 2, não há esforços significativos, o que permite o uso de um aço menos nobre.

A face externa do suporte apresenta uma escala referente ao peso do paciente que se deseja suspender. Esta escala foi gerada conforme a constante da mola calculada na seção anterior. A Tabela 10 mostra a relação entre o peso do paciente, força atuante correspondente e a deflexão. A partir dela, conclui-se que para cada 1 mm de deflexão, é possível suspender 1,2 kg.

Tabela 10 - Deflexão da mola helicoidal de compressão e os pesos correspondentes.

Peso do Paciente Suspenso [kg]	Força Atuante [N]	Deflexão da Mola [mm]
0,00	0,0	0
6,03	59,2	5
12,07	118,4	10
18,10	177,5	15
24,13	236,7	20
30,16	295,9	25
36,20	355,1	30
42,23	414,3	35
48,26	473,4	40
54,29	532,6	45
60,33	591,8	50
66,36	651,0	55
72,39	710,2	60
78,42	769,3	65
84,46	828,5	70

Fonte: Própria da autora (2016).

2.6 ESTRUTURA DO SUPORTE SPPC

A estrutura na qual será montado o dispositivo de mola, as roldanas, cabo de aço e entre outros, é composta por tubos de seção transversal quadrada denominada de metalon.

Os requisitos exigidos nesta etapa do projeto foram a altura de 2300 m e largura interna de 1000 m. Tais dimensões foram baseadas na altura do paciente e largura da esteiras elétricas.

A dimensão do metalon foi baseada em materiais comerciais, a partir da qual se obteve um tubo quadrado de 60 mm de largura e 3 mm de espessura. A Figura 21 mostra a estrutura para o suporte de peso parcial. Esta é composta pelos seguintes tubos:

- 1) 2 tubos verticais de comprimento 2300 [mm];
- 2) 2 tubos bases de 1000 [mm];
- 3) 1 tubo horizontal de 1120 [mm];
- 4) 2 tubos inclinados fixados à 45° em relação ao tubo horizontal e vertical.

Os desenhos referentes aos tubos seguem em ANEXO II.

Figura 21 - Estrutura do suporte de peso parcial

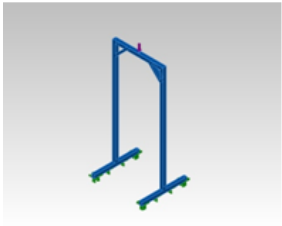


Fonte: Própria da autora (2016).

A análise de cálculo estrutural foi realizada no software SolidWorks, na qual os dados de entradas seguem nas Figuras 22 e 23.

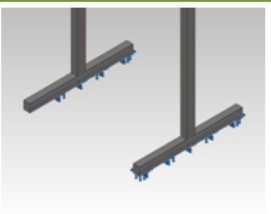
Foi considerada base fixa, com aplicação de uma carga de no máximo 2000 [N], para ter uma margem de segurança elevada. Para aplicação da carga foi desenhado um cilindro, como mostra a Figura 18, para simular uma força pontual no tubo horizontal onde será fixado o pick point da polia pela qual irá passar o cabo de aço e sustentar o paciente.

Figura 22 - Dados de entrada da estrutura de metalon.

Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	Nome: AISI 1020 Tipo de modelo: Linear elástico isotrópico Critério de falha predeterminado: Tensão de von Mises máxima Limite de escoamento: $3.51571 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Resistência à tração: $4.20507 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ Coeficiente de Poisson: 0.29 Massa específica: 7900 kg/m^3 Módulo de cisalhamento: $7.7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coeficiente de expansão térmica: $1.5 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	1) Metalon Vertical 2) Metalon Base 3) Metalon Horizontal 4) Metalon Inclinado

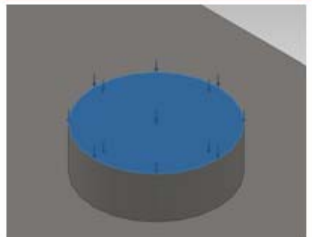
Fontr: Própria da autora (2016).

Figura 23 - Fixações da estrutura de metalon.

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação			
Metalon Base		Entidades: 2 face(s) Tipo: Geometria fixa			
Forças resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Força de reação(N)	0.371677	1986.39	1.95543	1986.39	
Momento de reação(N-m)	0	0	0	0	

Fonte: Própria da autora (2016).

Figura 24 - Aplicação da carga em um ponto (em azul) do metalon horizontal.

Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga		
Força Atuante		Entidades:	1 face(s)	
		Tipo:	Aplicar força normal	
		Valor:	2000 N	

Fonte: Própria da autora (2016).

A malha para a estrutura não apresenta grande complexidade de modo que se obteve uma malha com 6728 nós e 3409 elementos, conforme a Figura 25.

A partir da simulação se obteve os seguintes resultados:

Quanto a tensão equivalente de Von Mises (Figura 26), tem-se que os maiores esforços atuantes no modelo é justamente no local da aplicação da carga, com valor máximo de 29,78 [MPa], abaixo do limite de escoamento de 351,57 [MPa].

Quanto o deslocamento observa-se que não é significativa, conforme a Figura 27, com valor máximo de 0,4 mm.

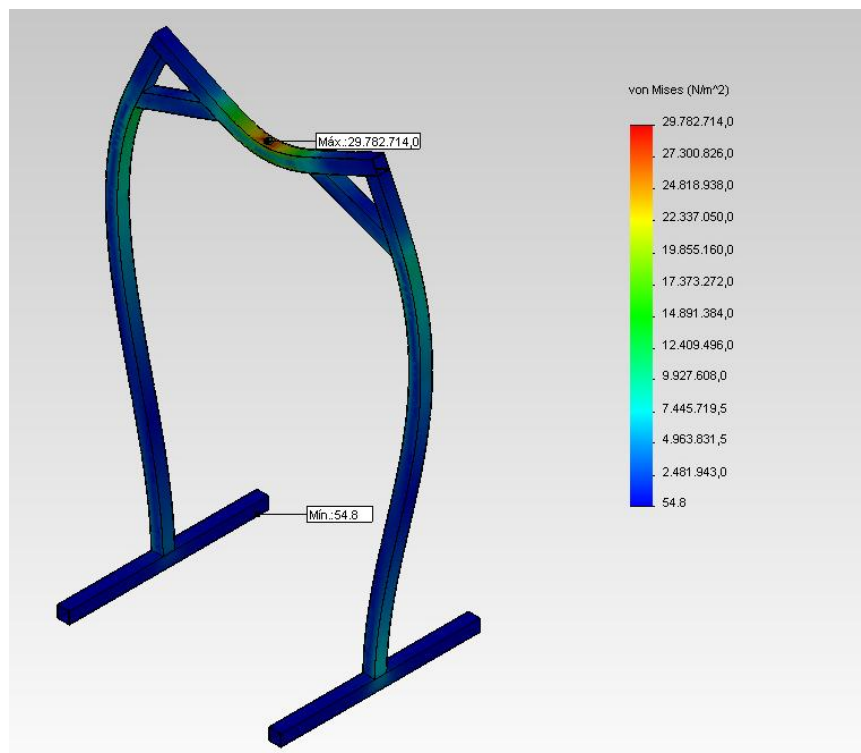
E a deformação específica que se obteve foi de $1,289 \times 10^{-4}$, o que também não foi significativo, conforme a Figura 28.

Figura 25 – Aplicação da malha de elementos finitos.



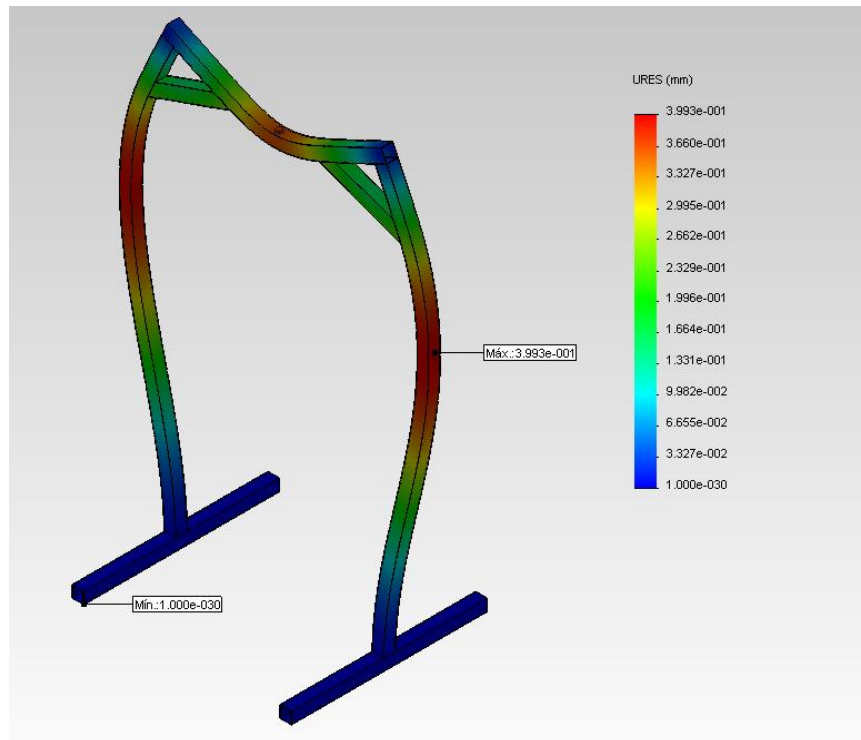
Fonte: Própria da autora (2016).

Figura 26 – Tensão de Von Mises equivalente.



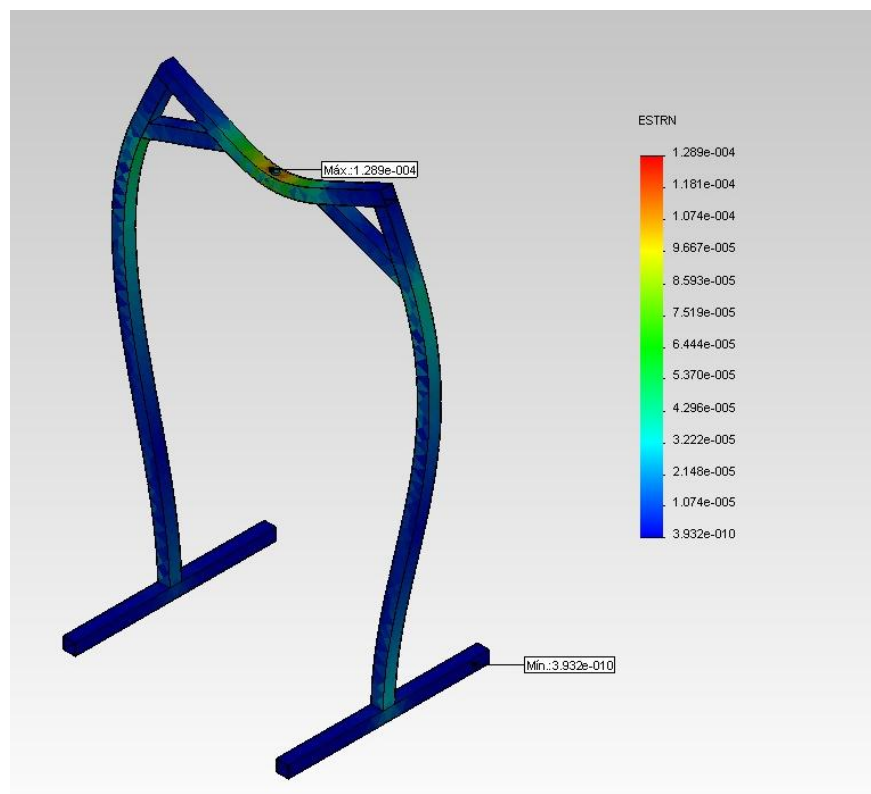
Fonte: Própria da autora (2016).

Figura 27 – Deslocamento resultante.



Fonte: Própria da autora (2016).

Figura 28 – Deformação equivalente.



Fonte: Própria da autora (2016).

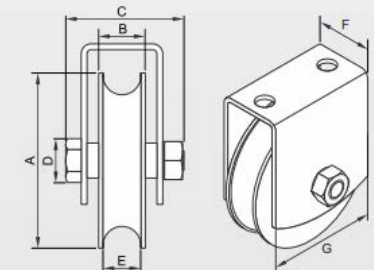
Assim, pode-se concluir que para o carregamento atuante, a estrutura de metalon de 60 x 60 mm, com espessura de parede de 3 mm, será adequada para o projeto.

2.7 MONTAGEM DO DISPOSITIVO SPPC

Para a montagem da estrutura (Figura 25) com os componentes apresentados acima foram realizadas algumas considerações:

- 1) As polias utilizadas para o cabo de aço foram as comerciais da Severo de 3", conforme mostra a Figura 23. A fixação das polias será por pick points que serão soldados ao tubo de quadrado;

Figura 29 - Roldana comercial para cabo de aço.



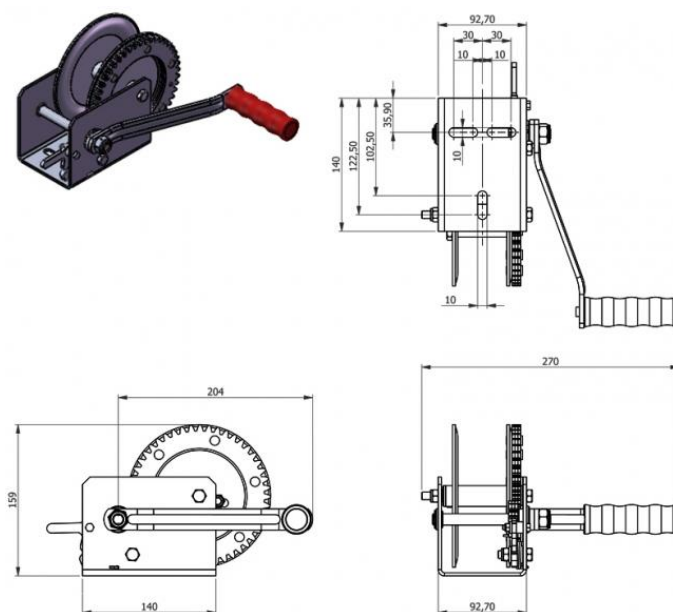
ROLDANA PARA PORTÃO COM BUCHA E PARAFUSO CANAL "U" (Ferro 1/2") C/SUPORTE

MAT.	A	B	C	D	E	F	G	AO POLIDO	ZINC. BRANCO
1020	2"	16mm	42mm	5/16 x 1½	13mm	29mm	40mm	102.016	112.016
1020	3i #	16mm	42mm	5/16 x 1½	13mm	29mm	40mm	102.017	112.017
1020	3"	16mm	42mm	5/16 x 1½	13mm	29mm	50mm	102.018	112.018
1020	4"	17mm	42mm	5/16 x 1½	13mm	29mm	70mm	102.019	112.019

Fonte: Catálogo Severo (2016).

- 2) O guincho manual será utilizado da marca FAMIT, conforme a Figura 24, porém é possível utilizar outras marcas comerciais. Como comentado anteriormente, a fixação deste produto pode variar conforme a marca, porém este não é um fator crítico do projeto. Portanto, não entrará no design final do dispositivo. Além disso, o guincho será representado apenas pelo tambor, no qual o cabo de aço irá se enrolar a medida que for rotacionando a manivela;

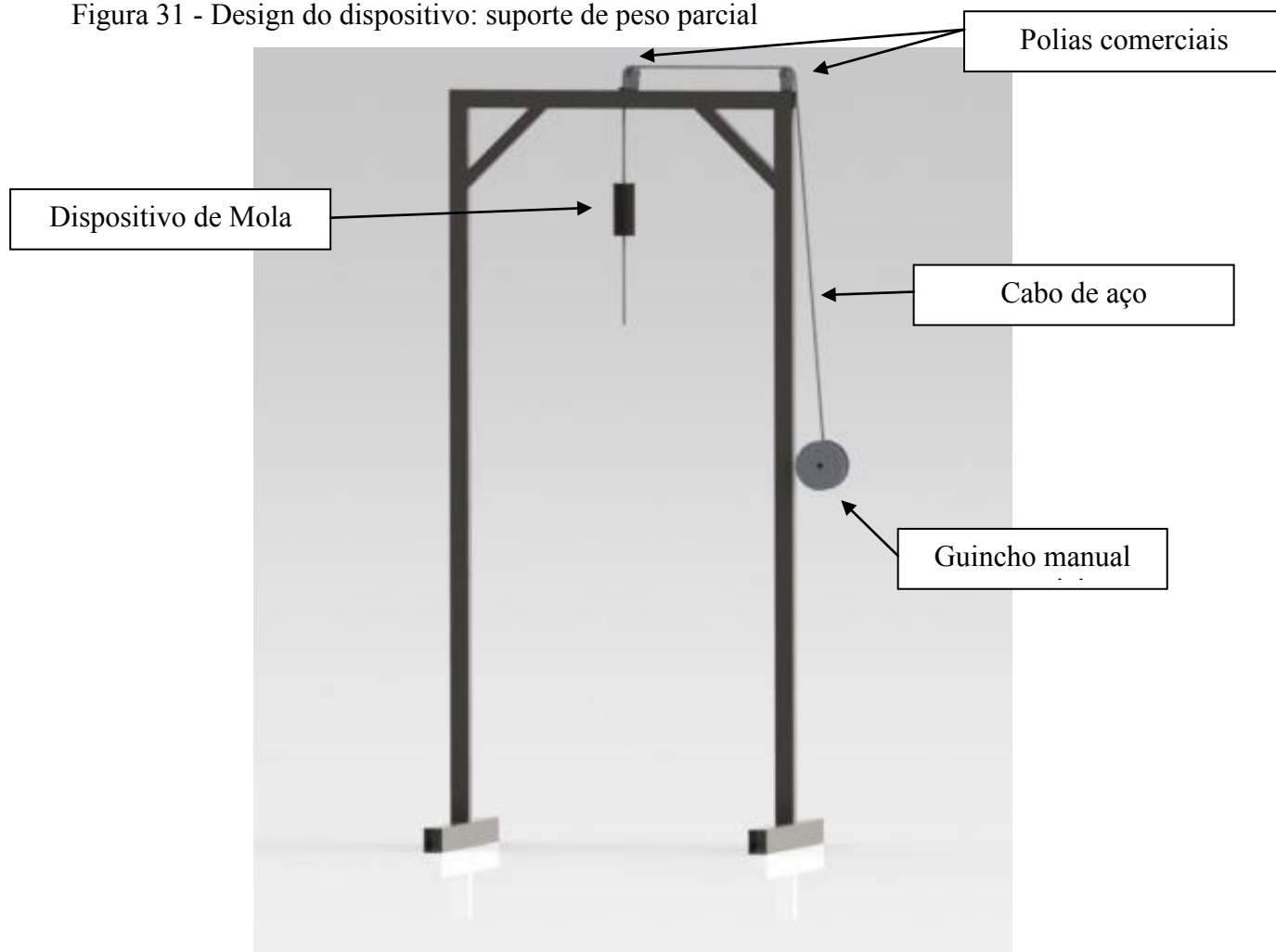
Figura 30 - Guincho manual para elevação do paciente.



Fonte: Catálogo FAMIT (2016).

- 3) As 4 rodas que serão fixadas na base da estrutura de metalon também serão comerciais, porém não entraram no projeto;
- 4) A fixação do dispositivo de mola no cabo de aço será realizada através de laços bloqueados com presilhas próprias para cabos. Os laços irão passar pelas Ball joints. Além disso, o dispositivo de mola será posicionado acima do paciente.

Figura 31 - Design do dispositivo: suporte de peso parcial



Fonte: Própria da autora (2016).

O dispositivo, estudado neste trabalho, que auxilia na recuperação da marcha em pacientes com deficiência ou dificuldade de locomoção, seja de origem neurológica ou músculo-esquelético, apresenta uma característica que poderia ser melhorada: o posicionamento do dispositivo para controle de alívio de peso. Apesar do dispositivo ser voltado para o ILA, onde a maior parte do atendimento é de crianças e adolescentes, portanto, peso e estatura menores, quando o SPPC for utilizado em pacientes altos, a visualização da escala na mola é dificultada devido a altura. A escolha deste posicionamento foi a melhor opção quanto a funcionalidade do dispositivo de mola, embora haja a dificuldade apresentada acima.

Além disso, o dispositivo de mola apresenta um limite de peso de paciente de até no máximo 80 kg, caso contrário, as dimensões da mola seriam maiores, com dificuldade de fabricação. Portanto, optou-se por limitar a faixa de trabalho de carregamento desta.

3 CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível obter um design inicial do dispositivo para auxiliar na recuperação da marcha em paciente que apresentam alguma afecção neurológica ou muscular.

O objetivo apresentado no início do trabalho era um projeto inicial do dispositivo em que se pudesse controlar o alívio de peso para que o fisioterapeuta conseguisse monitorar e estudar a recuperação. Apesar de não ter toda a sequência de montagem e a especificação de todos os componentes, tais como o guincho manual, roldanas e rodas, é possível iniciar a construção dos produtos estudados neste trabalho e prosseguir com o projeto para etapa na qual se determina como serão fixados os componentes comerciais do dispositivo e o orçamento do projeto.

Além disso, deve-se atentar que o suporte apresentado neste trabalho é direcionado para crianças com peso máximo de 80 kg. Este limite de peso se deve ao dimensionamento adequado da mola, ou seja, para uma faixa de peso maior, a mola teria uma rigidez superior que quando fosse utilizada em pacientes mais leves, não conseguiríamos ter uma deflexão de mola precisa e confiável. Uma das soluções propostas para trabalhos futuros seria projetar diferentes dispositivos de mola para diferentes intervalos de peso.

Assim, a importância do estudo em que se objetiva o projeto do suporte parcial de peso corporal, de menor complexidade e baixo custo, está na obtenção de melhores resultados na recuperação da marcha. E embora ainda haja uma deficiência quanto a padronização dos parâmetros aplicados durante o treino da marcha, tais como, a frequência de seções de fisioterapia, a duração, velocidade da caminhada e entre outros, o treino com SPPC permite também que o fisioterapeuta aplique outras atividades concomitantes durante a marcha, uma vez que ele não precisa mais segurar o paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6327**: cabo de aço para uso geral. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 4309**: guindaste - cabo de aço – critérios de inspeção e descarte. Rio de Janeiro, 1998.

BARBEAU, H.; ROSSIGNOL, S. Recovery of locomotion after chronic spinalization in the adult cat. **Brain Research**, Canadá, v. 412, n. 1, p. 84-95, 1987.

BIODEX. **Unweighing System**. Disponível em: <<http://www.biodex.com/physical-medicine/products/pbws/unweighing-system>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

CASA DO CABO DE AÇO, A. **Morsing stahlritzmann catálogo**. Disponível em: <<http://www.morsing.com.br/wp-content/uploads/2015/11/NOVO-RAC.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2016.

CLABE MAX. **Catálogo**. Disponível em: <<http://www.cabosdeacocablemax.com.br/tabela-de-cabos-de-aco.html>>. Acesso em: 30 out. 2016.

DUTRA, C. M. R.; DUTRA, C. M. R.; MOSER, A. D. L.; MANFFRA, E. F. Treino locomotor com suporte de peso corporal na reabilitação da lesão medular: revisão da literatura. **Fisioterapia em Movimento**. Curitiba, v. 26, n. 4, p. 907-920, set./dez., 2003.

DURVAL, M. N.; FILHO, F. M. Software para o dimensionamento de molas helicoidais cilíndricas de tração e compressão. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2000. Local. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2000. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/conem/2000/LC8606.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

FAMIT. **Guinchos Manuais**. Disponível em: <http://www.famit.com.br/produtos.html>. Acesso em: 13 nov. 2016.

FRANZ, J. R.; GLAUSER, M.; RILEY, P. O.; CROCE, U. D.; NEWTON, F.; ALLAIRE, P. E.; KERRIGAN, D. C. Physiological modulation of gait variables by an active partial body weight support system. **Journal of Biomechanics**, v. 40, p. 3244-3250., abr./2007.

HAUPENTHAL, A.; SHCUTZ, G. R.; SOUZA, P. V.; ROESLER H. Análise do suporte de peso corporal para o treino de marcha. **Fisioterapia em Movimento**. v. 21, n.2, p. 85-92., abr./jun. 2008.

HOCOMA. **Equipamentos LOKOMAT**. Disponível em: <<https://www.hocoma.com/usa/us/home/>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

MARCO FILHO, F. M. **Elementos de transmissão flexíveis**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009. Apostila didática. Disponível em: <http://www.graduacao.mecanica.ufrj.br/pdf/Elementos_de_Transmissao_Flexiveis_2009-4.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.

MATSUNO, V. M.; CAMARGO, M. R.; PALMA, G. C.; ALVENO, D.; BARELA, A. M. Análise do uso de suporte parcial de peso corporal em esteira e em piso fixo durante o andar de crianças com paralisia cerebral. **Revista Brasileira de Fisioterapia**. São Carlos, v. 14, n. 5, p. 404-410, set./out. 2010.

MELCONIAN, S. **Elemento de Máquinas**. 10 ed. São Paulo: Érica, 2012.

NORTON, R. L. **Projeto de elementos de máquina: uma abordagem integrada**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

OTTOBONI, C.; FONTES S. V.; FUKUJIMA M. M. Estudo comparativo entre a marcha normal e a de pacientes hemiparéticos por acidente vascular encefálico: Aspectos biomecânicos. **Revista Neurociências**. v. 10, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.revistaneurociencias.com.br/edicoes/2002/RN%2010%2001/RN%2010%2001%2002.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2016.

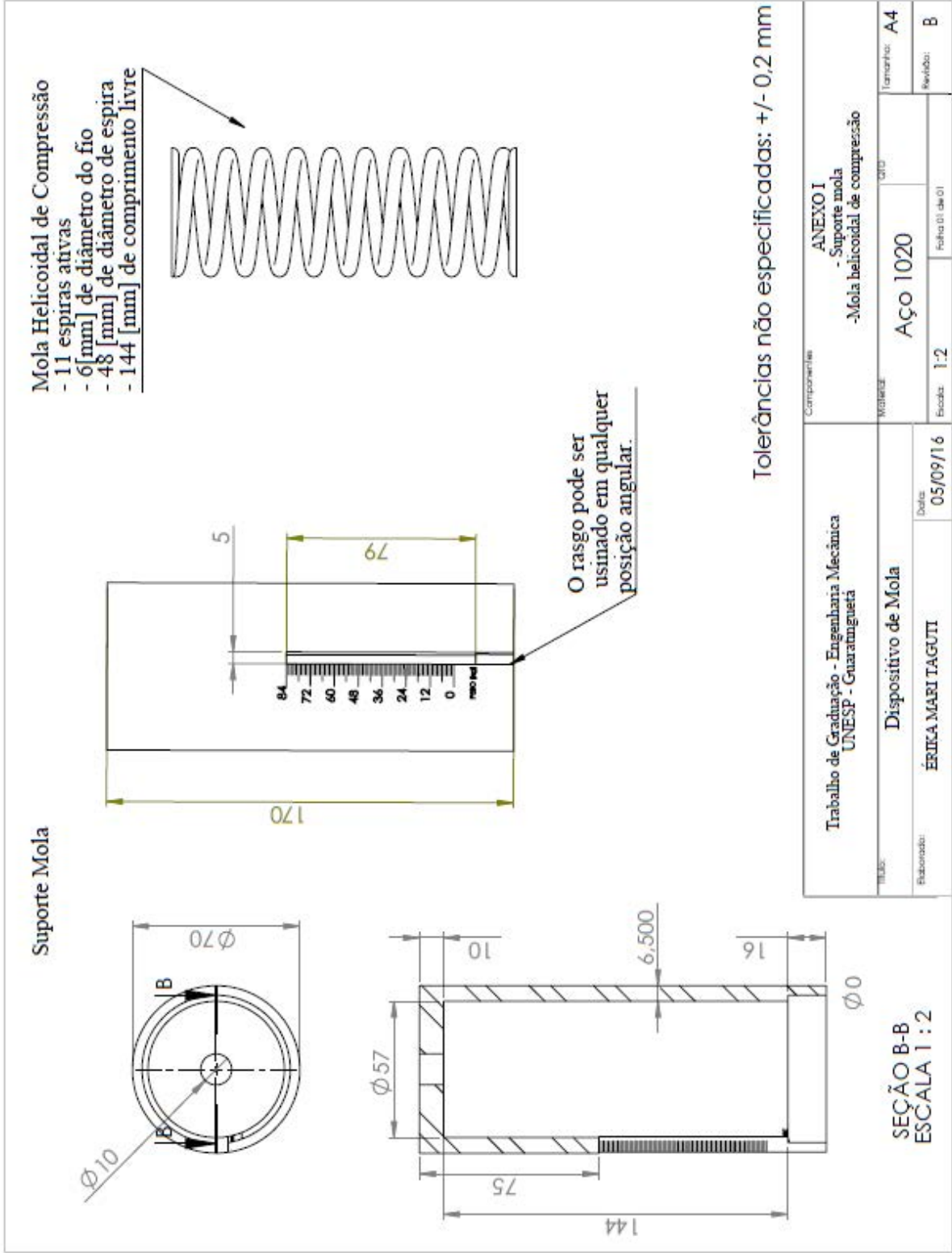
PEREIRA, E.; MANFFRA, E. F.; SETTI, J. A. P.; DUTRA, C. M. R.; AGUIAR, L. R. Desenvolvimento de instrumentação para aplicação e avaliação do treinamento locomotor com suporte parcial de peso. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v.25, n.3, p. 185-197, dez., 2009.

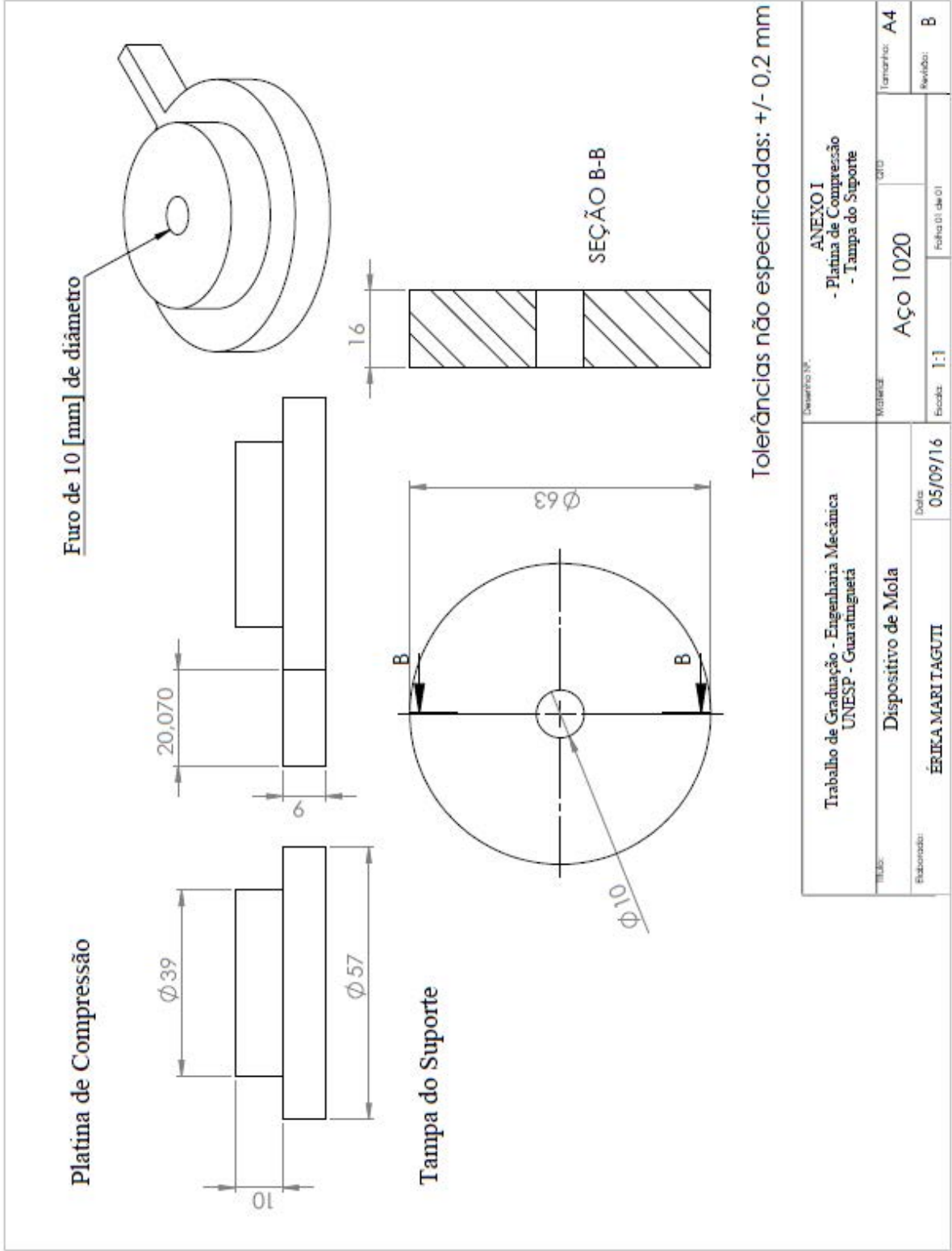
REIS, M. B.; JÚNIOR, E. B.; FILHO, A. P. L. Refinamento do circuito elétrico e aferição de transdutor de força. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 4., 2007, Estância de São Pedro. **Anais...** Estância de São Pedro: UFSC. Disponível em: < <http://www.grima.ufsc.br/cobef4/files/151023388.pdf> >. Acesso em: 26 nov. 2016.

ROSSNAGEL, W. E.; HIGGINS, L. W.; MACDONALD, J. A. **Handbook of Rigging for Construction and Industrial Operations**. 4. ed. Estados Unidos da América: McGraw-Hill, 1976. 531 p.

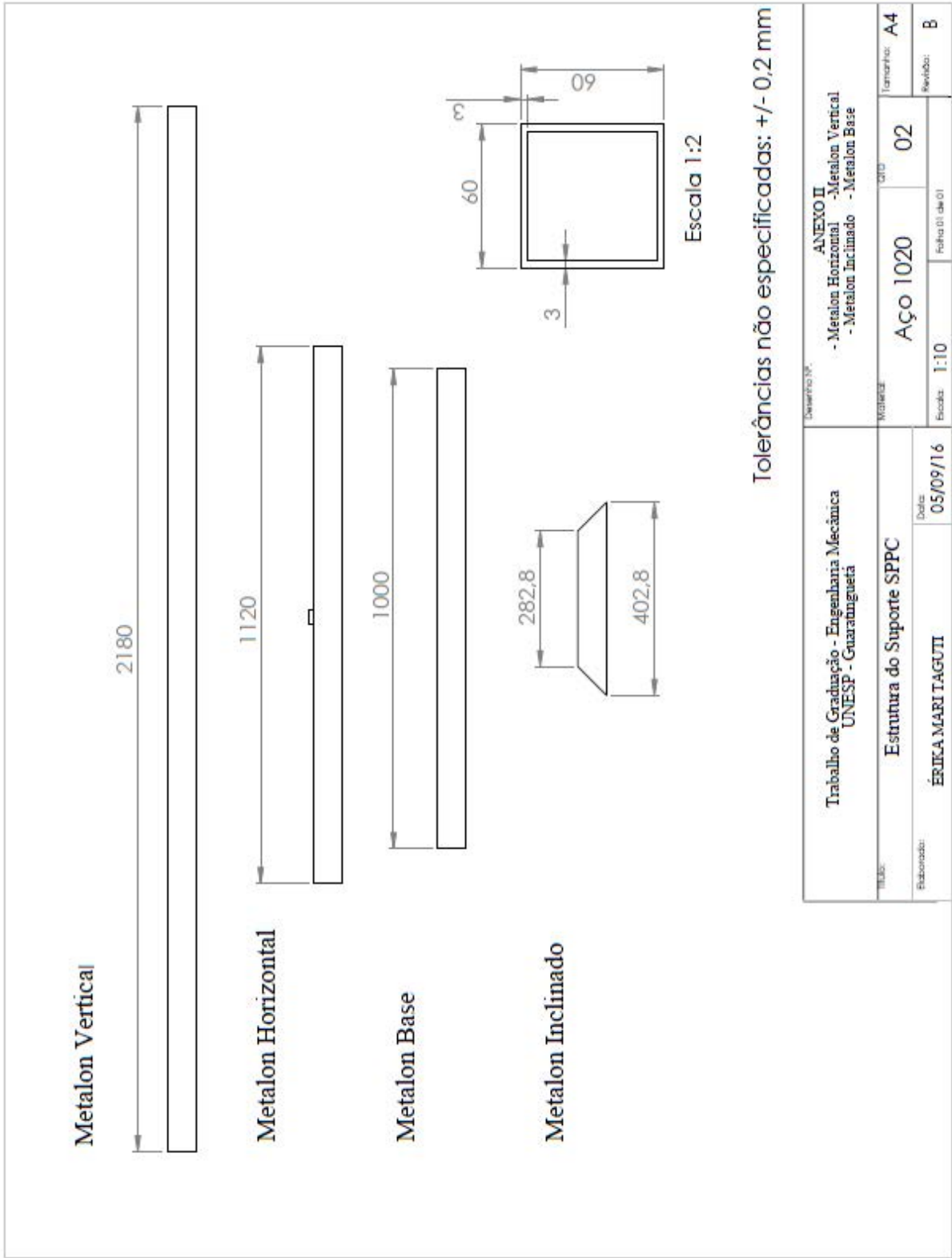
SANTOS, F. R. P. **Análise de duas propostas para a reabilitação da marcha em indivíduos portadores de seqüelas neurológicas crônicas**. 2010. 99 f. Tese (Doutorado em Fisioterapia) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

SEVERO. **Catálogo de componentes para serralheria**. Disponível em: <http://severo.ind.br/site/wp-content/uploads/2014/07/catalogo_corrigido_curvas.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2016.





Trabalho de Graduação - Engenharia Mecânica UNESP - Guaratinguetá		ANEXO I - Platina de Compressão - Tampa do Suporte	
Aluno:	Dispositivo de Mola	Materia:	Aço 1020
Elaborado:	ÉRIKA MARI TAGUTI	Escala:	1:1
		Folha 01 de 01	
		Formato:	A4
		Revisão:	B
		Data:	05/09/16



Trabalho de Graduação - Engenharia Mecânica UNESP - Guaratinguetá		ANEXO II - Metalon Horizontal - Metalon Vertical - Metalon Inclinado - Metalon Base	
TÍTULO:	Estrutura do Suporte SPPC	MATERIAL:	Aço 1020
Elaborado:	ÉRIKA MARI TAGUTI	DATA:	05/09/16
		ESCALA:	1:10
		FOLHA 01 de 01	
		TAMANHO:	A4
		REVISÃO:	B