



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

MAASÉIAS BARBOSA FRANÇA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA PLATAFORMA SIMULADORA DE
ENTORSE DE TORNOZELO

GUARATINGUETÁ - SP
2016

MAASÉIAS BARBOSA FRANÇA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA PLATAFORMA SIMULADORA DE
ENTORSE DE TORNOZELO

Trabalho de Graduação apresentada 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 de diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini

Guaratinguetá

2016

F814	França, Maaseias Barbosa Projeto e construção de uma plataforma simuladora de entorse de tornozelo / Maaseias Barbosa França – Guaratinguetá, 2017. 49 f : il. Bibliografia: f. 48-49
	Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017. Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini Coorientador- Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
	1. Entorse. 2. Músculos – ferimentos e lesões. 3. Fisioterapia I. Título
	CDU 615.8

MAASÉIAS BARBOSA FRANÇA

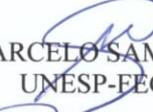
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**”

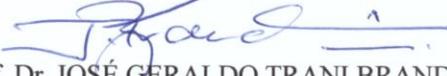
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


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


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ GERALDO TRANI BRANDÃO
Membro Externo

12/2016

...de modo especial a minha esposa e meus pais pelo incentivo, e a todos professores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todos os dias fazer o impossível em minha vida, cuidando de cada detalhe, me dando paz e saúde para ter forças para estudar.

A minha esposa Luciana Torres Marinho França pela paciência, apoio, companheirismo, incentivo e por estar ao meu lado em todos momentos.

Aos meu pais pelo e por terem me dado vida e uma excelente educação.

Ao professor e orientador Dr. José Elias Tomazini, por semear conhecimento, pela confiança e ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Dr. Marcelo Sampaio Martins, pela apoio e ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao grande amigo, Marcio Galuzzi e família por me incentivar no início do curso.

Enfim a todos que direta e indiretamente contribuíram com minha formação.

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4:13.

RESUMO

Para atender a necessidade de um problema na área de fisioterapia, surgiu a ideia de elaborar um projeto mecânico que pudesse corroborar com estudos desenvolvidos na área, sobre entorse de tornozelos, tal problema é recorrente na vida de pessoas que praticam esportes. O projeto consiste em um equipamento mecânico que simule a entorse de tornozelo e fadiga dos músculos fibulares, que fornece parâmetros a serem analisados durante a simulação, pois segundo estudos, grande parte das entorses são causadas depois de muito esforço físico. Com isso, elaborou-se uma solução no qual consiste em construir uma plataforma simuladora de entorse em inversão. A plataforma foi projetada de maneira a atender a dois parâmetros de extrema relevância que são: indução a fadiga dos músculos fibulares e posteriormente simula a entorse do tornozelo para um ângulo máximo de 30° em relação a horizontal no qual o mesmo gira em torno de dois eixos cartesianos, ou seja, x e y propiciando assim o movimento combinado do tornozelo. Para indução a fadiga, foram utilizados dois transdutores que converte tensão em sinal elétrico que é enviado a amplificador de sinal que efetua a leitura. A indução ocorre através do esforço que indivíduo exerce por meio de uma cinta que envolve o seu pé, que tem uma das extremidades, conectada ao transdutor, e a outra abraçando o pé do voluntário, é fixada ao piso superior no qual o indivíduo se encontra em pé. Em seguida para simulação de entorse de tornozelo o mesmo piso superior que está fixado a uma estrutura superior que por sua vez conecta-se a outra superfície intermediária que realiza o movimento conjugado quando é acionado mecanicamente através do pesquisador que libera repentinamente fazendo com que o indivíduo torça o pé. Durante a queda é colhido o tempo, através de um dispositivo chamado sensor indutivo que mede a velocidade de queda da plataforma. Esse sistema mecânico já foi elaborado e produzido por diversos autores, mas a proposta deste trabalho difere ligeiramente dos equipamentos já existente pelo fato de fornecer o movimento em dois eixos durante a queda. A construção projeto foi bem-sucedida, apesar de algumas alterações feitas durante a produção da mesma.

PALAVRAS CHAVES: Plataforma de força. Entorse.

ABSTRACT

To attend the need of a problem from professionals in the physiotherapy area, arose the necessity of elaborating a mechanical project which could collaborate with studies developed in the area, on ankle sprains, such a problem is recurrent in the lives of people who play sports and has great relevance and need for research that can diagnose and remedy such misfortune. The problem is to analyze parameters that can be collected during the simulation of ankle sprain and also the fatigue of the fibular muscles, because according to studies, a great part of the sprains are caused after a lot of physical effort. With this, a solution was elaborated in which it consists of constructing a simulator platform of sprain in inversion. The platform was designed to meet two parameters of extreme relevance: inducing fatigue of the fibular muscles and later simulating the ankle sprain for a maximum angle of 30° to the horizontal in which it rotates around two Cartesian axes, ie, x and y, thus providing the combined movement of the ankle. For fatigue induction, two transducers were used that convert voltage into an electrical signal that is sent to a device known as an electromyograph. The induction occurs through the effort that individual exerts through a strap that surrounds his foot, which has one end, connected to the transducer and the other, by hugging the foot of the volunteer, is fixed to the upper floor in which the individual is standing. Then for simulation of ankle sprain the same top floor which is fixed to a top structure which in turn connects to another intermediate surface realizes the conjugate movement when it is mechanically driven through the researcher releasing suddenly causing the individual to twist the feet. During the fall is collected is measured the speed through a device called inductive sensor that measures the speed of fall of the platform. This mechanical system has already been elaborated and produced by several authors, but the proposal of this work differs slightly from the existing equipment by providing the movement in two axes during the fall. The construction project was successful, despite some changes made during the production of it.

KEYWORDS: Strange platform. Sprain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Célula de carga acondicionada inferiormente à plataforma e posicionamento do conversor analógico.....	16
Figura 2 – Plataforma simulando a entorse em inversão.....	17
Figura 3 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Wilson, Madigan (2006).....	17
Figura 4 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Kerr et al. (2008).....	18
Figura 5 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Vaes et al.(2002).....	18
Figura 6 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Ricard et al., (2000).....	18
Figura 7 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Tannheimer et al., (2001).....	19
Figura 8 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Chana et al., (2008).....	20
Figura 9 – Ponte de Wheatstone.....	23
Figura 10 – Célula de carga Modelo A (Mini Beam).....	24
Figura 11 – Sensor indutivo em funcionamento.....	24
Figura 12 – Barras de ferro chato.....	26
Figura 13 – Cantoneiras de Aço baixo carbono.....	28
Figura 14 – Tubo de aço quadrado.....	28
Figura 15 - Ilustração do movimento de entorse.....	29
Figura 16 – Vista superior da Plataforma simuladora de entorse.....	32
Figura 17 – Vista frontal da Plataforma simuladora de entorse.....	32
Figura 18 – Vista posterior da Plataforma simuladora de entorse.....	33
Figura 19 – Estrutura superior metálica.....	33
Figura 20 - Várias perspectivas para a estrutura intermedia metálica.....	34
Figura 21 – Vista superior da estrutura inferior metálica.....	35
Figura 22 – Piso superior antiderrapante e cinta de fixação.....	35
Figura 23 – Célula de carga.....	36
Figura 24 - Sensor indutivo.....	37
Figura 25 - Vista em três perspectivas do anteparo metálico.....	37

Figura 26 – Vista em perspectiva do pino de cisalhamento.....	38
Figura 27 – Wireframe do pino de cisalhamento.....	38
Figura 28 – Mola de recuo.....	39
Figura 29 - Vista em perspectiva do parafuso e porca trava.....	40
Figura 30 - Sistema mecânico de acionamento.....	40
Figura 31 – Vista superior do sistema mecânico de acionamento.....	40
Figura 32 - Vista em perspectiva e lateral da estrutura superior cotada.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas da barra chata	27
Tabela 2 – Propriedades Mecânicas do Aço-carbono.....	42
Tabela 3 - Comparação de coeficiente de atrito.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.3	PLATAFORMA SIMULADORA DE ENTORSE EM INVERSÃO.....	16
2.4	SOFTWARE PARA PROJETO.....	20
2.4.1	Catia	20
2.4.2	Autocad	21
2.5	DISPOSITIVOS DO PROJETO	21
2.5.1	Célula de carga	22
2.5.1.1	Tipo e aplicação de células de cargas.....	23
2.5.2	Sensor indutivo	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	BARRA CHATA.....	26
3.2	CANTONEIRAS.....	27
3.3	BARRA DE AÇO QUADRADO.....	28
3.4	EXPLANAÇÃO DO PROBLEMA	29
3.5	PROPOSTA DE PROJETO	29
3.6	DESENHOS 2D e PERSPECTIVA.....	31
3.6.1	Plataforma simuladora de entorse	31
3.6.2	Estrutura superior	33
3.6.3	Estrutura intermediária	34
3.6.4	Estrutura inferior	34
3.6.5	Piso superior e cinta	35
3.6.6	Celula de carga	36
3.6.7	Sensor indutivo	36
3.6.8	Anteparo metálico	37

3.6.9	Pino de cisalhamento	38
3.6.9.1	Mola de recuo	39
3.6.10	Parafuso e porca trava	39
3.6.11	Sistema mecânico de acionamento	40
3.7	CÁLCULOS DO PROJETO	42
3.7.1	Reações nas extremidades do parafuso central	42
3.7.2	Cálculo do diâmetro do parafuso central	43
3.6.3	Cálculo da reação no pino e seu diâmetro	44
3.8	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DO PROJETO	45
4	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

A entorse de tornozelo segundo Cesar, Brazão e Rodrigues (2010), é um problema recorrente na vida dos profissionais do esporte, devido aos grandes esforços a que se submetem, por isso há a necessidade de pesquisas e estudos voltados para tal problema que visam prevenir e diminuir o grande número de lesões por entorse. Mesmo sabendo que o problema de entorse é originado de vários fatores, pode-se aproximar das causas estudando um fator de grande relevância como fadiga, tendo em vista que esse tipo de lesão ocorre na maioria das vezes no final de atividades físicas.

Visando estudar este problema e pesquisar sobre as principais causas da entorse propõe-se construir um equipamento que simule a entorse do tornozelo, assim como a fadiga do músculo de maneira que possam ser analisados alguns dados obtidos através dos mesmos. Em estudos realizados chegasse a um possível equipamento que pode atender a este problema.

O projeto mecânico em questão é conhecido como plataforma simuladora de entorse que visa atender a indução da fadiga e a entorse em dois planos, ou seja, entorse do movimento conjugado em dois eixos cartesianos. Para esse equipamento utilizou-se alguns componentes para aferições de medidas que serão analisadas por um profissional da área de fisioterapia. Pode-se citar alguns destes como: célula de carga que mede um esforço pré-teste no músculo causado pela fadiga, sensor indutivo que tem a função de medir o tempo de queda do movimento de entorse.

Neste projeto foram utilizados alguns dos diversos conceitos de engenharia mecânica estudados durante o curso onde se pode destacar como: Resistência dos materiais, elementos de máquinas, desenhos técnicos, utilização de software de desenhos, assim como a construção do equipamento. Espera-se que o projeto possa simular o mais próximo possível da realidade a fadiga e entorse de tornozelo, para melhor atender os estudos que serão realizados.

1.1 OBJETIVO

Este projeto tem como objetivo desenvolver uma plataforma simuladora de entorse que simule a entorse e fadiga por inversão dos músculos fibulares, para a coleta das reações dos mesmos, através de amplificadores de sinais. Os estudos a serem realizados através do equipamento, objetiva a prevenção e diminuição de lesões de profissionais do esporte por entorse de tornozelo.

1.2 MOTIVAÇÃO/JUSTIFICATIVA

O principal estímulo para realização deste projeto partiu da possibilidade de corroborar com profissionais da área de fisioterapia devido à grande demanda e necessidade de solução do problema. Esse projeto demonstra a importância da engenharia nas diversas áreas, isso faz com que possa haver intercâmbio de conhecimento, pois no caso em questão além de elaborar um produto que ajuda na prevenção e na melhoria da qualidade de vida de profissionais do esporte, nos possibilita pesquisar e apreender sobre a área de fisioterapia, assim como utilizar conceitos importantes de engenharia para a formação profissional.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O projeto foi organizado de maneira a facilitar a compreensão do problema e o entendimento da construção do equipamento, para isso utilizou-se a seguinte estrutura.

No capítulo 1 foi elaborado uma introdução comentando o problema e propondo uma solução que será desenvolvida no trabalho, assim como o objetivo, justificativa e a metodologia utilizada.

No capítulo 2 foi feita uma revisão bibliográfica para fundamentação teórica, apresentou-se os principais dispositivos do projeto e um resumo dos softwares de desenhos utilizado para elaboração.

No capítulo 3 foram apresentados o problema, um projeto solução, os materiais do projeto, os cálculos, os desenhos 2D e em perspectivas e as discussões dos resultados.

No capítulo 4 foi apresentado a conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Abaixo é apresentada a fundamentação teórica que tem como objetivo pautar todos os cálculos e orientar tecnicamente sobre os principais pontos de compreensão do problema e da solução do mesmo. Para isso recorreu-se a uma revisão bibliográfica nos tópicos a seguir.

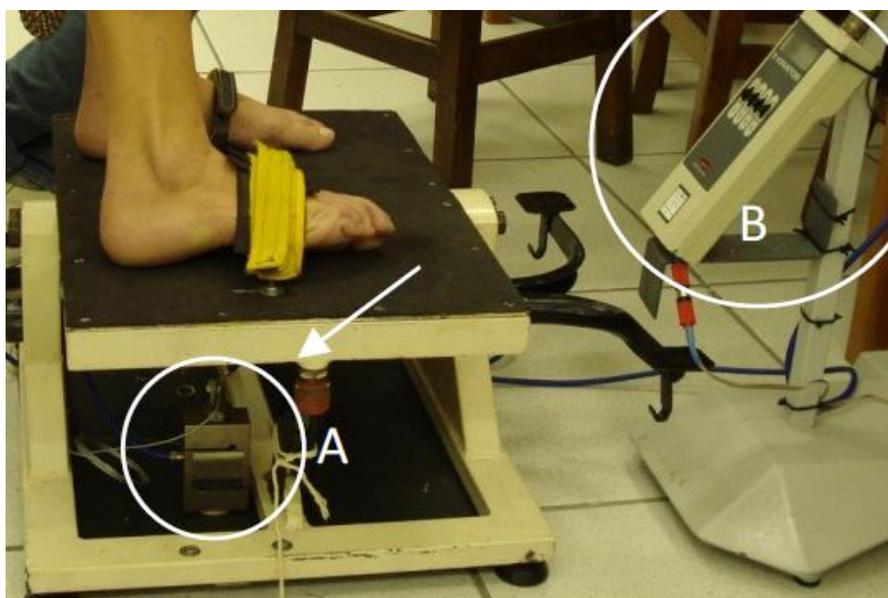
2.3 PLATAFORMA SIMULADORA DE ENTORSE EM INVERSÃO

Plataforma simuladora de entorse, é um sistema mecânico que simula o movimento de entorse de tornozelo e fadiga muscular em voluntários que não tenham histórico de lesão, para fins de pesquisa dos profissionais da área de fisioterapia onde são feitas análises do comportamento dos músculos fibulares quando submetidos a fadiga muscular e entorse de tornozelo, de acordo com Cesar, Brazão e Rodrigues (2010).

Este experimento é realizado em duas etapas que são:

1º etapa - Através de um transdutor conhecido também como célula de carga que está conectada a uma cinta que envolve o pé do voluntario no qual faz-se um esforço no sentido contrário a gravidade por um determinado tempo, induzindo a fadiga do músculo fibular. O transdutor converte o esforço do indivíduo em um sinal elétrico para um eletromiografo de acordo com a Figura 1, onde o círculo A destacado é o transdutor e B o eletromiografo.

Figura 1 – Célula de carga acondicionada inferiormente à plataforma e posicionamento do conversor analógico



Fonte: Cesar, Brazão e Rodrigues (2010)

2º etapa – Consiste na simulação da entorse do tornozelo em inversão através do movimento em torno de um eixo, em queda livre para um ângulo médio de 30° de acordo com a figura 2.

Figura 2 – Plataforma simulando a entorse em inversão



Fonte: Cesar, Brazão e Rodrigues (2010)

Algumas plataformas simuladoras já foram desenvolvidas, baseadas em várias configurações, ou seja, situações diversas encontradas no cotidiano que podem ocasionar uma entorse de tornozelo em inversão. Exemplos de modelos de plataforma são demonstrados a seguir.

A Figura 3, apresentada por Wilson, Madigan (2006) mostra uma plataforma simuladora com inclinação de 20° (RODRIGUES, 2016).

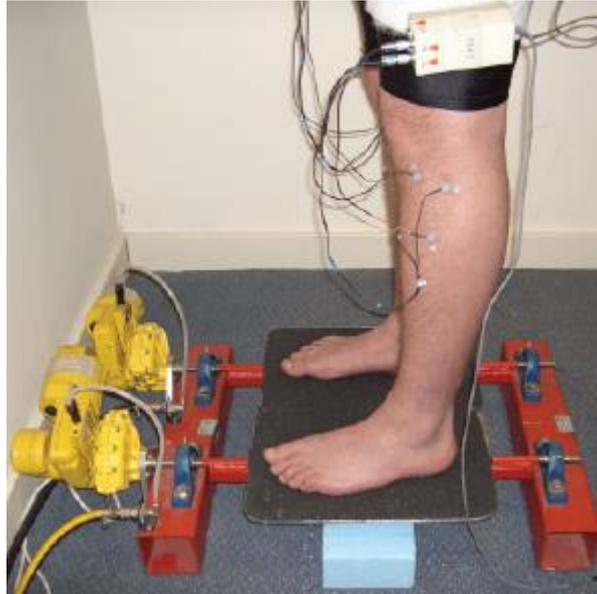
Figura 3 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Wilson, Madigan (2006)



Fonte: Rodrigues (2016)

A Figura 4, de Kerr, Arnold, Drew, Cochrane, Abboud (2008), apresenta a simulação da entorse de tornozelo com uma plataforma simuladora o qual permitia duas diferentes amplitudes de movimento 0° e 10° e 10° e 20° (RODRIGUES, 2016).

Figura 4 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Kerr et al. (2008)



Fonte: Rodrigues (2016)

A Figura 5, mostra a plataforma simuladora desenvolvida por Vaes, Duquet, Gheluwe (2002), que permite alcançar inversão de 50° de uma entorse de tornozelo (RODRIGUES, 2016).

Figura 5 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Vaes et al.(2002)



Fonte: Rodrigues (2016)

Na Figura 6, Ricard, Schulties, Saret (2000) apresenta uma plataforma de entorse de tornozelo que permite inversão máxima de 35° (RODRIGUES, 2016).

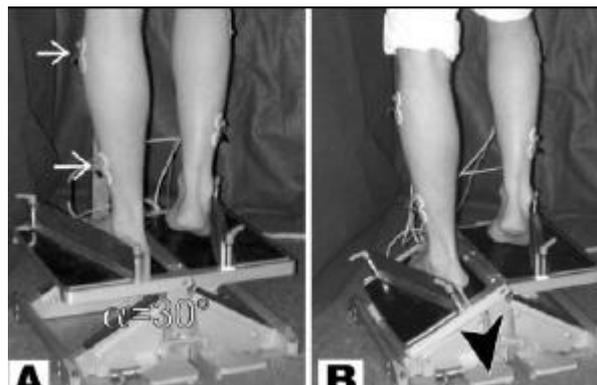
Figura 6 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Ricard et al., (2000)



Fonte: Rodrigues (2016)

A Figura 7 apresenta uma plataforma simuladora proposta por Tannheimer, Benesch, Gerngro, Becker, Schmidt (2001), que possibilita amplitude de movimento de 30° (RODRIGUES, 2016).

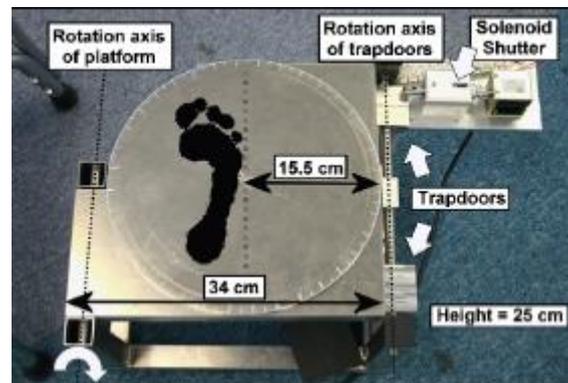
Figura 7 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Tannheimer et al., (2001)



Fonte: Rodrigues (2016)

A Figura 8, Chana, Fonga, Yung, Funga, Chana (2008) apresenta a construção de uma plataforma que permite movimentação de inclinação antero-posterior, médio-lateral e rotacional (RODRIGUES, 2016).

Figura 8 – Plataforma simulando a entorse em inversão - Chana et al., (2008)



Fonte: Rodrigues (2016)

2.4 SOFTWARE PARA PROJETO

O projeto elaborado foi totalmente elaborado usando dois softwares, Catia e AutoCAD. A utilização dos mesmos nos proporcionou visualizar o projeto devido suas excelentes resoluções. Para melhor compreensão de sua eficácia foi apresentado um breve histórico de cada um logo a seguir.

2.4.1 Catia

Segundo a SM-Computação gráfica, o programa de desenho técnico conhecido como catia surgiu no início de 1975, através de uma empresa chamada Avions Marcel Dassaut (AMD) que obteve da Lockheed Martin a licença do Cadam. Apesar de o Cadam ser considerado na época um cad inovador, trabalhava apenas em 2d, e os projetos aeronáuticos pressionavam pelo desenvolvimento de um novo software em 3d. Com isso em 1977, a (AMD) rapidamente montou uma equipe para criação de um programa interativo em 3d, dando início ao programa embrião do catia que significava aplicações interativas tridimensionais auxiliadas por computador. Já em 1981, a dassault systems surge desenvolvendo novas fases do catia que passou a ser comercializado pela IBM. A primeira versão do catia era um produto adicional do cadam e passou a ser considerado um produto autônomo três anos mais tarde. A quarta versão do catia nasceu em 1993 para o sistema unix. O primeiro jato 100% digital da Boeing (Boeing 777), foi totalmente projetado pelo software catia. A quinta versão do catia feita para o Windows chegou ao mercado apenas em 1999. Esta versão tornou o catia muito mais fácil de usar e aprender devido a centenas de recursos trazidos.

2.4.2 Autocad

De acordo com Thiago Gianaccini (2012), o AutoCAD é uma ferramenta imprescindível quando se trata de desenhos técnicos em geral. É de conhecimento de todos que profissionais de diversas áreas utilizam o AutoCAD no desenvolvimento de seus projetos. O AutoCAD é a preferência no segmento de software para desenhos.

A sigla CAD significa “Computer aided design”, traduzindo, desenho auxiliado por computador que foi uma novidade da empresa Autodesk em 1982. Os desenhos realizados antes dessa novidade eram feitos na em papel utilizando pranchetas como apoio.

Na época que apresentou, a Autodesk não imaginava o sucesso que o software poderia causar. O nome do mesmo era chamado MicroCAD, ele foi desenvolvido para apenas alguns sistemas operacionais como: CP/M (programa de controle para microcomputadores), esse sistema rodava em disco e seu desenvolvimento era para trabalhar com processadores Intel, o AutoCAD também funcionou muito bem com o DOS (sistema operacional em disco) e o Unix (sistema operacional portátil, multitarefa e multiuso). Apesar de nessa época o AutoCAD ser bastante limitado, estava em constante evolução se tornando um programa capaz de criar desenhos de maneira prática e economicamente acessível a empresas de pequeno porte em projetos.

Ao longo do tempo a Autodesk passou a desenvolver o software para trabalhar com sistemas operacionais da Microsoft, assim, o AutoCAD passou cada vez mais a melhorar seu desempenho objetivando familiaridade com as plataformas Windows, deixando assim de trabalhar com os sistemas DOS e Unix.

Ainda hoje o AutoCAD é o software mais utilizado no mundo desde sua criação em 1982. Muitos grandes projetos da atualidade são desenvolvidos em software de CAD, e na sua grande maioria o AutoCAD. Apesar da sua relevância e modernidade no desenvolvimento de projetos hoje em dia, existe uma grande falta de profissionais qualificados para trabalhar com o mesmo.

2.5 DISPOSITIVOS DO PROJETO

Os dispositivos destacados a seguir são de extrema importância para construção da plataforma, pois são através dos mesmos que são feitos as coletas dos parâmetros a serem estudados pelos seus pesquisadores.

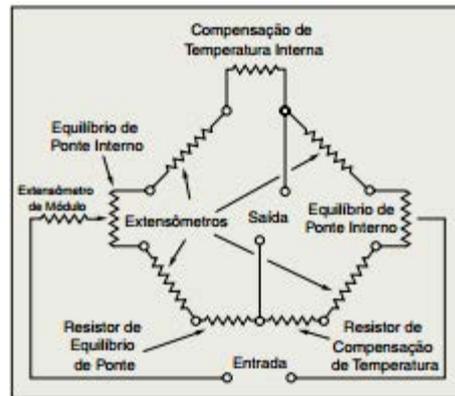
2.5.1 Célula de carga

Uma célula de carga, de acordo com Omega Engineering Brasil, também pode ser chamada de transdutor que converte a força em sinal elétrico que possa ser medido. Há diversos tipos, nos quais se destacam as que são baseadas em sensores de deformação e tensão.

Balanças de alavanca mecânica eram muito usadas, antes das células de carga baseadas em sensores de deformação e tensão, se tornaram o método mais usado em aplicações de pesagem industrial. Elas pesam desde pílulas, a vagões com muita precisão e alta confiabilidade quando calibradas e mantidas. Os primeiros pré-sensores de deformação e tensão incluíram projetos hidráulicos e pneumáticos.

O físico inglês Sir Charles Wheatstone, em 1843 idealizou um circuito de ponte que media resistências elétricas. Este circuito conhecido como ponte de Wheatstone (Figura 9) é ideal para medir as alterações de resistências nos sensores de deformação e tensão. Mesmo tendo sido desenvolvido na década de 1940, o sensor de deformação tipo fio de resistência colado teve sua aplicação viabilizada técnica e economicamente após a eletrônica moderna. Já naquela época a utilização dos sensores de deformação se expandiam como componentes mecânicos e células de carga autônomas. Nos dias atuais, as células de cargas com sensor de deformação e tensão predominam no setor de pesagem, exceto alguns laboratórios onde ainda utilizam balança de precisão. Para praticamente todas as aplicações industriais, a célula de carga com sensores de deformação é a mais adequada, pois oferecem precisão de 0,25% a 0,03% do fundo de escala. Há duas maneiras de se caracterizar os designs de células de carga, ou seja, pelo tipo de sinal de saída gerado (pneumático, hidráulico, elétrico), e também pela maneira como o peso é detectado (cisalhamento, compressão, etc.). O funcionamento das células de carga de deformação dá-se pela conversão da carga que está submetida em sinais elétricos. Os mesmos são deformados quando peso é aplicado, pois se encontram colados em uma viga ou em um elemento estrutural. Os modelos de sensores de deformação estão aumentando progressivamente sua exatidão e diminuindo seu preço, fazendo com que as outras células de cargas caiam no esquecimento.

Figura 9 – Ponte de Wheatstone



Fonte: Omega (2016)

2.5.1.1 Tipo e aplicação de células de cargas

Baseados nas informações dos manuais e catálogos técnicos do site balanças DF, destaca-se um modelo que atende as necessidades técnicas deste projeto.

MODELO A (Mini Beam)

A figura 10, representa o transdutor (Mini Beam) que é feito de alumínio aeronáutico, estas, são células de cargas tipo flexão (Beam) modelo A que possuem tratamento especial contra corrosão, onde são aplicados os strain-gages de alta qualidade e proteção que garante a resistência a umidade.

Suas principais aplicações são:

- ✓ Balanças de supermercados.
- ✓ Balanças de pedestal.
- ✓ Balanças contadoras.
- ✓ Controle de força em máquinas e dispositivos.
- ✓ Máquinas de embalagens automáticas.
- ✓ Pesagem de pequenos tanques e misturadores

Figura 10 – Célula de carga Modelo A (Mini Beam)



Fonte: Balancasdf (2016)

2.5.2 Sensor indutivo

De acordo com *Lucas Lino, técnico da Digel Elétrica Ltda*, sensor indutivo é um dispositivo criado para detectar materiais metálicos condutores de energia elétrica. O funcionamento dele dá-se pela incidência de um campo eletromagnético oscilante no espaço, assim que um metal ocupa esse espaço, o mesmo absorve uma parcela do campo que o torna mais fraco de acordo com a Figura 11. A queda do campo é percebida pelo circuito eletrônico do sensor transformando-o em sinal de saída, o qual de acordo com o tipo pode ser a atuação de um contato NA ou NF para corrente alternada ou contínua.

Figura 11 – Sensor indutivo em funcionamento



Fonte: Digel (2016)

Devido ao fato de oferecerem maiores vantagens em relação às chaves tipo fim de curso, os sensores indutivos têm substituído esses tipos de chaves tradicionais. A principal vantagem do sensor com relação às chaves, deve-se ao fato de não necessitar de contato físico para atuar, basta uma simples aproximação do objeto que é realizada a detecção. Com isso há maior durabilidade, alta velocidade de comutação e maior nível de confiabilidade comparado com as chaves fim de curso. Existem muitas outras aplicações para estes tipos de sensores como medir velocidade, detectar materiais de baixa resistência mecânica, etc.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Em qualquer produto a ser produzido há a necessidade de uma avaliação dos materiais a serem utilizados principalmente quando se trata de produtos de construção mecânica, por isso destacaremos um resumo de cada material que será usado para elaboração da plataforma simuladora de entorse em questão.

3.1 BARRA CHATA

De acordo com a empresa Aço Fácil – Comércio de Ferro e Aço, a barra chata (Figura 12) é um material muito utilizado em diversas áreas da engenharia civil, mecânica, em peças e máquinas industriais. É formada de aço de baixo teor de carbono e considerado um material muito versátil, pois tem muitas propriedades interessantes o que o capacita para atender necessidades de resistência na sua aplicação. Uma das suas principais características é sua alta resistência a fatores climáticos, pois tem alta durabilidade quando exposto ao sol e chuva, por isso é muito utilizado na fabricação de portões e grades que são produtos que geralmente estão posicionados a áreas externas. Outra característica da barra chata consiste no fato de se unir com muita facilidade a outros materiais possibilitando diversos procedimentos com o mesmo. Algumas especificações técnicas que relaciona espessura, largura e peso nominal para escolha da barra chata esta destacada na Tabela 1.

Figura 12 – Barra chata



Fonte: Galvao (2016)

Tabela 1 – Especificações técnicas da barra chata

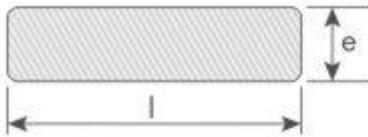


Tabela de Peso Nominal (kg/m)																				
Espessura (e)		Largura (l) pol e mm																		
pol	mm	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1.1/4"	1.1/2"	1.3/4"	2"	2.1/2"	3"	3.1/2"	4"	4.1/4"	4.1/2"	4.3/4"	6"	
	2,50		0,25	0,31																
1/8"	3,18	0,24	0,32	0,40	0,48	0,55	0,63	0,79	0,95		1,27									
3/16"	4,76		0,47	0,79	0,71	0,83	0,95	1,19	1,42		1,90									
1/4"	6,35		0,63		0,95	1,11	1,27	1,58	1,90		2,53	3,17	3,80		5,06					7,60
5/16"	7,94						1,58	1,98	2,37		3,17	3,96	4,75		6,33					9,50
3/8"	9,53						1,90	2,38	2,85		3,80	4,75	5,70		7,60				9,03	11,40
1/2"	12,70					2,22	2,53	3,17	3,80		5,06	6,33	7,60		10,13					15,19
5/8"	15,88								4,75	5,54	6,33	7,92	9,50	11,08	12,67		11,40			19,00
11/16"	17,46													12,18						
3/4"	19,05										7,60	9,50	11,40	13,29	15,19					22,79
1"	25,40										10,13		15,19	17,73	20,26					30,39
1.1/4"	31,75														25,32					
1.1/2"	38,10														30,39	32,29				
2"	50,80														30,39					

Fonte:Gerdau (2016)

3.2 CANTONEIRAS

Segundo a Gerdau, as cantoneiras (Figura 13) são produzidas através das normas ASTM A36 e ASTM A572, suas medidas são em polegadas e em milímetros e são comercializadas com tamanhos de 6 e 12 metros. Devido a qualidade do aço que é feita e pela vasta quantidade de bitolas, tem alta flexibilidade nos dimensionamentos de estruturas, suas aplicações se estendem a diversas áreas como estruturas metálicas, autopeças, contêineres, entre outras.

Figura 13 – Cantoneiras de Aço baixo carbono



Fonte: Braganfer (2016)

3.3 BARRA DE AÇO QUADRADO

De acordo com a Aço Sinter – Comércio de Ferros e Metais Ltda., o tubo de aço quadrado (Figura 14) é produzido a partir de uma chapa de aço, ele tem uma superfície lisa e quadrada. Sua aplicação é muito vasta e se encontra em muitos segmentos os quais podemos destacar: fabricação de grades, esquadrias, estruturas metálicas, fabricação de produtos agrícola, fabricação de peças, indústria mecânica, obras residenciais e comerciais.

Sua fabricação recorre a um método conhecido como processo de micro fusão por alta frequência adquirindo boa resistência e excelente performance para utilização.

Figura 14 – Tubo de aço quadrado

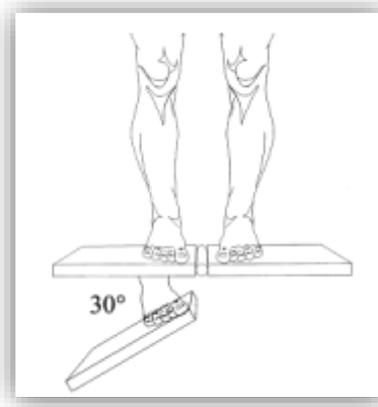


Fonte: Zelina (2016)

3.4 EXPLANAÇÃO DO PROBLEMA

O problema consiste na construção de uma plataforma que realize o movimento em dois eixos, ou seja, possibilite a rotação do movimento conjugado, com ângulos pré-definidos, para que se obtenha uma situação mais próxima da realidade durante os experimentos. Ela também deve simular a fadiga dos músculos fibulares. A Figura 15 ilustra o movimento rotacional do pé durante o experimento.

Figura 15 - Ilustração do movimento de entorse



Fonte: Adaptado Benesch et al. (2000)

As principais características são apontadas a seguir e levam em conta a necessidade e considerações da proposta.

Características da plataforma:

1. Simula a fadiga dos músculos fibulares através do esforço mecânico utilizando uma célula de carga que transforma tensão em um sinal elétrico medido no amplificador de sinais.
2. Queda da plataforma que gira em torno de dois eixos cartesianos (plano x; y), possibilitando o movimento combinado de rotação, o ângulo máximo permitido é de 30° para segurança do voluntário.

3.5 PROPOSTA DE PROJETO

Depois de uma análise do problema descrito acima, desenvolveu-se o seguinte projeto, descrito passo a passo a seguir:

Plataforma que contém um conjunto de estruturas metálicas sobrepostas formando o equipamento simulador de entorse de tornozelo, apresentando cada peça desse projeto.

- Dois pisos superiores circulares fixados em cima de duas estruturas superiores respectivamente, onde estará apoiado o pé do voluntário que será preso com uma cinta.
- Duas cintas, uma para cada piso superior, uma das extremidades de cada cinta estará fixada ao transdutor (célula de carga), e a outra direto no piso envolvendo o pé do indivíduo para que o mesmo exerça o esforço de indução à fadiga do musculo fibular que pode ser observado através de um amplificador de sinal.
- Duas estruturas superiores circulares que realizam o giro durante a queda, onde se encontram fixadas as células de carga e os sensores indutivos.
- Duas estruturas intermediárias que conectam a estrutura superior através de um parafuso onde ocorrerá o giro durante a simulação de entorse, a mesma também se encontra soldada em uma estrutura inferior formando um ângulo de 45° em relação à direção do pé do voluntário.
- Uma estrutura inferior metálica, onde é fixada a estrutura intermediária.
- Dois anteparos metálicos fixados na base do piso inferior que tem como função servir de receptor de sinal por parte do sensor indutivo no início e fim do movimento.
- Dois sensores indutivos localizados na estrutura superior, para medição do tempo de queda através do reconhecimento de corpo do anteparo metálico.
- Duas células de carga fixadas na estrutura superior, perpendiculares a direção de cada pé.
- Pino de cisalhamento localizado dentro de uma cápsula, onde na parte posterior encontra-se uma mola que faz o recuo do pino logo após o acionamento mecânico.
- Sistema de acionamento mecânico fixado na estrutura inferior e conectado, através de um cabo com capa, ao pino cisalhante para liberação do movimento.
- Piso inferior consiste em uma base metálica e antiderrapante localizada sobre a estrutura inferior.

3.6 DESENHOS 2D e PERSPECTIVA

Os desenhos do projeto elaborado, conhecido como plataforma simuladora de entorse, foram apresentados detalhadamente a seguir, explicitando cada parte do mesmo e sua função, com intuito do pleno entendimento por parte do leitor, tendo em vista que apesar do problema ser de fácil compreensão, o mesmo não acontece com a solução, pois trata-se de um produto não convencional.

A apresentação do produto deu-se primeiramente do conjunto completo (plataforma simuladora), e sucessivamente cada componente e dispositivos foi apresentado através do seu desenho e dissertação sobre como são feitos e suas funções. Antes, porém foi feita uma legenda com o nome de cada elemento na ordem que serão apresentados.

- Conjunto completo (Plataforma Simuladora de entorse).
- Estrutura superior.
- Estrutura intermediaria.
- Estrutura inferior.
- Piso superior e cinta.
- Piso inferior.
- Célula de carga.
- Sensor indutivo.
- Anteparo metálico.
- Pino de cisalhamento.
 - Suporte do pino.
 - Mola de recuo.
 - Cabo de tração
 - Capa do cabo
- Parafuso e porca trava.
- Sistema mecânico de acionamento.

3.6.1 Plataforma simuladora de entorse

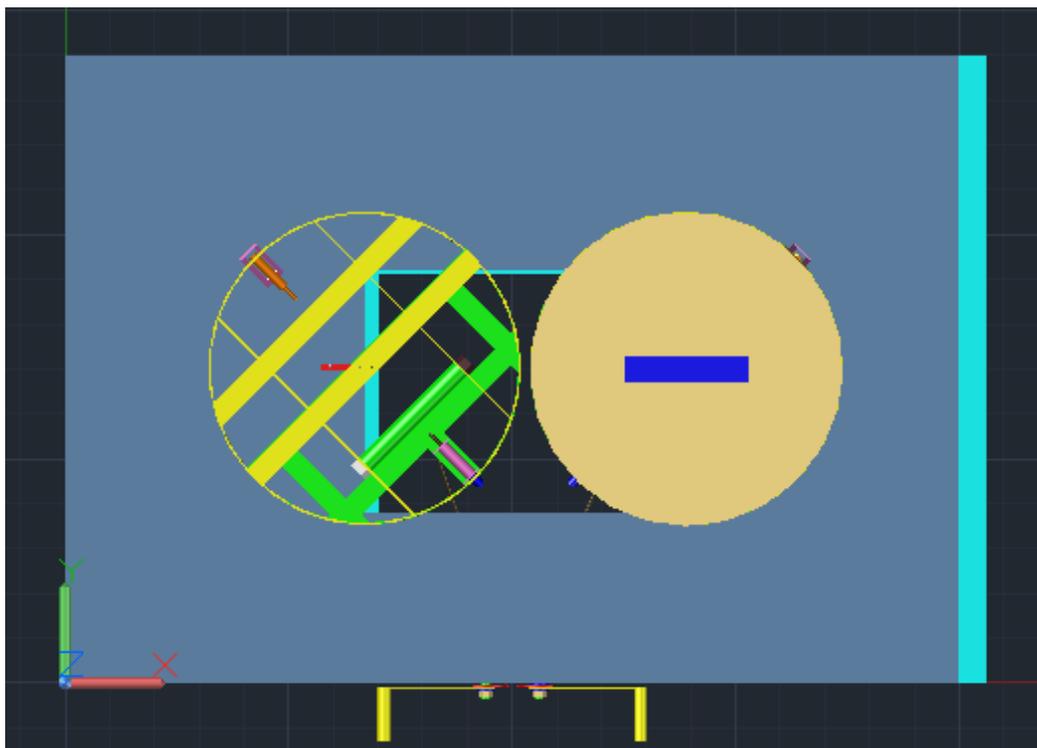
A plataforma simuladora de entorse apresentada nas Figuras 16, 17 e 18 mostram três conjuntos principais e seus dispositivos que os complementam, ou seja, são dois conjuntos gêmeos que estão fixados em um conjunto base. A função desta plataforma consiste na indução

da fadiga e entorse do tornozelo, através do movimento conjugado, isto é, girar em torno de dois eixos durante a queda de um ângulo máximo de 30° com a horizontal.

Para melhor visualização e entendimento de todos componentes, um dos conjuntos está sem o piso superior e cinta.

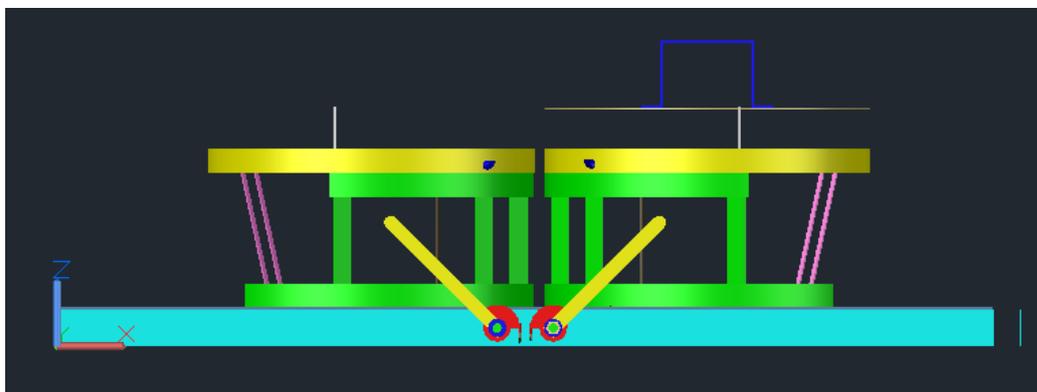
Ao se referir aos conjuntos gêmeos usa-se o singular, pois trata-se dos mesmos elementos.

Figura 16 – Vista superior da Plataforma simuladora de entorse



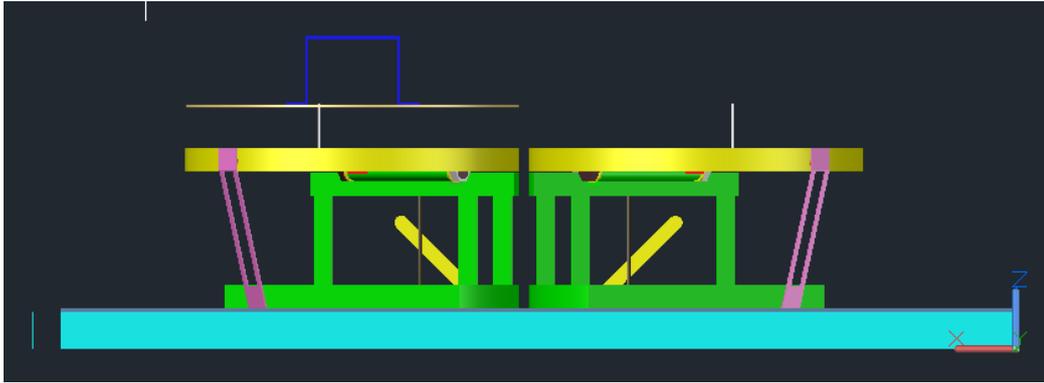
Fonte: Produção do próprio autor

Figura 17 – Vista frontal da Plataforma simuladora de entorse



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 18 – Vista posterior da Plataforma simuladora de entorse

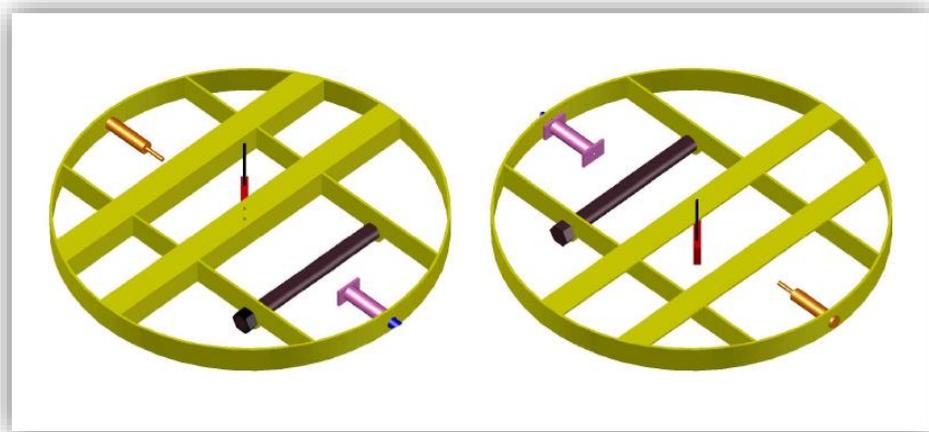


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.2 Estrutura superior

A Figura 19 consiste em uma estrutura superior metálica de diâmetro 350 mm, feita de barra chata e cantoneiras, ambas de 1 polegada (25,4 mm) de largura e espessura de 2,5 mm. Esta estrutura está conectada através de um parafuso com porca trava e o pino de cisalhamento antes da queda, na estrutura intermediária. É ela que realizará o movimento de queda ao redor do eixo central (parafuso), também sobre a mesma estará fixado o piso superior e cinta, assim como os dois dispositivos mais importantes da plataforma que são: célula de carga e sensor indutivo.

Figura 19 – Estrutura superior metálica

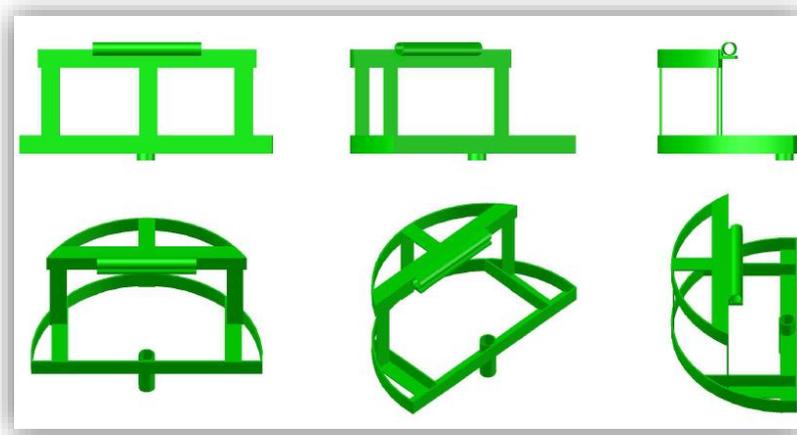


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.3 Estrutura intermediária

A Figura 20 consiste em uma estrutura intermediária feita de barra chata, cantoneiras de 1 polegada (25,4 mm) de largura e 2,5 mm de espessura, um tubo metálico circular central inferior de 1 polegada de diâmetro e um outro tubo metálico de 19 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento. Esta estrutura funciona como base para estrutura superior o qual se conecta através do parafuso central e também está conectada à estrutura inferior.

Figura 20 - Várias perspectivas para a estrutura intermediária metálica

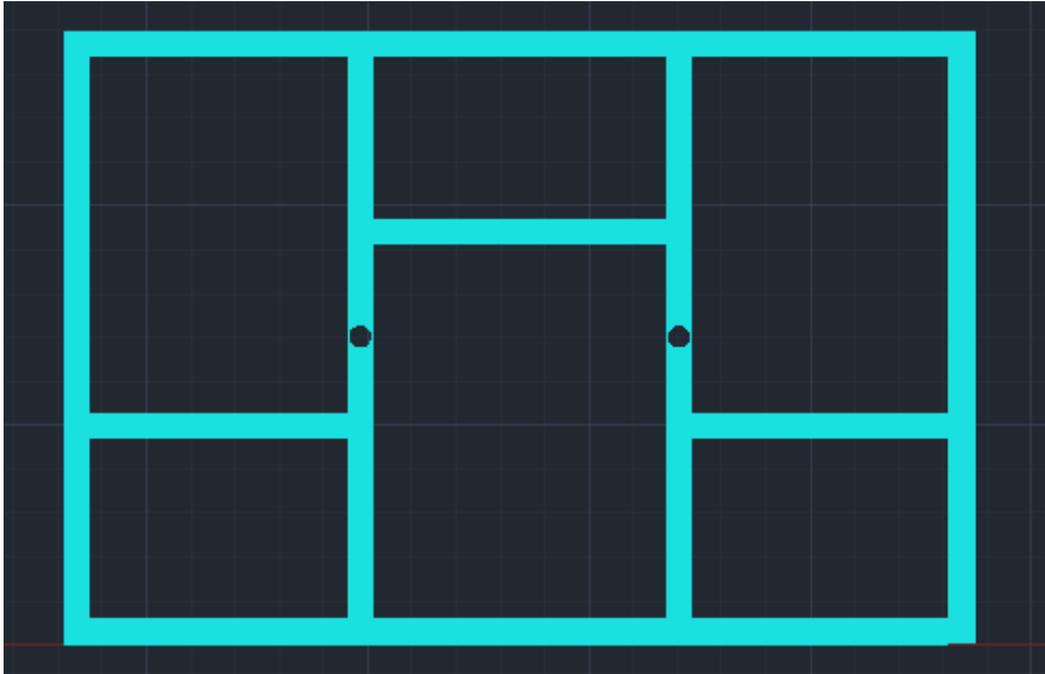


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.4 Estrutura inferior

A Figura 21 consiste na estrutura inferior feita de tubo metálico retangular (40x30 mm), de 700 mm de largura e 1000 mm comprimento. Nesta estrutura estão fixadas as duas estruturas intermediárias e o acionador mecânico.

Figura 21 – Vista superior da estrutura inferior metálica

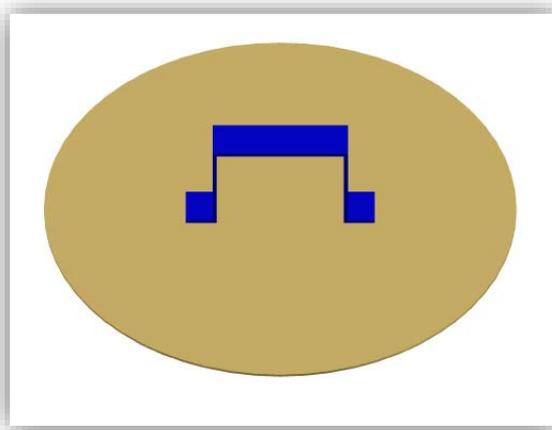


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.5 Piso superior e cinta

A Figura 22, consiste no conjunto cinta liga e piso superior com formato circular, antiderrapante de diâmetro 350 mm e espessura de 2,5 mm, onde apoia-se o pé do indivíduo, que é preso através da cinta no qual uma das extremidades conecta-se a célula de carga e a outra é fixada no piso envolvendo o pé do indivíduo para indução da fadiga muscular.

Figura 22 – Piso superior antiderrapante e cinta de fixação

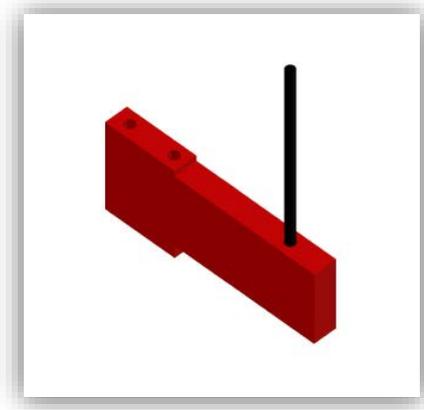


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.6 Celula de carga

A Figura 23, consiste no dispositivo responsável por medir a força de indução da fadiga, e que está conectada ao centro da estrutura superior onde seu cabo tensionador é ligado à cinta. Este está na tampa superior que, quando solicitado através do esforço do pé do sujeito, envia um sinal para um amplificador. É também conhecido como transdutor.

Figura 23 – Célula de carga

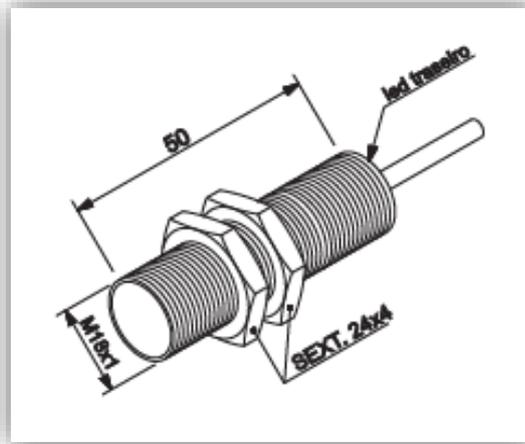


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.7 Sensor indutivo

O sensor indutivo neste projeto, da Figura 24, tem como objetivo medir a velocidade de queda da plataforma durante o movimento de queda livre. Ele está fixado na estrutura superior pois terá que percorrer o movimento de queda junto com a mesma. A medição é feita através da detecção do material metálico do anteparo, que está em frente ao sensor preso ao piso, onde no início da queda há a presença do material metálico, já durante o movimento, o espaço está vazio não ocorrendo assim a detecção devido ao rasgo no anteparo metálico e finalmente a detecção no fim do movimento recebe um novo sinal permitindo assim o registro de tempo de queda da plataforma simuladora de entorse.

Figura 24 - Sensor indutivo

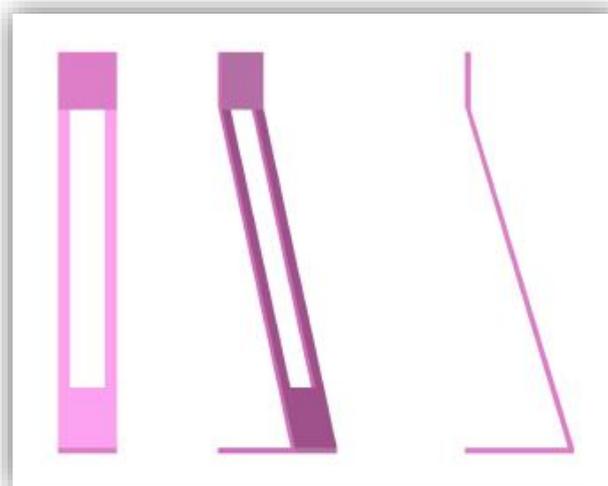


Fonte: Sense Sensors & Instruments

3.6.8 Anteparo metálico

A Figura 25, consiste em um dispositivo metálico feito de barra chata de 31,75 mm de espessura de 2,5 mm que tem um rasgo de 22 mm de largura que está fixado ao piso inferior na direção do sensor indutivo que reconhece a presença do mesmo no início e fim de curso.

Figura 25 - Vista em três perspectivas do anteparo metálico

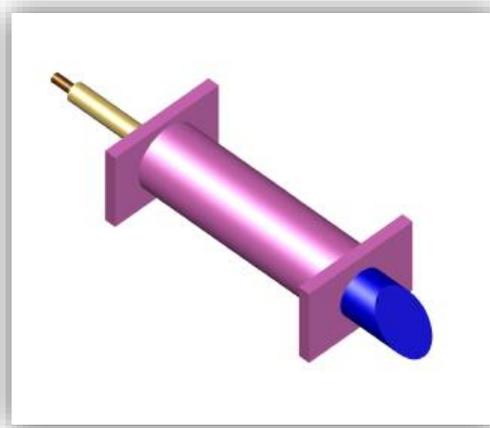


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.9 Pino de cisalhamento

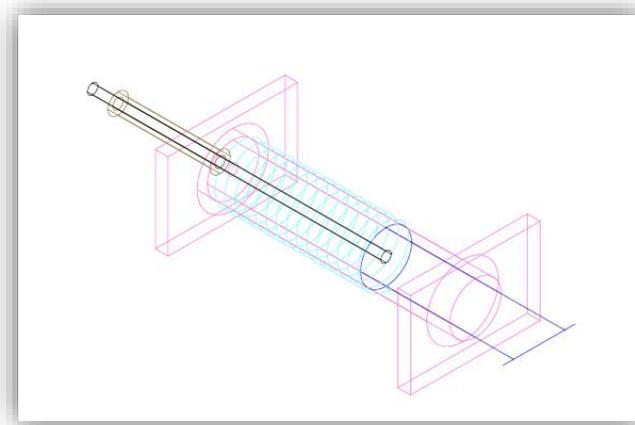
As Figuras 26 e 27 referem-se a um dispositivo onde ocorre o esforço cisalhante da base superior onde encontra-se o corpo em análise. Pino que é interligado a um sistema de acionamento mecânico através de um tubo metálico que o envolve e uma mola na parte traseira do tubo que tem a função de retornar o pino para posição inicial quando o mesmo for acionado através de um cabo de aço que está ligado a um sistema de alavanca que exerce uma força no mesmo quando solicitado.

Figura 26 – Vista em perspectiva do pino de cisalhamento



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 27 – Wireframe do pino de cisalhamento

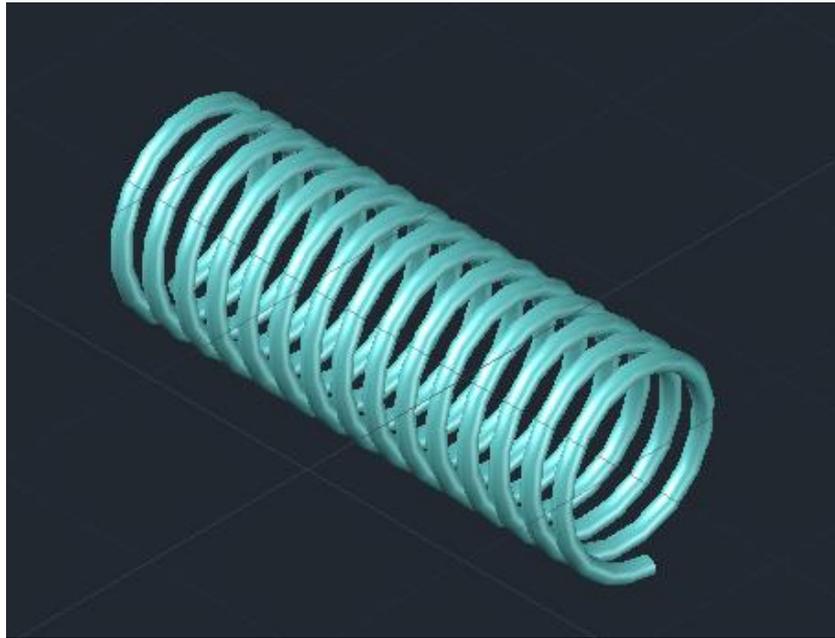


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.9.1 Mola de recuo

A mola de recuo da Figura 28, tem comprimento de 30mm e está dentro do suporte do pino de cisalhamento no qual sua função é retornar o mesmo após liberação da estrutura superior.

Figura 28 – Mola de recuo



Fonte: Produção do próprio autor

3.6.10 Parafuso e porca trava

A Figura 29 refere-se ao parafuso que liga a base superior a intermediária que suporta o esforço cortante causado pelo peso do corpo em análise e que sofre esmagamento.

A porca trava é usada para prender o parafuso que interligas as bases superiores e intermediárias, o intuito do uso da porca trava é prevenir contra possível desrosqueamento que pode se ter devido ao movimento.

Figura 29 - Vista em perspectiva do parafuso e porca trava



Fonte: Produção do próprio autor

3.6.11 Sistema mecânico de acionamento

A Figura 30 e 31, representam o sistema de acionamento mecânico do pino que interliga as estruturas superior e intermediária. Esse sistema é composto de: Alavancas, cabos e tubos condutores de cabos e suporte fixado a estrutura intermediária, que contém um pino que sofre cisalhamento, a seguir temos a descrição funcional de cada item desse sistema.

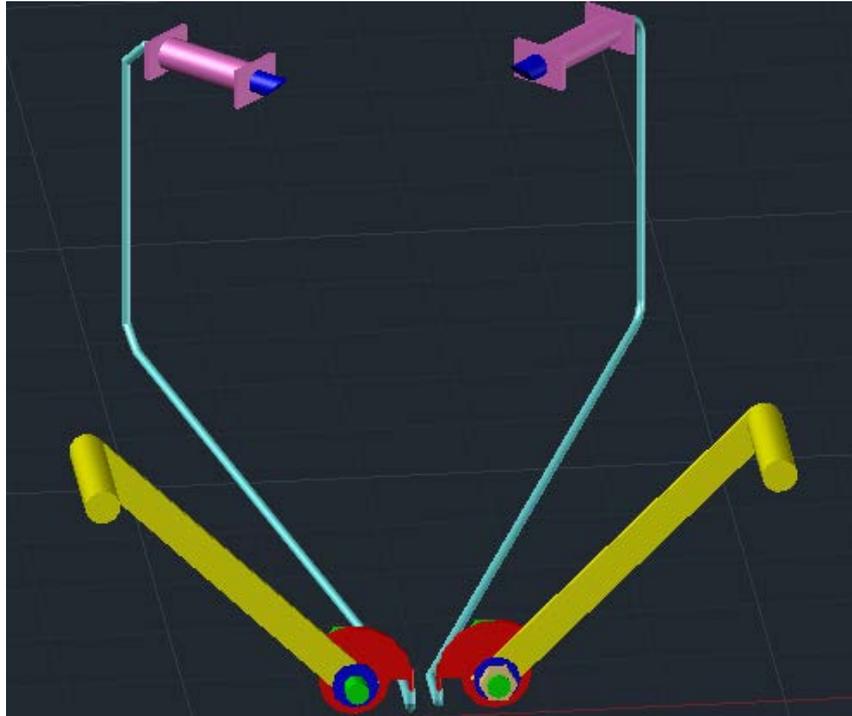
Alavancas: estão fixadas na estrutura inferior, que por sua vez são presos os cabos que se interligam ao pino de cisalhamento (Figura 27).

Cabos: Estão diretamente conectados as alavancas e ao pino de cisalhamento, é responsável pelo recuo do pino quando acionado pela alavanca.

Tubos Condutores: Estão envoltos aos cabos, fixados na estrutura inferior e encostado no suporte do pino de cisalhamento e tem como função permitir o deslizamento dos cabos para o tensionamento dos mesmos.

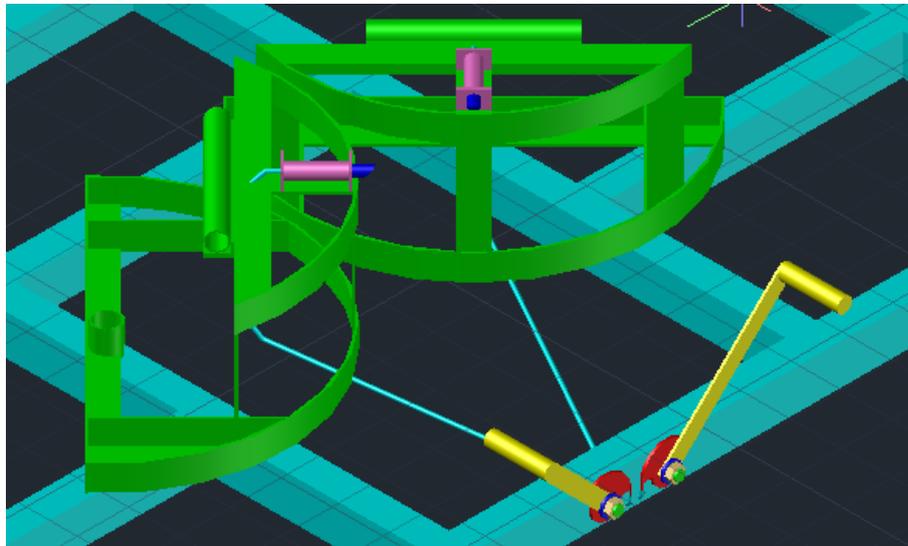
O Objetivo do sistema é liberar repentinamente a estrutura superior que simula a entorse do tornozelo, que quando acionado com movimento de giro da alavanca estica o cabo recuando o pino e permitindo o movimento de queda livre do conjunto base superior e tampa.

Figura 30 - Sistema mecânico de acionamento



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 31 – Vista superior do sistema mecânico de acionamento

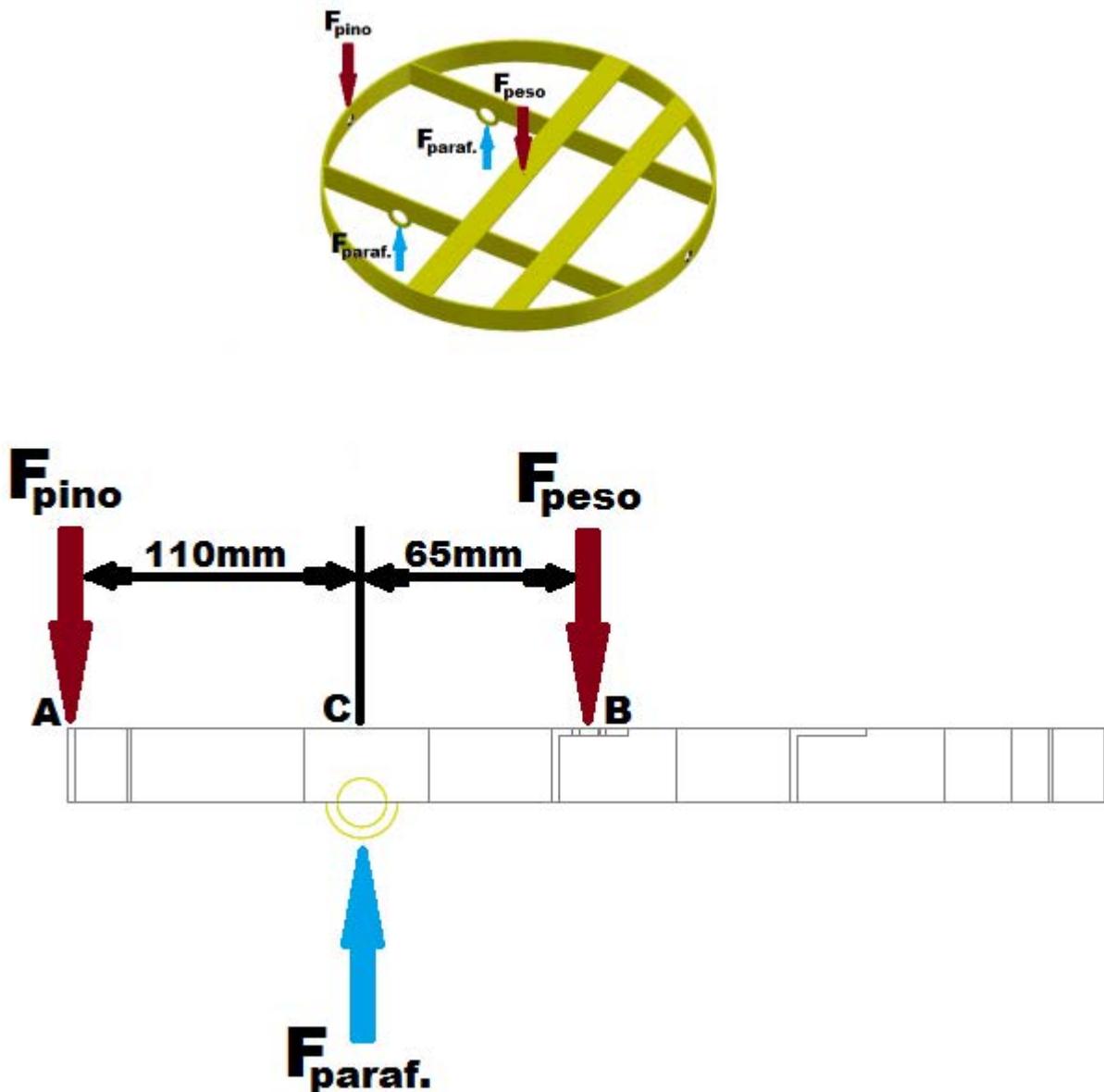


Fonte: Produção do próprio autor

3.7 CÁLCULOS DO PROJETO

3.7.1 Reações nas extremidades do parafuso central

Figura 32 – Vista em perspectiva e lateral da estrutura superior cotada



Fonte: Produção do próprio autor

Aplicando as equações de estado, obtém-se:

Considerou-se a massa do indivíduo de $m = 100\text{kg}$

$$F_{pino} = 579,68\text{N}$$

$$F_{paraf.} = 780,34\text{N}$$

3.7.2 Cálculo do diâmetro do parafuso central

a) Tensão de escoamento por cisalhamento.

Tabela 2 – Propriedades Mecânicas do Aço-carbono

Propriedades mecânicas dos aços nas condições: laminados a quente: normalizado e recozido.									
Qualidade		Condições	Temperatura de austentização (°C)	Resist. à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Redução de área (%)	Dureza (HB)	Impacto (J)
AFP	AISI (1)								
1015	1015	Laminado	-	420	315	39,0	61	126	111
		Normalizado	925	425	325	37,0	70	121	115
		Recozido	870	385	285	37,0	70	111	115
1020	1020	Laminado	-	450	330	36,0	59	143	87
		Normalizado	870	440	345	35,8	68	131	118
		Recozido	870	395	295	36,5	66	111	123
1030	1030	Laminado	-	550	345	32,0	57	179	75
		Normalizado	925	525	345	32,0	61	149	94
		Recozido	845	460	345	31,2	58	126	69
1040	1040	Laminado	-	620	415	25,0	50	201	49
		Normalizado	900	595	370	28,0	55	170	65
		Recozido	790	520	350	30,2	57	149	45
1050	1050	Laminado	-	525	415	20,0	40	229	31
		Normalizado	900	750	430	20,0	39	217	27
		Recozido	790	635	365	23,7	40	187	18
1060	1060	Laminado	-	815	485	17,0	34	241	18
		Normalizado	900	775	420	18,0	37	229	14
		Recozido	790	625	370	22,5	38	179	11
1084	1080 1084	Laminado	-	965	585	12,0	17	293	7
		Normalizado	900	1015	525	11,0	21	293	7
		Recozido	790	615	380	24,7	45	174	7

Fonte: <http://lgsteel.com.br/propriedades-mecanicas-do-carbono.htm> (2016)

- Considerando a tensão de escoamento e de ruptura para o aço 1020 laminado a quente da tabela 2, temos

$$\sigma_e = 330 \text{ MPa}$$

$$\tau_e = 0,6 \cdot \sigma_e$$

$$\tau_e = 0,6 \cdot 330 = 198 \text{ MPa}$$

b) Tensão Admissível

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_e}{4} \rightarrow \tau_{adm} = \frac{198}{4} \rightarrow \tau_{adm} = 49,5 \text{ MPa}$$

c) Área da seção Transversal do parafuso.

- Adotando coeficiente de segurança CS = 4

$$\tau_{adm} = \frac{F}{4 \cdot A}$$

$$A = \frac{F}{4 \cdot \tau_{adm}}$$

$$A = \frac{780,34 \text{ N}}{4 \cdot 49,5 \text{ MPa}} \rightarrow A = 3,94 \text{ mm}^2$$

d) Diâmetro.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,94}{\pi}}$$

Logo, $d = 2,24 \text{ mm}$

e) Cálculo da tensão de Esmagamento

$$\sigma_{esm} = \frac{F_{esm}}{e \cdot d} \rightarrow \sigma_{esm} = \frac{780,84}{2,5 \cdot 2,24} \rightarrow \sigma_{esm} = 139,3 \text{ MPa}$$

3.6.3 Cálculo da reação no pino e seu diâmetro

- Força de atrito no pino durante acionamento mecânico

$F_{atrito} = F_{pino} \times \mu$ (coeficiente de atrito para aço 1020 – Tabela 3).

$$F_{atrito} = 579,68 \times 0,74$$

$$F_{atrito} = 428,96 \text{ N}$$

Tabela 3 - Comparação de coeficiente de atrito

Material	Material	Estático s/ lubrificação	Deslizamento s/ lubrificação	Estático c/ lubrificação	Deslizamento c/ lubrificação
Aço	Bronze de alumínio	0,45	-	-	-
Aço	Grafite	0,1	-	0,1	-
Aço	Latão	0,35	-	0,19	-
Aço	Liga de cobre e chumbo	0,22	-	0,16	0,15
Aço médio C	Aço médio C	0,74	0,57	-	-
Aço médio C	Chumbo	0,95	0,95	0,5	0,3
Aço médio C	Ferro fundido	-	0,23	0,18	0,13

Fonte <http://www.sulcromo.com.br/>(2016)

3.8 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DO PROJETO

A plataforma de modo geral foi satisfatória pois conseguiu-se atingir os dois objetivos centrais que são a indução a fadiga e entorse de tornozelo.

O material da plataforma escolhido foi o metal, ou seja, aço com baixo teor de carbono que, apesar de não ser leve, atende as outras condições exigidas devido sua alta resistência, durabilidade e soldabilidade. Naturalmente que com o amadurecimento do projeto, o material poderá ser permutado por outro mais leve, desde que atenda às necessidades mecânicas do projeto.

A maneira como a plataforma foi projetada, visando atender à exigência do movimento conjugado, ou seja, rotação em dois eixos e ângulo máximo de 30°, foi colocar a estrutura intermediária com um ângulo de 45° em relação a direção do pé do indivíduo, esse sistema possibilitou a queda no sentido frontal e lateral.

O sistema de acionamento do pino cisalhante que libera a plataforma, foi inicialmente pensado em fazê-lo eletricamente, tal possibilidade foi descartada devido a força de atrito causado pelo peso do indivíduo de 580N ser extremamente maior do que as que os dispositivos eletrônicos pudessem oferecer. Logo elaborou-se um sistema mecânico, que será acionado pela pessoa que realiza o experimento.

Depois de analisar várias possibilidades optou-se em colocar o sensor indutivo na extremidade da estrutura superior para que acompanhe o movimento de queda, como o sensor reconhece a presença de metal colocou na mesma direção um anteparo metálico que o intercepta eletricamente no começo e fim do curso, devido ao rasgo que tem ao longo do corpo que impede o reconhecimento por parte do sensor.

A escolha do sensor indutivo, em primeiro lugar baseou-se na distância sensorial real, no caso 5mm, tendo em vista a importância na precisão da leitura para registro durante a queda, através do reconhecimento do metal, e posteriormente ao diâmetro do sensor, no qual foi escolhido de 18mm, pois esse foi o melhor valor para respectiva distancia sensorial e que não excedesse a largura de 25,4mm que o mesmo foi fixado.

Para a estrutura inferior, feita de tubo quadrado de aço com 30x40mm, utilizou a menor quantidade de material possível levando em conta a estabilidade estrutural. Procurou-se posicionar os tubos na transversal, ou seja, que amaram a base em posições que a estrutura intermediaria pudesse apoiar-se, obtendo assim maior segurança e rigidez durante o experimento.

A posição da célula de carga foi escolhida baseada na necessidade de estar posicionada perpendicularmente ao pé do indivíduo. Tal decisão foi tomada devido as especificações dimensionais e design da célula de carga escolhida.

O rasgo no piso inferior deve-se pela facilidade de manutenção e também manuseio dos cabos dos sensores indutivo e do sistema de acionamento mecânico.

4 CONCLUSÃO

Após os cálculos e as observações feitas na discussão, concluímos que a plataforma foi modelada de acordo com o esperado, para cálculos dos diâmetros do parafuso central e do pino de travamento da estrutura superior com a intermediária, os valores foram superdimensionados baseado na massa do indivíduo que foi admitida, visando a segurança do equipamento.

O sucesso do projeto foi consumado com a construção do equipamento, que após alguns testes e análises modificou-se alguns parâmetros do projeto do mesmo.

Alguns cálculos de dimensionamento do projeto não foram realizados devido a não interferirem na segurança do equipamento e terem pouca relevância fazendo, pois, medidas de peças dos mercados atenderem a necessidade.

De modo geral foi uma experiência diferente esse trabalho pois possibilitou aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso e ainda compreender um pouco mais de outra área de conhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇO FÁCIL comércio de ferro e aço. **Ferro Chato**. Disponível em: <<http://www.acofacil.com.br/ferro-chato>>. Acesso em: 07 set. 2016.

AÇO SINTER comércio de aço e ferro. **Tubo de ferro quadrado**. Disponível em: <<http://www.acosinter.com.br/tubo-ferro-quadrado>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

BALANÇAS DF Ltda. **Células de cargas**. Disponível em: <<http://balancasdf.com.br/desc-conteudo.php?tipo=produtos&id=21>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica dos materiais**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 799 p.

BENESCH, S. et al. Reliability of peroneal reaction time measurements. **Clinical Biomechanics**. Oxford, v. 15, n. 1, p. 21-28, jan. 2000.

CESAR, Bruna M.; BRAZÃO, Júlia C.; RODRIGUES, Karina A. R. **Efeito da fadiga sobre o tempo de reação dos músculos fibulares curto e longo**. 2010. 63 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Fisioterapia) – Faculdade de Fisioterapia, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.

DIGEL Elétrica Ltda. **O que é um sensor indutivo?** Disponível em: <<http://www.digel.com.br/artigos/9/o-que-e-um-sensor-indutivo>>. Acesso em: 25 out. 2016.

GERDAU S.A. **Barra Chata Gerdau**. Disponível em: <<https://www.gerdau.com.br/pt/produtos/barra-chata-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em: 07 set. 2016.

GIANACCINI, Thiago. **O Surgimento do AutoCAD e Sua Importância para a Indústria**. CADGURU Cursos Guru, 2012. Disponível em: <<http://cad.cursosguru.com.br/novidades/como-surgiu-autocad-qual-sua-importancia/>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

LG STEEL, Indústria e comércio de arruelas LTDA. **Propriedades mecânicas dos aços**. Disponível em: <<http://lgsteel.com.br/propriedades-mecanicas-do-carbono.htm>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

OMEGA Engineering Brasil. **Tipos de Célula de Carga**. Disponível em: <<http://br.omega.com/artigos-tecnicos/tipos-de-celula-de-carga.html>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

RODRIGUES, Karina A. R. **A influência da fadiga nos músculos eversores durante a entorse lateral do tornozelo**. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Projetos) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/134248>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

SM computação gráfica. **Um pouco da história do C.A.T.I.A. V5**. Disponível em: <<http://www.treinamentoprofissional.com/origem.html>>. Acesso em: 22 maio 2016.

SULCROMO. **Comparação de coeficiente de atrito.** Disponível em: <<http://www.sulcromo.com.br/>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

VAES, P.; DUQUET, W.; GHELUWE, B.V. Peroneal reaction times and eversion motor response in healthy and unstable ankles. **Journal of Athletic Training, Dallas.** v. 37, n. 4, p. 475-480, dec. 2002.

WILSON, E.L.; MADIGAN, M.L. Effects of fatigue and gender on peroneal reflexes elicited by sudden ankle inversion. **Journal of Electromyography and Kinesiology.** New York, v. 17, n. 2, p. 160-166, apr. 2006.

ZELINA portas de aço. **Tubos e Barras.** Disponível em: <<http://zelinaportasdeaco.com.br/acessorios.php>>. Acesso em: 03 nov. 2016.