

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL**

Teofanes Foresti

**PROTÓTIPO ERGONÔMICO DE DISPOSITIVO ARTICULADO PARA
USO EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: MÉTODO E EXPERIMENTO**

Passo Fundo

2015

Teofanes Foresti

**PROTÓTIPO ERGONÔMICO DE DISPOSITIVO ARTICULADO PARA
USO EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: MÉTODO E EXPERIMENTO**

Orientador: Prof. Dr. Charles Leonardo Israel

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2015

Teofanes Foresti

PROTÓTIPO ERGONÔMICO DE DISPOSITIVO ARTICULADO PARA USO EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: MÉTODO E EXPERIMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 30 de abril de 2015.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Charles Leonardo Israel
Orientador

Professora Doutora Angela Beatrice Dewes Moura
Universidade Feevale

Professora Doutora Cláudia Trindade Oliveira
Universidade Feevale

Professora Doutora Lia Mara Wibelinger
Universidade de Passo Fundo

AGRADECIMENTOS

Ao final desta etapa tenho muito que agradecer a todos que estiveram ao meu lado e participaram direta ou indiretamente desta conquista.

Agradeço primeiramente a Deus, por me possibilitar chegar até aqui.

Agradeço a minha família pelo apoio constante e pelo incentivo de sempre continuar adiante.

Ao meu filho Maiko Junior, que mesmo bebê se portou muito bem a minha ausência dedicada a esta etapa da minha vida.

A universidade de Passo Fundo pela oportunidade e incentivo.

Agradeço ao ensinamento e aprendizado de todos os Professores do corpo docente do Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação, ao qual tive o prazer de compartilhar o conhecimento.

Em especial, agradeço ao meu Orientador Prof. Dr Charles Leonardo Israel pela motivação e apoio no decorrer deste projeto.

Agradeço de forma especial também ao Doutor Cesar Q. Martins do Hospital Ortopédico de Passo Fundo, que despendeu de seu tempo para colaborar de forma ativa na realização e finalização deste projeto.

Agradeço também aos amigos e colegas do Núcleo de Mecânica que incansavelmente colaboraram e se colocaram sempre á disposição para me auxiliar na confecção deste protótipo, obrigada por todo esforço despendido ao longo desta jornada.

Por fim, agradeço a todas as pessoas envolvidas neste projeto e que colaboraram para que eu pudesse chegar até aqui. A todos vocês, minha eterna gratidão.

“O que não te desafia, não te faz crescer”.
Autor desconhecido.

RESUMO

A presente dissertação mostra o estudo e desenvolvimento de um dispositivo articulado para uso em pacientes submetidos ao exame de Ressonância Magnética (RM) de membro inferior, neste caso em específico do joelho. O aparelho tem por função servir de base de apoio e através de estímulos mecânicos oriundos do dispositivo o médico poderá observar se os ligamentos do joelho estão rotos. O dispositivo funciona através de pistões que tem por função movimentar a perna que estará apoiada sob o aparelho, esta movimentação se dá no sentido flexão-extensão e rotação. O acionamento será manual, ou seja, é possível ao médico dosar a intensidade da movimentação, espera-se assim contribuir para a melhoria no diagnóstico de lesões do joelho através do uso deste dispositivo concomitantemente a visualização das imagens geradas durante o exame de Ressonância Magnética. O desenvolvimento deste projeto baseia-se na revisão bibliográfica das áreas contempladas neste estudo e posteriormente nas ferramentas projetuais oriundas de metodologias como Palh e Beitz (2005), Baxter (1998) e Back (2008), que contribuíram para o planejamento e confecção do dispositivo. Ao final do estudo foi concebido um protótipo conceitual que através da realização de um experimento possibilitara uma análise em relação a usabilidade do dispositivo e dos resultados quanto aos benefícios e melhorias trazidos durante a avaliação das rupturas ligamentares do joelho. Espera-se assim contribuir para o avanço no diagnóstico destas lesões, possibilitando aos pacientes submetidos ao exame de RM uma melhor medição clínica e possível resguardo de um processo cirúrgico.

Palavras-chave: Dispositivo; joelho; ressonância magnética.

ABSTRACT

The present dissertation shows the study and development of an articulated device for use in patients undergoing magnetic resonance imaging examination (RM) of lower limb, in this specific case the knee. The unit has the function to serve as a base of support and through mechanical stimuli from the device doctor can observe if the ligaments of the knee are broken. The device works through Pistons whose function move the leg that will be supported under the appliance, this does drive towards flexion-extension and rotation. The drive will be manual, i.e. it is possible to see a doctor dose the intensity of movement, is expected to contribute to the improvement in the diagnosis of knee injuries through the use of this device at the same time the visualization of images generated during the MRI examination. The development of this project is based on the literature review of the areas covered in this study and later in the project tools from methodologies such as Palh and Beitz Professor (2005), Baxter (1998) and Back (2008), which contributed to the planning and construction of the device. At the end of the study will be designed a conceptual prototype by conducting an experiment will permit an analysis regarding the usability of the device and results about the benefits and improvements brought during the evaluation of knee ligament ruptures. Expected to contribute to the advancement in the diagnosis of these injuries, allowing the patients submitted to MRI a better clinical measurement and possible surgical process guard.

Keywords: Device; knee; magnetic resonance imaging.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Visão anterior do joelho.....	17
Figura 2 – Ligamentos e meniscos do joelho direito	18
Figura 3 – Aparência cruciforme dos dois ligamentos cruzados e dos meniscos.....	19
Figura 4 – Ligamentos do joelho (anterior e posterior)	21
Figura 5 – Ressonância nuclear magnética evidenciando lesão do LCP	23
Figura 6 – Principais variáveis a serem utilizadas em medidas de antropometria.....	25
Figura 7 – Funil de decisões	28
Figura 8 – Atividades de projeto no desenvolvimento de produto	29
Figura 9– Modelo de desenvolvimento de novos produtos de Pahl e Beitz.....	30
Figura 10 – Modelo de desenvolvimento de produto Back	32
Figura 11 – Unidade estrutural de repetição química	34
Figura 12 – Escopo do processo de desenvolvimento do dispositivo... ..	38
Figura 13 – Produtos similares existentes	40
Figura 14 – Geração de alternativas	42
Figura 15 – Geração de alternativas com uso de softwares	43
Figura 16 – Alternativa escolhida	43
Figura 17 – Função de deslocamento e ajuste antropométrico	45
Figura 18 – Torre furo normal	46
Figura 19 – Torre furo oblongo	46
Figura 20 – Suporte coxa	47
Figura 21 – Suporte panturrilha	47
Figura 22 – Suporte extensível calcanhar	48
Figura 23 – Base pé	49
Figura 24 – Vistas do aparelho	49
Figura 25 – Descrição dos materiais	50
Figura 26 – Vista explodida	51
Figura 27 – Base do dispositivo	51
Figura 28 – Base e torres de sustentação	52
Figura 29 – Projeto detalhe suporte da panturrilha	53

Figura 30 – Suporte da panturrilha usinado	54
Figura 31 – Projeto detalhe suporte da coxa	54
Figura 32 – Suporte da coxa usinado	55
Figura 33 – Suporte da coxa rompido	55
Figura 34 – Adequação de projeto	56
Figura 35 – Adequação suporte da coxa	56
Figura 36 – Adequação suporte da panturrilha	57
Figura 37 – Suporte estendido para o pé	58
Figura 38 – Usinagem do suporte do pé e extensível	58
Figura 39 – Projeto de usinagem dos pistões	59
Figura 40 – Sistema de fixação dos pistões	59
Figura 41 – Descolamento da peça	60
Figura 42 – Fita em torno do dispositivo	61
Figura 43 – Deformações apresentadas	62
Figura 44 – Montagem do protótipo em etapas	63
Figura 45 – Montagem suporte para articulação	63
Figura 46 – Protótipo final montado	64
Figura 47 – Descolamento da peça	65
Figura 48 – Movimento da articulação do dispositivo	65
Figura 49 – Imagem de RM sem articulação do dispositivo.....	68
Figura 50 – Imagem de RM com articulação do dispositivo	69
Figura 51 – Corte no plano sagital ligamento cruzado anterior (LCA).....	70
Figura 52 – Corte no plano sagital corno posterior do menisco medial	71
Figura 53 – Corte no plano sagital LCA.....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Efeito das ramificações sobre as propriedades do polietileno.....	35
Quadro 2 – Necessidade identificada.....	39
Quadro 3 – Requisitos do dispositivo.....	41
Quadro 4 – Matriz de seleção.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
DARM	Diretrizes Assistenciais em Ressonância Magnética
HDPE	Polietileno de Alta Densidade
IEA	Internacional Ergonomics Association
LCA	Ligamento Cruzado Anterior
LCP	Ligamento Cruzado Posterior
LDPE	Polietileno de Baixa Densidade
LLDPE	Polietileno Linear de Baixa Densidade
NEDIP	Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
PE	Polietileno
RM	Ressonância Magnética
RMN	Ressonância Magnética Nuclear

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Estrutura da Pesquisa	14
1.2 Hipótese da Pesquisa	14
1.3 Justificativa	15
1.4 Delimitação da Pesquisa	15
1.5 Objetivos.....	16
1.5.1 Objetivo Geral	16
1.5.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Anatomia do Joelho.....	17
2.2.1 Lesões do (LCA e LCP) do Joelho	20
2.2 Exame de Ressonância Magnética do Joelho	22
2.3 Ergonomia de Produto	24
2.4 Método Projetual.....	26
2.4.1 Conceituações do Método Baxter	28
2.4.2 Conceituações do Método Pahl e Beitz	30
2.4.3 Conceituações Método Back	32
2.5 Polietileno	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1 Projeto de Desenvolvimento do Produto	37
3.1.1 Planejamento do Produto	39
3.1.2 Projeto Conceitual	41
3.1.3 Projeto de Configuração	44
3.1.4 Projeto Detalhado	45
3.1.5 Projeto para Fabricação.....	52
3.2 Confecção do Protótipo	62

4 EXPERIMENTO.....	67
4.1 Finalidade da Experimentação.....	67
4.2 Método Experimental (Hipóteses e Técnica).....	67
4.3 Resultados.....	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
5.1 Cruzamento dos Resultados Obtidos com os Objetivos propostos	74
6 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXO A –Orçamento de Produção Comercial do Protótipo	

1 INTRODUÇÃO

Equipamentos, aparelhos, ferramentas, dispositivos e ou instrumentos auxiliares podem caracterizar-se por todos os objetos encontrados na interface física do homem com o meio ambiente construído, especialmente naqueles casos em que ocorre a ação de uso direto em uma determinada atividade. Entende-se por dispositivo médico, um aparelho que tem como função auxiliar na avaliação e mensuração dos procedimentos adotados no atendimento aos pacientes, contribuindo para a melhoria dos diagnósticos gerados (PASCHOARELLI, 2011).

A origem deste estudo foi sustentada pela demanda percebida no mercado de aparelhos direcionados a área médica, mais especificadamente aqueles cuja necessidade de reflexão sobre a qualidade e segurança de produtos e dispositivos médicos incide no que se refere usabilidade em relação aos seus usuários e ou pacientes.

Perante as vastas possibilidades de intervenção que a engenharia, a ergonomia e o design através da multidisciplinariedade proporcionam no desenvolvimento de um produto, o presente estudo tem como meta o desenvolvimento de um dispositivo articulado que auxilie na avaliação dos resultados clínicos de pacientes com lesões ligamentares de joelho submetidos ao exame de Ressonância Magnética.

As lesões do joelho, mais especificadamente a ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA) é uma das lesões ligamentares mais comum e ao mesmo tempo mais severa que incide sob o joelho. O rompimento desta importante estrutura ligamentar do joelho provoca uma instabilidade funcional podendo resultar em distúrbios articulares degenerativos (MARTINS, 2012).

O benefício da concepção do dispositivo está na mensuração de melhoria de diagnóstico obtido através de imagens que são geradas durante a RM e que possibilitam ao médico uma análise mais precisa destas lesões, identificando assim avanços nos processos pré e pós operatórios de joelho.

O protótipo conceitual será executado posterior o seu planejamento e desenvolvimento metodológico, o procedimento para confecção do protótipo será realizado através do processo da usinagem do material e posteriormente finalizado com técnicas e ferramentas manuais, para este estudo será produzido apenas um exemplar do dispositivo durante o período semestral através do Núcleo de Engenharia Mecânica desta instituição.

Por fim, pretende-se através da realização de um experimento in loco, constatar os benefícios e melhorias trazidos pela utilização deste dispositivo aos seus usuários e pacientes, quando estes estiverem submetidos ao exame de Ressonância Magnética.

1.1 Estrutura da Pesquisa

O presente estudo está organizado em capítulos e dispostos da seguinte maneira: No primeiro capítulo, logo na introdução são expostas as temáticas da presente pesquisa, informações pertinentes e relevantes que situem o leitor sobre o assunto que será abordado. Também neste mesmo capítulo encontra-se os objetivos e metas a serem alcançadas.

Já no segundo capítulo está descrita a fundamentação teórica realizada, tendo como base a revisão bibliográfica conceitual e interdisciplinar das áreas complementares abordadas.

Por sua vez, no terceiro capítulo apresentam-se os métodos e materiais utilizados para o desenvolvimento do projeto do dispositivo a ser criado e também para a fabricação do protótipo.

No quarto capítulo estão descritas as hipóteses e métodos utilizados para validar o experimento, bem como os resultados em relação a utilização do dispositivo.

Posteriormente no quinto capítulo serão apresentadas as considerações finais em relação aos resultados da experimentação realizada, e o cruzamento entre os dados obtidos com a proposta inicial e os resultados esperados, com a finalidade de contrapor os resultados finais atingidos.

Finalizando no sexto capítulo teremos a conclusão bem como as demais considerações, findando assim o presente estudo, também estão contempladas as referências e anexos utilizados durante o desenvolvimento deste estudo.

1.2 Hipótese da Pesquisa

A hipótese surgiu da compreensão da problemática apresentada de desenvolver um aparelho articulado que fosse utilizado em pacientes com lesões ou rupturas ligamentares quando estes estivessem sendo submetidos ao exame de Ressonância Magnética de joelho,

podendo então contribuir para a melhoria de diagnóstico visualizadas durante a justapor do aparelho.

1.3 Justificativa

A importância e a relevância deste estudo justifica-se pela necessidade percebida de desenvolver um dispositivo universal e seguro, que traga ao médico um diagnóstico mais preciso durante a realização do exame de ressonância magnética, possibilitando identificar a gravidade das lesões acometidas no joelho. As principais vantagens e benefícios oriundos deste estudo estão relacionados á melhorias nos diagnósticos dos pacientes, e também na possibilidade futura de desenvolver novos dispositivos para outras aplicações dentro da área medica que auxiliem e contribuam para as funções no qual forem designados seus estudos e projetos.

1.4 Delimitação da Pesquisa

A pesquisa limita-se ao desenvolvimento conceitual de um aparelho articulado para uso mediante exame de ressonância magnética de membro inferior, neste caso em específico para joelhos.

Considerou-se ainda como limitante em relação ao produto a ser desenvolvido que sua função seja apenas de auxiliar, ou seja, servirá como uma base de apoio para sustentação do membro inferior do paciente e não terá autonomia mecânica para interpor estímulos diretos aos pacientes, ficando a cargo do profissional no momento em que precisar utilizar ou acionar estes estímulos através de pistões acoplados ao dispositivo.

A presente pesquisa também se limitou ao estudo mais aprofundado e detalhado de materiais e de seu processo de fabricação industrial, uma vez que não se considerou a possibilidade de fabricação em série, por se tratar inicialmente de um projeto de protótipo conceitual.

O estudo realizado trata de um tipo de pesquisa de desenvolvimento, que utiliza de maneira sistemática os conhecimentos existentes com o objetivo de desenvolver um novo

equipamento ou aperfeiçoar um já existente, e se caracteriza como uma pesquisa que visa construir, melhorar ou validar um instrumento de medida ou então elaborar uma intervenção na melhoria de diagnósticos gerados.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

Projetar e desenvolver um dispositivo articulado que auxilie na melhoria do diagnóstico de lesões de joelho em pacientes submetidos simultaneamente ao exame de RM.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um equipamento conceitual que permita sua utilização de forma experimental para uma validação futura.
- Verificar os efeitos de uso do dispositivo mediante a realização do exame de RM de membro inferior (joelho).
- Avaliar possibilidades de possíveis aplicações deste mecanismo em diferentes segmentos da área médica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta os principais conceitos teóricos abordados na elaboração deste estudo e inseridos dentro dos temas que o compõe, com a finalidade de nivelar as informações das diferentes áreas correlatas que fazem parte desta revisão bibliográfica e que são pertinentes para o desenvolvimento do projeto.

2.1 Anatomia do Joelho

Conforme descrito por Martins (2012) o joelho é uma articulação completa e complexa, exposta constantemente à ação do peso corporal. Desta forma a relação entre a sua anatomia óssea, atividade muscular e ligamentar contribuem para que o joelho permaneça estável. O joelho possui dois graus de movimento, a flexão-extensão e a rotação com o joelho a 90°, e embora esta articulação possa parecer um conjunto simples, é um dos mais complexos sistemas articulares do corpo humano, como se pode observar na Figura 1. Além disso, o joelho é a articulação mais provável a ser lesada do que qualquer outra articulação do nosso corpo.

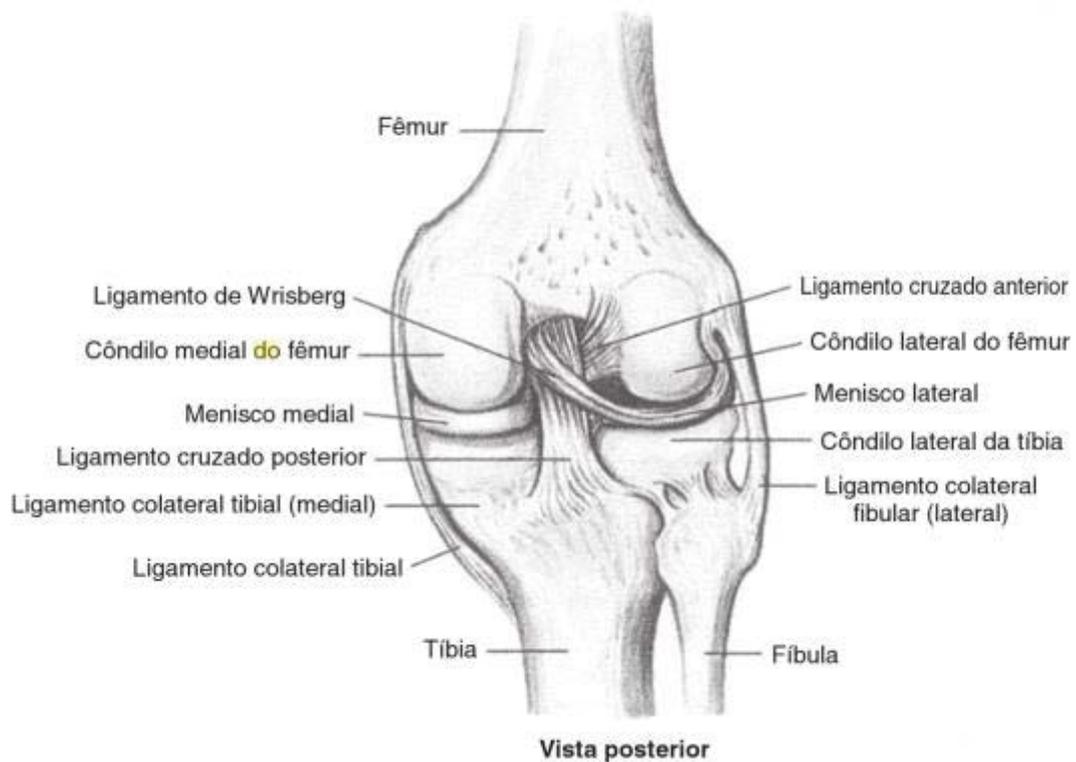
Figura 1 – Visão anterior do joelho.



Fonte: Martins, 2012.

De acordo com Paiva (2004) o joelho é composto pelos ossos fêmur, tíbia e patela, por ligamentos (colaterais medial e lateral e cruzados) e pelos meniscos que tem como função absorção de impacto do nosso corpo. Lesões ligamentares, nos meniscos e na cartilagem articular são felizmente consequências comuns das grandes demandas funcionais impostas sobre o joelho, conforme se pode visualizar na Figura 2. O conhecimento da anatomia do joelho é um pré requisito importante e essencial para a compreensão da maior parte dos mecanismos de lesão para sua efetiva intervenção terapêutica ou cirúrgica.

Figura 2 – Ligamentos e meniscos do joelho direito.



Fonte: Paiva, 2004.

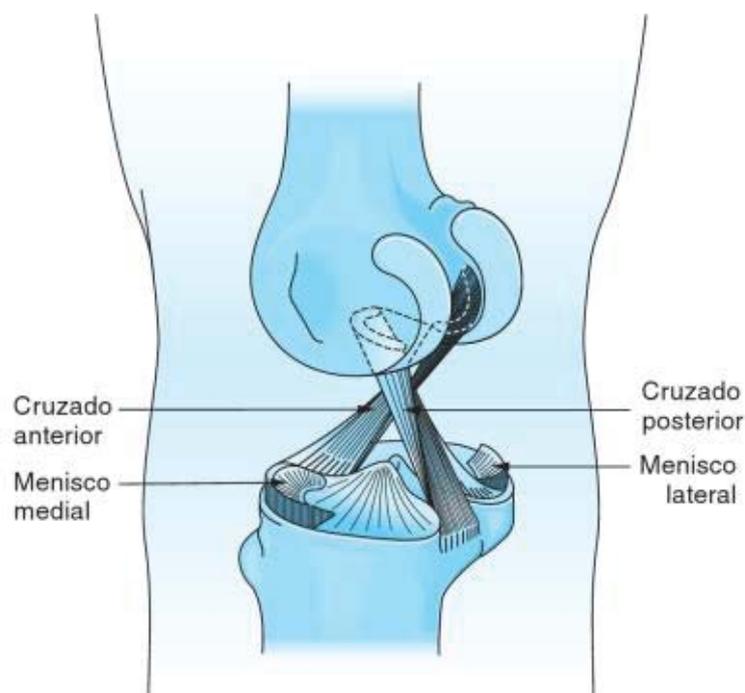
Além da tíbia, o fêmur articula-se com a patela, que é um osso sesamóide de formato triangular que tem a função de proteger a articulação, oferecer um suporte biomecânico mais congruente para a articulação e aumentar a força de extensão do joelho (PAIVA, 2004). Da mesma forma que o fêmur, a tíbia também é um osso longo, e em sua epífise proximal estão os côndilos.

Fatarelli; e Almeida, (2003) escreveram sobre esta estrutura: Os côndilos repousam no platô tibial, uma superfície medial e lateral separada por uma saliência óssea denominada eminência intercondilar que serve como local de inserção para ligamentos centraliza a articulação e estabiliza os ossos durante a sustentação do peso corporal.

A estabilidade das articulações do joelho é proporcionada não apenas por um estreito ajuste ósseo, mas através de forças e restrições físicas proporcionadas pelos músculos, ligamentos, capsula, meniscos e o próprio peso corporal (DUTTON, 2010).

Paiva (2004) descreve que nessa mesma região são encontrados, sobre a face superior da tíbia o menisco medial e o menisco lateral (Figura 3), estruturas fibrocartilaginosas em formato de “C”, que têm como função lubrificar, amortecer e distribuir o peso exercido sobre a articulação. O menisco ainda possui função de estabilizar a articulação durante o movimento (MARTINS, 2012)

Figura 3 – Aparência cruciforme dos dois ligamentos cruzados e dos meniscos.



Fonte: Dutton, 2010.

Apõem Camanho e Viegas (2010) que de igual forma, nossos joelhos apresentam os ligamentos colaterais; o ligamento colateral medial (corre na parte de dentro) e o ligamento colateral lateral (corre na parte de fora do joelho), que são ligamentos em forma de uma corda

grossa. Estes ligamentos também são de maior importância para manutenção da firmeza desta articulação. O ligamento colateral medial segura nosso joelho nos casos em que o forçamos para dentro (movimento mais comum), já o colateral lateral quando forçamos o joelho no movimento inverso, para fora. Em resumo, os ossos do joelho fornecem apoio devido a sua estrutura rígida e os músculos por sua vez movem as articulações e cabe aos ligamentos estabilizarem a articulação (CAMANHO E VIEGAS, 2010).

Dentre os componentes que promovem a estabilização do joelho, o ligamento cruzado anterior (LCA) é a principal estrutura de controle do deslocamento anterior do joelho sem carga, permitindo a estabilidade no plano sagital. Ainda, o LCA impede o fêmur de deslocar-se posteriormente sobre a tíbia, ou o deslocamento anterior da tíbia sobre o fêmur. (MARTINS, 2012).

Dentre esta e outras razões que segundo Donald (2012) as rupturas de meniscos consistem na lesão mais comum do joelho, ocorrendo de forma frequente tanto em atletas de alto nível como na população em geral. Em geral, as rupturas miniscaís estão associadas a uma rotação axial forçada dos côndilos femorais sobre um joelho em descarga de peso.

2.1.1 Lesões do (LCA e LCP) do Joelho

A terminologia cruzada que significa em “forma de cruz”, descreve a relação dos ligamentos cruzados anterior e posterior à medida que cruzam no interior da incisura do fêmur (DONALD, 2012).

Conforme descrição de Andrews (2000) o LCA é um dos ligamentos intracapsulares e extra sinoviais do joelho, fixa-se medialmente na área intercondiliana anterior da tíbia e na face pósteromedial do côndilo femoral lateral, os ligamentos cruzados são nomeados de acordo com sua inserção na tíbia, ambos os ligamentos são grossos e fortes e reproduzem uma importante função que é de proporcionar estabilidade multiplanar ao joelho, em ação conjunta ambos os ligamentos cruzados anterior e posterior resistem a todos os movimentos extremos do joelho.

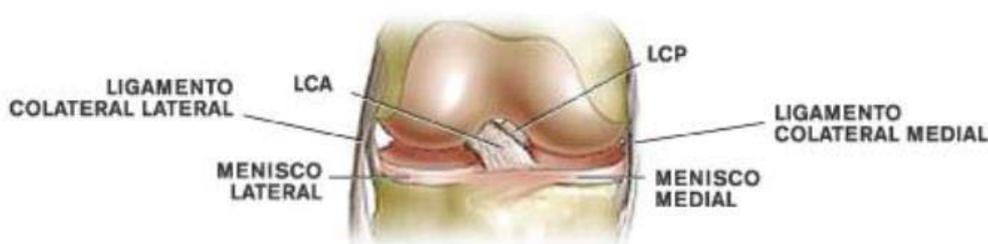
No entendimento de Caillet (2001) a lesão do ligamento cruzado anterior ocorre comumente pela lesão rotacional forçada externa em valgo. Uma lesão ao ligamento cruzado

anterior que ocorra por esse mecanismo está muitas vezes associada com lesões a outras estruturas mediais de suporte, tais como os ligamentos colaterais mediais.

A lesão ligamentar do joelho pode ocorrer por mecanismo direto, quando o joelho é atingido por um corpo externo ou indireto, quando forças originadas a distância da articulação são a eles transmitidas e dissipadas nos ligamentos. O mecanismo indireto é mais frequente deles e o trauma torcional. Nesse caso, o corpo gira para o lado oposto ao pé de apoio, determinando uma rotação externa do membro inferior acompanhado de discreto valgismo do joelho, esse mecanismo forçado sob carga do peso do corpo determina a lesão (HEBERT, 2003).

Donald (2012) descreve como sendo ligeiramente mais espesso do que o LCA, o ligamento cruzado posterior (LCP) insere-se a partir da área intercondilar posterior da tíbia até o lado lateral do côndilo femoral medial como se observa na Figura 4. Em virtude da baixa incidência de lesão de LCP, pesquisa em relação a sua função específica não tem sido sempre menor que as do LCA.

Figura 4– Ligamentos do joelho (anterior e posterior).



Fonte: Gutierrez,2011.

Duto (2010) diz que a maior parte das lesões do LCP estão associadas a traumas de alta energia como sofrer um acidente automobilístico, geralmente os relatos de lesões de LCP no esporte são raros, conforme descrito pelo autor. Quando ocorre uma lesão de LCP estas podem ser tratadas normalmente, sem a necessidade de intervenção cirúrgica na reconstrução através de um enxerto de tendão, porém a cirurgia é recomendada se uma parte importante da instabilidade posterior estiver evidente e se o LCP estiver lesionado juntamente com outros ligamentos.

Como ferramenta mais precisa para o diagnóstico destas possíveis lesões ou rupturas surge a Ressonância Magnética (RM) que é uma avaliação não invasiva e ao mesmo tempo precisa para o diagnóstico da lesão do LCA ou LCP, mesmo na presença de edema grave. É particularmente muito útil para a avaliação de uma patologia associada, como uma lesão da cartilagem articular, menisco ou de outros ligamentos (DRAKOS e VARREN, *apud* MICHEO, 2010).

2.2 Exame de Ressonância Magnética do Joelho

A Ressonância Magnética é uma modalidade de exame de diagnóstico muito utilizada em todo sistema musculoesquelético do corpo humano, principalmente pelo fato deste método não ser invasivo e conseqüentemente podendo minudenciar a anatomia física detalhadamente. Este método de diagnóstico também possui uma alta precisão e exatidão nas análises de patologias do joelho, tais como contusões, lesões ligamentares, cartilaginosas, tendínea e derrame articular (REIMBERG, 2011).

As imagens por Ressonância Magnética têm se firmado como importante ferramenta de diagnósticos e representa um dos métodos mais avançados na medicina desde a descoberta dos raios-X. Sua descoberta é atribuída a Felix Bloch e Edward Purcell, que descobriram o fenômeno da Ressonância Magnética em 1946. Em 1971, Raymond Damadian estimulou os cientistas a reconhecerem a RM como um grande método de detecção de patologias, que foi apresentada a sociedade em 1973 por Paul Lauterbur (REIMBERG et al., 2011, p. 1).

Essas possibilidades permitem ao médico uma visão com maior riqueza de detalhes. A ressonância magnética nuclear (RMN) utiliza por sua vez um campo magnético para reproduzir imagens das estruturas internas do corpo humano. Mediante o exame de RM o corpo encontra-se envolvido por um campo magnético muito potente e sujeito a pulsos de ondas de rádio. A máquina cria uma imagem com base na forma como os átomos de hidrogênio no seu corpo reagem com o campo magnético e com as ondas de rádio. Os sinais da RM podem proporcionar várias imagens de múltiplos “cortes” de um órgão ou de parte do corpo, o software utilizado no exame de RM combina estes cortes e reproduz uma imagem tridimensional (REIMBERG *et al.*, 2011).

Para um melhor diagnóstico a Ressonância Magnética reproduz uma imagem do joelho com cortes nos planos axiais, sagitais e coronais, como se observa na Figura 5.

Figura 5– Ressonância nuclear magnética evidenciando lesão do LCP.



Fonte: Ortopedia e Traumatologia, 2010.

Para a realização do exame de RM o paciente deve permanecer imóvel deitado sobre a mesa do dispositivo que possui uma esteira e a mesma se desloca para dentro do equipamento, neste momento então uma corrente magnética irá passar pelo corpo e enviar uma resposta ao computador que irá formar as imagens.

O mecanismo de geração de imagens na RM ocorre de forma simplificada da seguinte forma: a rotação dos núcleos de hidrogênio ocorre sob a excitação de uma fonte de rádio frequência, após colocar o paciente em um forte campo magnético. Após ser desligada a fonte e ocorrendo a magnetização inicial, há a liberação de um sinal elétrico, transmitido para um computador. Esse computador projetará as imagens digitais, com os tecidos apresentando, a depender do tipo de excitação, as imagens claras de alto sinal e as escuras de baixo sinal (JUNIOR, 2008, p.64).

Uma vez que a RM utiliza um campo magnético extremamente potente capaz de mover objetos metálicos, o paciente não poderá ser submetido ao exame se estiver portando qualquer implante metálico de acordo com as diretrizes assistências de segurança em RM (REIMBERG *et al.*, 2011).

Por estes e outros motivos, sobre tudo pela precisão na avaliação de lesões do joelho, os cirurgiões ortopédicos recorrem a este método de diagnostico pré-cirúrgico. A ressonância magnética, é de extrema utilidade na avaliação do sistema músculo esquelético, pois através dos detectores fornece imagens de estruturas que antes só poderiam ser acessadas por meio de técnicas invasivas. Seu uso se reserva para o diagnóstico de lesões suspeitas inacessíveis com outros métodos de imagem não invasivos. (HEBERT, 2003).

2.3 Ergonomia de Produto

A ergonomia se faz importante neste estudo pois é através de suas conceituações que se percebe a importância da sua contribuição para o desenvolvimento deste projeto, entre os seus enfoques destaca-se o estudo antropométrico dando ênfase a sua aplicabilidade no dimensionamento do aparelho e também ao fato do dispositivo ser universal, podendo ser utilizado em ambos os membros inferiores (direito e esquerdo).

A Associação Internacional de Ergonomia (IEA- The International Ergonomics Association), apresentado pela associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO 2007), adota a definição oficial de ergonomia nos seguintes termos: “ A ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e a aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema...”.

A ergonomia pode ser considerada uma ciência multidisciplinar, cujo objetivo principal é o foco no usuário, ou seja adequar produtos e processos as capacidades físicas, cognitivas, comportamentais e tecnológicas dos seres humanos.

Conforme descrito por Iida (2005) o mesmo entende-se a ergonomia aplicada a concepção do produto em estudo, como foco principal a utilização do produto e seu principal objetivo de assegurar que o produto seja fácil de utilizar, fácil de aprender, produtivo e seguro, e que corresponda às características do produto, às capacidades e limitações motoras, sensoriais e cognitivas do utilizador. Ainda conforme descreveu anteriormente Iida (1990) “do ponto de vista ergonômico, os produtos não são considerados como objetos em si, mas como meios para que o homem possa executar determinadas funções” (IIDA, 1990, p.1).

Iida (2005) menciona que não basta o produto estar bem projetado esteticamente se o mesmo não atender aos preceitos ergonômicos necessários para que venha a ser utilizado de forma adequada, segura e confortável pelo usuário. O autor acrescenta ainda:

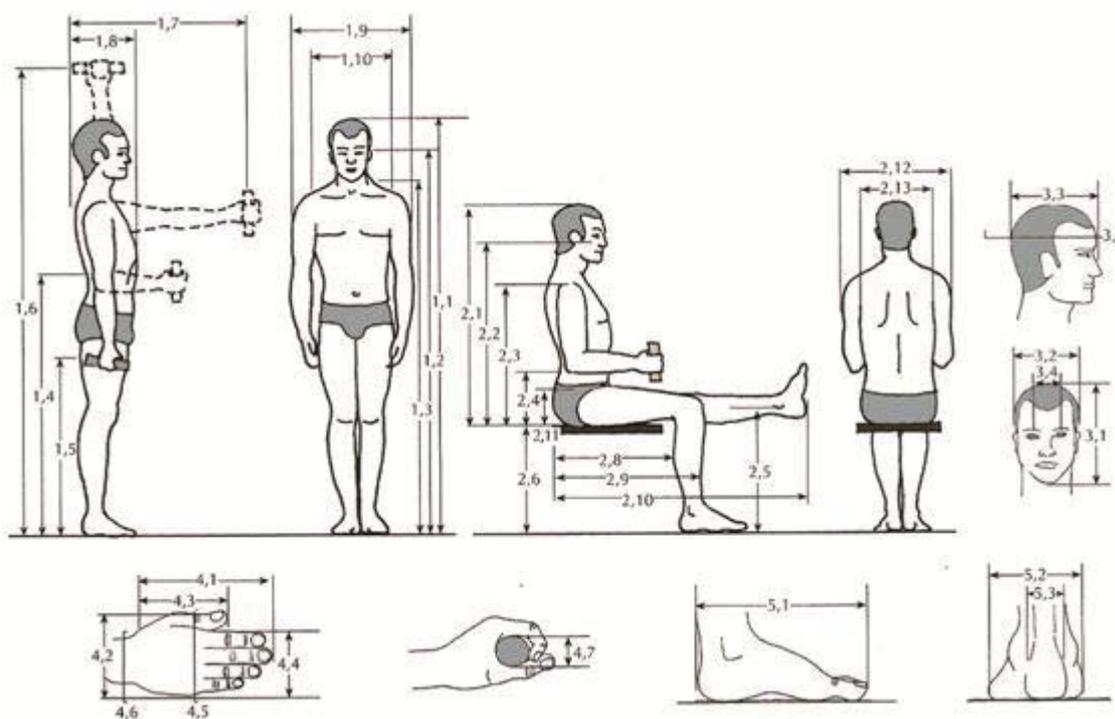
A qualidade ergonômica inclui além de adaptações antropométricas, facilidade no uso e manuseio do produto, bem como ofereça informações a respeito dos itens de segurança e conforto do mesmo. A qualidade estética acaba sendo responsável pela aparência agradável do produto, seja através do uso de formas, cores e texturas, bem como o desenho que facilite ou melhore o produto sob algum aspecto em relação ao seu uso. A qualidade técnica é a responsável pelo bom funcionamento do produto, para que se ocorrer o uso incorreto do produto ele não venha a causar nenhum problema físico ou a saúde do consumidor (IIDA, 1990, p. 01).

A antropometria pode ser descrita como a área da ergonomia que estuda as medidas das várias características do ser humano, ou seja, medidas lineares, pesos, diâmetros e circunferências, bem como aspectos do movimento do corpo humano aplicável a um correto dimensionamento de projetos de produtos (SOARES, 2008).

Conforme descreveu Mozota (2011) a antropometria auxilia em diferentes situações como exemplo: na conformação de pegas, botões e manípulos, na avaliação de posturas e distancias para atingir controles, nas especificações de espaços que separam o corpo do dispositivo à sua volta e principalmente na identificação de objetos ou elementos que obstruem o movimento. A melhoria dos aspectos funcionais, ergonômicos e visuais dos produtos visando o atendimento das necessidades do consumidor/usuário faz parte das funções presentes no projeto.

Conforme descrito ainda por Soares (2008) o dado fornecido pela antropometria no projeto de produtos máquina e equipamentos incluem os diferentes biótipos físicos, como se pode observar na Figura 6.

Figura 6– Principais variáveis a serem utilizadas em medidas de antropometria.



Fonte: Henry, 2005.

A partir destas definições, pode-se apontar que os dados antropométricos são de primária importância frente à diferenciação dos produtos resultantes de seu processo. Sendo assim é de fundamental importância um enfoque ergonômico e antropométrico, no desenvolvimento de um produto universal. Esta aplicação ergonômica acontece durante o processo de desenvolvimento, mais especificadamente durante o uso de uma metodologia projetual com o enfoque ergonômico para o desenvolvimento de produtos.

2.4 Método Projetual

Para o desenvolvimento deste estudo se fez necessária uma revisão geral e conceitual de alguns dos principais métodos projetuais empregados tanto na engenharia como no design industrial a fim de compreender e identificar de que forma cada autor trabalha as informações em suas metodologias, sob qual segmento a metodologia está direcionada.

No Brasil, as primeiras obras dirigidas ao método foram Fundamentos de uma Metodologia para Desenvolvimento de Produtos, de Gustavo Amarante Bomfim, Lia Mônica Rossi e Klaus-Dieter Nagel, e o livro Metodologia para Produtos Industriais, de Nelson Back, publicado em 1983. Além desses, em cada área, houve a influência de autores internacionais como Bernd Löbach, no Design, e Gerharhd Pahl e Wolfgang Beitz, na Engenharia Mecânica, e John Christopher Jones (BONFIM, 1995).

O estudo do método é decorrente da construção do pensamento humano, e se torna fator determinante para a ordenação da sua atividade. Com base em Coelho (1999) entende-se que o processo de criação ocorre utilizando-se métodos projetuais que variam conforme a composição das técnicas utilizadas, sendo que o estudo geral dessas composições e a tomada de decisão sobre o melhor caminho a seguir é o uso da metodologia projetual. “Para fugirmos da noção de método único, é melhor que falemos em procedimentos metodológicos ou em metodologia querendo nos referir a um conjunto de métodos. Isolar um método é transformá-lo em técnica” (COELHO, 1999, p.4).

Em resumo pode-se dizer que a utilização de um método projetual propicia a organização do processo de desenvolvimento de novos produtos, e auxilia na tomada de decisões trazendo resultados melhores, uma vez que o mesmo acontece de forma

interdisciplinar, aumentando a possibilidade de êxito na resolução do problema proposto (MORALES, 2006).

De acordo com o pensamento de Back *et al* (2008) o objetivo do processo metodológico é desenvolver produtos com eficiência e eficácia, e para isto é necessário saber o que fazer, para quem fazer, como fazer e com quem fazer, é com base nesta configuração de conhecimento, método e ferramenta que se denota a “metodologia de projeto ou metodologia de desenvolvimento de produto”.

De acordo com Romeiro (2010) atualmente existem diversas metodologias propostas em diferentes níveis de detalhamento e especificidade, com a finalidade de auxiliar o designer e o engenheiro durante o processo de projeção. A utilização de uma destas metodologias vai depender basicamente do tipo de trabalho desenvolvido, de seu nível de complexibilidade e de uma escolha pessoal do profissional pelo processo de trabalho mais adequado as suas necessidades.

Dando ênfase as diferentes metodologias Munari (1998) ressalva que “o método de projeto não é mais do que uma série de operações necessárias, dispostas em ordem lógica, ditada pela experiência cujo objetivo é atingir o melhor resultado com o menor esforço” (MUNARI 1998, p.10).

Por se tratar do desenvolvimento de um produto se faz necessário o uso de método projetual tornando sua aplicação indispensável, pois o método projetual confere melhor resultado em termos de desenvolvimento, ganho de tempo, e minimiza os riscos e erros durante as fases do desenvolvimento e concepção, além de nortear um caminho para o melhor desenvolvimento do projeto.

Por fim as metodologias abordadas e descritas apresentam diferentes formas sistemáticas de desenvolvimento e tarefas que orientam um caminho para o desenvolvimento do projeto. A metodologia adotada para o desenvolvimento e concepção deste dispositivo não segue um método em específico, porém trabalha com ferramentas projetuais oriundas de diferentes processos metodológicos de acordo com a sua função e aplicabilidade no projeto, independente da relação que o método tenha com sua área de aplicação. O que se procura ressaltar é que a ferramenta possibilite atingir o resultado satisfatório que é buscado em cada fase. O objetivo principal é que a partir desta revisão metodológica de alguns métodos mais difundidos e conhecidos tanto na indústria como na área acadêmica possam contribuir para o

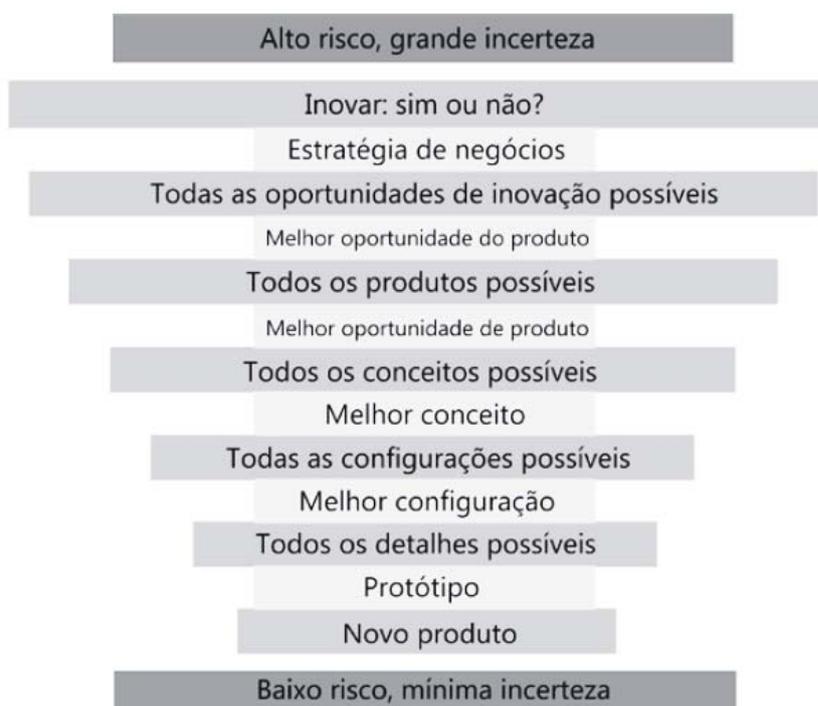
desenvolvimento deste produto de modo que se chegue ao resultado satisfatório esperado para este projeto.

2.4.1 Conceituações do Método Baxter

O método de Baxter (2011) procura focar o desenvolvimento de produtos voltado para o consumidor, sendo que o sucesso ou fracasso de um novo produto depende de vários elementos que são: facilidade de produção, aceitação dos distribuidores, simpatia dos consumidores, confiabilidade e durabilidade do produto. O mesmo utiliza uma espécie de funil para decisões, como se observa na Figura 7, no qual representa a tomada de decisões sequenciais durante o desenvolvimento de novos produtos, mostrando as alternativas disponíveis e as decisões tomadas ao longo do processo de desenvolvimento.

O objetivo da metodologia do projeto proposto pelo autor é definido de acordo com as restrições, os limites do problema identificado e a proposta do benefício básico para que resulte no desenvolvimento funcional e morfológico do produto.

Figura 7– Funil de Decisões.

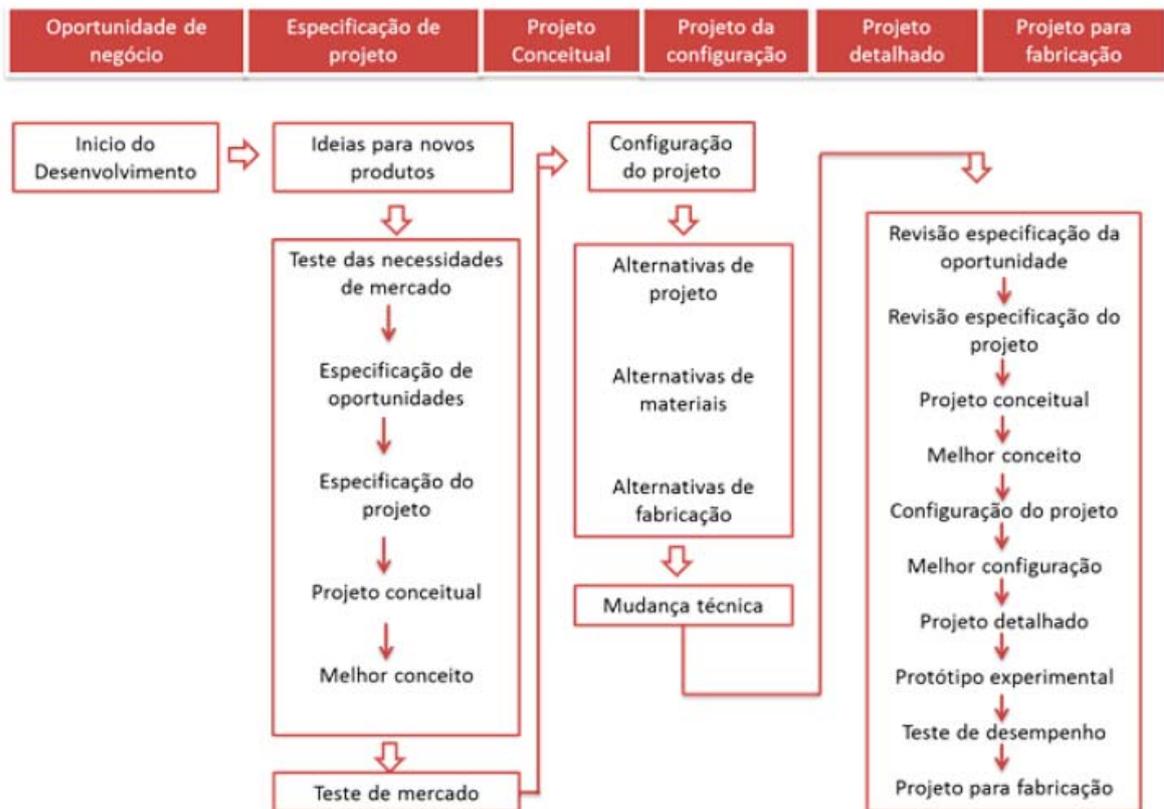


Fonte: Adaptado de Baxter, 2011.

Sobre as atividades de projeto Baxter (2011) destaca a sua complexibilidade e apresenta um esquema de processo dividido em seis etapas que teriam início na identificação da oportunidade, porém a ênfase maior está nas fases que compreendem o início de desenvolvimento do projeto conceitual, passando pela configuração do projeto, posteriormente pelo projeto detalhado e por fim com foco na fabricação do produto através da seleção do melhor projeto. Finalizando ainda seriam realizados os testes de experimentação através do protótipo desenvolvido.

O método de projeto é prescritivo e cíclico como se observa na Figura 8, recomendam-se procedimentos sequenciais permitindo retornos para melhorar ajustes e conceitos necessários a configuração do projeto, o que minimiza a chance de erro no final da concepção.

Figura 8– Atividades de projeto no desenvolvimento de produto.



Fonte: Adaptado de Baxter, 1998.

Para Baxter (2011) as atividades de projeto não seguem uma linha reta, mas, pelo contrário, elas são dadas por retornos e avanços. A apresentação esquemática é apenas uma forma didática de explicar o início e o fim do processo.

2.4.2 Conceituações Método Palh e Beitz

Os autores Pahl e Beitz (2005) definem o desenvolvimento e projeto de um produto como um processo de planejamento que se desdobra em quatro etapas de trabalho principais conforme se observa na Figura 9.

Figura 9– Modelo de desenvolvimento de novos produtos de Palh e Beitz.



Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz, 2005.

De acordo com esse modelo, o desenvolvimento inicia-se com a etapa de planejamento e esclarecimento da tarefa, que consiste na análise da situação do mercado, da empresa e da conjuntura com o objetivo de coletar informações sobre os requisitos a serem colocados nos produtos, identificar e selecionar ideias para a formulação da proposta de um novo produto. O

resultado dessa etapa é a definição informativa de uma lista de requisitos que deve estar sempre atualizada e sintonizada às necessidades do desenvolvimento do projeto para ser enviada à etapa de trabalho subsequente (PALH *et al.*, 2005).

A segunda etapa do modelo é chamada de concepção, a ideia principal dessa etapa é o desenvolvimento de um princípio de solução através da lista de requisitos elaborada pela etapa anterior. O princípio de solução pode ser obtido quando a estrutura de funcionamento do produto assume uma forma mais concreta. Essa concretização inclui certa ideia dos materiais a ser utilizado, um dimensionamento prévio e aproximado do produto e também consideração de recursos tecnológicos (PAHL *et al.*, 2005).

Em seguida o princípio de solução é avaliado com base em critérios técnicos e econômicos, e as características que não satisfazem as exigências da lista de requisitos são eliminadas, definindo assim o conceito do produto.

A próxima etapa o anteprojeto, determina de forma clara e completa a estrutura de construção de um produto, partindo da estrutura de funcionamento ou da solução preliminar e também se baseando em critérios técnicos e econômicos. O anteprojeto global definitivo já representa um controle da função da durabilidade, da compatibilidade espacial e materiais sendo que custos aplicados devem se mostrar viáveis para que o projeto possa ir para próxima etapa (PAHL *et al.*, 2005).

A quarta e última etapa do modelo é o detalhamento, que consiste de prescrições definitivas sobre a forma, dimensionamento e acabamento superficial do produto, definição de todos os materiais, verificação das possibilidades de produção, bem como os custos definitivos. Essa etapa complementa a estrutura de construção do produto e o resultado do detalhamento é a definição da tecnologia de produção e da solução. É elaborada também a lista de componentes do produto e também as suas respectivas instruções para produção e montagem (PAHL *et al.*, 2005).

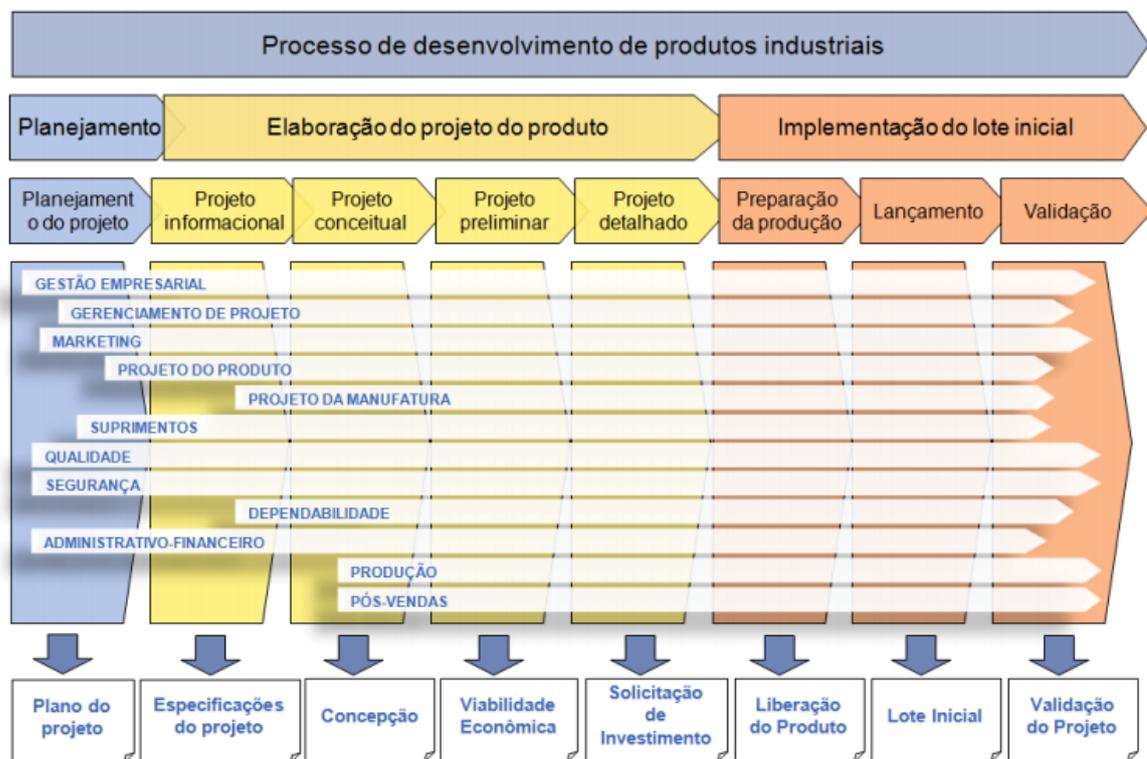
Trata-se por fim de um método prescrito com retornos pré-determinados, onde prevalece o racionalismo e o tecnicismo através da configuração das fases desdobradas em etapas e tarefas.

2.4.3 Conceituações Método Back

Através de pesquisas e experiências realizadas pelo NeDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos), Back *et al* (2008) propõem um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos industriais.

O método projetual de Nelson Back busca explicitar as características e peculiaridades no entendimento do engenheiro projetista para o projeto de produto direcionado ao processo fabril. Back em (1983) formulou o seu entendimento de método para o desenvolvimento de projeto de produto, ele focou a aplicação para o Engenheiro Projetista, demonstrando os passos no gerenciamento das atividades tais como a criatividade, o desempenho, o custo e a data de entrega do produto, como se observa na Figura 10.

Figura 10– Modelo de desenvolvimento de produto Back.



Fonte: Adaptado de Back et al, 2008.

Baseado nos princípios da engenharia simultânea e no gerenciamento de projetos, o modelo proposto por Back *et al.* (2008) se divide em três principais momentos: planejamento do projeto, elaboração do projeto do produto e implementação. E as demais etapas se dividem em oito subfases, que ao final de cada fase, o resultado obtido é avaliado permitindo assim a continuação do processo.

De acordo com Back *et al.* (2008) a primeira fase é o planejamento do projeto, que tem como base as estratégias de negócio da empresa.

A declaração do escopo do projeto é elaborada e detalhada com informações relevantes, tais como a justificativa e restrições do projeto, objetivos do projeto, característica do produto que será desenvolvido, decomposição do projeto e avaliação dos riscos para as áreas envolvidas na organização. O resultado é o plano do projeto do produto que orientará as demais etapas do processo de desenvolvimento. (PAULA, 2011).

A segunda fase é o projeto informacional, onde são definidas as especificações de projeto do produto. A partir desses requisitos, são elaborados os requisitos do projeto considerando alguns atributos funcionais, ergonômicos, de segurança, de modularidade, estéticos e legais. A estrutura funcional é atividade de se definir a função global e as subfunções do produto quando o mesmo estiver sendo utilizado pelo cliente (PAULA, 2011).

A fase projeto preliminar começa com a determinação do layout final do produto, que é feito pela determinação dos requisitos de forma (dimensões, posição, material, segurança, ergonomia e manufatura), dos componentes a serem utilizados e do processo de fabricação, para que o produto atenda às necessidades do mercado. Em seguida realiza-se o desenvolvimento do plano de fabricação, teste de protótipo e definição da estrutura preliminar do produto. Por último é feita a análise de viabilidade econômica que é avaliada para atender o plano estratégico da empresa. O projeto detalhado destina-se ao teste e aprovação do protótipo. Na etapa que compreende a preparação da produção, ocorre a obtenção de recursos para a fabricação do produto envolvendo atividades como liberação para construção do ferramental, compra, recebimento, instalação, teste e preparação das máquinas operatrizes, dos dispositivos e ferramentas para implementação da linha de produção (PAULA, 2011).

A penúltima fase do modelo denomina-se lançamento do produto, onde acontece a produção do lote inicial. Na última fase de validação do produto, o projeto é encerrado, sendo realizada a avaliação da satisfação do cliente, o monitoramento do desempenho do produto, levantamento de informações sobre segurança na utilização e operação, permitindo sua validação junto ao cliente final (PAULA, 2011).

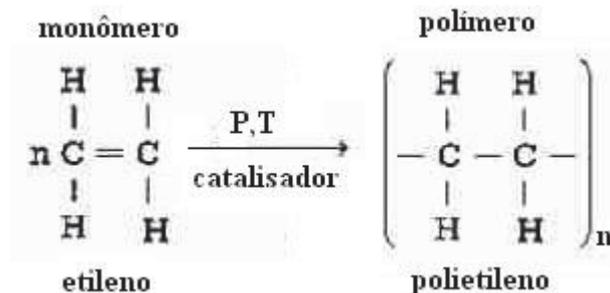
Conforme descreveu Back *et al.* (2008) trata-se de uma filosofia de trabalho que, através de seus princípios, procura suportar o desenvolvimento de ferramentas para melhorar a prática de desenvolvimento do produto, incluindo, também, como elementos operacionais, a metodologia de projeto e a disciplina de gerenciamento de projeto.

2.5 Polietileno

A utilização do Polietileno (PE) como material para confecção do protótipo surgiu como alternativa após a verificação de risco de lesões ao utilizar a fibra de carbono, que seria a primeira opção de material base para a concepção do dispositivo. Baseado nas Diretrizes Assistenciais de Segurança em Ressonância Magnética, foi constatado que a fibra de carbono não seria o material mais adequado a ser utilizado, pois a resina adicionada a confecção da fibra de carbono em exposição constante a RM poderia ocasionar lesões aos pacientes que utilizassem o dispositivo. Após esta verificação optou-se então pela utilização do Polietileno (PE) como material base para posterior confecção do protótipo

Coutinho 2003, descreve o polietileno (PE) como um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina como se pode observar em sua estrutura Figura 11.

Figura 11– Unidade estrutural de repetição química.



Fonte: Smith, 2010.

De modo geral, há dois tipos de polietileno, o de baixa densidade (LDPE) e o de alta densidade (HDPE). A estrutura de cada polímero tem influência direta sobre a sua densidade e suas propriedades mecânicas. Ramificações longas, como os presentes no polietileno de baixa densidade por exemplo, aumentam a resistência ao impacto, diminuem a densidade e facilitam o processamento, enquanto que as ramificações curtas presentes no polietileno linear de baixa densidade, aumentam a cristalinidade e a resistência à tração em relação ao polietileno de baixa densidade obtido via radicais livres (SMITH, 2010).

Dependendo das condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, cinco tipos diferentes de polietileno podem ser produzidos: Polietileno de

baixa densidade (PEBD ou LDPE), Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE), Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE), Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE) e o Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE) (COUTINHO *et al*, 2003).

O polietileno é de longe o material plástico mais utilizado. A principal razão pela sua primeira posição é que é barato e possuem diversas importantes propriedades industriais, conforme se pode observar no Quadro 1, que incluem tenacidade a temperatura ambiente e baixas temperaturas, resistência suficiente para muitas aplicações, boa flexibilidade comparada com uma escala de temperaturas mesmo abaixo de -73°C , excelente resistência a corrosão, excelente propriedade de isolamento, é inodoro e insípido, e possui baixa transmissão vapor-água (SMITH, 2010).

Quadro 1 – Efeito das ramificações sobre as propriedades do polietileno.

Propriedade	PEAD Linear ~ 1 CH ₃ / 1000 carbonos		PEAD Ziegler, poucas ramificações, ~ 3 CH ₃ / 1000 carbonos		PEBD, altamente ramificado, 20 CH ₃ / 1000 carbonos	
Índice de fluidez (MFI)	5	11	6	0,9	7	1
Densidade (g/cm ³)	0,968	0,966	0,970	0,955	0,918	0,918
Ponto de escoamento (MPa)	33	31	29	29	6,2	11,5
Deformação no ponto de escoamento (%)	9	9	20	20	100	800
Resistência à tração (MPa)	20	30	22	30	8,5	10,5
Alongamento limite (%)	900	990	1000	1000	500	500
Módulo elástico (MPa)	1550	1400	1000	900	500	400
Resistência ao impacto (kJ/m ²)	9	50	20	30	Não quebra	

Fonte: Coutinho et al, 2003.

O PEAD e o PEBD têm muitas aplicações em comum, mas em geral, o PEAD é mais duro e resistente e o PEBD é mais flexível e transparente. Há diversas outras propriedades dos termoplásticos na engenharia que os tornam industrialmente importantes, os polietilenos são relativamente fáceis de processar em formas finais ou próximas a final desejada, e seu processamento pode ser automatizado na maioria dos casos. Os termoplásticos em geral possuem uma boa resistência à corrosão principalmente quando utilizados em diversos ambientes (SMITH *et al.*, 2010).

O polietileno é um polímero largamente utilizado devido às suas características estruturais e suas propriedades, o que diferencia os principais tipos de polietileno é a presença de ramificações na cadeia polimérica, essas ramificações podem ser geradas por diferentes mecanismos. Um fator importante é a escolha do catalisador, a partir do qual se pode controlar o teor de monômeros incorporados na cadeia polimérica, o tipo e a distribuição de ramificações, características essas que influenciam diretamente a densidade, a cristalinidade, as propriedades e assim as aplicações desses polímeros (COUTINHO *et al*, 2003).

Uma das propriedades do Polietileno fundamental para a sua utilização também como material base é justificado pelo baixo risco de contaminação e fácil higienização e esterilização após a utilização do dispositivo por diversos pacientes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

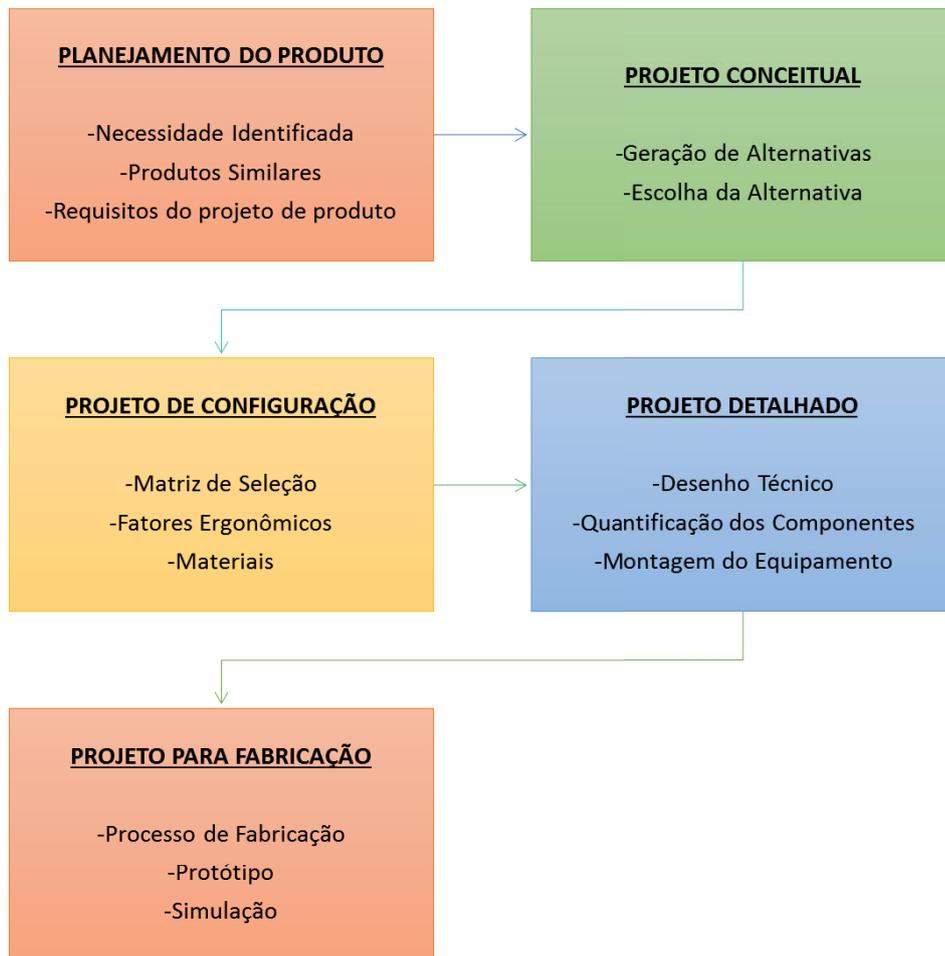
Neste capítulo estão descritos os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do projeto, a metodologia aplicada é oriunda da revisão bibliográfica e as ferramentas dispostas conforme melhor atendem os requisitos e objetivos inicialmente propostos para a concepção do protótipo do dispositivo.

O escopo da metodologia de projeto para o desenvolvimento deste dispositivo baseia-se em princípios ergonômicos de usabilidade e segurança.

3.1 Projeto de Desenvolvimento do Produto

O escopo proposto para o desenvolvimento deste estudo está baseado nas metodologias revisadas anteriormente. Optou-se por não exemplificar um ou outro método em específico, já que cada método tem um enfoque quanto sua área de aplicação. O método proposto é resultado de ferramentas e processos oriundos de Baxter (2005), Pahl e Beitz (2008) e Back (2008) por serem metodologias muito empregadas e disseminadas tanto na engenharia quanto no design industrial, e fornecerem uma série de benefícios que propiciam bons resultados finais. Baseado neste conceito então, o escopo do projeto foi dividido da seguinte maneira: Em cinco etapas principais responsáveis pelo desdobramento do projeto, com suas respectivas ferramentas em cada fase, para assegurar um bom desenvolvimento do produto final como se pode observar na Figura 12.

Figura 12– Escopo do processo de desenvolvimento do dispositivo.



Fonte: Autor.

A primeira etapa do projeto compreende o planejamento do produto, bem como as ferramentas para que se possa entender a necessidade e os requisitos que o dispositivo precisa atender. Também buscou-se realizar uma análise dos produtos similares que é uma importante ferramenta para avaliar os aparelhos disponíveis no mercado em relação a sua estrutura formal e de concepção, pois entende-se que estas são variáveis importantes a serem analisadas.

A segunda etapa se resume no projeto conceitual do produto, onde são geradas alternativas para o desenvolvimento do dispositivo, a geração de alternativas está baseada em técnicas de criatividade que culminam na escolha da melhor alternativa para a concepção do dispositivo.

A terceira etapa corresponde ao projeto de configuração, onde informações já levantadas até o momento, incluindo os requisitos de produto fazem parte de uma matriz de

seleção onde também se avalia parâmetros ergonômicos e antropométricos, e também são definidas prioridades do produto em si. Esta fase é muito importante, pois definimos características formais e funcionais do dispositivo.

A quarta etapa do projeto detalhado é a fase em que é especificado de forma técnica e objetiva o dispositivo para posteriormente dar início a sua confecção, portanto todas as informações pertinentes em relação a sua estrutura física, número de componentes, desenho técnico, são fatores importantes a serem considerados.

Por fim, na quinta etapa está descrito o processo de fabricação a ser utilizado para confecção do protótipo e posteriormente uma análise experimental de uso.

Por se tratar do desenvolvimento de um protótipo conceitual, ou seja, sem a finalidade comercial, dispensaram-se requisitos de custos em relação ao processo industrial.

3.1.1 Planejamento do Produto

Nesta etapa a necessidade identificada que deu origem ao desenvolvimento do produto é o ponto de partida. O esclarecimento consiste na análise detalhada do problema de projeto e é feita a busca de todas as informações necessárias ao pleno entendimento do problema como se observa no Quadro 2 (BACK *et al.*, 2008).

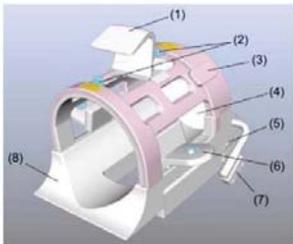
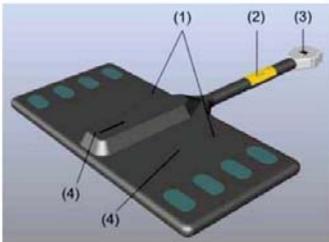
Quadro 2 – Necessidade Identificada.

O que fazer?	Porque fazer?	Para quem?	Como fazer?
Um equipamento que possa contribuir no diagnóstico de lesões do joelho.	Para melhoria de diagnóstico e para auxiliar como equipamento de apoio.	Para pacientes submetidos ao exame de RM do joelho.	Através do desenvolvimento de um protótipo e validação.

Fonte: Autor.

Posteriormente após a necessidade ter sido identificada, buscou-se pesquisar modelos de produtos disponíveis no mercado, ou similares que atendessem a esta mesma demanda, para isso verificou-se nas indústrias de materiais e dispositivos para área médica com foco na utilização mediante o exame de RM como se observa na Figura 13.

Figura 13– Produtos similares existentes.

PRODUTO	FUNÇÃO	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO
 <p>Bobina de Cabeça - Siemens</p>	<p>A parte superior da bobina de cabeça é amovível.</p> <p>A parte inferior da bobina de cabeça pode ser usada individualmente ou em conjunto com a bobina da espinha.</p> <p>A bobina de cabeça, com a bobina de espinha, forma uma unidade mecânica/elétrica.</p>	<p>(1) Espelho duplo (opcional) (2) Mecanismos de desbloqueio (3) Bobina de cabeça, parte superior (4) Refletor de RF (5) Indicador de choque (6) Molas de aperto amovíveis (7) Interface da bobina (8) Bobina de cabeça, parte inferior</p>	<p>Cabeça, garganta, ambas as articulações dos joelhos (crianças), ambos os pés (crianças), bebês.</p>
 <p>Bobina de Extremidades - Siemens</p>	<p>A bobina de extremidade examina a região coberta pela bobina.</p> <p>A bobina de extremidade pode ser posicionada livremente no paciente e adapta-se à forma do corpo</p>	<p>(1) Abas flexíveis laterais (2) Cabo de bobina (3) Interface da bobina (4) Marcações de centro</p> <p>A bobina de extremidade tem uma largura de 17 cm.</p>	<p>Mão, cotovelo, ombro e joelho</p>

Fonte: Autor.

Os produtos pesquisados e analisados de forma estrutural e funcional são dispositivos que auxiliam médicos na realização de exames de RM, estes dispositivos são comercializados junto com estas máquinas. As desvantagens percebidas nos produtos existentes é que os mesmos não apresentam diferenças de uso para cada exame, ou seja, o mesmo produto é utilizado em diferentes seções de RM de partes corpóreas diferentes. A inexistente variedade de dispositivos geralmente afeta a qualidade na visualização das imagens produzidas pela RM, implicando um diagnóstico mais preciso. O tempo que se despende para o posicionamento adequado destes dispositivos a cada nova seção de RM é significativo.

A vantagem percebida em relação a estes mesmos produtos é a facilidade de uso e manuseio do produto, geralmente são leves, resistentes e não oferecem nenhum risco aos pacientes que os utilizam.

Com base nesta análise dos produtos encontrados, criaram-se alguns requisitos de projeto em relação à estrutura, a funcionalidade, a ergonomia, e usabilidade com a finalidade de assegurar melhor resultado do produto final, sob estes requisitos levantados, quantificou-se o nível de importância entre mais ou menos importante, de acordo com a marcação observada no Quadro 3.

Quadro 3 – Requisitos do dispositivo.

REQUISITOS	DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	IMPORTÂNCIA
FUNCIONAIS	Componentes;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Resistência;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Articulações.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
ERGONÔMICOS	Possibilidade de ajustes;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Universal;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Confortável.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
DE SEGURANÇA	Estar de acordo com as diretrizes assistenciais em RM;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Não metálico;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Não oferecer riscos aos usuários.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
DE USO	Fácil manuseio;	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Utilizado somente para membros inferiores;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Fácil esterilização.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
DE PROJETO	Pistões de acionamento;	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Ferragens não metálicas.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Autor.

Estes requisitos tornam-se fundamentais para a criação e concepção do dispositivo final, pois são critérios importantes que preveem ações de melhorias em relação ao seu uso e experimento.

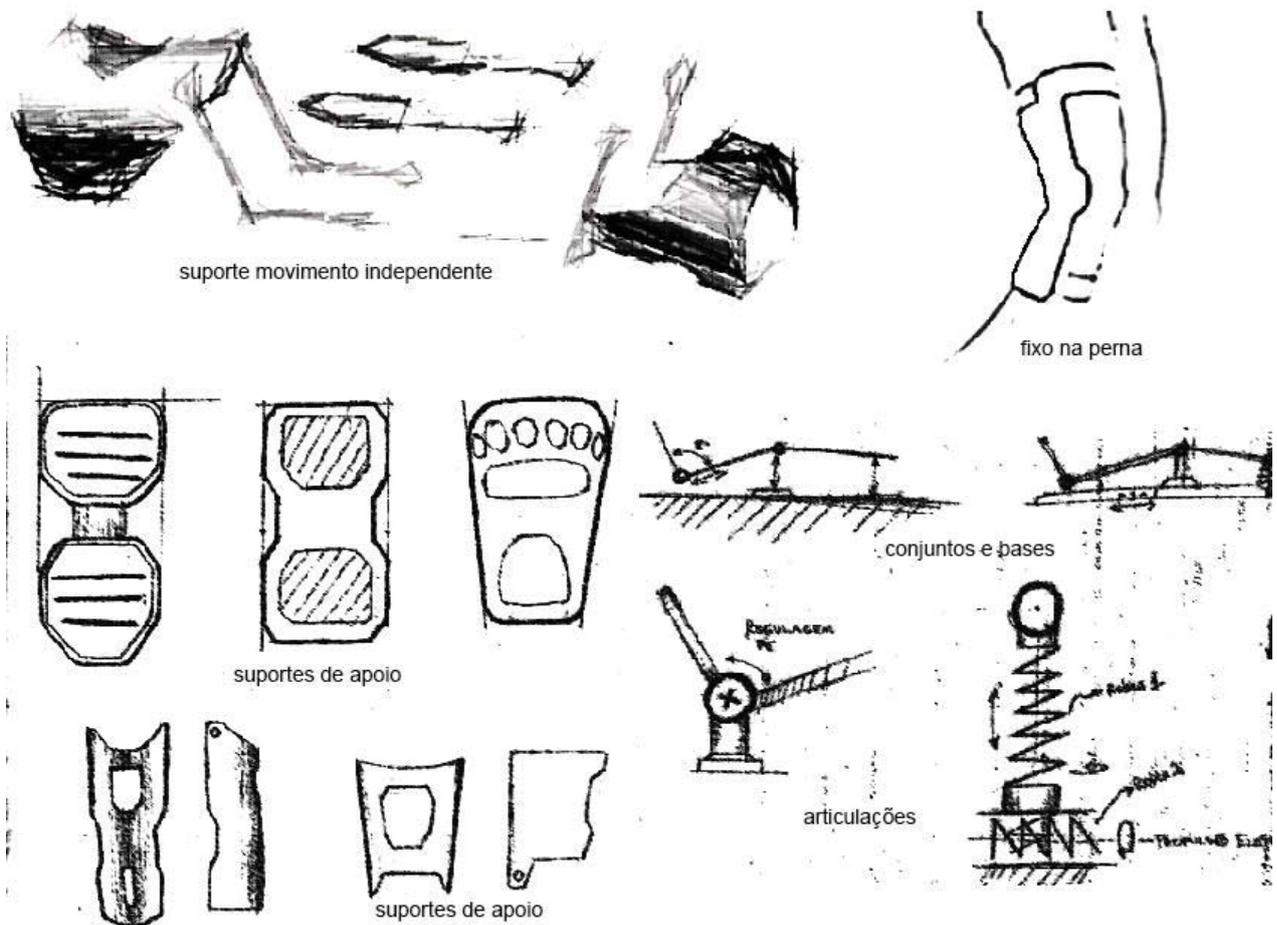
Tendo como base os requisitos de produto deu-se início então a fase de desenvolvimento do dispositivo, utilizando ferramentas projetuais que contribuiram significativamente para a elaboração das ideias do projeto conceitual preliminar.

3.1.2 Projeto Conceitual

Após a elaboração do planejamento, da identificação da oportunidade e do levantamento de requisitos considerados importantes para o projeto, inicia-se o desenvolvimento conceitual com o objetivo de gerar conceitos e ideias de produtos, explorando as formas possíveis de se desenvolver o dispositivo.

As alternativas geradas, conforme Figura 14 baseou-se na técnica da analogia, buscando uma relação com equipamentos utilizados pela fisioterapia na reabilitação de pacientes com ruptura ligamentar, o que resultou posteriormente na concepção do dispositivo final.

Figura 14– Geração de alternativas.

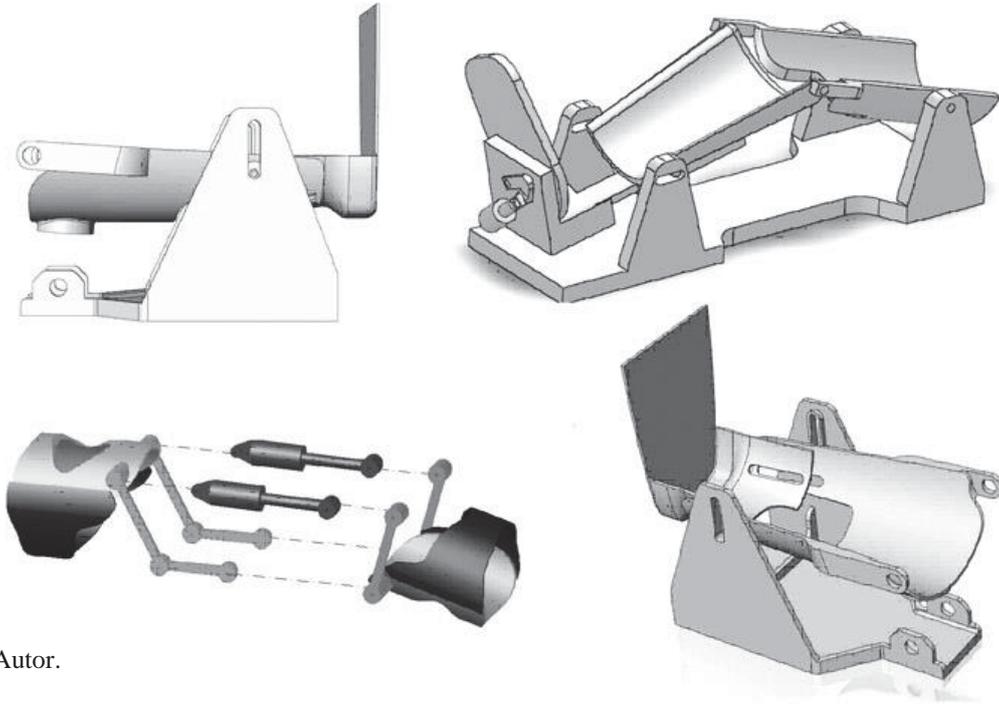


Fonte: Autor.

Conforme se desenvolveram as alternativas eram melhoradas com uso de softwares como se observa na Figura 15, buscava-se selecionar através de uma matriz de seleção, as melhores propostas de desenho, para posteriormente então construir o protótipo e dar

sequência na realização dos experimentos, que compreendem os testes em relação a sua aplicação e uso.

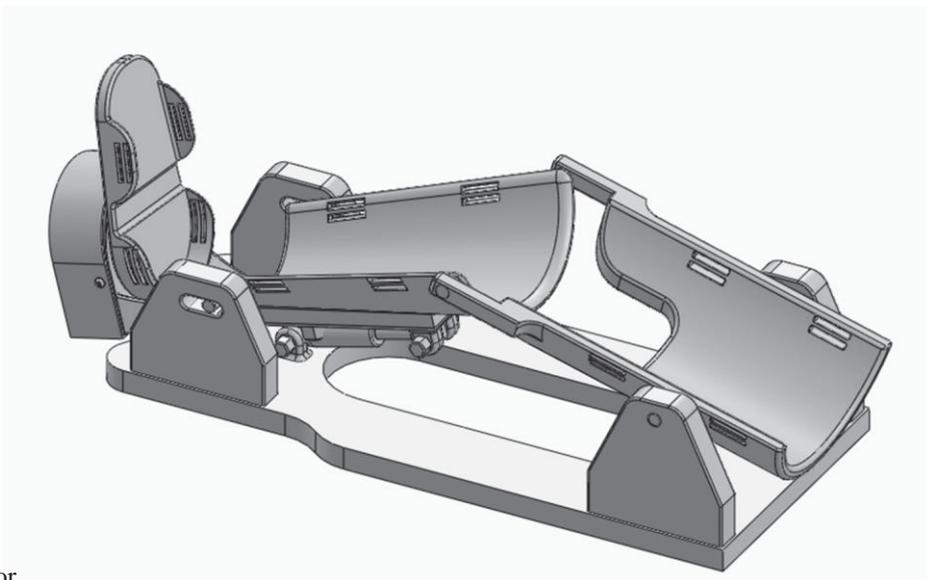
Figura 15– Geração de alternativas com uso de software.



Fonte: Autor.

Após as alternativas geradas chegou-se então a ideia escolhida, baseada nos requisitos de projeto descritos anteriormente, que pode ser observada na Figura 16.

Figura 16– Alternativa escolhida.



Fonte: Autor.

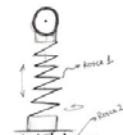
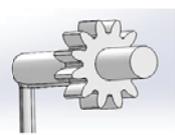
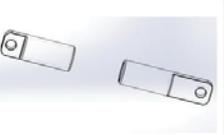
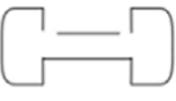
Uma vez definida a alternativa o próximo passo é a configuração do projeto, explorando as formas possíveis de concepção do protótipo.

3.1.3 Projeto de Configuração

Durante a fase de configuração do projeto é comum detectar alternativas do projeto não consideradas anteriormente ou promover alguma alteração técnica envolvendo materiais e processos de fabricação.

Para isto se fez uso de uma ferramenta denominada matriz de seleção Quadro 17, onde se observa a variação de possibilidades geradas para funções técnicas do dispositivo, obtendo a melhor solução de projeto.

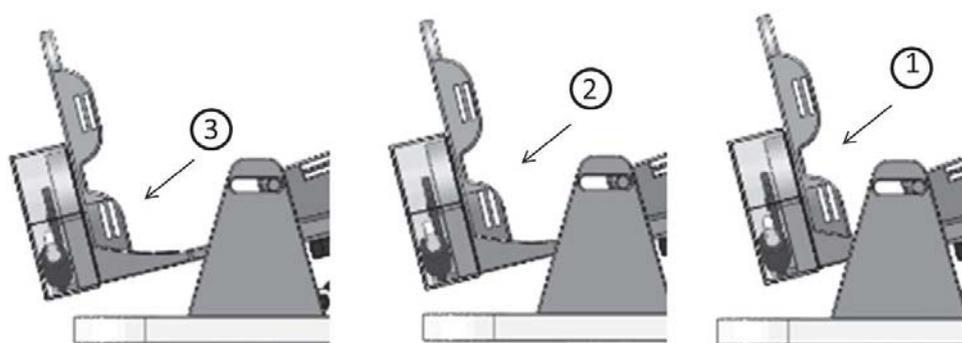
Quadro 4 – Matriz de Seleção.

SUPORE PÉ				
SUPORE COXA				
SUPORE PANTURRILHA				
MECANISMOS				
BASE CONJUNTO				
SUSTENTAÇÃO / TORRE				

Fonte: Autor.

Em relação aos aspectos ergonômicos de projeto foram contemplados requisitos de conforto e usabilidade através de adequações antropométricas conforme Figura 17 que representa a possibilidade de regulagem e ajuste do apoio do pé, de modo que este seja extensível permitindo que o dispositivo possa ser utilizado em diferentes biótipos físicos, e utilizado em ambos os membros inferiores, esquerdo e direito.

Figura 17– Função de deslocamento e ajuste antropométrico.



Fonte: Autor.

Além desta variável incorporada no dispositivo, o projeto foi desenvolvido com base no dimensionamento antropométrico do corpo humano, onde se buscou projetar o mesmo para que atendesse o percentil médio ou padrão da população, além do dispositivo ser universal.

O critério de segurança está relacionado ao uso de um material não condutor de energia, e sem riscos físicos aos usuários configurando um projeto de dispositivo concebido dentro dos padrões de segurança em RM.

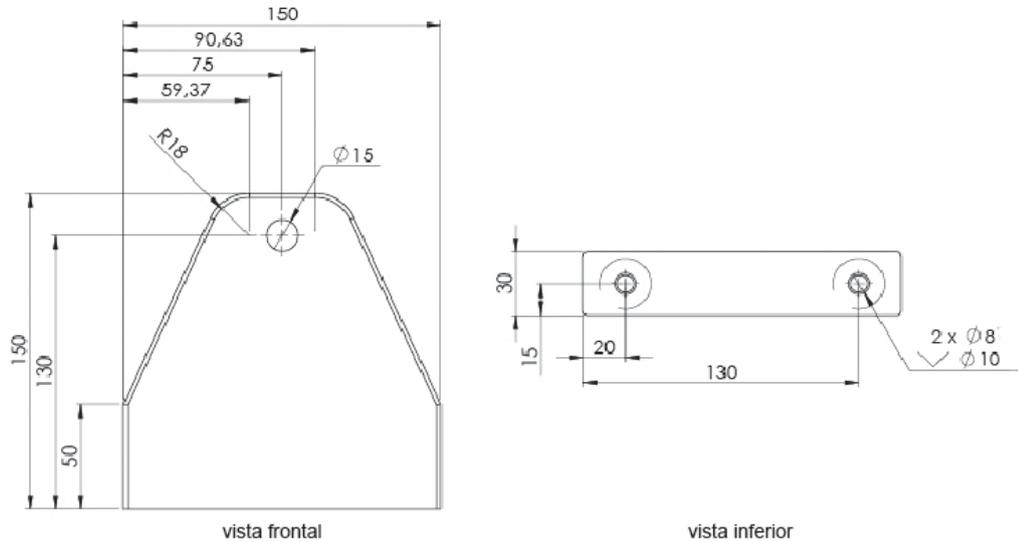
O material a ser utilizado para posterior confecção do protótipo será o polietileno de baixa densidade como já descrito anteriormente, sendo todas as peças e componentes do dispositivo serão deste mesmo material.

3.1.4 Projeto Detalhado

Nesta etapa do projeto apresenta-se o dispositivo detalhado através dos desenhos técnicos e a prévia descrição do seu funcionamento. As imagens representam os desenhos técnicos das peças do dispositivo de forma sequencial.

A Figura 18 representa a torre posterior de furo normal que tem por função sustentar o suporte da coxa em ambos os lados.

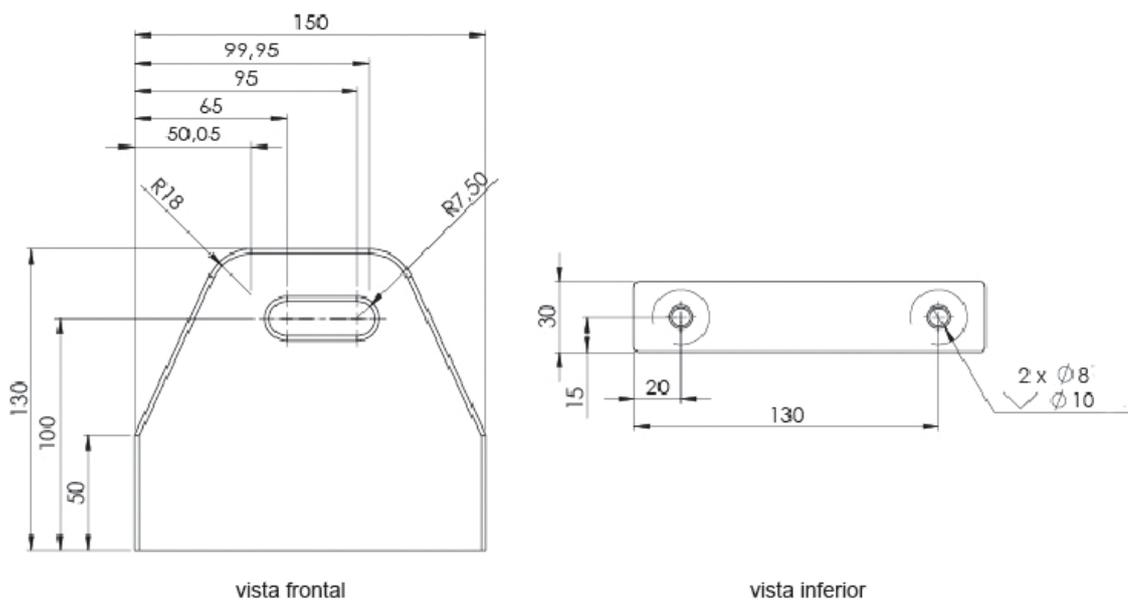
Figura 18– Torre furo normal.



Fonte: Autor.

A figura 19 mostra a torre de furo oblongo que tem por função sustentar o suporte da panturrilha e permitir seu deslocamento durante o movimento de articulação do dispositivo.

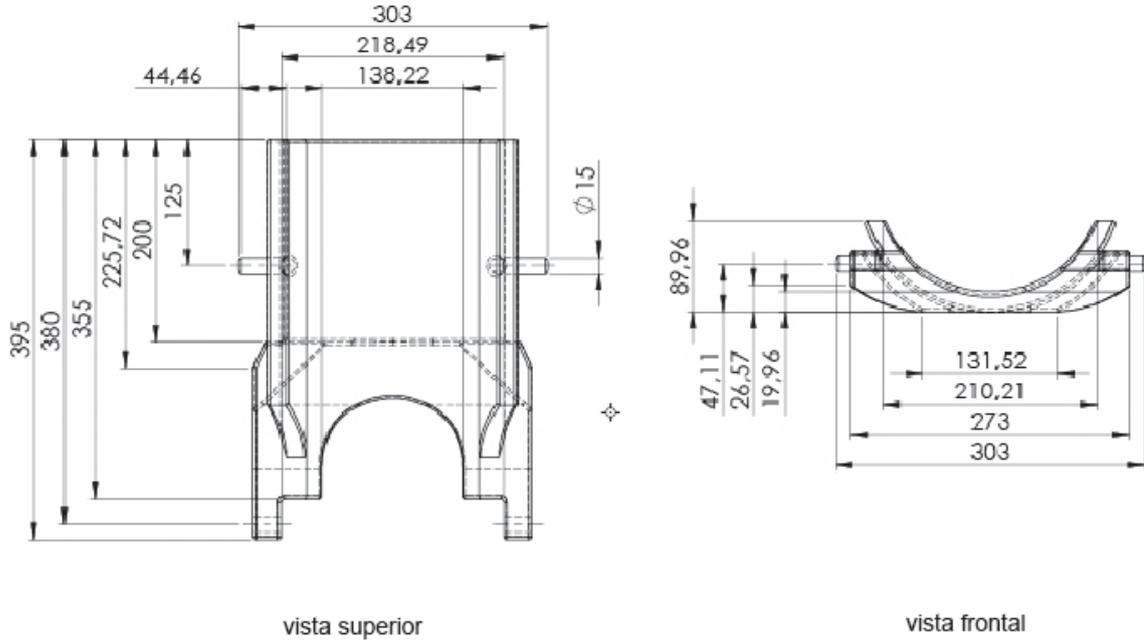
Figura 19– Torre furo oblongo.



Fonte: Autor.

A Figura 20 apresenta o suporte da coxa responsável pelo apoio da mesma.

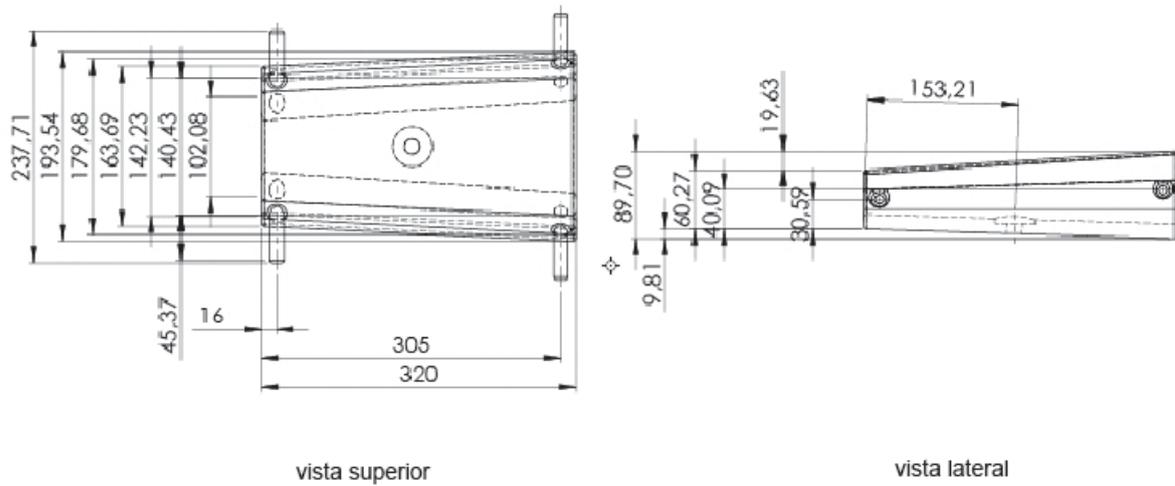
Figura 20– Suporte Coxa.



Fonte: Autor.

A Figura 21 mostra o suporte da panturrilha que tem por função o apoio e deslocamento da mesma.

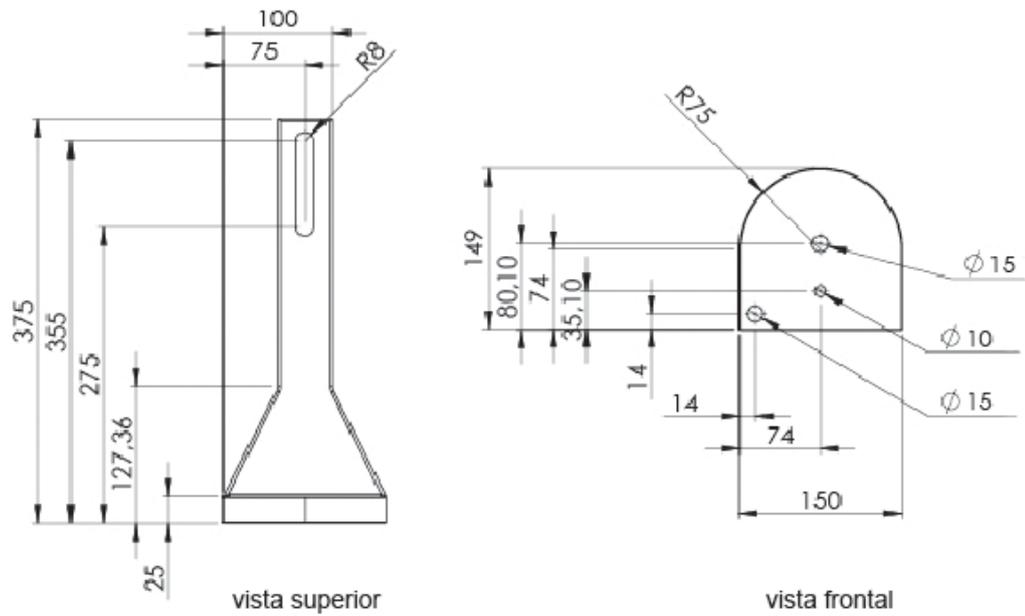
Figura 21– Suporte Panturrilha.



Fonte: Autor.

A Figura 22 representa o suporte extensível do calcanhar que além da função de apoio também possibilita a regulagem e a adequação antropométrica.

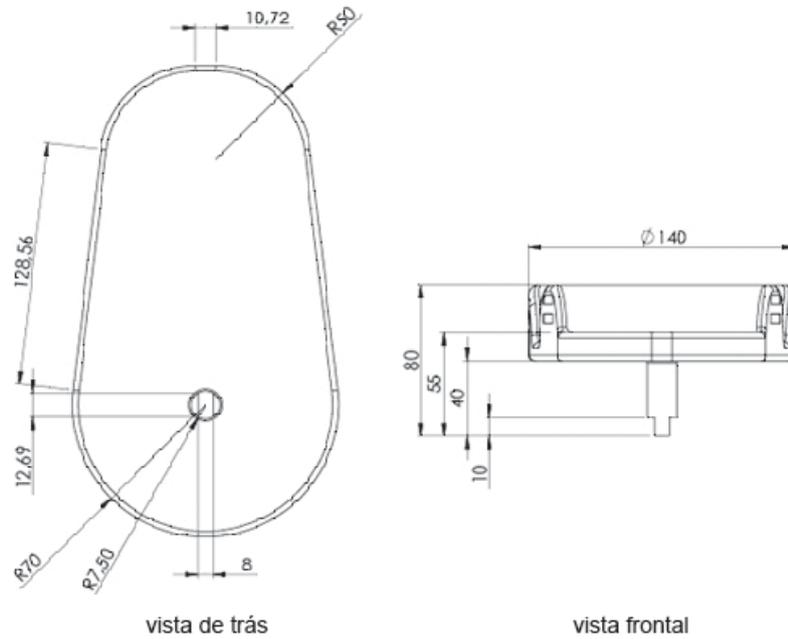
Figura 22– Suporte extensível calcanhar.



Fonte: Autor.

A Figura 23 exibe a base de apoio para o pé.

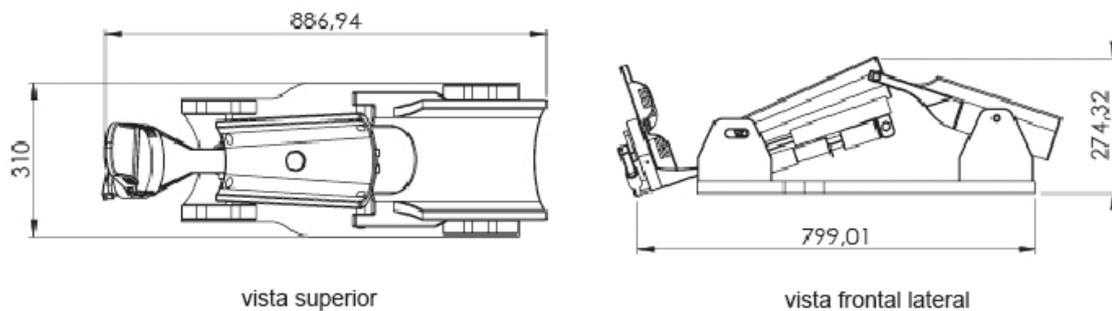
Figura 23– Base pé.



Fonte: Autor.

A Figura 24 apresenta as vistas do dispositivo de forma geral para melhor compreensão da sua estrutura.

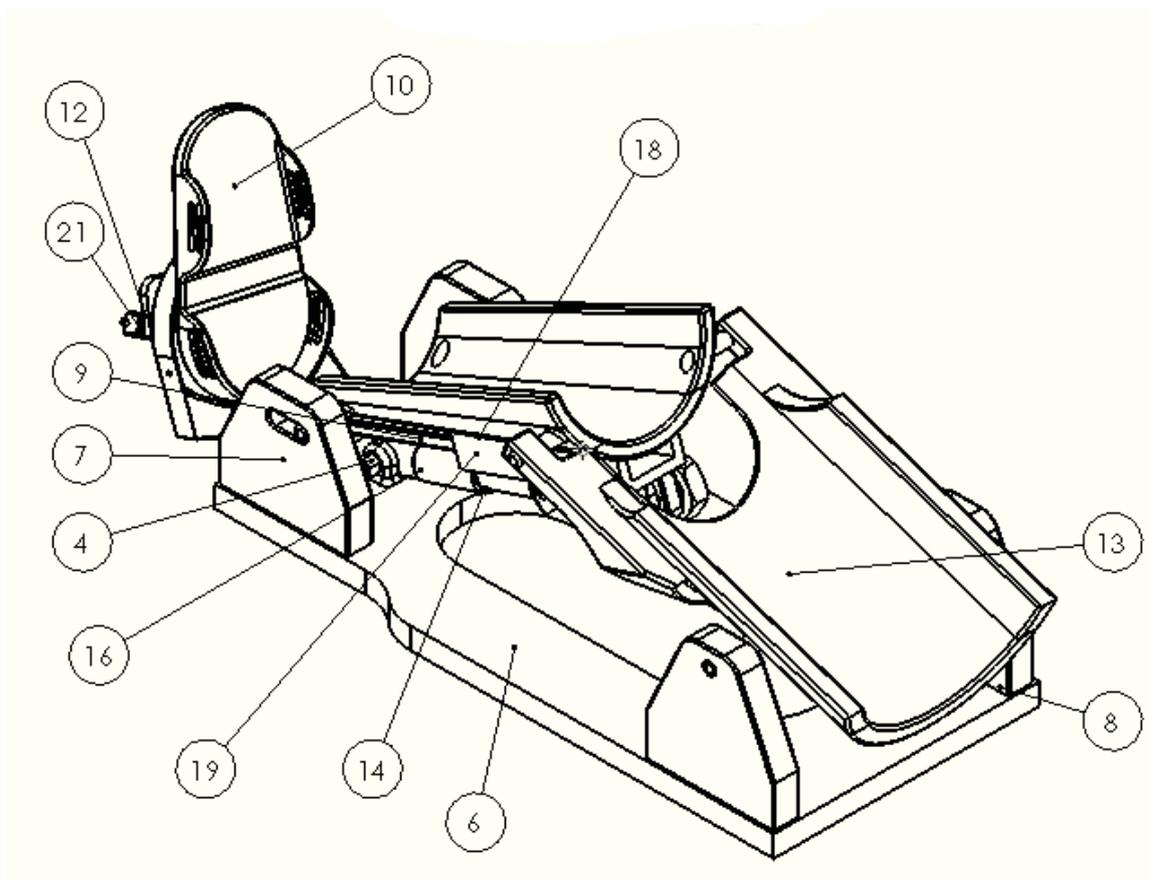
Figura 24– Vistas do dispositivo.



Fonte: Autor.

A Figura 25 mostra a descrição dos demais materiais e componentes que fazem parte da estrutura do dispositivo.

Figura 25– Descrição dos materiais.

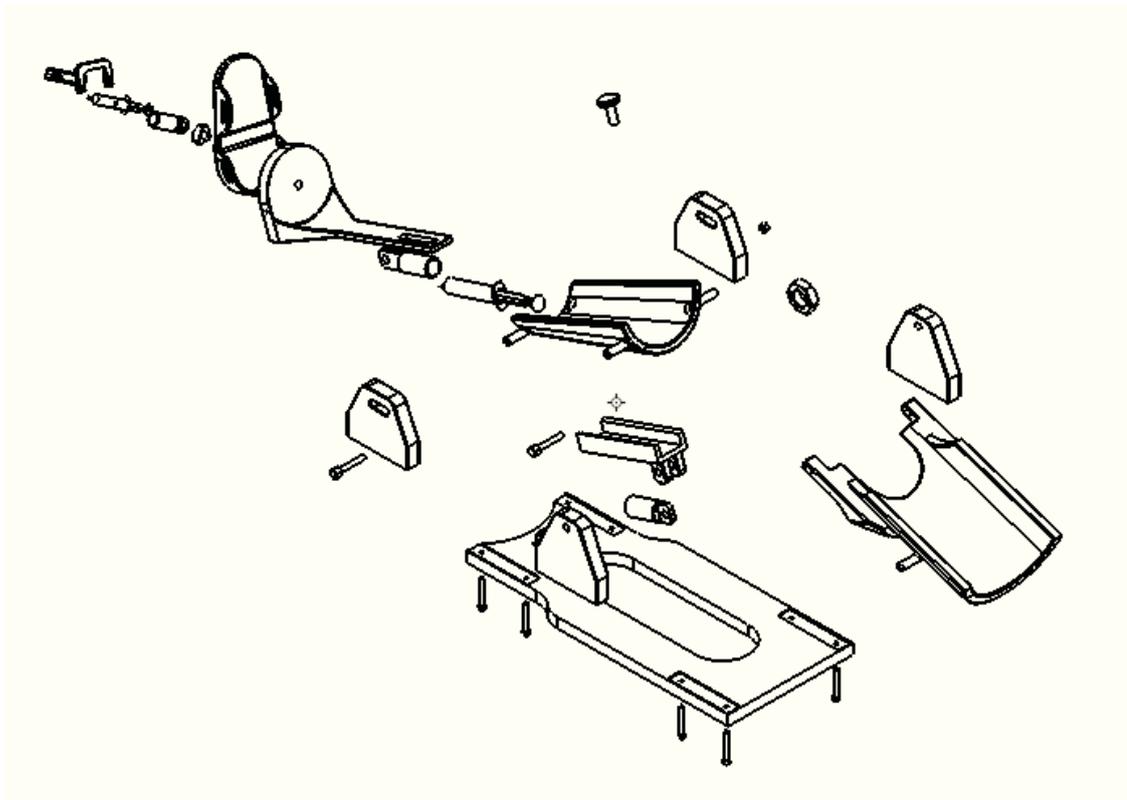


Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
4	Parafuso Fixação Cilindro Maior	2
5	Parafuso Fixação Regulagem Perna	1
6	Base_conjunto	1
7	Torre Furo Oblongo	2
8	Torre Furo normal	2
9	suporte_calcanhar	1
10	base_pe	1
12	Articulador Pistão Pé	1
13	Suporte Coxa MOD	1
14	Seringa	1
16	Suporte Seringa	1
18	suporte_panturrilhaMOD	1
19	Suporte Pistao	1
21	Encaixe_pe	1

Fonte: Autor.

A Figura 26 representa a vista explodida do dispositivo que ilustra seu posterior processo de montagem.

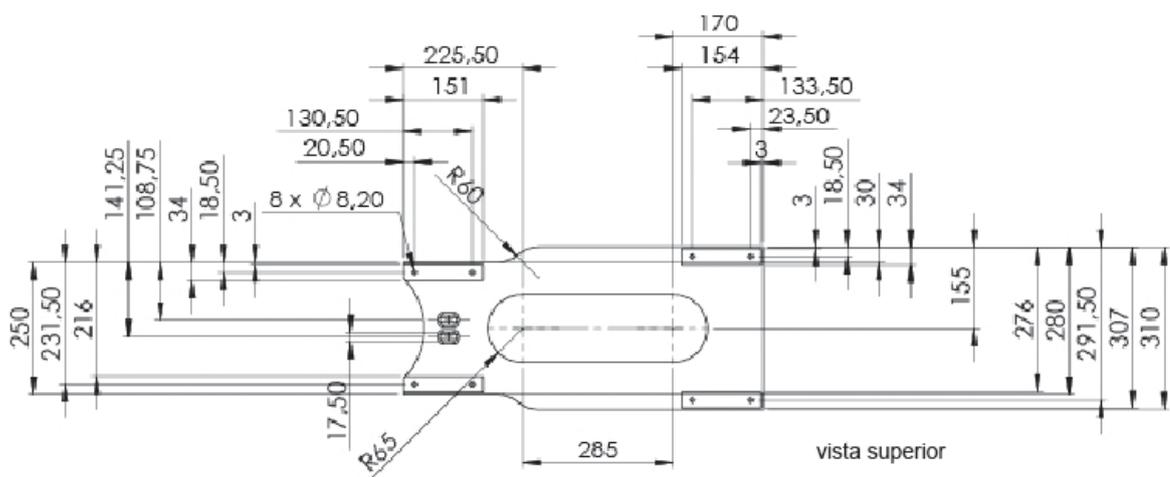
Figura 26– Vista explodida.



Fonte: Autor.

A Figura 27 exibe o dimensionamento a partir da base do dispositivo.

Figura 27– Base do dispositivo.



Fonte: Autor.

O funcionamento do dispositivo é simples, dois pistões serão responsáveis pelos movimentos de rotação do pé, e o outro pelo movimento de flexão-extensão da perna. Os pistões serão confeccionados do mesmo material do dispositivo, uma vez que não se permite o uso de qualquer material metálico.

Os pistões não estão aqui representados, pois até o momento do projeto não estava definido de que forma seria feito o pistão, este procedimento foi deixado para posterior montagem do protótipo.

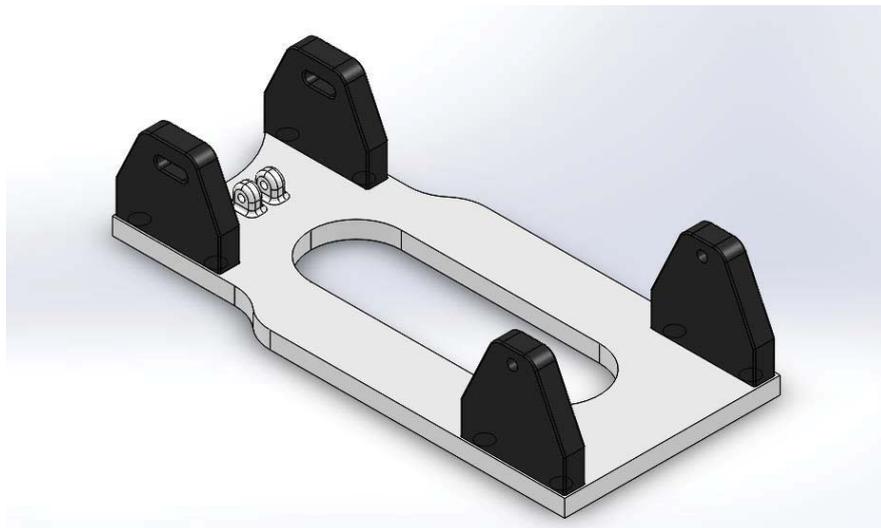
O processo utilizado para confecção do protótipo será o processo de usinagem, através do uso de uma fresadora automática o processo será realizado junto ao núcleo de mecânica desta instituição

3.1.5 Projeto para Fabricação

O processo de fabricação se deu através do uso de uma fresa CNC, inicialmente enviou-se os arquivos desenvolvidos através do software SolidWorks para realizar a programação da máquina e então dar início a usinagem das peças.

Deu-se início então a usinagem das peças da base do dispositivo e torres de sustentação que são encaixadas e parafusadas junto a base do aparelho, conforme Figura 28

Figura 28– Base e torres de sustentação.



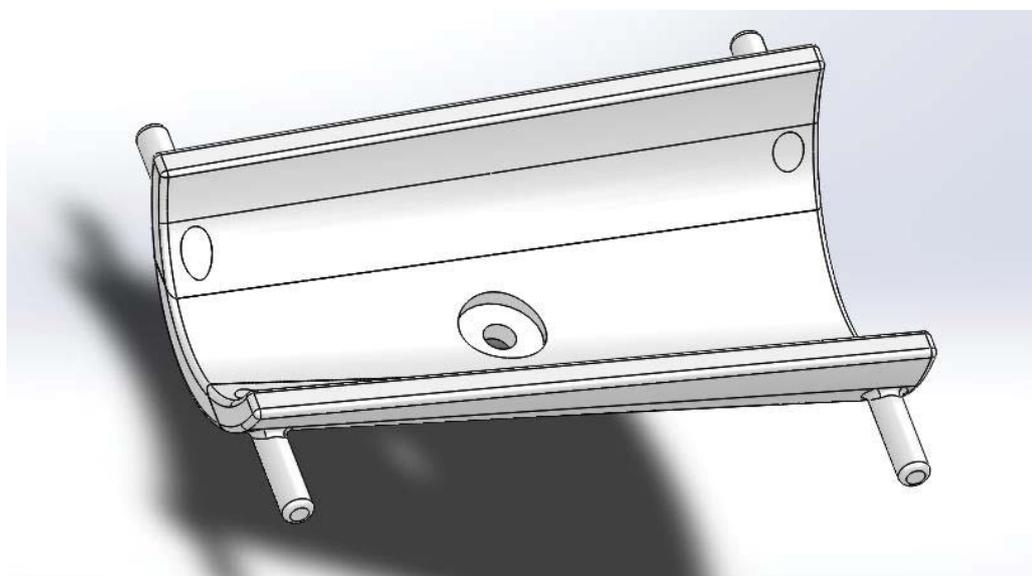
Fonte: Autor.

Para a confecção do dispositivo também foram utilizadas chapas de polietileno com espessura de 30mm e tamanho de 1,20x3,0m. As peças foram usinadas uma a uma de forma isolada para posterior montagem.

Os parafusos para fixação também precisaram ser usinados em polietileno, uma vez que não se pode utilizar material metálico ou condutor no projeto, conforme prescreve as Diretrizes em RM.

Na sequência foi usinada o suporte para a panturrilha Figura 29.

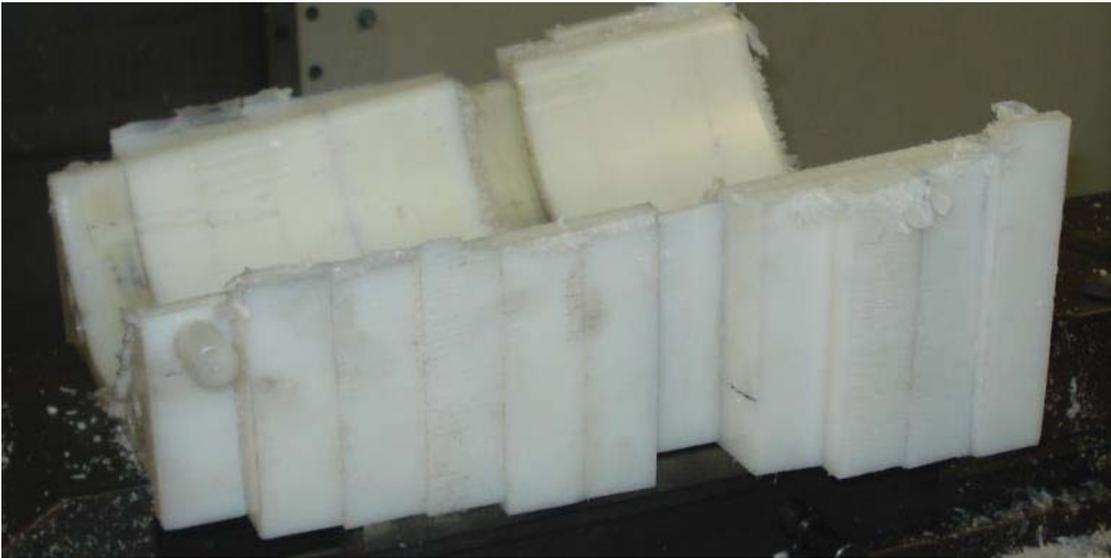
Figura 29– Projeto detalhe suporte da panturrilha.



Fonte: Autor.

Para usinagem desta peça foi necessário o recorte do polietileno em tiras conforme dimensionamento prescrito e posteriormente unido por um parafuso transpassante também usinado em polietileno, que uniu a estrutura por inteiro conforme se observa na Figura 30, logo abaixo.

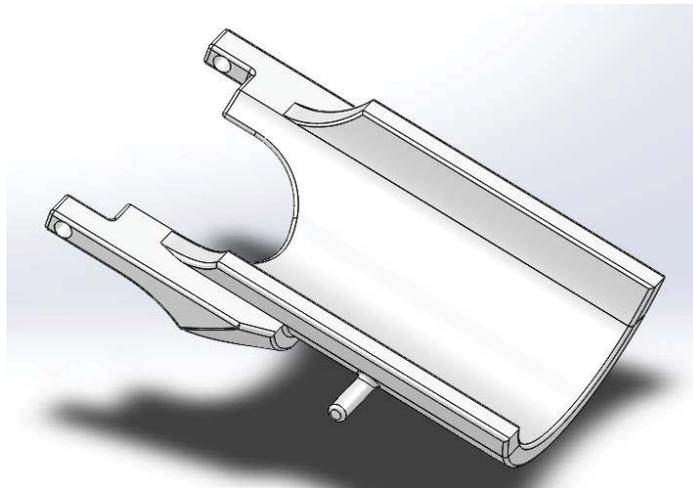
Figura 30– Suporte da panturrilha usinado.



Fonte: Autor.

Posteriormente a usinagem do suporte da panturrilha, foi usinada então o suporte da coxa Figura 31

Figura 31– Projeto detalhe suporte da coxa.



Fonte: Autor.

Seguindo o mesmo método de recorte da chapa de polietileno em tiras dimensionadas conforme projeto e posteriormente unidas por um parafuso conforme observada na Figura 32.

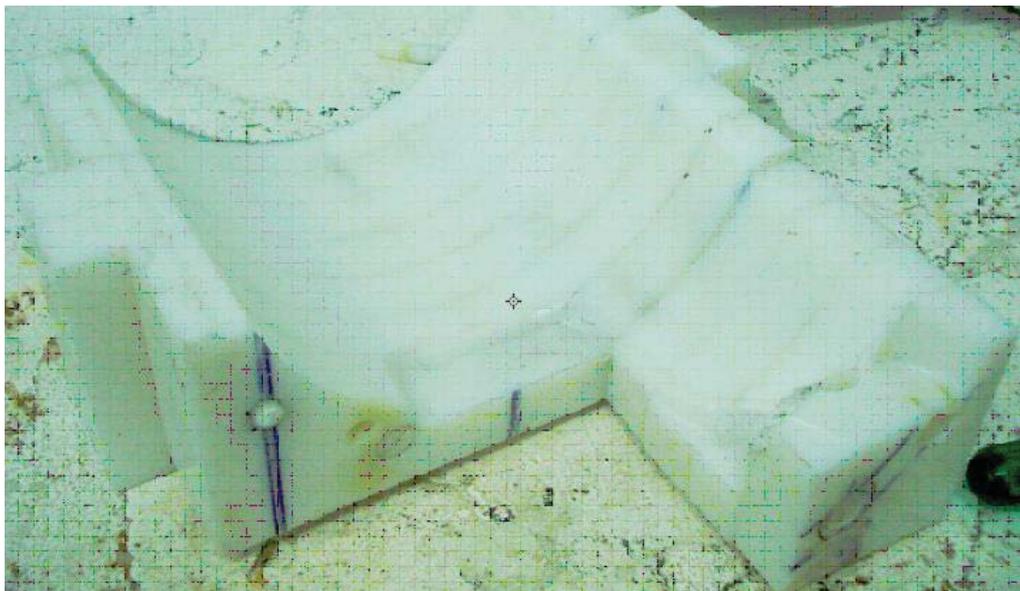
Figura 32– Suporte da coxa usinado.



Fonte: Autor.

O fato da peça de suporte da coxa ter um desenho mais específico para articulação do dispositivo, dificultou o processo de usinagem, pois em determinado momento durante a usinagem a peça trabalhou e o parafuso que mantinha a peça unida não resistiu e acabou rompendo a fixação conforme se observa na Figura 33.

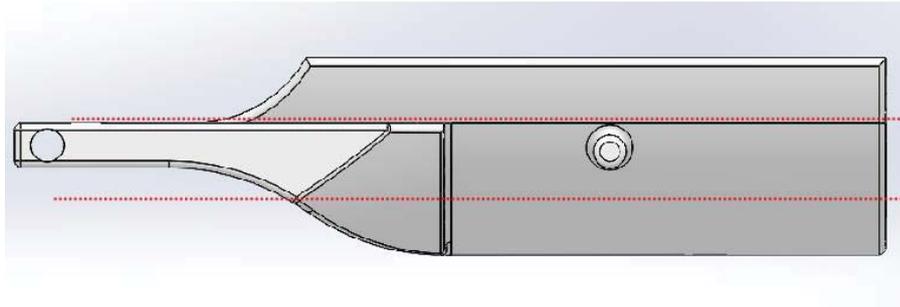
Figura 33– Suporte da coxa rompido.



Fonte: Autor.

A partir deste problema, o processo de usinagem foi suspenso, o método de recorte das chapas em tiras não funcionou para o desenho da peça. Partiu-se então para a readequação do projeto, inúmeras tentativas foram feitas em relação ao processo de usinagem, buscou-se a fabricação da peça através do processo de conformação, sem êxito a alternativa foi buscar uma forma de diminuir os detalhes da peça. Decidiu-se então adaptar cada detalhe da peça a chapa de polietileno, desta forma elas continuariam sendo unidas, porém cada detalhe seria usinado de forma inteira e fixado somente ao final de todas as partes já usinadas. A Figura 34 ilustra a representação do novo método utilizado.

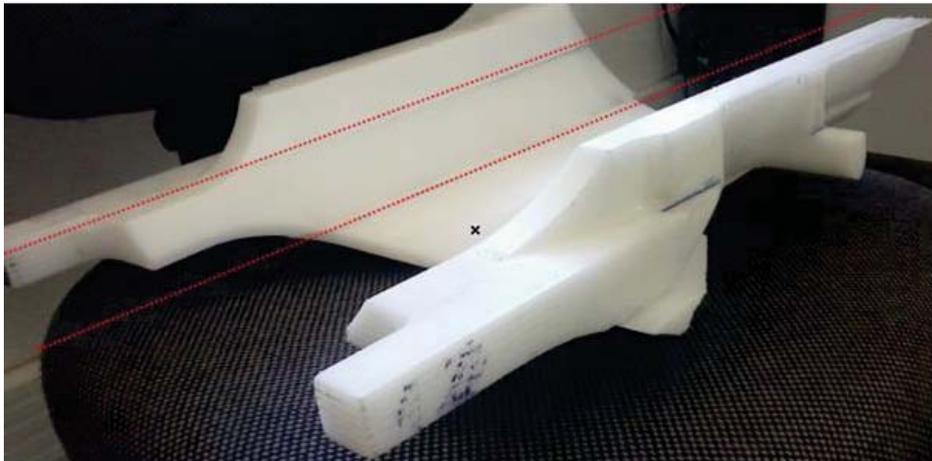
Figura 34– Adequação de projeto.



Fonte: Autor.

O método funcionou muito bem para usinagem, aumentou-se a área de fixação para que houvesse maior área de contato entre as partes das peças conforme Figura 35.

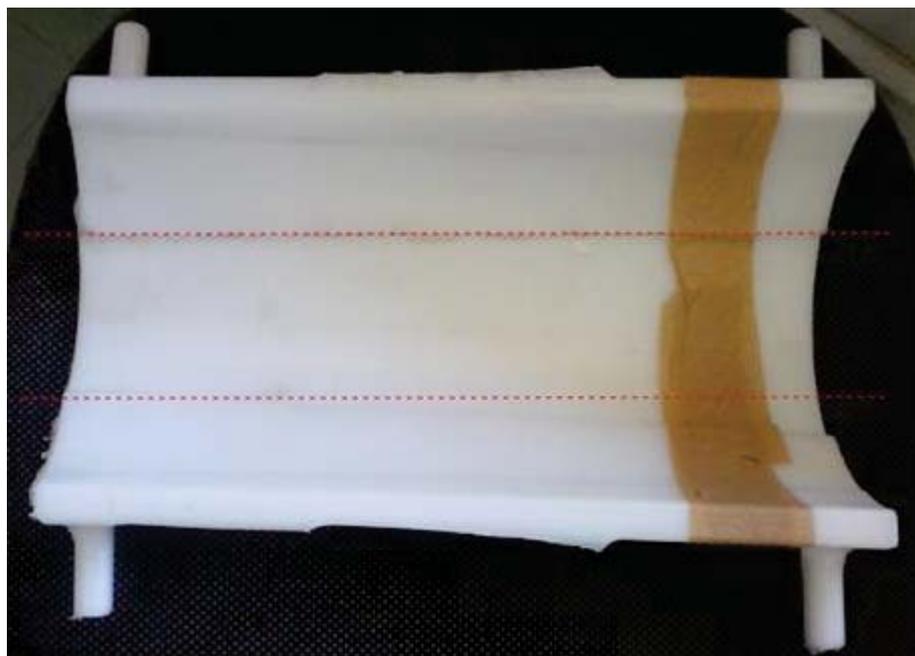
Figura 35– Adequação suporte da coxa.



Fonte: Autor.

Porém as peças anteriormente usinadas com exceção da base do dispositivo também precisaram ser refeitas utilizando este novo método para usinagem, ou seja, o suporte da panturrilha também precisou ser adequado, conforme Figura 36.

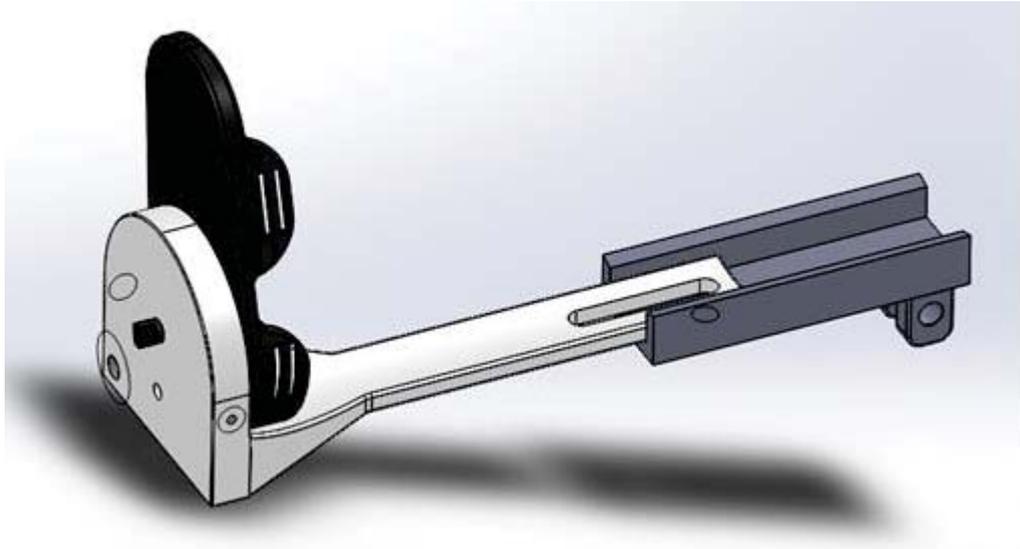
Figura 36– Adequação suporte panturrilha.



Fonte: Autor.

As demais peças foram usinadas sem nenhum problema, pois devido ao dimensionamento no projeto nenhuma das peças excedia a dimensão e a espessura da chapa de polietileno. Dando sequência ao processo de fabricação a próxima peça usinada foi o suporte estendido e apoio para o pé, como se observa na Figura 37.

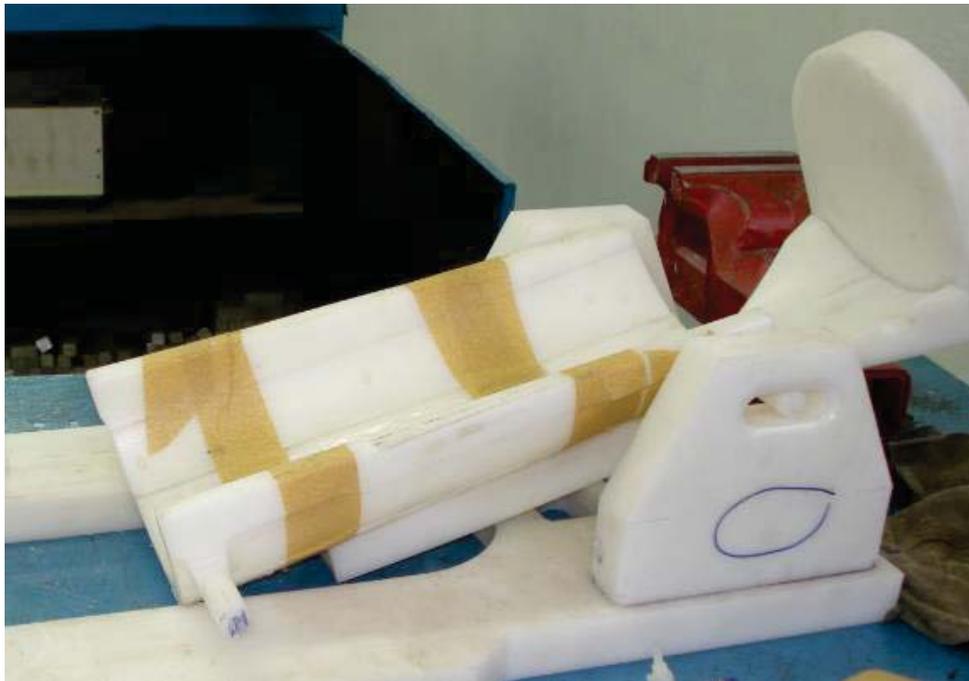
Figura 37– Suporte estendido para o pé.



Fonte: Autor.

A usinagem do suporte do calcanhar extensível e do apoio e suporte do pé ocorreram sem nenhum imprevisto como representada na Figura 38 em fase de montagem.

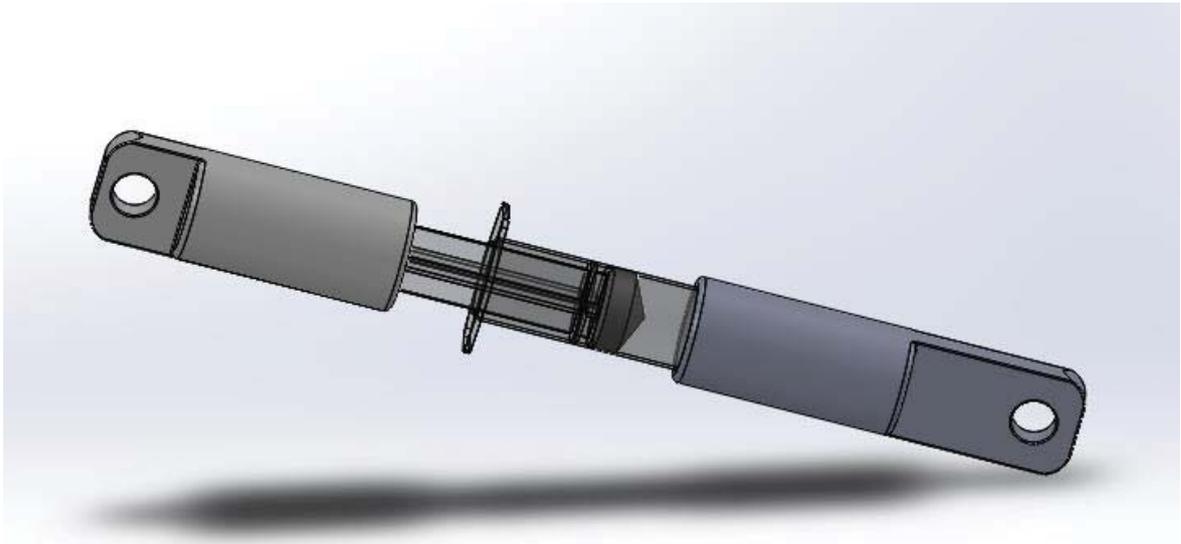
Figura 38– Usinagem do suporte do pé extensível.



Fonte: Autor.

O sistema dos pistões pneumáticos responsáveis pela articulação e movimento do dispositivo também precisou ser usinado, o pistão foi usinado a partir de duas seringas de 60ml das quais foi retirado o sistema de punção e aproveitado seu embolo interno bem como o corpo da seringa conforme imagem do projeto representada na Figura 39.

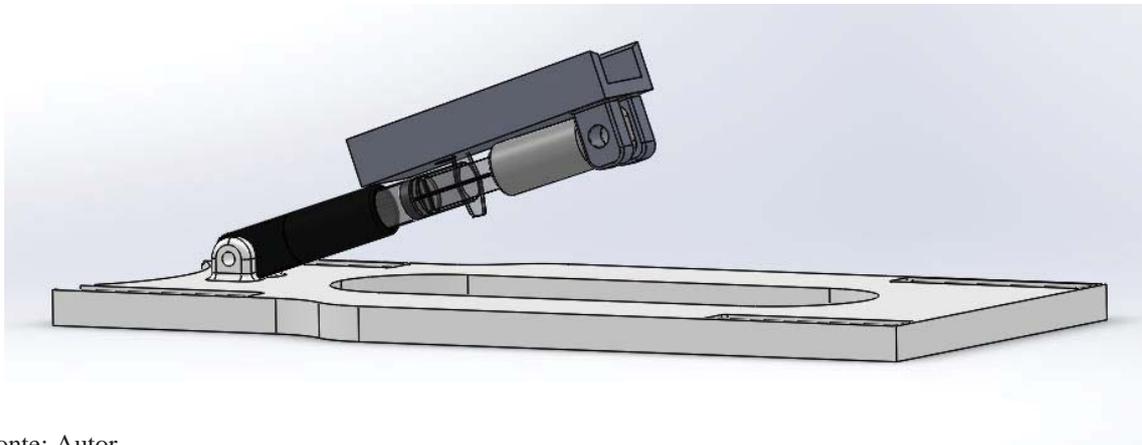
Figura 39– Projeto de usinagem dos pistões.



Fonte: Autor.

Posterior a utilização das partes da seringa foi usinado o sistema de fixação do corpo da seringa e também a sua fixação no dispositivo, ao final o mecanismo funciona como um pistão pneumático, porém não metálico Figura 40.

Figura 40– Sistema de fixação dos pistões.



Fonte: Autor.

Para realizar a montagem final do aparelho as peças precisaram ser coladas, uma vez que foram usinadas por segmentos de acordo com as dimensões da chapa de polietileno. Para o processo de colagem utilizou-se a cola *Loctite* a mais adequada para este tipo de material, já que não se possuía uma cola específica. Durante o processo de colagem as peças eram então coladas e deixadas para secar de um dia para outro para que houvesse melhor aderência da cola com o material, este processo foi feito em todas as peças usinadas por segmentos.

Foi observado que conforme a cola secava a aderência em relação ao material diminuía, o que causava descolamento das peças conforme representado na Figura 41.

Figura 41– Deslocamento da peça.



Fonte: Autor.

Observou-se então que a cola inicialmente em estado líquido, secava e não adería mais ao polietileno, como consequência as peças descolavam dia após dia e principalmente ao manuseio destas peças.

A solução encontrada para unir as peças foi remover a cola do material, lixar a superfície, aplicar novamente a cola mas desta vez junto a tarugos de polietileno colocados para ajudar a fixar as peças segmentadas. A função dos tarugos era de diminuir o risco das peças desprenderem-se, além dos tarugos e da cola também utilizou-se uma fita com base em

fibra de tecido para fazer a união em volta de cada peça assegurando a união de cada item usinado anteriormente conforme Figura 42 logo abaixo.

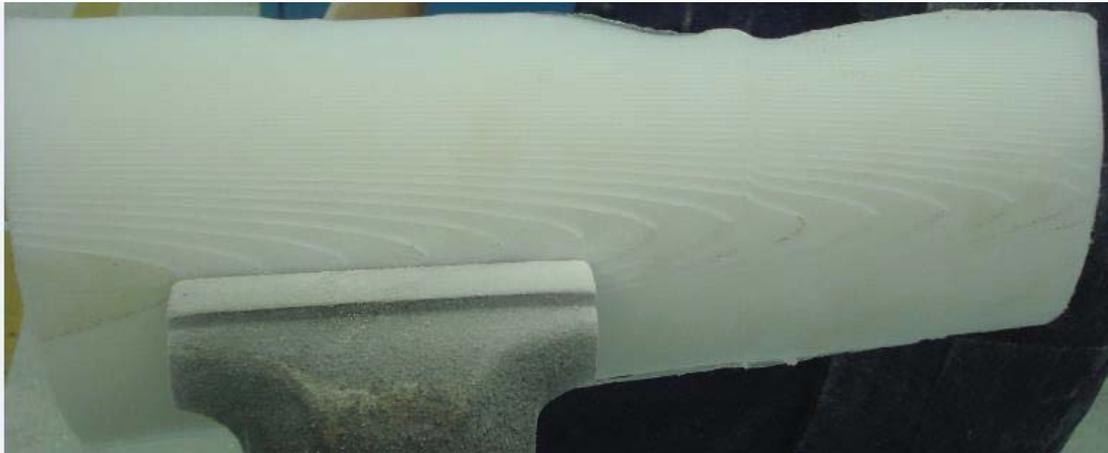
Figura 42– Fita em torno do dispositivo.



Fonte: Autor.

Além do fato das peças estarem se descolando, também evidenciamos outro problema, o polietileno apresentou deformações com o tempo, ou seja o material das peças trabalhava mesmo estando imóveis, a própria chapa de polietileno estava trabalhando, isto foi observado principalmente após as peças terem passado pelo processo de usinagem a Figura 43 ilustra as deformações ocorridas.

Figura 43– Deformações apresentadas.



Fonte: Autor.

Em relação ao pistão que tem por função rotacionar o pé, não foi possível colocar o mesmo, pois devido ao comportamento do polietileno precisaríamos fazer uma readequação de projeto, portanto optou-se por não interferir na estrutura final do protótipo e eliminar o sistema pneumático do pé, assim sendo ele servira apenas de apoio para o pé, sem possibilidade de movimentação por acionamento dos pistões, contudo é possível movimentar ainda que manualmente, caso seja necessário.

Ao final de todas as peças usinadas o próximo passo é a confecção do protótipo, ou seja a montagem final do dispositivo para posterior avaliação e experimento. Para a montagem final as peças serão trabalhadas manualmente e fixadas através de parafusos usinados em polietileno, além de cola e tarugos para fixação entre as peças.

3.2 Confecção do Protótipo

A montagem do dispositivo foi um processo difícil, cada peça precisou novamente ser adequada manualmente a partir da montagem da base do dispositivo, o fato do material estar trabalhando mesmo após ter sido usinado dificultou a questão dos encaixes entre as peças. A Figura 44 representa o processo de confecção do protótipo.

Figura 44– Montagem do protótipo em etapas.



Fonte: Autor.

A montagem do protótipo final iniciou-se pela base do dispositivo, posteriormente foram anexados o suporte para panturrilha juntamente com o suporte da coxa, ambos os suportes estavam fixados pelas torres laterais que já estavam parafusadas junto a base do aparelho Figura 45.

Figura 45– Montagem suporte para articulação.



Fonte: Autor.

Logo abaixo do suporte para panturrilha estava colocado o suporte para o pé com regulagem, e abaixo deste suporte estava o mecanismo do pistão responsável pela articulação do dispositivo.

Após a montagem de todas as peças fixadas e colocadas conforme prescrito no projeto, o protótipo conceitual estava pronto conforme se observa na Figura 46.

Figura 46– Protótipo final montado.



Fonte: Autor.

A imagem seguinte Figura 47 representa o protótipo já finalizado e pronto para realização do teste inicial experimental, realizado apenas para observar e verificar se a articulação proposta do dispositivo estava funcionando.

Figura 47– Deslocamento da peça.



Fonte: Autor.

A Figura 48 representa o experimento realizado de movimento da articulação do dispositivo e do deslocamento do membro inferior.

Figura 48– Movimento da articulação do dispositivo.



Fonte: Autor.

Antes do experimento, foi realizado um teste de funcionamento do dispositivo no próprio núcleo de mecânica, para verificar seu desempenho e articulação, o teste improvisado mostrou que o mesmo estava funcionando de acordo com a articulação proposta.

4 EXPERIMENTO

Após concluído o protótipo conceitual do dispositivo, deu-se início então a fase de experimento para validação do aparelho etapa muito importante para verificar o desempenho esperado em relação a utilização do produto. Nesta fase verificou-se então as hipóteses questionadas e levantadas durante a experimentação, a descrição do método experimental utilizado bem como a técnica utilizada para avaliar os resultados obtidos ao final do experimento, e de um modo geral os resultados alcançados com este experimento bem como demais pontos fortes e fracos percebidos durante sua validação.

O experimento foi realizado junto ao Hospital Ortopédico desta cidade, em conjunto com a equipe do Dr Cesar de Quadros Martins. Devido a critérios de segurança e normas do Hospital não foi possível a filmagem ou fotografia in loco, apenas registro da Ressonância Magnética. Para este propósito houve a participação de apenas um sujeito para posterior avaliação.

4.1 Finalidade da Experimentação

A finalidade deste experimento foi testar a articulação do dispositivo com o intuito de tracionar a tíbia anteriormente no fêmur do joelho evidenciando possíveis lesões ligamentares quando estas estiverem ocorrendo.

Além da avaliação de funcionamento, também é possível através deste experimento avaliar condições de uso e adequações posteriormente no que se refere a manipulação do aparelho e as características formais e ou ainda estruturais do mesmo.

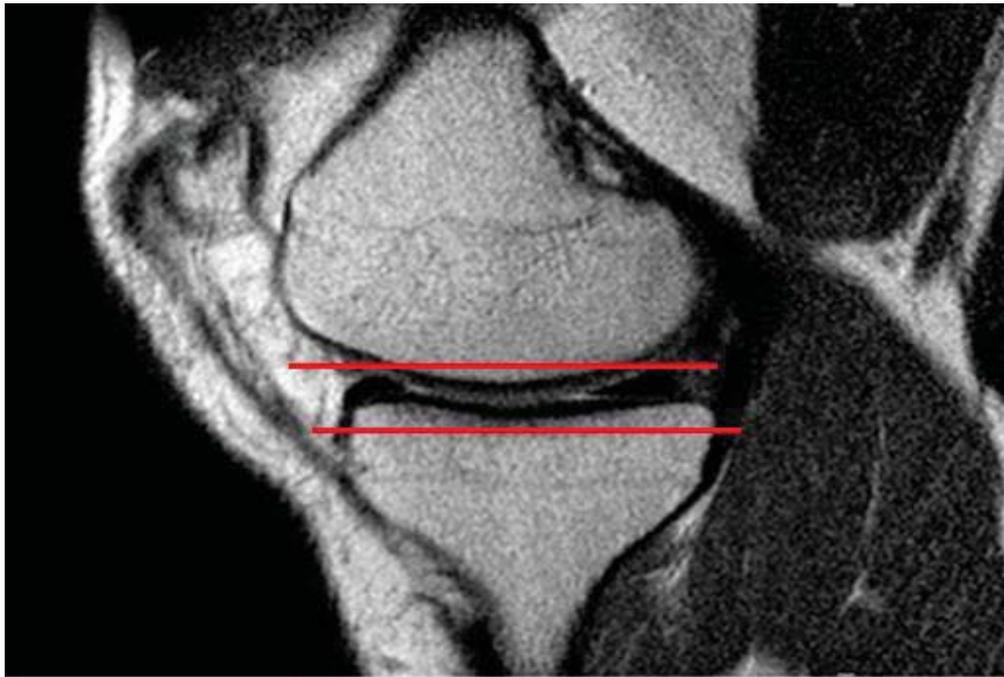
4.2 Método Experimental (Hipóteses e Técnica)

O Método experimental utilizado é definido como método de causa e efeito. Causa quando o dispositivo traciona a tíbia anteriormente, e efeito quando ocorre a tensão do ligamento cruzado anterior.

As hipóteses acreditadas é de que o dispositivo tracione a tíbia anteriormente em relação ao fêmur e que o mesmo tencione o ligamento cruzado anterior quando acionado.

Para visualizar esta aplicação do método utilizou-se a geração de imagens da RM que possibilita a cada secção programada visualizar este movimento de compressão sob o joelho. A imagem da Figura 49 representa o joelho sob o aparelho sem a ação da movimentação pela articulação, observasse na imagem o joelho em posição estática e com os ligamentos paralelos não tensionados.

Figura 49– Imagem de RM sem articulação do dispositivo.



Fonte: Autor.

O método de visualização através das imagens geradas pela RM é por visualização direta das fibras. Observamos visualização de boa imagem da ressonância magnética apesar de apresentar pequena granulação em suas imagens, mas que de forma geral não prejudica a imagem pela formação de artefatos.

Na sequência deu-se início a programação de nova seção de ressonância ao qual houve a articulação do dispositivo em relação ao joelho conforme ilustra a Figura 50. Neste momento é possível observar mesmo com a continuidade de granulações na imagem que houve um deslocamento da tíbia em relação ao fêmur e que o mesmo gerou uma tensão ligamentar no joelho.

Figura 50– Imagem de RM com articulação do dispositivo.



Fonte: Autor.

Não é possível através do mecanismo de articulação apenas do aparelho visualizar o deslocamento entre os ligamentos cruzado anterior e cruzado posterior, pois para isto seria necessário um deslocamento vertical paralelo ao movimento articulado, sendo isto possível poderia se então identificar qual dos ligamentos está rompido, uma vez que a visualização da imagem da RM em 2D possibilita apenas uma vista paralela e de ambos os ligamentos.

Ambas imagens apresentam a visualização dos ligamentos do joelho sob posicionamento do dispositivo e ação da articulação imposta pelo médico, observa-se que as imagens apresentam bons resultados em relação a visualização da RM.

Como se observou nas imagens logo acima o indivíduo que se submeteu ao teste não apresenta nenhuma lesão ou ruptura ligamentar do joelho, caso contrário o dispositivo evidenciaria esta perda de paralelismo das fibras em facilidade ao ser articulado, mesmo apresentando apenas a opção de articulação.

4.3 Resultados

De um modo geral o dispositivo atendeu as expectativas e a necessidade esperada, o resultado deste experimento baseia-se no uso do aparelho junto ao exame de RM onde um indivíduo que não apresentava sintomas ou lesões do joelho.

Deste modo o resultado aqui exposto refere-se apenas a utilização do dispositivo e não a avaliação clínica do paciente, pois a finalidade do experimento era saber se o dispositivo atenderia os objetivos propostos.

Não se visualiza o dispositivo na região posterior do membro inferior bem como não há presença de artefato nas imagens da ressonância magnética conforme se observa na Figura 51, o que é bom e positivo para o estudo. Do contrário teríamos artefato (perda do padrão correto) ou a visualização do aparelho (dispositivo) o que prejudicaria a visualização correta dos tecidos.

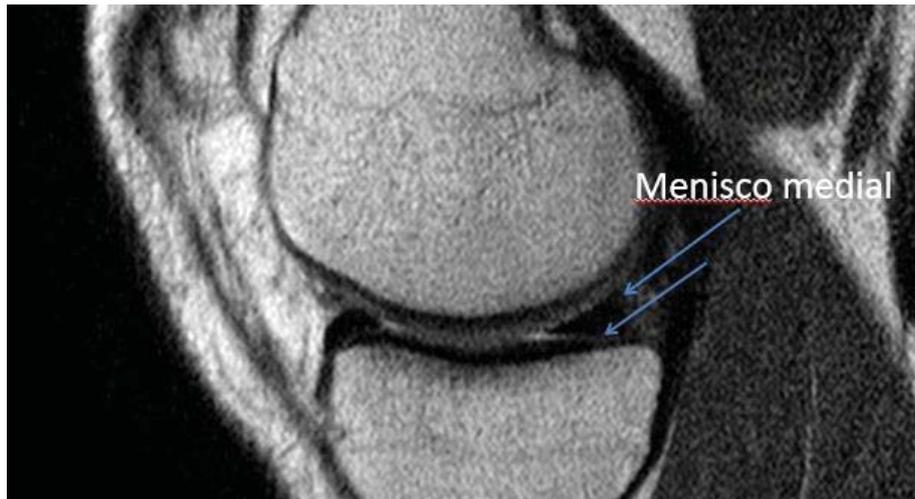
Figura 51– Corte no plano sagittal ligamento cruzado anterior (LCA).



Fonte: Autor.

Na próxima imagem Figura 52, que representa um novo corte de plano sagital onde também não se observa a interferência do dispositivo, e se percebe com clareza o corno posterior do menisco medial.

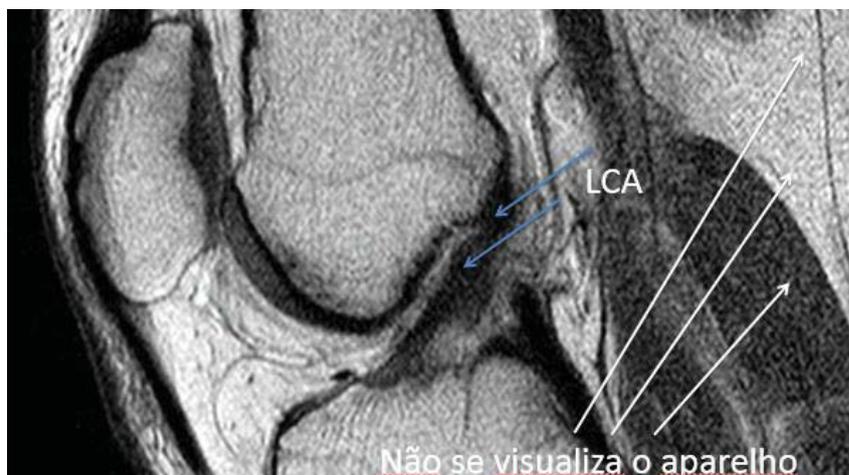
Figura 52– Corte no plano sagital corno posterior do menisco medial.



Fonte: Autor.

Na Figura 53 se observa a representação do corte no plano sagital onde se visualiza o LCA com suas fibras retilíneas e demonstrando bom paralelismo destas fibras. De igual forma não visualizamos o aparelho que está posicionado na região posterior do membro inferior.

Figura 53– Corte no plano sagital LCA.



Fonte: Autor.

Evidenciou-se o alinhamento das fibras do cruzado anterior do joelho em um sujeito da pesquisa, por este motivo temos paralelismo das fibras. Poderíamos ter perda deste padrão de paralelismo, nodulações no caso de uma intraligamentar tipo cisto gangliônico, rupturas de uma das bandas do ligamento cruzado anterior, nesse caso o tensionamento através do aparelho evidenciaria com facilidade.

Ao final após as imagens geradas pela RM pode-se observar que o dispositivo não interferiu na imagem, ou seja contribuiu além da visualização para um melhor ajuste do joelho do paciente sem a necessidade de interromper a ressonância para movimentar ou deslocar o joelho. Este fator se mostrou eficaz uma vez que qualquer posição diferente necessária durante ao exame, deveria ser feita após interrupção ou fim da secção de ressonância, aonde o paciente deveria sair da máquina de RM e ser ajustado conforme necessidade do médico, com a ajuda do aparelho este posicionamento pode ser feito sem remover o paciente do aparelho de RM.

Em termos de ganho de tempo não houve valor significativo, uma vez que as seções são pré estabelecidas no início do exame, ou seja, o tempo de cada secção determina o tempo de permanência para realização do exame, não há como reduzir o tempo já programado. Em se tratando da visualização das imagens, se percebeu uma leve diminuição de porosidade, o que foi positivamente observado pois como o aparelho estava envolto a uma fita, havia o risco da imagem estar com nuvens, ou ainda não ser legível. O fato da RM trabalhar somente com imagens 2D não permitindo a visualização durante a articulação do aparelho, apenas de seções de imagens.

Os resultados aqui apresentados referem-se ao desempenho do dispositivo durante a realização do exame de RM, que atendeu as hipóteses e objetivos propostos, não considerando o estado clínico do paciente, muito embora o indivíduo submetido ao exame não apresentasse nenhuma lesão no joelho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento realizado através do desenvolvimento do protótipo do dispositivo demonstrou sua eficiência na visualização das imagens geradas pela Ressonância Magnética, onde se observou com clareza os ligamentos cruzados anterior e posterior do joelho.

Além da melhoria em termos de diagnósticos foi possível a articulação do dispositivo através de acionamento manual realizado pelo médico no momento do exame, esta possibilidade permite uma variação em relação a posição e angulo do joelho capaz de proporcionar uma visualização ainda mais precisa em relação a outras lesões que eventualmente podem ocorrer, e que sem a ajuda do equipamento só poderiam ser vistas durante o processo cirúrgico.

O fato do dispositivo ser articulado não necessita interromper o exame de Ressonância para retirar o paciente da máquina e ajustar o posicionamento do joelho, neste caso o ajuste pode ser feito sem a necessidade de remoção do paciente, agilizando a realização do exame.

Através do experimento realizado constatou-se a boa visualização nas imagens geradas pela RM, proporcionando um melhor diagnóstico ao paciente.

5.1 Cruzamento dos Resultados Obtidos com os Objetivos propostos

Em relação aos objetivos inicialmente propostos consideram-se os mesmos atingidos uma vez que a fase do experimento validou o aparelho, bem como os resultados demonstraram a importância da utilização do mesmo.

Em relação ao objetivo geral proposto de desenvolver um dispositivo articulado e que pudesse auxiliar na melhoria de diagnóstico de lesões do joelho considera-se o mesmo atingido, uma vez que o protótipo do aparelho foi confeccionado, sua articulação foi colocada em funcionamento e foi possível sua validação através do experimento realizado junto ao exame de RM que apresentou imagens com posicionamento do joelho em relação a articulação do dispositivo, oferecendo ao médico a possibilidade melhorada de visualização na identificação das lesões.

Em correlação ao demais objetivos inicialmente propostos como o de desenvolver um dispositivo conceitual que permitisse sua utilização de forma experimental foi considerada

findada uma vez que o protótipo foi fabricado e que apesar de toda dificuldade foi possível realizar sua validação através do experimento.

Também considera se atingido o objetivo que previa a verificação dos efeitos da utilização do aparelho mediante a RM, pois o mesmo foi realizado possibilitando ao médico e ao paciente o posicionamento adequado do joelho junto a máquina de RM e também possibilitou a visualização melhorada do exame.

Portanto, o estudo inicialmente proposto foi findado, e o resultado possibilitou melhorias tanto na visualização das imagens geradas, como também no diagnóstico de lesões de joelho, proporcionando ganho de tempo e maior propriedade nos resultados dos exames realizados pelos pacientes.

6 CONCLUSÃO

Ao final deste estudo pode-se dizer que o desafio inicialmente proposto foi cumprido, houveram obstáculos no desenvolvimento deste estudo no que se referem ao desenvolvimento e concepção do protótipo, mas há cada etapa finalizada houve aprendizado técnico, científico e principalmente profissional.

Em relação aos estudos de métodos projetuais e desenvolvimento de produtos é possível concluir que indiferente da metodologia utilizada para nortear a concepção do projeto, ela não garante o sucesso do produto, mas com certeza diminui riscos e erros projetuais, e o que de fato valida o protótipo final é o experimento. Por isso conclui-se em relação ao experimento realizado, mesmo que apenas para validar o uso final do aparelho, que esta é a mais importante etapa do projeto, pois é nesta fase experimental que se observa o que deu certo e o que não funcionou, o que pode ser ajustado e o que deve permanecer, é através do experimento que agregamos aprendizado em todas as áreas envolvidas neste estudo, através do experimento conseguimos o elo entre o desenvolvimento teórico e a prática projetual, é importante que se chegue a um resultado final. Creio que toda ideia de produto deve ser testada para então analisar seus resultados e daí então partir para uma proposta comercial de produto.

De um modo geral que o presente estudo trouxe além de um resultado findado, muito aprendizado e conhecimento agregado de todas as etapas desenvolvidas, mas principalmente despertou o interesse por uma área profissional muito interessante que o desenvolvimento de dispositivos e ferramentas para área médica, o pouco contato através deste estudo permitiu visualizar um nicho de mercado em constante evolução, tanto tecnológica quanto na área da saúde e que demanda por instrumentos, ferramentas e dispositivos que facilitem, possibilitem e agreguem benefícios e melhorias a saúde dos pacientes ou usuários finais. Projetar com esta finalidade vai além da criação de um produto final, mergulha-se num mundo de pesquisa de materiais, processos de fabricação e principalmente na análise de uso.

Por fim, todo este estudo envolvendo áreas de atuação complementares contribuiu expressivamente para destacar a importância dessa interação entre as atividades profissionais, e que todo projeto independente da sua área deve evoluir e ser aperfeiçoado com base nos objetivos e resultados alcançados, sempre em benefício da melhoria e da qualidade de vida dos seus usuários.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREWS, J.R.M.D.; HARRELSON, Gary L., WILK, P.T. Kevin E. **Reabilitação Física das Lesões Desportivas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

BACK, NELSON. ...[et al]. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.

BAXTER, MIKE. **Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BAXTER, MIKE. **Projetos de Produtos - Guia Prático Para o Design de Novos Produtos** Blucher- 3ª Ed. – 2011

BOMFIM, G. A. **Metodologia para desenvolvimento de projetos**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1995.

BORBA, E.M. **Associação dos níveis de BNDF no comprometimento cognitivo leve e na doença de Alzheimer**. Dissertação (Mestrado em Medicina) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2012.

CAILLIET, M. D., Rene. **Dor no Joelho**. Porto Alegre: Artmed, 2001

CAMANHO GL, VIEGAS AC. **Estudo Anatomico e Artoscópico do Ligamento Femoropatelar Medial**. s.l. : Acta Ortop Bras, 2010.

CESAR ANTONIO DE QUADROS MARTINS, L. A. (2012). **Reconstrução anatômica do ligamento cruzado anterior do joelho: banda dupla ou banda simples?** *Revista Brasileira Ortopédica*, 197-203

COELHO, LUIZ A. **Percebendo o método**. In: COUTO, Rita M. de Souza; OLIVEIRA, Alfredo J. (org.). *Formas do Design*. Rio de Janeiro: 2AB, PUC-Rio, 1999.

COUTINHO, F. M., MELLO, I. L., & MARIA, L. C. (2003). **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. *Polímeros: Ciencia e Tecnologia*, 1-13.

DUTTON, MARK. **Fisioterapia ortopédica: exame, avaliação e intervenção**. 2ed. Porto Alegre : Armend, 2010. Vol. 2.

FATARELLI, I. F. C.; ALMEIDA, G. L. **Estudo do Controle Motor e da Biomecânica na Lesão e Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior**. Campinas, 2003

HEBERT, S; XAVIER, R. **Ortopedia e Traumatologia: Princípios e prática**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2003.

HENRY DREYFUSS ASSOCIATE. **As medidas do homem e da mulher**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2005.

IIDA, I. **Ergonomia, Projeto e Produção**. Ed. Edgard Bluscher Ltda, 1990.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção: 2ª edição revisada e ampliada**. São Paulo: Edgard Biuscher, 2005.

JUNIOR ALBERTO C, DEFINO L.H. **Ortopedia e Traumatologia - Revista Ilustrada**. 03, São Paulo : Atha, 2010, Vol. 1. 21767548.

JUNIOR, A. F. B. **Fundamentos de clínica e cirurgia de joelho**: Guia de estudo para residente de ortopedia. São Paulo: Lemos editorial, 2008.

MANFÉ, G et all. **Desenho técnico mecânico: curso completo para as escolas técnicas e ciclo básico das faculdades de engenharia**. São Paulo: Hemus, 2004.

MARTINS, CESAR ANTONIO DE QUADROS. Cesar A. Q. Martins - cirurgia de joelho. Citado em: 8 de outubro de 2014. <http://www.cesarmartins.com.br/?area=curriculo>.

MICHEO W, AMY E. Anterior cruciate ligament tear. In WR Frontera et al., eds., **Essential of physical Medicine ans rehabilitation: Musculoskeletal Disorders, Pain and Rehabilitation**. Philadelphia : saunders Elsevier, 2nd ed 2010.

MORALES, A. **Contribución para um Modelo Cubano de Gestión Integrada de Recursos Humanos**. Tesis (Doctorado em Ciências Técnicas) – Instituto Superior Politécnico, La Habana, 2006.

MOZOTA, B. BORJA. Design e Inovação: coordenação por meio do design. **In: ____.** **Gestão do design: usando o design para construir valor de marca e inovação corporativa.** Trad. Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2011.

MUNARI, BRUNO. **Das coisas nascem coisas.** São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NEUMANN, DONALD A. **Cinesiologia do aparelho musculoesquelético: fundamentos para reabilitação.** [trad.] Renata Scavone de Oliveira et al. Rio de Janeiro : Elsevier Health Sciences, 2012.

PAIVA, C. A., & NETO, L. F. (2004). **Revisão sobre lesões do ligamento cruzado anterior do joelho durante o período gestacional.** *Revista Brasileira de Ortopedia e Traumatologia*, 12.

PAHL, G, et all. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações.** Editora: EdgardBlücher. São Paulo. 2005.

PASCHOARELLI, LUIS CARLOS. **Design ergonomico de instrumentos manuais: metodologias de desenvolvimento, avaliação e análise do produto.** São Paulo: Blucher, 2011.

PAULA, JEFFERSON de O **Análise do processo de desenvolvimento de produtos: um estudo de caso em uma empresa do setor de autopeças.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Itajubá (MG) : [s.n.], 2011.

REIMBERG; LEMOS; CARVALHO. **Radiologia.** São Paulo. Disponível em: <http://www.playmagem.com.br/radiologia/.pdf/>> Acesso em: 11 de agosto. 2014.

ROMEIRO FILHO, E. et all. **Projeto do Produto.** Rio de Janeiro, Elsevier, 2010.

SMITH, W.F., HSEMI, J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais,** Bookman, Brasil, 2010.

SOARES, V. F. Escola de Belas Artes. **Curso de Desenho Industrial.** Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.eba.ufrj.br/aula/gp/>> Acesso em: 12 de dez. 2013.

ANEXO A –Orçamento de Produção Comercial do Protótipo