

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS GUTTEMBERG FERREIRA DOS SANTOS SOARES

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA ÓRTESE DE APOIO E LIMITAÇÃO DO
MOVIMENTO PLANAR EM JOELHOS PARA DIMINUIR TENSÕES NAS SUAS
ARTICULAÇÕES**

PONTA GROSSA

2021

CARLOS GUTTEMBERG FERREIRA DOS SANTOS SOARES

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA ÓRTESE DE APOIO E LIMITAÇÃO DO
MOVIMENTO PLANAR EM JOELHOS PARA DIMINUIR TENSÕES NAS SUAS
ARTICULAÇÕES**

**Conceptual design of a support orthosis and limitation and limitation of planar
movement in the kness to reduce tensions in your joints**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR) campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Castro Alves.

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CARLOS GUTTEMBERG FERREIRA DOS SANTOS SOARES

**PROJETO CONCEITUAL DE ÓRTESE DE APOIO E LIMITAÇÃO DO
MOVIMENTO PLANAR EM JOELHOS PARA DIMINUIR TENSÕES
NAS SUAS ARTICULAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa (UTFPR).

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 15 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr.Alexandre de Castro Alves
Orientador
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Me.Jose Roberto Okida
Membro Titular
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr.Davi Fusão
Membro Titular
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ponta Grossa

2021

Dedico este trabalho aos poderosos
mestres que em sua imensa capacidade
intelectual e emocional em educar, me
ajudaram a me tornar quem eu sou hoje e
a chegar até onde estou.

Universo todo iguala-se ao mecanismo de um relógio, com engrenagens mutuamente dependentes. Até mesmo o conceito da divindade como a entidade de alcance mais elevado, pode ser classificado de modo análogo aos elementos, em certos aspectos.
(BARDON, Franz)

RESUMO

Os organismos biológicos do corpo humano tais como músculos, esqueleto, cartilagens e lubrificantes possuem suas funcionalidades voltadas para a aplicação dos movimentos e suporte de carga que com o processo natural do envelhecimento sofrem perdas e desgastes. Devido a isso, o indivíduo pode sofrer com dores, reações inflamatórias, entre outras condições. Como tratamentos convencionais destacam-se procedimentos invasivos, operações para ajustes mecânicos ósseos e de reconfiguração muscular. Em atuação conjunta aos tratamentos convencionais, evidenciam-se os tratamentos complementares, em que se destacam a utilização de instrumentos de apoio e facilitação, acelerando a recuperação da lesão e auxiliando na retomada dos movimentos. Dentre estes instrumentos, destacam-se as órteses com as suas mais diversas características mecânicas. O projeto se inicia com uma revisão bibliográfica do estado da arte em volto do assunto “órteses para joelho”. Junto a isso faz-se uma revisão conceitual dos produtos já disponíveis no mercado com relação aos requisitos funcionais. É feita então uma análise morfológica dos produtos encontrados. Os dados recolhidos com a análise são usados de informações de entrada para a aplicação da ferramenta brainstorming, com o fim de perceber e identificar os requisitos para a solução final. Com a listagem desses requisitos pode-se determinar quais características físicas o projeto deve apresentar. Determina-se então o projeto básico conceitual utilizando-se da ferramenta MESCRAI encontrando no fim alternativas teóricas que possam alimentar possibilidades a serem utilizadas como projeto final. Realizando uma congregação dos produtos MESCRAI encontrados foi criada então uma matriz de decisão para que se pudesse visualizar e pesar as alternativas a partir dos atributos considerado, dando início à fase de desenvolvimento do *mock-up*. A partir do *mock-up* é possível apresentar a morfologia do produto final através de fotos que mostram as combinações da alternativa escolhida. Por fim é feita a descrição funcional do produto. Pôde-se desenvolver um *mock-up* para que o projeto possa ser aplicado a prática e analisado clinicamente, possuindo satisfatório parâmetro de conforto, segurança e limitação de movimento, atingindo todos os objetivos determinados com satisfação, mas ainda apresentando espaço para avanço e aprimoramento.

Palavras-chave: Aparelhos ortopédicos; Joelhos; Projeto de produto; Manipuladores (Mecanismo).

ABSTRACT

The biological organisms of the human body, such as muscles, skeleton, cartilages and lubricants, have their functionalities aimed at the application of movements and load support that, with the natural aging process, suffer losses and wear. Because of this, the individual may suffer from pain, inflammatory reactions, among other conditions. As conventional treatments, invasive procedures, operations for bone mechanical adjustments and muscle reconfiguration stand out. In conjunction with conventional treatments, complementary treatments are highlighted, in which the use of support and facilitation instruments is highlighted, accelerating the recovery of the injury and helping to resume movements. Among these instruments, the orthoses stand out with their most diverse mechanical characteristics. As identified, tensions in the knee due to overload and wear lead to discomfort and movement problems that can be alleviated by the use of these orthoses aimed at the knee and which become the objective of this study. Objective: To develop a quick-fix orthosis to control planar joint movement and relieve tension to generate comfort, safety and limitation of movement. Method: The project begins with a literature review of the state of the art around the subject "knee orthoses". Alongside this, there is a conceptual review of the products already available on the market in relation to their functional requirements. A morphological analysis of the products found is then carried out. The data collected through the analysis is used as input information for the application of the brainstorming tool, in order to understand and identify the requirements for the final solution. With the listing of these requirements, it is possible to determine which physical characteristics the project must present. The basic conceptual design is then determined using the MESCRAl tool, finally finding theoretical alternatives that can feed possibilities to be used as the final design. By bringing together the MESCRAl products found, a decision matrix was then created so that alternatives could be visualized and weighed based on the attributes considered, starting the mock-up development phase. From the mock-up, it is possible to present the morphology of the final product through photos that show the combinations of the chosen alternative. Finally, the functional description of the product is made. Conclusion: All steps had a satisfactory result. It was possible to develop a mock-up so that the project can be applied in practice and clinically analyzed, having satisfactory parameters of comfort, safety and movement limitation, reaching all the goals determined with satisfaction, but still presenting room for advancement and improvement.

Keywords: Orthopedic apparatus; Knee; Product design; Manipulators (Mechanism).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas do Projeto de Produto	18
Figura 2 – Etapas do Projeto de Produto	19
Figura 3 – Matriz Morfológica	23
Figura 4 – Exemplo de matriz de decisão	25
Figura 5 - Planos Anatômicos	27
Figura 6 - Marcha humana	28
Figura 7 - Sistema de força de três e quatro pontos	34
Figura 8 - Sistema de pressão de três pontos. (A) dorsiflexão, (B) flexão planar, (C) inversão, (D) eversão, (E) abdução e (F) adução	34
Figura 9 - Força de reação do solo durante a marcha	35
Figura 10 – A movimentações do joelho.	36
Figura 11 – Extensão e flexão do joelho	37
Figura 12 - Joelheiras de (A) Neoprene com orifício patelar e reforço circular e (B) Neoprene com hastes metálicas laterais	38
Figura 13 - Joelheira em Neoprene com tiras elásticas compressivas	39
Figura 14 - Órtese com cursos regulável para controle de flexoextensão	39
Figura 15 - Órtese de lona para extensão de joelho	40
Figura 16 - Tira subpatelar	40
Figura 17 – Joelheira Hidrolight	41
Figura 18 – Joelheira Hidrolight modelo	42
Figura 19 – Molas helicoidais e suas posições	42
Figura 20 – Joelhos Force	43
Figura 21 – Joelhos Force modelo	44
Figura 22 – Domary Joelheira modelo	44
Figura 23 – Domary Joelheira em uso	45
Figura 24 – Joelheira Depisuta modelo	46
Figura 25 – Joelheira Depisuta em uso	46
Figura 26 – Joelheira Sonew modelo	47
Figura 27 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos	50
Figura 28 – Mock-up: Apresentação 1	57
Figura 29 – Mock-up: Apresentação 2	58
Figura 30 – Mock-up: Apresentação 3	58
Figura 31 – Mock-up fechado	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz Morfológica Base do Produto	51
Tabela 2 – Funções dos atributos do projeto	52
Tabela 3 – Matriz Morfológica da Alternativa A	53
Tabela 4 – Matriz Morfológica da Alternativa B	53
Tabela 5 – Matriz Morfológica da Alternativa C	54
Tabela 6 – Matriz Morfológica da Alternativa D	56
Tabela 7 – Matriz de decisão do projeto	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 PROJETO DE PRODUTO	17
2.1.1 A estrutura de um projeto de produto	17
2.1.1.1 Estudo de viabilidade	19
2.1.1.2 Projeto básico conceitual	20
2.1.1.2.1 <i>Brainstorming</i>	21
2.1.1.2.2 <i>Análise de matriz morfológica</i>	22
2.1.1.2.3 <i>MESCRAI</i>	23
2.1.1.2.4 <i>Matriz de decisão</i>	24
2.1.1.2.5 <i>Mock-up</i>	25
2.2 MOVIMENTO DO CORPO HUMANO	26
2.2.1 O joelho humano	28
2.2.1.1 Etiologia das patologias do joelho	29
2.2.2 Órteses	30
2.2.2.1 Órteses dos membros inferiores	31
2.2.2.1.1 <i>Forças nos membros inferiores</i>	32
2.2.2.1.2 <i>Órteses para o joelho</i>	37
2.3 ÓRTESES DISPONÍVEIS NO MERCADO	41
2.3.1 Joelheira com mola e reforço duplo	41
2.3.2 Joelheira com dobradiça articula e molas de tração	43
2.3.3 Joelheira de apoio de articulações respirável antideslizante (ASSIM) Domary	44
2.3.4 Joelheira Depisuta	45
2.3.5 Joelho de apoio com dobradiça respirável Sonew	47
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
4 DESENVOLVIMENTO	51

4.1 ANÁLISE CONCEITUAL MORFOLÓGICA DE ÓRTESES DISPONÍVEIS NO MERCADO	51
4.2 ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO	51
4.2.1 Alternativa A	52
4.2.2 Alternativa B	53
4.2.3 Alternativa C	54
4.2.4 Alternativa D	55
4.3 MATRIZ DE DECISÃO	56
4.4 <i>MOCK-UP</i>	57
5 CONCLUSÕES	60
6 TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

O movimento pode ser compreendido como uma necessidade inerente do corpo humano. Em uma breve análise sobre o corpo e seus sistemas, identificam-se estruturas que parecem ser projetadas para geração de movimentos. Destaca-se então, o joelho, como a maior e mais solicitada articulação do corpo humano e uma “peça crucial” para o alcance de uma plena movimentação.

Em frente ao nosso estilo de vida contemporâneo, percebe-se a importância da manutenção diária da saúde físico articular. Contudo, torna-se difícil a preservação de vitalidade devido a atividades rotineiras que prejudicam sua sustentação e os movimentos de flexão do joelho. (JUNIOR et al., 2009)

Como consequências do impacto e a complexidade dessas adversidades enfrentadas, atualmente, a atenção a saúde dispõe de profissionais especialistas, como por exemplo, os fisioterapeutas e os médicos desportistas, que estabelecem medidas terapêuticas a fim da restauração da saúde e/ou promoção de uma melhor qualidade de vida. (JUNIOR et al., 2009)

Para a Engenharia Mecânica de Projetos pode-se considerar o corpo humano como uma máquina, sendo possível o estudo do funcionamento de suas partes articulares através de sistemas com até 6 graus de liberdade, onde se possui limitações de amplitude dos quais é projetado sobre. Sendo assim, afirma-se o uso dessa técnica como uma proposta resolutiva para condições da estrutura física humana que envolvam movimento. (HAMILL, 2016)

1.1 Delimitação do problema

A estrutura física de um corpo possui partes móveis que envolvem ligações mecânicas que são determinadas pelas características biológicas de cada indivíduo, destaca-se assim, o estudo da biomecânica, também descrito como “... o estudo de forças e de seus efeitos nos sistemas vivos” (MCGINNIS, 2015).

Os organismos biológicos tais como músculos, esqueleto, cartilagens e lubrificantes possuem suas funcionalidades voltadas para a aplicação dos movimentos e suporte de carga que com o processo natural do envelhecimento sofrem perdas e desgastes. Esse déficit funcional associa-se a redução de massa muscular, desmineralização óssea, desgastes de cartilagens e sobrecarga articular,

casos que se agravam com altos índices de massa corporal e estabelecimento da obesidade.

Devido a isso, o indivíduo pode sofrer com dores, reações inflamatórias, entre outras condições. Como tratamentos convencionais destacam-se procedimentos invasivos, lubrificantes químicos injetáveis, operações para ajustes mecânicos ósseos e de reconfiguração muscular.

Em atuação conjunta aos tratamentos convencionais, evidenciam-se os tratamentos complementares, em que se destacam a utilização de instrumentos de apoio, acelerando a recuperação da lesão e auxiliando na retomada dos movimentos. Dentre estes instrumentos, destacam-se as órteses com as suas mais diversas características mecânicas que se configuram em função da aplicação, custo, conforto e segurança.

As órteses podem ser definidas da seguinte forma: "...são dispositivos aplicados externamente ao corpo para tratar problemas resultantes de lesões, doenças, problemas congênitos ou processo de envelhecimento. Em função da especificidade de cada indivíduo, este dispositivo poderá ter objetivos diversos, como estabilizar ou imobilizar, impedir ou corrigir deformidade, proteger contra lesão, promover a cura ou assistir à função" (ASSUMPÇÃO, 2005).

Como outro fator de extrema importância, a obesidade torna-se um dos principais fatores de risco para a osteoartrite. Sendo uma doença, a osteoartrite acomete a cartilagem articular, provocando rigidez à movimentação, alterações ósseas e dor. Apresentando-se o paciente com dificuldades funcionais, principalmente para a locomoção, que se torna mais lenta. Os crescentes níveis de osteoartrite no Brasil, bem como uma elevada demanda de saúde nos membros inferiores, fazem tornar-se importante a compreensão de como a saúde no joelho afeta a capacidade funcional humana, a fim de se elaborar medidas de tratamento e prevenção. (VASCONCELOS, K. S. S et al.)

Como identificado as tensões no joelho em função da sobrecarga e desgaste geram desconforto e problemas no movimento que podem ser amenizados pelo uso de órteses de joelho e que se tornam o objetivo desse estudo, com base no conforto e aplicação.

1.2 Objetivos

Descrevem-se os objetivos geral e específicos com os quais foi conduzido o projeto.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma órtese de fixação rápida para controle de movimento articular planar e alívio de tensão para que gere conforto, segurança e limitação do movimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Podem-se destringir os seguintes tópicos:

- Desenvolver projeto informacional com base na análise funcional dos mecanismos das órteses da bibliografia para as recomendações biomédicas;
- Utilizar de ferramentas de projeto para desenvolvimento desse estudo;
- Propor soluções conceituais do projeto de uma órtese para o joelho e escolher a mais adequada por matriz de decisão.
- Propor configuração funcional para a solução conceitual escolhida e desenvolver mock-up para análises clínicas em uma próxima fase.

1.3 Justificativa

Em um estudo preliminar de órteses já encontradas no mercado, foram feitas análises cinemáticas e funcionais, revelando que em um âmbito geral que existem órteses com alto custo e pouco acessíveis; e com baixo custo, mas de qualidade insatisfatória. Mostrou-se que muitas delas provocam desconforto ao usuário não entregando o proposto pelo produto, não satisfazendo todas as necessidades no uso ou com carências de características que outras órteses de preço semelhante possuem, como ajuste para a patela ou para o tamanho do joelho.

Portanto, na execução do projeto, se considerará ainda a saúde do utilizador, com foco no usuário e em casos de hiperextensão e hiper flexão, da necessidade do suporte antes e/ou após intervenções cirúrgicas.

Haverá a viabilidade de aplicação ergonômica confortável, dificilmente encontrável nos modelos atuais e virtualmente acessíveis, podendo suas partes ser impressas em máquinas 3D.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Apresenta-se nesse tópico o conteúdo que será utilizado como referência para desenvolvimento do projeto proposto.

2.1 Projeto de produto

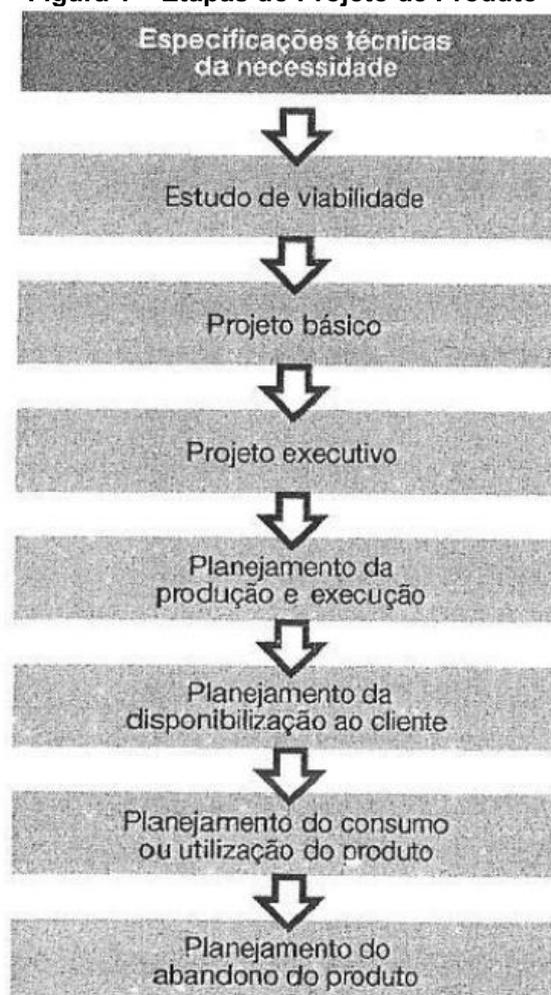
A palavra produto consiste no efeito de produzir, coisa produzida, obra, resultado, lucro ou proveito. (BUENO, 2016).

Como atividade principal de quem tem como objetivo desenvolver produtos, o projeto envolve sempre fatores tecnológicos, econômicos, humanos e ambientais, onde esses três primeiros serão mais explorados nesse projeto. (KAMINSKI, 2012) (PAHL et al., 2007)

Assim, de uma forma genérica o processo de desenvolvimento de produto ou projeto pode ser definido de acordo com as suas características gerais onde deve-se observar a necessidade (ou a resposta a um problema), a exequibilidade física, a viabilidade financeira e econômica de execução, o critério de projeto, os subprojetos, o aumento de confiança a cada etapa de avanço, o custo de certeza em proporção ao aumento de confiança e, por fim a apresentação. (KAMINSKI, 2012)

2.1.1 A estrutura de um projeto de produto

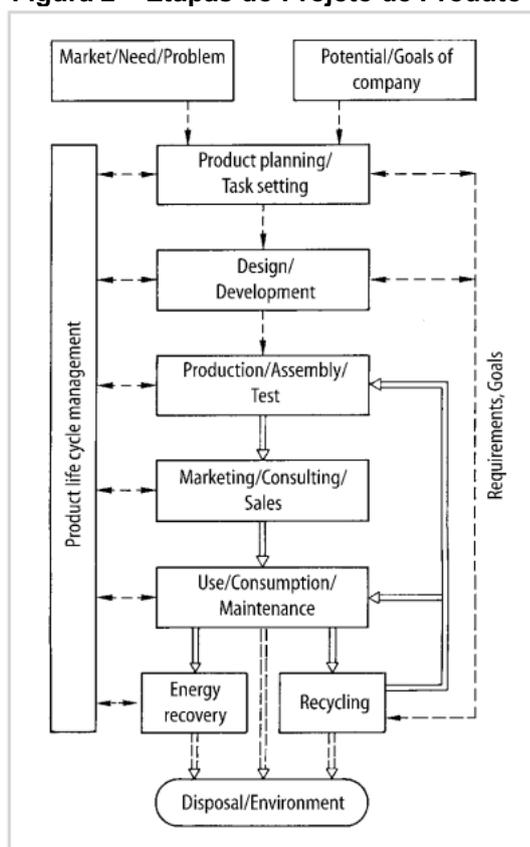
Independente das propostas individuais de cada produto, estabelecem-se várias etapas em comum para que se encontre um produto final em uma estrutura de projeto. Assim, um projeto é constituído de fases sequenciais que configuram todo o ciclo de produção de um produto, como mostrado na Figura 1, sendo essas o Estudo de Viabilidade (fase 1), o Projeto Básico (fase 2), o Projeto Executivo (fase 3), o Planejamento de Produção/Execução (fase 4), o Planejamento da o Disponibilização ao Cliente (fase 5), o Planejamento do Consumo (fase 6) e o Planejamento do Abandono do Produto (fase 7). (KAMINSKI, 2012)

Figura 1 – Etapas do Projeto de Produto

Fonte: (KAMINSKI, 2012)

As fases propostas por Kaminski entram em consonância com o pensamento de Pahl, como mostra a Figura 2, onde o gerenciamento do ciclo de vida de um produto começa com o planejamento do produto, passando por seu desenvolvimento, produção, gerenciamento de marketing, seu uso e então seu descarte. (PAHL et al., 2007)

Figura 2 – Etapas do Projeto de Produto



Fonte: (PAHL et al., 2007)

Como podemos ver, para Pahl as etapas de um projeto de produto começam a partir de um estudo do mercado, reconhecendo desde já a necessidade da solução de um problema. Na sequência há então o planejamento do produto para que ele possa ser então desenvolvido, produzido e então divulgado para venda. Como podemos ver, para Pahl, o objetivo do desenvolvimento de um produto consiste desde o planejamento do produto até o seu descarte, onde esse último pode ser a reciclagem ou reuso em outras etapas do projeto do produto. (PAHL et al., 2007)

Dessa forma, tendo em vista a proposta desse trabalho, foram concebidas como parte do projeto apenas as fases 1 e 2 de Kaminski e as 3 primeiras etapas sugeridas por Pahl.

2.1.1.1 Estudo de viabilidade

Confere-se à fase inicial de qualquer projeto onde tem-se um conjunto de soluções viáveis para o dado problema. Aqui o detalhamento deve ser feito quase que superficialmente, onde o mesmo deve ser apenas suficiente para se verificar a viabilidade técnica e econômica da solução. Entendendo-se a necessidade da

solução, especifica-se as exigências decorrentes das necessidades, fixando-se suas características funcionais, operacionais e construtivas, limitações e critérios do projeto, determinando por fim suas especificações técnicas do produto que será desenvolvido. (KAMINSKI, 2012)

Tendo esse detalhamento bem listado, elaboram-se alternativas de solução através da geração de concepções físicas que atendam especificações do projeto. Essas concepções são definidas de uma maneira generalista podendo ser analisadas de maneira superficial para então serem melhor aprofundadas na fase de Projeto Básico. (KAMINSKI, 2012)

2.1.1.2 Projeto básico conceitual

Estabelece-se aqui a determinação do projeto que se dará sequência, podendo-se utilizar a ferramenta Matriz de Decisão onde são avaliadas as vantagens e desvantagens de acordo com os critérios do projeto estabelecidos na primeira fase. (KAMINSKI, 2012; BAXTER, 2008; PAHL et al., 2007)

Em sequência, a solução escolhida é submetida a um detalhamento mais profundo onde são feitos estudos e ensaios utilizando de desenhos ou modelos físicos, como protótipos, ou matemático de forma a estabelecer o campo de variações e parâmetros mais importantes do projeto, as características básicas dos componentes e a influencias dos fatores internos e externos do desempenho do produto. (KAMINSKI, 2012; BAXTER, 2008)

Essa fase tem como resultado final a definição completa das características principais dos produtos que pode ser apresentada em forma de relatório descritivo, memorial de cálculo, maquetes (físicas ou eletrônicas), desenhos de conjunto, e lista de materiais e componentes dos itens principais. (KAMINSKI, 2012)

Assim, é importante que nessa fase do projeto, seja realizada uma proposta de um novo produto ou melhoria de algum produto preexistente. E, a fim de aprimorar o direcionamento dos projetos, emprega-se o uso de ferramentas que buscam ampliar a objetividade e eficiência. Ressalta-se ainda que o desenvolvimento de produtos deve ser orientado para o consumidor. O bom desenvolvedor é aquele que se põe no lugar do consumidor interpretando o que ele precisa e/ou deseja, reconhecendo seus valores e expectativas. (JERROD, 2010)

Dessa forma, estabelece-se um direcionamento para o processo criativo, ao mesmo tempo em que, se permite o aproveitamento dos recursos dispostos para a proposta final. Logo, o presente projeto se utilizará das ferramentas que serão explicitadas a seguir.

2.1.1.2.1 *Brainstorming*

Tendo como função principal a geração de ideias de maneira massiva, o *Brainstorm* teve seu termo cunhado por Alex Osborn em 1953. Essa ferramenta costuma ser realizada em grupo, composto por um líder e pelo menos quatro ou mais participantes de mesmo nível de conhecimento do assunto que darão ritmo ao processo de criação. As ideias devem circundar um problema a ser resolvido, onde o líder irá dar uma direção, explicando qual é o problema e durante a geração das ideias fazer perguntas como “Como isso pode ser melhor? O que pode ser removido? O que pode ser invertido ou alterado?”. Nenhuma ideia deve ser dispensada ou inibida até que se finalize a reunião, sendo essas uma das características principais do *Brainstorming*, a ausência total de críticas. (KAMINSKI, 2012) (BAXTER, 2008) (PAHL at al., 2007)

É importante ressaltar também que as ideias geradas no grupo permanecem ao grupo, não apenas ao autor, a fim de anular ou reduzir a influencia emotiva sobre temer ser mal julgado ou ter que assumir a responsabilidade sozinho de uma ideia muito avançada, arcando com possíveis consequências negativas. (KAMINSKI, 2012) (PAHL at al., 2007)

De modo a tornar a ferramenta mais metódica, Baxter (BAXTER, 2008) elencou sete etapas nas que devem constituir o *Brainstorming*, não havendo necessidade de serem seguidas rigidamente. São elas:

“1. Orientação: Consiste em determinar a verdadeira natureza do problema, propondo-o por escrito e descrevendo-se os critérios para a aceitação da solução proposta. A maneira como o problema é proposto condiciona o trabalho do grupo, que pode se limitar a procurar soluções restritas (fronteiras estreitas) ou mais criativas (amplas).

2. Preparação: Consiste em reunir os dados relativos ao problema, como outros produtos existentes, concorrentes, existência de peças e componentes, materiais e processos de fabricação, preços, canais de distribuição e outros.

3. Análise: A análise permite examinar melhor a orientação e a preparação, verificando se ela foi completa, assim como determinar as causas e efeitos do problema e, inclusive, se vale a pena prosseguir.

4. Ideação: É a fase criativa, propriamente dita, quando são geradas as alternativas para a solução do problema. Nessa fase, é importante o papel do líder, estimulando a geração de ideias na direção pretendida e coibindo os julgamentos, que devem ser adiados. Durante a ideação, a mente pula de uma ideia para outra, usando o mecanismo das Analogias.

5. Incubação: Frequentemente, a ideação entra numa fase de frustração, quando a fluência das ideias vai diminuindo. Nesse ponto, a sessão pode ser suspensa, para um afastamento deliberado do problema, por um período de um dia ou mais. Após esse período de relaxamento pode surgir a iluminação, quando a solução poderá aparecer mais facilmente.

6. Síntese: Consiste em analisar as ideias, juntando as soluções parciais em uma solução completa do problema.

7. Avaliação: Finalmente, as ideias são julgadas, fazendo-se uma seleção das mesmas com o uso dos critérios definidos na etapa de Orientação.”

Dessa forma o *brainstorming* tem como princípio o fato de quanto mais ideias, mais produtivo é o resultado final. Devendo-se levar em conta que ao fim o líder deve organizar as ideias para apresentar aos interessados de maneira apropriada.

2.1.1.2.2 *Análise de matriz morfológica*

Desenvolvida por Fritz Zwickey quando trabalhava com motores a jato, a Análise Morfológica visa estudar as combinações possíveis entre os componentes de um produto. A proposta do método é identificar, indexar, contar e parametrizar a coleção de todas as possíveis alternativas para se alcançar a proposta do projeto. Para isso ele definiu algumas regras. Segundo Baxter (BAXTER, 2008) são elas:

- “1. O problema a ser solucionado deve ser descrito com bastante precisão;
2. Deve-se identificar as variáveis que caracterizam o problema - isso depende dos conhecimentos e habilidades do analista;

3. Cada variável deve ser subdividida em classes, tipos ou estágios distintos – se a variável for contínua, deve-se dividi-la em determinadas faixas ou regimes – por exemplo, velocidades sub e supersônicas.

4. As soluções possíveis são procuradas nas combinações entre as classes."

De maneira coesa, Pahl (PAHL et al., 2007) apresenta os “Métodos para a combinação de soluções”, onde os problemas são subdivididos e apresentados separadamente para que possam ser aplicadas subfunções à solução final. Nesse método, usado como apoio a Análise Morfológica, deve-se ter uma maior atenção a compatibilidade com as soluções propostas tendo em vista que elas são apresentadas de maneira separadas para cada subproblema. (PAHL et al., 2007)

Assim, a Matriz Morfológica, conforme apresentado na Figura 3, consiste na listagem de variáveis do produto de maneira visualmente facilitada, apresentando combinações possíveis para que se possa ter o produto final desejado.

Figura 3 – Matriz Morfológica

Variáveis	Classes		
	1	2	3
Mecanismo de levantamento	Mecânico	A gás	
Espuma	Laminada	Injetada	
Revestimento	Tecido	Napa	
Altura do encosto	Baixa	Média	Alta
Braços	Sem braços	Com braços	

Fonte: (BAXTER, 2011)

Dessa forma, podemos ver cinco variáveis de três classes, onde apenas uma das variáveis apresenta todas as três classes. Na imagem é apresentada apenas a escolha de um projeto com mecanismo de levantamento mecânico, espuma injetada, revestimento em tecido, altura do encosto média e com braços. (BAXTER, 2011)

2.1.1.2.3 MESCRAI

O MESCRAI é uma sigla que representam, respectivamente as palavras: "Modifique", "Elimine", "Substitua", "Combine", "Rearranje", "Adapte" e Inverta".

Seus termos funcionam como uma lista de verificação para que o projetista possa refletir sobre o produto, provocando assim, modificações. É comum que no processo de criação ocorram apenas ideias óbvias, esquecendo-se de outras. No exemplo de quando se quer reduzir o custo de um projeto, como ideias óbvias, é possível chegar na conclusão de reduzir o seu tamanho, eliminar acessórios, ou mesmo substituir alguns componentes por mais baratos. Entretanto, sem a ferramenta é difícil chegar à conclusão de rearranjar os componentes, simplificando a montagem ou usar tolerâncias menos severas para a fabricação. A ferramenta, além de funcionar de modo a abranger as nossas ideias sobre um produto, pode proporcionar economia de tempo e evitar frustrações. (BAXTER, 2008)

Muito semelhante a esse método e que também usado como embasamento existe o método chamado de “Método de Passos para a Frente”, onde começa-se uma primeira tentativa de solução e então segue-se o maior número possível de caminhos para produzir outras soluções. (PAHL et al., 2007)

2.1.1.2.4 Matriz de decisão

Definida como “uma forma sistemática para classificar as alternativas segundo os critérios de projeto” (KAMINSKI, 2012), a Figura 4 apresenta a matriz de decisão e constituída por critérios do projeto como entradas nas linhas e várias alternativas nas colunas (BAXTER, 2008; PAHL et al., 2007). Atribui-se pesos a cada atributo, sendo a importância de cada um deles relativa ao projeto. Atribui-se também notas (podendo ser de 0 a 5) a cada alternativa, obtendo-se a avaliação relativa daquele atributo. “A soma desses graus multiplicados pelos seus pesos fornece valores globais que permitem a classificação e seleção da melhor alternativa ou alternativas que passarão aos próximos ciclos da espiral do projeto.” (KAMINSKI, 2012)

Figura 4 – Exemplo de matriz de decisão

ATRIBUTO	Peso	Alt. A		Alt. B		Alt. C		Alt. D		Alt. E	
		nota	nxp								
Segurança	0,12	5	0,60	9	1,08	5	0,60	8	0,96	6	0,72
Utilização de componentes padrão	0,08	3	0,24	10	0,80	6	0,48	10	0,80	8	0,64
Simplicidade e facilidade de manutenção	0,10	2	0,20	10	1,00	7	0,70	9	0,90	3	0,30
Durabilidade	0,10	4	0,40	8	0,80	7	0,70	8	0,80	2	0,20
Aceitação pública	0,18	9	1,62	6	1,08	8	1,44	9	1,62	6	1,08
Confiabilidade	0,20	6	1,20	7	1,40	6	1,20	7	1,40	4	0,80
Custo de fabricação	0,03	1	0,03	10	0,30	3	0,09	2	0,06	2	0,06
Investimento necessário	0,04	1	0,04	10	0,40	4	0,16	8	0,32	2	0,08
Performance	0,15	3	0,45	8	1,20	5	0,75	8	1,20	6	0,90
Soma	1,00		4,78		8,06		6,12		8,06		4,78

Fonte: (KAMINSKI, 2012)

Assim, na imagem pode-se ver que o produto possui nove atributos, onde o de maior peso é o atributo confiabilidade, seguido pela aceitação pública e performance. A alternativa de maior pontuação é aquela que apresentar maior valor em modulo da soma da multiplicação da nota de cada atributo pelo seu peso. Foram geradas para esse produto em exemplo cinco alternativas, onde as de maiores notas finais foram as alternativas B e D. (KAMINSKI, 2012)

2.1.1.2.5 Mock-up

Como forma de primeira apresentação de um projeto de produto, o mock-up consiste em um modelo que pode representar física, gráfica ou computacional (CAD) um objeto, produto ou uma parte do mesmo. Ele pode ser executados em escala reduzida ou ampliada para os testes iniciais. Em tradução literal esse termo significa “o primeiro de um tipo”. (BAXTER, 2008) (ALMEIDA 2018)

Assim, o *mock-up* tem como objetivo permitir o manuseio, a representação e a análise de uma descrição de maneira completa de um produto a ser produzido. Dessa forma, aquilo que tava até então abstrato ganha corpo pondo a prova os seus aspectos funcionas, ergonômicos e muitas vezes estéticos, eliminando a dificuldade inicial do projetista em ter a noção de seu corpo físico, seus componentes e peças. Entretanto vale ressaltar que muitas vezes a materialização do produto não condiz

necessariamente com o produto final, não apresentando um resultado satisfatório. (PAHL et al., 2007) (NUNES, 2009)

2.2 Movimento do corpo humano

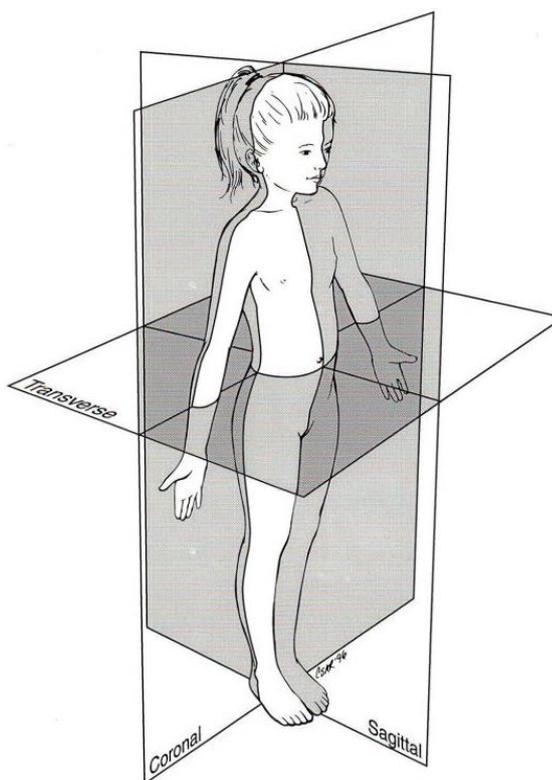
O corpo humano é constituído de órgãos e outras estruturas que interagem entre si. E, isto, pode ser denominado como biomecânica. Conclui-se, então, que a biomecânica é a aplicação dos princípios físicos do movimento ao corpo humano. (JERROD, 2010)

Ao contextualizar os movimentos, ressalta-se a marcha, sendo, um tipo de locomoção de padrão bípede, responsável pela locomoção humana. Os membros inferiores do corpo humano podem ser considerados como uma estrutura de sete graus de liberdade, nas quais, três graus referem-se à rotação do quadril, um grau do joelho e três graus do tornozelo. (DOLLAR; HERR, 2007)

Esses movimentos relativos aos graus de liberdade atuam nos três planos anatômicos, no qual, encontra-se o corpo humano, e, são eles, o plano sagital, plano coronal e transversal. O plano sagital é dominante durante a locomoção humana, a locomoção articular neste plano é referida como flexão, na direção positiva, e extensão, na direção negativa. (DOLLAR; HERR, 2007) (WEBSTER et al., 2015)

O plano coronal, no qual o quadril exerce maior atividade, compreende os movimentos de contração (abdução) e retração (adução) com seus direcionamentos para longe e perto do centro do corpo, respectivamente. Já o plano transversal que abrange deslocamento do tornozelo referidos como eversão (os pés sendo movimentados para baixo) e inversão (os pés sendo movimentados para cima), para longe e perto do centro do corpo, respectivamente. Os restantes graus de liberdade do quadril e tornozelo são referidos simplesmente como "rotação". Os termos serão usados ao longo do projeto para facilidade do entendimento do leitor. (DOLLAR; HERR, 2007) (WEBSTER et al., 2015)

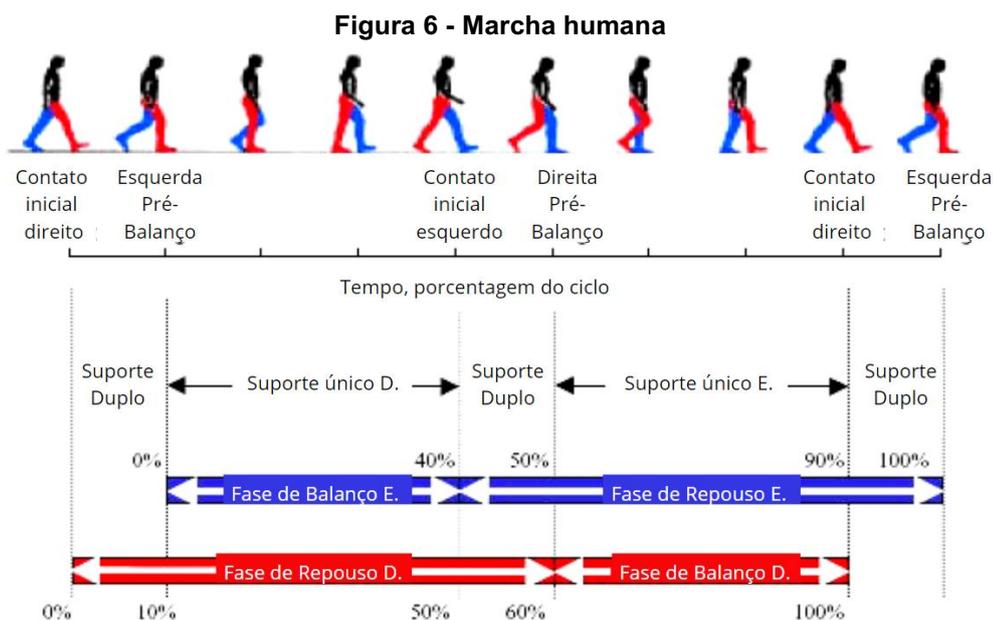
Analisando os planos da Figura 5, pode-se dizer que as expressões direcionais são aquelas que descrevem as posições do corpo mais comumente usadas são anterior, posterior, superior, inferior, medial, lateral, proximal e distal, os termos serão definidos no parágrafo abaixo.

Figura 5 - Planos Anatômicos

Fonte: (WEBSTER et al., 2015)

Anterior ou ventral é a direção que aponta para a frente do corpo ou segmento corporal e posterior ou dorsal a que aponta para a parte de trás. Superior ou cefálico é a direção que aponta para a cabeça e inferior ou caudal a que aponta em sentido contrário, em direção aos pés. Medial a direção que aponta para o plano sagital mediano do corpo ou linha média e lateral é a que aponta para longe. Proximal é a direção mais próxima da fixação de uma extremidade ou membro ao tronco e distal é a mais distante. (WEBSTER et al., 2015)

Assim, o ciclo de marca humana é normalmente representado começando em 0% e terminando em 100%, quando o calcanhar do pé do início do movimento tocar o solo, onde o calcanhar do pé adjacente acontecendo em aproximadamente 60% do ciclo da marcha. (DOLLAR; HERR, 2007) (INMAN; J.; TOOD, 1981)



Fonte: Adaptado de (INMAN; J.; TOOD, 1981)

Na figura acima evidencia-se a mobilidade do joelho nos três planos anatômicos, assim como, identifica-se seu comportamento orientado de acordo com a pele nas posições ventral, dorsal, medial e proximal. Orienta-se em si próprio quando cefálico e até mesmo caudal, em casos de doenças e lesões (INMAN; J.; TOOD, 1981). Para esse projeto considera-se o joelho operante no plano sagital, tendo em vista que nos demais planos sua atuação é mais sutil. (GEIRINGER, 1995)

2.2.1 O joelho humano

Para esse estudo, tão relevante quando fornecer algumas informações sobre a biomecânica da perna e a participação da mesma na marcha, é fornecer a definição do joelho, tendo em vista que essas informações desempenham um papel crucial no desenvolvimento do projeto.

Para total compreensão do estado da arte do joelho, é necessário saber ao que se refere o termo articulação.

Uma articulação (conhecida também como junta) é um ponto de contato entre dois ossos, podendo ser entre cartilagem e osso ou entre dentes e osso. A sua resistência e flexibilidade é determinada pela estrutura da qual é formada, baseada na presença ou ausência de uma cavidade articular e no tipo de tecido de conexão (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

Quanto a sua classificação, as articulações podem ser fibrosas, cartilagíneas ou sinoviais. E sua funcionalidade baseia-se no grau de movimento permitido, podendo ser sinartrose (fixa), anfiartrose (levemente móvel) ou diartrose (livremente móvel) (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

O joelho é uma articulação completa integradas aos ossos fêmur, tíbia e patela, possuindo três superfícies que estão localizadas em um capsula articular comum: articulações tibiofemoral medial, tíbio femoral lateral e femoropatelar. (LEHMKUHL; SMITH, 1997)

Em consoante com Bertoti, Moore destaca o joelho como a maior articulação e a mais superficial, sendo basicamente uma articulação sinovial do tipo gínglimo, que permite flexão e extensão (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

Dentre suas funcionalidades podemos citar: a sustentação do corpo e seu peso na posição ereta sem contração muscular; o abaixar e elevar do corpo durante o sentar-se ou atividades esportivas como escalar; e a rotação do corpo, em casos em que o pé permanecem fixos no chão. “Na caminhada e na corrida o joelho normal reduz a oscilação vertical e lateral do centro de gravidade do corpo enquanto sustenta a força vertical igual a quatro ou seis vezes o peso corporal.”. O joelho, devido ao grande torque sofrido pelos dois braços de alavanca conectados a ele (o fêmur e a tíbia), é uma das articulações mais lesionadas em ambientes esportivos e industriais. (LEHMKUHL; SMITH, 1997)

2.2.1.1 Etiologia das patologias do joelho

Com a sua função essencial na marcha, no correr e no saltar, estudos revelam que o joelho, dentre as estruturas dos membros inferiores, é a mais importante na locomoção, equilíbrio e sustentação em superfícies secas ou não. Na aterrissagem de saltos verticais e prevenção de quedas, por exemplo, o joelho é responsável por caucionar a força de reação de até quatro vezes o peso do corpo, além de ser o responsável por transmitir para as estruturas superiores a energia mecânica decorrente do movimento e absorver uma parte. T tamanha responsabilidade biomecânica torna o joelho um dos membros mais suscetível a lesões. (CHAM; REDFERN, 2001) (NUNES et al., 2013) (NAKANO et al., 2014)

Dentre às causas dessas lesões nós podemos ressaltar a diferença em quem possui e não possui uma vida de atividades físicas, onde indivíduos não

sedentários tem propensão muito menor a doenças quando comparados a indivíduos sedentários. (SANTOS; FREITAS JÚNIOR; ARAÚJO, 2018)

Também o envelhecimento, com a perda gradativa de massa muscular (sarcopenia) e declínio funcional, e a obesidade devido à sobrecarga exercida nas articulações. Ressalta-se ainda que o primeiro grupo tem sua capacidade de adaptação em situações de estresse físico comprometida, sendo propenso ainda à tombos que podem comprometer parcial ou totalmente as funcionalidades do joelho. (ANTERO-JACQUEMIN et al., 2012) (NAKANO et al., 2014) (FRANCO et al., 2009)

Dessa forma existe comprovação científica da importância da estratégia de controle da postura de forma biomecânica, podendo ser feita com auxílio de órteses, na qual reflete diretamente nos ajustes posturais das articulações dos membros inferiores. (CHAM; REDFERN, 2001) (DOLLAR; HERR, 2007)

2.2.2 Órteses

É de entendimento que se confunda o que se trata quando se usa o termo "órtese" e "prótese". A diferença entre ambas é que a prótese substitui de forma artificial uma parte do corpo danificada, sendo um dispositivo artificial utilizado para substituir um membro, um órgão ou parte dele. Enquanto que a órtese auxilia no desempenho de um órgão do corpo e de uma recuperação mais segura e rápida, proporcionando melhora funcional em indivíduos com comprometimento neuro musculoesqueléticos e funcionais, temporárias ou permanentes. (REY, 2003) (CARVALHO, 2013)

Dessa forma, órtese refere-se apenas aos aparelhos ou dispositivos ortopédicos de uso externo, que não necessite de ato cirúrgico, com o fim de suprir ou corrigir a alteração morfológica de um órgão, membro ou segmento do membro, ou ainda a deficiência de uma função, buscando sempre as condições mais adequadas. (REY, 2003) (CARVALHO, 2013) (BRASIL, 2016)

Seu uso é realizado como um adjunto no processo de reabilitação, favorecendo o tratamento terapêutico quando adequadamente confeccionadas e indicadas, com atenção às reais necessidades do indivíduo e adequadamente adaptadas. (GONÇALVES; PEREIRA, 2019) (EDELSTEIN; BRUCKER, 2006) (UMPHRED, 2009)

Quanto à sua função, a órtese pode ser definida como estática quando usada para imobilizar ou estabilizar as articulações, por exemplo proporcionando um melhoramento na velocidade, dimensão do passo e marcha, quando nos membros inferiores. Ou dinâmica, permitindo a execução de movimentos e fortalecendo a musculatura. (ARAÚJO, 2010)

Quanto ao seu tipo, pode-se defini-la como passivas, conhecidas comumente como órteses mecânicas, na qual não há necessidade de um atuador comandado eletricamente, dependendo apenas do movimento do usuário ou o restringindo. Ou ativa, quando há a necessidade de um atuador-controlador via sinais elétricos, chamados normalmente de exoesqueletos. (ARAÚJO, 2010) (THAIS et al., 2006).

Quanto a sua fabricação, elas podem ser pré-fabricadas, quando fabricadas em série e tamanhos padronizados, ou sob medida, quando o molde é o membro do paciente e respeitando sua anatomia e suas peculiaridades. (ARAÚJO, 2010)

E ainda, quanto a sua aplicação, elas se dividem quanto a necessidade terapêutica do indivíduo, podendo ser analítica, funcional ou global. Quando analítica são prescritas para evitar deformidades e aumento no tônus muscular. Quando funcional visa-se o resultado rápido da recuperação da qual a órtese foi proposta. E quando global procura-se estimular a força motriz do membro ou órgão. (ARAÚJO, 2010)

2.2.2.1 Órteses dos membros inferiores

Em maior especificidade, as órteses de membros inferiores são mais indicadas para auxiliar a posição ereta do corpo (ortostatismo), imobilizar articulações durante processos de inflamação ou após intervenções cirúrgicas, prevenir, evitar ou corrigir a instalação de deformidades, evitar ou atenuar a dor e principalmente para facilitar e garantir a marcha funcional e segura do indivíduo. (BRASIL, 2016) (EDELSTEIN; BRUCKER, 2006) (UMPHRED, 1994)

De acordo com a Organização Internacional de Normalização, os dispositivos e componentes individuais que compõem uma órtese do membro inferior podem ser categorizados de acordo com as seguintes classificações e subcategorias:

- ☐
- ☐ Órteses da anca, joelho, tornozelo e pé (ISO 06 12 18);
Órteses do pé incluindo palmilhas e correções nos sapatos (ISO 06 12 03);
- ☐ Órteses do joelho, tornozelo e pé (ISO 06 12 12);
- ☐ Órteses do pé e tornozelo (ISO 06 12 06);
- ☐ Órteses do joelho (ISO 06 12 09);
- ☐ Articulações do joelho (ISO 06 12 24);
Articulações da anca (ISO 06 12 27).

A aplicação de determinada categoria deve ser analisada de maneira adequada a avaliação médica, onde para situação existe uma órtese mais adequada. (GONÇALVES; PEREIRA, 2019) (EDELSTEIN; BRUCKER, 2006) (UMPHRED, 1994)

Para que essa indicação seja adequada é necessário que se entenda os sistemas de força que atuam no corpo e de momentos externos estáticos e dinâmicos, bem como conceitos já apresentados sobre o ciclo de marcha. Essas forças atuantes possuem direção e magnitude e são trivialmente ilustradas como um vetor representado frequentemente por expressões matemáticas. No corpo, as forças quando são aplicadas afetam a rotação, inibindo ou modificando os movimentos rotatórios sobre as articulações. Quando existe uma distância entre o local de aplicação da força e o eixo dessa rotação, chamamos de momento a magnitude da força, sendo essa proporcional a essa distância (conhecida como braço de alavanca). A unidade de momento, segundo o sistema internacional é Newton vezes metro (Nm), e seu valor encontrado pela multiplicação da força vezes a distância ($F \cdot d = M$). É convencionalizado que os movimentos no sentido horário são positivos e no sentido anti-horário são negativos). (ARAÚJO, 2010)

2.2.2.1.1 Forças nos membros inferiores

Em um estado de equilíbrio, a soma das forças que atuam sobre o corpo é zero e uma articulação estará em equilíbrio ou estável quando os movimentos do corpo forem proporcionais em magnitude em ambos os lados do seu eixo. Essas leis são aplicadas no movimento de marcha, já anteriormente explicitado. Entretanto, se

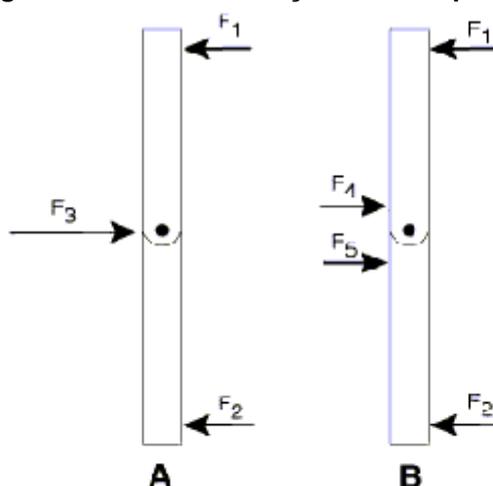
as forças internas não estiverem atuando de maneira correta devido à uma deficiência, uma órtese pode ser prescrita para que haja esse equilíbrio. (THAIS et al., 2006)

Na órtese para membros inferiores apenas duas naturezas de forças são importantes para serem analisadas, a força de rotação e as forças axiais. As forças de rotação normalmente exercidas pelas órteses atuam no sentido de restringir a rotação da articulação, modificando o momento com um sistema de forças de três pontos. Já as forças axiais, principais causadores das dores e mobilidade limitada, são geradas pela tração gravitacional da massa do corpo quando se opõe à força de reação do solo, distribuída através das estruturas ósseas e das cartilagens articulares. Devido a essas forças axiais deve existir uma pressão contínua e distribuída, entretanto, sem atingir proeminências ósseas. (THAIS et al., 2006)

Através de pesquisas chegou-se à conclusão que uma órtese atua de forma a estabilizar a articulação, onde o braço da alavanca deve ser o maior possível e a força contra a pele deve ser distribuída em uma maior área, reduzindo a pressão sobre a pele e o membro onde a órtese entra em contato com o corpo. (SANTOS, 2009)

As forças atuantes pelas órteses podem ser classificadas em dois sistemas de força: sistema de controle de pressão de três pontos e sistema de controle à força de reação do solo de quatro pontos (THAIS et al., 2006). Esses sistemas são ilustrados na Figura 7.

Figura 7 - Sistema de força de três e quatro pontos



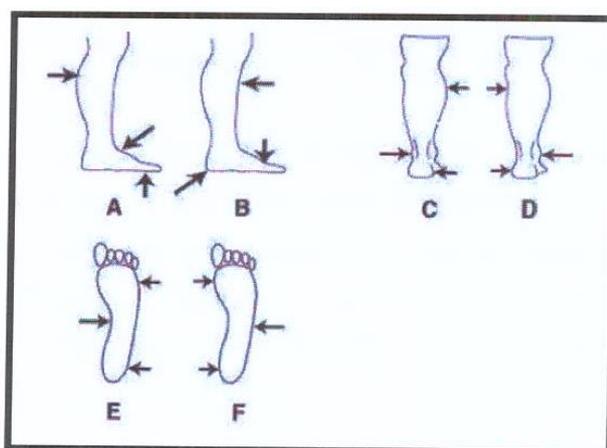
A: Sistema de três pontos

B: Sistema de quatro pontos

Fonte: (THAIS et al., 2006)

O sistema de forças de três pontos, que pode ser encontrado na Figura 8, é normalmente usado para controlar os movimento de flexão para cima e flexão planar (flexão do pé para baixo), bem como impedir a adução e abdução do antepé. O controle da articulação subtalar impede os movimentos de aversão e inversão. (THAIS et al., 2006) (SANTOS, 2009)

Figura 8 - Sistema de pressão de três pontos. (A) dorsiflexão, (B) flexão planar, (C) inversão, (D) eversão, (E) abdução e (F) adução



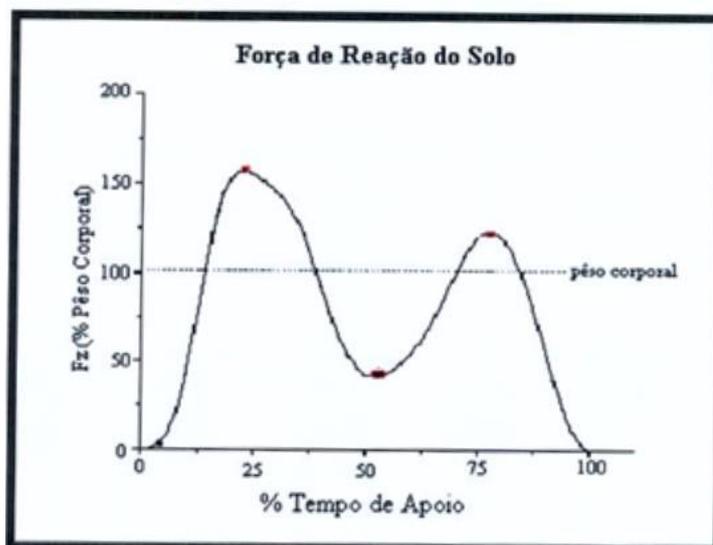
Fonte: (THAIS et al., 2006)

Já o sistema de força de reação do solo de quatro pontos é uma variação desse sistema, onde a força central é dividida em duas forças, distribuindo a pressão sobre as articulações. Sua funcionalidade consiste no controle de movimento de um membro e/ou articulação, e quando aplicada em uma órtese, é possível que haja uma melhor administração dessas forças durante a marcha (THAIS et al., 2006).

Entretanto é evidente que até que o calcanhar não alcance o solo, a força de reação do solo (FRS) não é atuante nos membros inferiores. Um momento é gerado se a linha de ação dessa força for alinhada a um lado da articulação se não houver restrição por parte do corpo. Essa força consiste basicamente na soma algébrica da aceleração da massa que resultam no total de todas as forças musculares de gravitacionais, visando detalhar os indicadores do comportamento das variáveis dinâmicas que atuam a cada instante durante a fase de apoio. (THAIS et al., 2006) (PAIN; CHALLIS, 2006)

A curva mostrada na Figura 9 representa a força de reação pelo tempo de apoio, onde possui dois picos. No primeiro pico há a força máxima vertical referente ao toque do calcanhar no solo, em um tempo muito pequeno. Já o segundo pico refere-se à propulsão gerada pelo antepé para frente, representando o final da fase de apoio. Esses valores costumam variar entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{2}$ vezes do peso do corpo, dependendo ainda da velocidade do movimento. (SANTOS, 2009) (PAIN; CHALLIS, 2006)

Figura 9 - Força de reação do solo durante a marcha



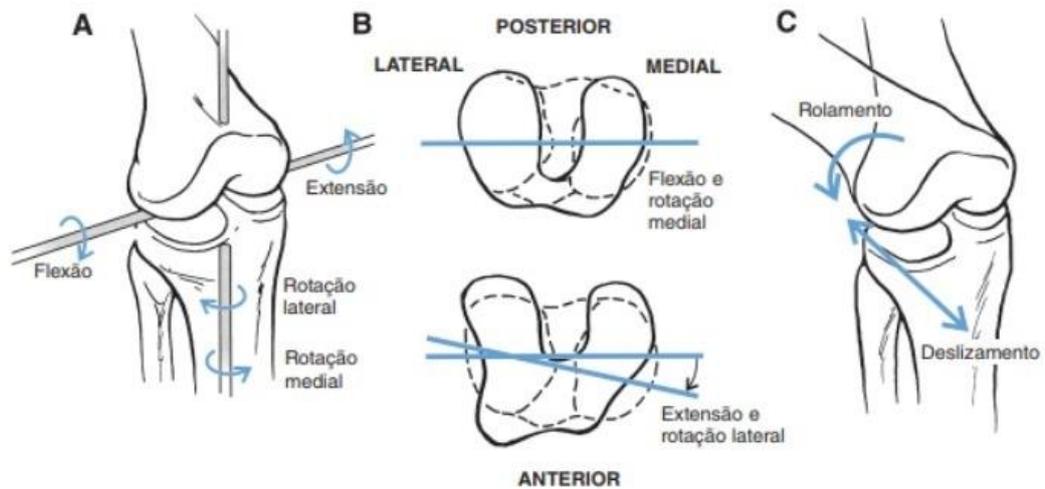
Fonte: (SANTOS, 2009)

Logo, podemos ressaltar que as ações dos músculos são importantes para que a locomoção seja feita e não apenas a força, mas também o tempo certo dessas ações. Assim, cada fase do andar realiza-se uma sequência de funções músculo esqueléticas podendo ser de sustentação, manutenção postural e equilíbrio, controle da trajetória do pé, geração e absorção de energia mecânica contínua. Em condições ideais somam-se 47 músculos a serem analisados no segmento inferior

durante a locomoção que podem ainda contar com o auxílio das órteses. (SANTOS, 2009)

Tendo em vista que o projeto tem sua atuação majoritariamente no joelho, podemos analisar suas articulações na Figura 10 para fim de análise de movimentos atuantes (HAMILL, 2016):

Figura 10 – A movimentações do joelho.



Fonte: (HAMILL, 2016)

A partir da Figura 10 podemos no item A visualizar que os movimentos que ocorrem na articulação do joelho são o de rotação lateral, rotação medial, flexão (responsável pelo que chamamos na engenharia como deformação) e extensão. A partir do item C podemos ver os movimentos de translação do fêmur em relação à superfície, onde nesse movimento o fêmur rola e desliza posteriormente. Por fim, em B vemos que quando o joelho se flexiona há uma rotação medial da tibia em relação ao fêmur, e quando há a extensão, a tibia realiza a rotação lateral em relação ao fêmur, sendo possível melhor visualizar esses ossos na Figura 11.

Figura 11 – Extensão e flexão do joelho



Fonte: Adaptado de (HAMILL, 2016)

Na Figura 11 pode-se ver o ligamento cruzado anterior (LCA) e o ligamento cruzado posterior (LCP) ligados ao fêmur e a tibia, onde essa articulação é a que mais sofre quando o joelho se encontra em estresse. O LCP encontra-se em máxima tensão quando se desloca de 45 graus à 60 graus em relação ao fêmur. Quando há um movimento de extensão em 90°, o LCP fica em sua extensão máxima, tornando assim em muitos casos importante o uso da órtese onde uma mola poderá exercer a sobrecarga de extensão por deformação dos tecidos do joelho.

2.2.2.1.2 Órteses para o joelho

Considerando-se a complexidade que seria desenvolver uma órtese que trabalhasse junto aos 47 músculos do mesmo inferior e nos restringindo apenas a ao joelho, existem aspectos que devem ser importantes no momento de confecção desses dispositivos.

Por exemplo, deve-se observar as prescrições dos profissionais de saúde, onde as particularidades são apontadas e intimamente relacionadas às patologias e aos posicionamentos dos membros. Quando não há especificação do médico, deve-se tomar cuidado e adotar os padrões de neutralização das articulações e considerar o calçado para o pé sendo utilizado com a órtese, sendo muitas vezes um fator

importante devido as forças e posições relacionadas. E ainda, deve-se sempre confeccionar a órtese de forma a atentar-se para o alívio dos pontos de saliências ósseas e demais áreas, analisando posteriormente como o indivíduo marcha com o dispositivo devidamente posicionado. (GONÇALVES; PEREIRA, 2019)

Enfim, são muitos os cuidados que devem se ter atenção e dentro dessas normas já é muito comum encontrar órteses já vendidas de diversos tipos para toda a estrutura da perna. Aqui será feita uma breve apresentação das que já existem e são aplicadas no joelho, alinhando com a proposta do projeto.

- Órteses estabilizadoras para o joelho;

São utilizadas normalmente em lesões capsulo-ligamentares e costumam ser acopladas em algum dispositivo. Elas podem ter suporte lateral e/ou medial, utilizado em caso de lesões dos ligamentos laterais e proteção pós-operatória ou tiras elásticas compressivas e velcrom, que regulam a compressão com o fim de controlar a mobilidade anteroposterior. Exemplos dessa órtese estão na figura 12. (CHAMLIAN, 2010)

Figura 12 - Joelheiras de (A) Neoprene com orifício patelar e reforço circular e (B) Neoprene com hastes metálicas laterais



Fonte: (CHAMLIAN, 2010)

- Órteses imobilizadoras;

Usadas para controle de flexo-extensão, mas não para imobilização completa, a órtese como a mostrada na figura 13 são para pacientes de lesão ligamentar sob tratamento conservador ou pós-operatório. Permitem mobilidade ativa com uma gradual restrição da extensão e restrição completa das rotações. (CHAMLIAN, 2010)

Figura 13 - Joelheira em Neoprene com tiras elásticas compressivas



Fonte: (CHAMLIAN, 2010)

- Órteses auxiliares para flexo-extensão;

Normalmente feitas em material termoplástico com fixações na parte posterior da coxa e anterior da perna que se regulam com um cursor metálico para ganho de flexão. Para facilitar o entendimento a figura 14 apresenta um modelo. (CHAMLIAN, 2010)

Figura 14 - Órtese com cursos regulável para controle de flexoextensão



Fonte: (CHAMLIAN, 2010)

- Órteses imobilizadoras para flexo-extensão;

Funcionam com a imobilização completa do joelho em extensão, utilizada em pós-operatório para uso noturno, auxiliando ainda a deambulação. Através da figura 15 podemos ter uma ideia da rigidez e imobilidade que essa órtese apresenta (CHAMLIAN, 2010)

Figura 15 - Órtese de lona para extensão de joelho



Fonte: (CHAMLIAN, 2010)

- Tira subpatelar,

Constitui em uma almofada anterior de micro espuma com o fim de aliviar as tendinites do tendão patelar através do alívio da tensão na inserção do tendão patelar. É possível se perceber melhor sua aplicação na figura 16. (CHAMLIAN, 2010)

Figura 16 - Tira subpatelar



Fonte: (CHAMLIAN, 2010)

2.3 Órteses disponíveis no mercado

2.3.1 Joelheira com mola e reforço duplo

Recomendada pelo fabricante para prevenção e tratamento de lesões crônicas ou agudas do joelho; entorses e contusões; pré-artroscopia e pós-artroscopia; reabilitação de fraturas; lesões de ligamentos e tendões; artrite reumatoide; condromalácia; e tendinite quadriciptal e patelar (joelho saltador, bursites e luxações). Ela pode ser vista através das Figuras 17 e 18. Tem como finalidade principal a prevenção de lesões durante tratamento fisioterapêuticos e a prática de exercícios físicos.

É constituída por 4 molas de aço flexível com 2 em cada lado (Figura 19), uma borracha de cloropreno frontal revestida com tecido 100% poliamida para fixação da patela e seu revestimento interno feito de Neoprene. Sua fixação é feita por 2 abas ajustáveis com velcrom. Seu uso é bilateral.

Figura 17 – Joelheira Hidrolight



Fonte: Autoria própria

Figura 18 – Joelheira Hidrolight modelo



Fonte: (FISIOSTORE, 2021)

Figura 19 – Molas helicoidais e suas posições



Fonte: Autoria própria

Dessa forma, esse modelo possui reforço para o joelho, onde há uma melhor fixação da patela, onde a tensão final é sustentada através de molas helicoidais planificadas permitindo o movimento em todos os planos. Na Figura 19 podemos visualizar a mola em questão e sua posição.

2.3.2 Joelheira com dobradiça articula e molas de tração

Recomendada pelo fabricante para que possui desalinhamento articular; problemas ocasionados pelo excesso de carga; e traumas por acidente. Tem como objetivo acelerar a recuperação; aumentar a força de elevação frontal; promover um ganho extra de força para ajudar no retorno da curvatura do joelho; amenizar dores nos joelhos; distribuir melhor as cargas nas articulações; diminuir o uso de remédios; aumentar a força e flexibilidade promovidos pela estabilidade do joelho; aliviar tenções em movimentos repetitivos.

Cada unidade é constituída por três molas de torção de aço, um suporte de plástico, duas abas para fixação a velcrom, e seu material de poliéster e polipropileno, como pode ser visto nas Figuras 20 e 21. (AMAZON, 2019)

Figura 20 – Joelhos Force



Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Joelhos Force modelo



Fonte: (AMAZON, 2019)

2.3.3 Joelheira de apoio de articulações respirável antideslizante (ASSIM) Domary

Recomendada pelo fabricante para que tarefas diárias sejam realizadas com maior conforto e eficiência, promovendo um alívio de peso através das suas molas.

É constituída de malha respirável, EVA e algodão. Possui uma mola de torção de aço em cada lado. Sua fixação é feita pelo entrelaçamento das abas em velcrom, podendo ser melhor visualizada nas Figuras 22 e 23. (AMAZON, set. 2021)

Figura 22 – Domary Joelheira modelo



Fonte: (AMAZON, set. 2021)

Figura 23 – Domary Joelheira em uso



Fonte: (AMAZON, set. 2021)

Dessa forma, esse modelo também possui reforço no joelho para sustentação da tensão final, com um mecanismo de engate por fecho e guia do movimento de articulação do joelho.

2.3.4 Joelheira Depisuta

É constituída por uma gaxeta com elasticidade parcial de absorção de choque em EVA e silicone na patela, três tiras antideslizantes, quatro molas de compressão dobráveis, cinco fivelas de velcrom e seu material é majoritariamente de malha respirável, como pode-se ver na Figura 24 e 25. (AMAZON, out. 2021)

Figura 24 – Joelheira Depisuta modelo



Fonte: (AMAZON, out. 2021)

Figura 25 – Joelheira Depisuta em uso



Fonte: (AMAZON, out. 2021)

Pode-se verificar também que esse modelo possui uma boa limitação da patela e seu mecanismo de fixação na perna é simples, podendo ser facilmente guardado e usado em situações que se exige praticidade.

2.3.5 Joelho de apoio com dobradiça respirável Sonew

Constituído de duas dobradiças ajustáveis e removíveis, dois cintos ajustáveis, uma presilha de alumínio para fixação da tira, almofada anti-colisão feita em EVA, como pode ser visto na Figura 26. Seu material é majoritariamente feito de borracha de butadieno estireno (SBR). (AMAZON, 2020)

Figura 26 – Joelheira Sonew modelo



Fonte: (AMAZON, 2020)

Com sua funcionalidade muito semelhante à joelheira Depisuta e com elementos que lembram a joelheira Domary, essa órtese possui excelente estética e se apresenta uma boa opção para quem precisa de um suporte no joelho para execução de atividades físicas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo em vista que no desenvolvimento de produto existe uma metodologia com etapas sequenciais, pode-se com facilidade descrever as sequencias das etapas nesse projeto.

Assim como noutras pesquisas acadêmicas, o projeto se inicia com uma revisão bibliográfica do estado da arte para se entender o que já existe em sobre o assunto “órteses para joelho”, bem como as patologias nas quais elas estão envolvidas, encontrando assim um problema a ser solucionado e dando sequência ao projeto informacional. Junto a isso também será feita uma revisão conceitual dos produtos já disponíveis no mercado com relação aos requisitos funcionais e também desenvolvidos parcialmente na literatura e nas referências, suas teorias e embasamentos.

Consolidando-se o projeto informacional do que consta nas referências teóricas a partir da pesquisa e dos estudos, pode-se consolidar-se também do que se trata o problema escolhido e realizar um projeto informacional do produto proposto.

Tendo sido realizado o projeto informacional dos produtos já existentes no mercado e na literatura, é então possível que seja realizada uma análise morfológica dos mesmos. Essa análise morfológica junto a definição do problema proposto, foram usadas como informação de entrada para a aplicação da ferramenta *brainstorming*, com o fim de perceber e identificar os requisitos para a solução final, ou seja, para o produto.

Dessa forma então foi aplicada a ferramenta *brainstorming*, onde a partir da experiência médica de uma enfermeira especializada em saúde da família e da experiência de usuário de dois professores, um doutor e outro mestre, em engenharia mecânica da área de projetos de produto, foram gerados onze requisitos.

Com a listagem desses requisitos pode-se ter um princípio do que consistirá o produto e de que características físicas ele deverá apresentar, tendo em vista os projetos já desenvolvidos da literatura e do mercado.

Pode-se dessa forma determinar um projeto básico conceitual a partir do que foi encontrado na teoria para que sequencialmente um MESCRAI sobre ele seja

realizado. Podendo encontrar assim como resultado alternativas teóricas que possam alimentar possibilidades a serem utilizadas como projeto final.

Junto a isso, também sendo realizado um projeto básico conceitual apenas voltado ao produto, realizando na sequência um MESCRAI a partir dos requisitos determinados no *brainstorming* da etapa anterior.

Realizando uma congregação de ambos produtos MESCRAI foi criada então uma matriz de decisão onde os pesos foram também já obtidos a partir do *brainstorming* com os participantes. Dessa forma pode-se visualizar e classificar as alternativas a partir dos atributos considerados mais pertinentes a serem encontrados no produto final, dando início à fase de desenvolvimento do *mock-up*.

Já tendo definido teoricamente as características de qual produto será utilizado a partir do MESCRAI, pode-se então assim realizar a criação do *mock-up* do projeto.

Com isso será possível apresentar a morfologia do produto final a partir de fotos que mostram as combinações da alternativa escolhida, facilitando a descrição da parte funcional do produto. Junto a descrição funcional, poderão ser ainda apresentados os requisitos atendidos.

Esse processo pode ser melhor observado na Figura 27.

Figura 27 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos



Fonte: Autoria própria

4 DESENVOLVIMENTO

Apresenta-se nesse tópico a aplicação das metodologias referenciadas nos tópicos anteriores.

4.1 Análise conceitual morfológica de órteses disponíveis no mercado

Tendo sido realizada uma pesquisa ampla sobre órteses de alívio de tensão existentes no mercado, algumas se mostraram mais próximas da proposta desse projeto. Dentre essas órteses, uma ou mais de suas funcionalidades foram aproveitadas para o projeto final com o objetivo de maior conforto e alívio de tensão. Os modelos que mais se assemelharam da proposta do produto são os pontuados seguintes:

4.2 Alternativas de solução

Objetivando o maior conforto, a limitação do movimento a apenas um plano e aliviando de maneira mais intensa possível a tensão provocada no joelho a partir de seu movimento, pôde-se aplicar a ferramenta de análise morfológica. Com o auxílio da análise morfológica é possível gerar a tabela 1, onde são apresentadas as possíveis variáveis e seus respectivas classes, configurando assim a matriz morfológica base para as alternativas do produto.

Tabela 1 – Matriz Morfológica Base do Produto

Variáveis	Alternativas		
Mecanismo mola	Haste flexível	Compressão não-flexível	
Quantidade de molas	2	3	4
Material do tecido	Poliamida	Neoprene	Poliéster
Fixação de patela	Com fixação	Sem fixação	
Fixação da órtese	Velcrom	Fecho engate rápido	
Suporte anterior	Plástico rígido	Plástico flexível	

Fonte: Autoria própria

Entretanto, para que possa ser feito um estudo direcionado, é necessário que atributos relevantes a serem considerados sejam listados. Dessa forma, a partir do *brainstorming* com os participantes, foram geradas as características essenciais

definidas para o funcionamento dessa órtese. Elas são apresentadas na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Funções dos atributos do projeto

ATRIBUTO	FUNÇÃO
Fixação	Não deixar que a órtese se movimente inadequadamente quando em movimento
Segurança	Não permitir o funcionamento inadequado da órtese ocasionando possível acidente.
Conforto térmico	Agregar conforto em relação ao calor retido e dispersado através da órtese e seu contato com a pele.
Durabilidade	Tempo de vida da órtese.
Recursos necessários	Quantidade de material necessário.
Flexibilidade	Quanto o material é flexível.
Mobilidade	Permitir o movimento fornecido pela órtese no eixo da marcha limitando o movimento.
Conforto tátil	Força necessária para que haja o funcionamento da órtese.
Ergonomia	Conforto de uso e adequação da órtese na perna.
Resistencia ao impacto	Integridade da órtese quando colocada em situação de acidente.
Alívio de tensão	Capacidade de resposta oposta a tensão aplicada na órtese quando em marcha.
Custo	Investimento necessário para compra dos elementos.

Fonte: Autoria própria

Dessa forma na tabela 1 vemos os atributos a esquerda e a sua respectiva definição da sua função à direita.

Junto a análise, foi utilizada a ferramenta MESCRAI para que alternativas sejam geradas com o fim de encontrar a órtese mais adequada possível visando os atributos mencionados.

4.2.1 Alternativa A

Como primeira alternativa foi pensado apenas o uso das órteses “Joelhos Force” e “Joelheira Depisuta”, utilizando-se apenas do elemento “Combine” do MESCRAI. Tendo assim como resultado a configuração de matriz morfológica apresentada na tabela 3:

Tabela 3 – Matriz Morfológica da Alternativa A

Variáveis	Alternativas		
Mecanismo mola	Haste flexível	Compressão não-flexível	
Quantidade de molas	2	3	4
Material do tecido	Poliamida	Neoprene	Poliéster
Fixação de patela	Com fixação	Sem fixação	
Fixação da órtese	Velcrom	Fecho engate rápido	
Suporte anterior	Apenas plástico rígido	Com folhas de polipropileno	

Fonte: Autoria própria

Como resultado final foi possível obter a fixação da patela do joelho com uma certa inadequação quanto a sua posição junto aos elementos de alívio de tensão pouco confortáveis. Mesmo que tenha sido utilizado de três molas de torção, as mesmas se mostraram pouco eficientes para o alívio de tensão. Os suportes das molas, devido a sua rigidez, se mostraram inadequados ao contato com a pele mesmo que revestidos, causando uma leve lesão durante o uso. A fixação de velcrom em duas hastes apresentou boa resposta ao uso.

4.2.2 Alternativa B

Apresentando uma proposta ainda atrativa, as molas da órtese “Joelhos Force” foram utilizadas para uma nova proposta, onde mais elementos da ferramenta MESCRAI foram utilizados. Aqui foram usados os elementos “Modifique” e “Rearranje”. O resultado tem a matriz morfológica com a seguinte configuração apresentada na tabela 4

Tabela 4 – Matriz Morfológica da Alternativa B

Variáveis	Alternativas		
Mecanismo mola	Haste flexível	Compressão não-flexível	
Quantidade de molas	2	3	4
Material do tecido	Poliamida	Neoprene	Poliéster
Fixação de patela	Com fixação	Sem fixação	
Fixação da órtese	Velcrom	Fecho engate rápido	
Suporte anterior	Apenas plástico rígido	Com folhas de polipropileno	

Fonte: Autoria própria

Tendo em vista o prejuízo a saúde causado pelo suporte de plástico rígido da mola, o mesmo foi mantido, mas dessa vez cortado ao meio e revestido

internamento com um tecido mais confortável ao uso. A fixação foi mantida em velcrom, sendo feita de maneira a cruzar as abas na perna. O produto final apresentou pouca diferença ao produto anterior, ainda não se mostrando adequado ao uso.

4.2.3 Alternativa C

Tendo sido constatado que a “Joelheira Depisuta” apresentou um resultado próximo ao satisfatório quanto a fixação da perna, foi então adquirida a “Joelheira com Mola e Reforço Duplo Hidrolight”, onde a mesma possui também um reforço quanto a função de alívio de tensão tendo em vista o uso de duas molas de compressão. Nessa alternativa todos os elementos do MESCRAI utilizados.

Foi realizada uma combinação da órtese da Hidrolight junto a “Joelhos Force” com substituição do suporte rígido e das molas de compressão por folhas de plástico flexível (em polipropileno), onde esse material apresenta uma resposta igual e contrária quando aplicada suficiente tensão sobre ele.

Tabela 5 – Matriz Morfológica da Alternativa C

Variáveis	Alternativas	
Mecanismo mola	Haste flexível	Compressão não-flexível
Quantidade de molas	2	3
Material do tecido	Poliamida	Neoprene
Fixação de patela	Com fixação	Poliéster
Fixação da órtese	Velcrom	Sem fixação
Suporte anterior	Apenas plástico rígido	Fecho engate rápido Com folhas de polipropileno

Fonte: Autoria própria

Assim, foram adicionadas as quatro molas de hastes flexíveis e o material majoritário na órtese tornou-se o Neoprene, onde a fixação da patela agora é o da Joelheira Depisuta, mas exercendo a função que a anterior sem nenhuma alteração relevante. As molas anteriores no joelho foram substituídas não apenas pelas hastes flexíveis, mas também pelas folhas de polipropileno, mantendo-se a fixação em velcrom.

A combinação resultou em uma melhor fixação da patela do joelho junto ao alívio de tensão provocando tanto pelas molas internas da órtese da Hidrolight

quanto das folhas de polipropileno colocadas no lugar das molas helicoidais e do suporte de plástico rígido.

Dessa forma, o resultado final dessa alternativa apresentou uma excelente aproximação do que se pode considerar satisfatório, entretanto apresentando limitações excessivas no movimento.

4.2.4 Alternativa D

Aproximando-se de um primeiro resultado desejado, pensou-se em alternativas para aumentar a mobilidade da alternativa C. Nessas alternativas todos os elementos do MESCRAL utilizados.

A primeira e sem sucesso, que não vale determinar como uma alternativa pronta, consiste no uso da órtese “Joelhos Force” com apenas a fixação das molas internas da órtese Hidrolight na parte externa, sem o uso dos suportes. Entretanto essa alternativa se mostrou imediatamente não satisfatória, tendo em vista que as molas não teriam um guia para que pudesse responder de maneira coerente ao movimento do joelho, onde sua resposta ocorreria em eixos diferentes do movimento de marcha.

A segunda, que efetivamente consistiu na alternativa D, se refere ao uso de ambas as órteses da Hidrolight e Force, entretanto, foi dispensada a funcionalidade de fixação da patela, tendo em vista que não é considerada uma prioridade para o projeto. Assim, na órtese da Hidrolight, foi removido o material de silicone que fixava a patela e também, o lado no qual havia essa fixação, foi invertido para a parte anterior do joelho.

Dessa forma, a fixação por velcrom da órtese “Joelhos Force” pôde ser feita de uma maneira mais adequada, em que as folhas de polipropileno novamente sendo usadas apresentaram uma maior facilidade em exercer sua função de resposta guiadas por onde antes estavam os suportes e as molas helicoidais.

Tabela 6 – Matriz Morfológica da Alternativa D

Variáveis	Alternativas	
Mecanismo mola	Haste flexível	Compressão não-flexível
Quantidade de molas	2	3
Material do tecido	Poliamida	Neoprene
Fixação de patela	Com fixação	Sem fixação
Fixação da órtese	Velcrom	Fecho engate rápido
Suporte anterior	Apenas plástico rígido	Com folhas de polipropileno

Fonte: Autoria própria

Assim, a última alternativa consistiu em quatro molas de haste flexível em material Neoprene, sem fixação de patela e fixação em velcrom. Contou ainda com o suporte anterior de plástico flexível, mostrando esse último muito eficiente ainda sem a fixação da patela.

Como resultado final, pode-se obter uma maior mobilidade de movimento, tanto pela remoção da fixação da patela quanto por rearranjar sua posição.

4.3 Matriz de decisão

Considerando as alternativas geradas, os atributos relevantes para o projeto e suas respectivas importâncias, podemos analisar de maneira metódica através da matriz de decisão qual produto final de órtese revela-se a mais adequada.

Tabela 7 – Matriz de decisão do projeto

ATRIBUTO	PESO	Alt. A		Alt. B		Alt. C		Alt. D	
		nota	nxp	nota	nxp	nota	nxp	nota	nxp
Fixação	0,09	6	0,54	8	0,72	8	0,72	8	0,72
Segurança	0,1	0	0	0	0	6	0,6	7	0,7
Conforto térmico	0,07	4	0,28	6	0,42	4	0,28	4	0,28
Durabilidade	0,07	4	0,28	4	0,28	5	0,35	5	0,35
Recursos necessários	0,06	3	0,18	7	0,42	5	0,3	7	0,42
Flexibilidade	0,05	3	0,15	1	0,05	4	0,2	6	0,3
Mobilidade	0,09	5	0,45	6	0,54	2	0,18	7	0,63
Conforto tátil	0,1	3	0,3	5	0,5	8	0,8	8	0,8
Ergonomia	0,1	0	0	0	0	5	0,5	7	0,7
Resistencia ao impacto	0,05	5	0,25	5	0,25	8	0,4	8	0,4
Alívio de tensão	0,2	3	0,6	1	0,2	7	1,4	7	1,4
Custo	0,02	3	0,06	5	0,1	2	0,04	3	0,06
SOMA	1	3,09		3,48		5,77		6,76	

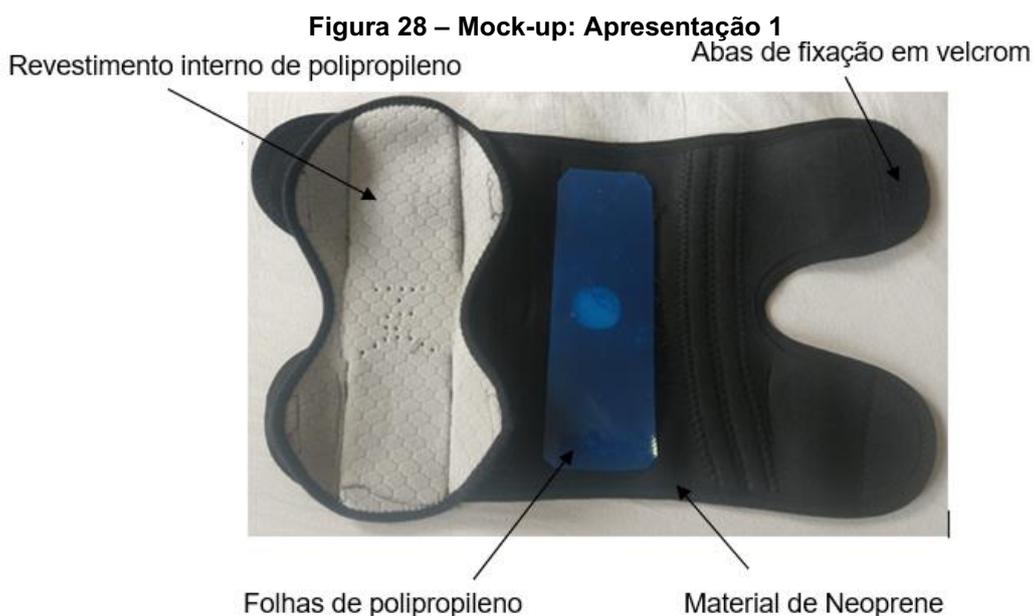
Fonte: Autoria própria

Os atributos “recursos necessários” e “custo”, diferentes dos demais, apresentam uma inversão de proporcionalidade no resultado final. Quanto maior a nota atribuída aos “recursos necessários” e “custo”, menos dos mesmos são necessários.

4.4 *Mock-up*

Tendo em vista a alternativa D como a que apresentou a maior nota em sua soma, decidiu-se realizar o *mock-up* final da mesma. As figuras 27, 28, 29 e 30 apresentam os componentes e suas posições na órtese. Vale ressaltar que o *mock-up* foi levemente modificado para que seus componentes pudessem ser localizados. No fim é apresentado o *mock-up* em sua configuração para uso.

Na figura 28 os componentes do *mock-up* encontram-se desmontados, onde apenas a haste flexível e o suporte de plástico rígido não se encontram visíveis. Pode-se ver que o revestimento interno de polipropileno alivia o contato do plástico rígido com a perna. Na imagem pode-se ver ainda a base em material Neoprene na qual todos os componentes são agrupados. As abas de fixação fazem parte da base e não podem ser separadas.



Fonte: Autoria própria

Na figura 29 pode-se ver o *mock-up* na sua visão frontal, onde pode-se com facilidade identificar onde ficam as hastes flexíveis. Nessa figura o *mock-up* já se encontra parcialmente montado.

Figura 29 – Mock-up: Apresentação 2



Fonte: Autoria própria

Na figura 30 pode-se ver o *mock-up* na sua visão traseira, facilitando com que possamos ver o suporte de plástico rígido com a haste de aço para fixação.

Figura 30 – Mock-up: Apresentação 3



Fonte: Autoria própria

Na figura 31 pode-se finalmente visualizar como o *mock-up* final é apresentado e sua configuração pronta para uso.

Figura 31 – Mock-up fechado



Fonte: Autoria própria

Verifica-se nas figuras 30 e 31 que a solução conceitual adotada apresenta fixação rápida e o material é elástico, dando para o conforto na sua fixação. Também se verifica que o sistema de articulação planar com as molas em vigas planas flexíveis podem ser ajustadas para o aumento da constante de rigidez da flexão das mesmas, possibilitando maior ou menor intensidade de alívio das tensões no movimento limitado do joelho no plano.

5 CONCLUSÕES

A etapa conceitual apresentou bons parâmetros para que o projeto fosse formulado e estruturado, tendo em vista as aplicações das ferramentas existentes serem perfeitamente compatíveis com a proposta da etapa inicial. Podendo-se assim desenvolver um bom projeto informacional do produto.

A ferramenta de *Brainstorming* contribuiu para que pudesse haver um processo criativo abrangente em todas as etapas do projeto, de maneira que opiniões relevantes fossem levantadas a partir de indivíduos que possuem experiências suficientes para sustentar uma perspectiva coerente e mais próxima da prática. E ainda, com um entendimento teórico acerca da proposta da ferramenta em cada etapa, pode-se ter um bom aproveitamento de ideias bem direcionadas.

A ferramenta de Análise Morfológica foi essencial para que sejam esclarecidos e enumeradas de maneira organizada as características dos produtos que se encontram disponíveis no mercado e na literatura.

A ferramenta de MESCRAI teve seu papel principal no processo criativo, onde sem ela não seria possível o surgimento de um novo produto a partir do reagrupamento das ideias anteriormente expostas e estudadas.

A partir disso foi possível gerar soluções conceituais do projeto, onde através da Matriz de Decisão, foi possível encontrar a alternativa que mais se adequa aos atributos anteriormente considerados mais relevantes, onde a alternativa D apresentou uma pontuação considerada suficiente para que o projeto fosse considerado aplicável ao uso, apresentando quatro molas de haste flexível, tecido majoritariamente de Neoprene, sem fixação na patela, com folhas de polipropileno no suporte anterior e com fixação de velcrom.

Por fim, tendo avaliado os atributos, pode-se desenvolver um mock-up para que o projeto possa ser aplicado a prática e analisado clinicamente, possuindo satisfatório parâmetro de conforto, segurança e limitação de movimento.

Entretanto, pôde-se constatar que o projeto possui ainda espaço para avançar, tendo em vista que a nota final da alternativa escolhida não foi a máxima possível, onde outras órteses existentes no mercado podem ainda ser consideradas para a realização de um projeto mais robusto e completo. Tendo em vista ainda que

a análise do grupo e dos profissionais não foi realizada, onde o projeto focou em sua perspectiva teórica.

6 TRABALHOS FUTUROS

Realizar testes experimentais e análise clínicas em uma próxima fase para avaliação do mock-up.

Propor melhorias físicas da solução conceitual com base no conforto e nos resultados preliminares das análises clínicas do mock-up.

Realizar fabricação de protótipo a partir das melhorias sugeridas e obtidas dos testes experimentais para avanço da solução conceitual.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. A.; KUWAHARA, N.; Proposta de base pré-fabricada adaptável para mockups automotivos. **Scientia Amazonia**, 2018.
- AMAZON. **Domary Joelheiras de apoio de articulações respirável antideslizante Power Lift** Suporte de articulações Poderoso suporte de joelho com força de mola de rebote. 29 set. 2021. Disponível em: https://www.amazon.com.br/dp/B09HHKSXC2/ref=cm_sw_r_wa_apan_glt_i_6ESB9MVN9X7MP0SA151X?_encoding=UTF8&th=1. Acesso em 22 de nov. 2021
- AMAZON. Joelheira, confortável e respirável e eficiente para dissipação de calor **Joelheira com tira antiderrapante para esportista para exercícios de corrida**. 23 out. 2021. Disponível em: https://www.amazon.com.br/dp/B09HHKSXC2/ref=cm_sw_r_wa_apan_glt_i_6ESB9MVN9X7MP0SA151X?_encoding=UTF8&th=1. Acesso em 22 de nov. 2021
- AMAZON. **Joelho de apoio, com dobradiça respirável** joelheira acessório de fitness joelheira, para dança luta livre todos os esportes jovens e adultos corrida. 10 set. 2020. Disponível em: https://www.amazon.com.br/dp/B08HSTP5RK/ref=cm_sw_r_wa_apan_glt_i_JA5N9JKHRHFCHGXDCBTW?th=1. Acesso em 22 de nov. 2021
- AMAZON. **Joelhos Force** Apoio Suporte Joelheira Ajuda Articulação Exercício. 10 dez. 2019. Disponível em: https://www.amazon.com.br/dp/B082LYQ8PK/ref=cm_sw_r_wa_apan_glt_i_Y54A8PA3QCZ3VN9MS2P9. Acesso em 22 de nov. 2021
- ANTERO-JACQUEMIN, J. DA S. et al. Comparação da função muscular isocinética dos membros inferiores entre idosos caidores e não caidores. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 19, n. 1, p. 39–44, 2012.
- ARAÚJO, M. V. DE. Desenvolvimento de Uma Órtese Ativa Para os Membros Inferiores Com Sistema Eletrônico Embarcado. **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, p. 1–83, 2010.
- ASSUMPÇÃO, T. N. **Órteses – Princípios Básicos**. São Paulo: Atheneu, 2005.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008.
- BRASIL, M. DA S. **Manual de Boas Práticas de Gestão das Órteses, Próteses e Materiais Especiais (OPME)**. [s.l.: s.n.].
- BUENO, S. **Dicionário da Língua Portuguesa**. 4. ed. [s.l.] Global Editora, 2016.

- CARVALHO, J. A. **Órteses: UM RECURSO TERAPÊUTICO COMPLEMENTAR**. [s.l.] MANOLE, 2013.
- CHAM, R.; REDFERN, M. S. Lower extremity corrective reactions to slip events. **Journal of Biomechanics**, v. 34, n. 11, p. 1439–1445, 2001.
- CHAMLIAN, T. R. **Medicina Física e Reabilitação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan LTDA., 2010.
- DOLLAR, A. M.; HERR, H. Active orthoses for the lower-limbs: Challenges and state of the art. **2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, ICORR'07**, v. 1, n. c, p. 968–977, 2007.
- EDELSTEIN, J. E.; BRUCKER, J. **Órteses - Abordagem Clínica**. [s.l.] Guanabara, 2006.
- FISIOSTORE. **Joelheira com Mola e Reforço Duplo Hidrolight**. Disponível em: https://www.fisiostore.com.br/joelheira-com-mola-e-reforco-duplo-hidrolight/p?idsku=920359990&utm_source=google_sm&utm_medium=adwords&utm_campaign=shop_all_smart&gclid=Cj0KCQjw_fiLBhDOARIsAF4khR3tzFivg6hxq9ZRF0GCMuHSxqpDLodkEgV12uitYxLi_cfhPwtyH88aArirEALw_wcB. Acesso em: 22 nov. 2021.
- FRANCO, L. R. et al. Influência da idade e da obesidade no diagnóstico sugestivo de artrose de joelho. **ConScientiae Saúde**, v. 8, n. 1, p. 41–46, 2009.
- GEIRINGER, S. R. The biomechanics of running. **Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation**, v. 5, n. 4, p. 273–279, 1995.
- GONÇALVES, A. R.; PEREIRA, D. Z. **Guia para prescrição, concessão, adaptação e manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção**. 1. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.
- HAMILL, Joseph.; KNUTZEN, Kathleen. M.; DERRICK, Timothy. R. **Bases Biomecânicas do Movimento Humano**. Editora Manole, 2016. 9788520451311. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520451311/>. Acesso em: 01 dez. 2021.
- INMAN, V. T.; J., R. H.; TODD, F. **Human Walking**. Londres: Williams & Wilkins, 1981.
- JERROD, L. **Biomechanics Principles, Trends and Applications**. New York: [s.n.].
- JUNIOR, T. et al. Simulação Numérica Tridimensional da Mecânica do Joelho Humano. **Departamento de Engenharia Mecânica e Laboratório de Engenharia Biomecânica do Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa**

Catarina, 2009.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. LTC Editor ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

LEHMKUHL, L. D.; SMITH, L. K. **Cinesiologia clinica de Brunnstrom**, 1997.

MCGINNIS, P. M. **Biomecânica do Esporte e do Exercício**. 3. ed. [s.l.] Artmed, 2015.

MOORE, K. L.; DALLEY, A. F.; AGUR, A. M. R. **Moore Anatomia: Orientada para a Clínica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan LTDA., 2014.

NAKANO, M. M. et al. Physical performance, balance, mobility, and muscle strength decline at different rates in elderly people. **Journal of Physical Therapy Science**, v. 26, n. 4, p. 583–586, 2014.

NUNES, A. B. F.; **Projeto e desenvolvimento de produtos**. Grupo GEN, 2009. 9788522464760. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522464760/>. Acesso em: 10 dez. 2021.

NUNES, G. et al. Traduções para a língua portuguesa de questionários que avaliam lesões de joelho. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 21, n. 5, p. 288–294, 2013.

PAHL G; BEITZ W; FELDHUSEN J; GROTE K. H. **Engineering Design: A systematic approach** (translated from German). 3 ed. London: SpringerVerlag, 2007.

PAIN, M. T. G.; CHALLIS, J. H. The influence of soft tissue movement on ground reaction forces, joint torques and joint reaction forces in drop landings. **Journal of Biomechanics**, v. 39, n. 1, p. 119–124, 2006.

REY, L. **Dicionário de termos técnicos de medicina e saúde**. 2. ed. [s.l.] Guanabara Koogan, 2003.

SANTOS, C. S. Proposta de ortese exoesqueletica baseada no mecanismo do paralelograma para reprodução da marcha humana. **Universidade Estadual de Campinas**, p. 251, 2009.

SANTOS, R. F. DOS; FREITAS JÚNIOR, W. M. DE; ARAÚJO, R. O. DE. Avaliação do índice de fadiga muscular de flexores e extensores de joelho em indivíduos ativos e sedentários. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, 2018.

VASCONCELOS, K.S.S. *et al.* RELAÇÃO ENTRE INTENSIDADE DE DOR E CAPACIDADE FUNCIONAL EM INDIVÍDUOS OBESOS COM OSTEOARTRITE DE JOELHO. **Revista brasileira de fisioterapia**, Belo Horizonte, MG, ano 2006, v. 10,

n. 2, p. 213-218, 7 dez. 2005.

THAIS, A.: et al. Uma Contribuição da Automação para o Desenvolvimento de Órteses Ativas para Membros Inferiores. **Universidade Estadual de Campinas**, p. 177, 2006.

UMPHRED, D. A. **Fisioterapia Neurológica**. 2. ed. [s.l.] Manole, 1994.

UMPHRED, D. A. **Reabilitação Neurológica**. 5. ed. [s.l.] Elsevier, 2009.

WEBSTER, J. G. et al. **Human gait and Clinical Movement Analysis**. [s.l: s.n.].