



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE COMUNICAÇÃO E EXPRESSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

César Nunes Giracca

GESTÃO E TECNOLOGIA

Órtese de Fibra de Carbono com base nas
Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos

Florianópolis, SC

2021

César Nunes Giracca

GESTÃO E TECNOLOGIA

Órtese de Fibra de Carbono com base nas
Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Eugenio Andrés Díaz Merino, Dr.

Florianópolis, SC

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Giracca, Cesar

GESTÃO E TECNOLOGIA Órtese de Fibra de Carbono com base nas Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos / Cesar Giracca ; orientador, Eugênio Andrés Diaz Merino, 2021.
121 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Comunicação e Expressão, Programa de Pós Graduação em Design, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Design. 2. Construção de órtese em fibra de carbono..
3. Escaneamento 3D. 4. Simulação mecânica computadorizada de elementos finitos. 5. Gestão e Tecnologia. I. Andrés Diaz Merino, Eugênio . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Design. III. Título.

César Nunes Giracca

GESTÃO E TECNOLOGIA

Órtese de Fibra de Carbono com base nas
Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora
composta pelos seguintes membros:

Prof. Rosinei Batista Ribeiro, Dr.
Avaliador Externo
Centro Universitário Teresa D'Ávila - UNIFATEA

Giuliano Mannrich, Dr.
Avaliador Externo
Instituto de Psiquiatria do Estado de Santa Catarina - IPq-SC

Prof. Milton Luiz Horn Vieira, Dr.
Avaliador Interno
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Design.

Prof. Ricardo Triska, Dr.
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Eugenio Andrés Díaz Merino, Dr.
Orientador

Florianópolis, SC

2021

A todos aqueles que lutam por um mundo melhor e mais acessível.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Eugenio Merino, que me guiou nesta trajetória com suas análises clínicas e conhecimento imensurável no campo de atuação acadêmica, tutor que gerencia uma qualificada delimitação de conhecimento acadêmico, auxiliando assim na evolução do material aqui abordado.

À professora Giselle Merino, que com seu conhecimento em gestão delineou o corpo de esboço nas etapas do trabalho.

Aos meus pais, Ecila Giracca e Giovanni Giracca, pessoas maravilhosas que já não estão entre nós como corpo, mas estão em alma e em memória.

Às minhas irmãs Iva e Mirella Giracca, que fazem parte da base estrutural familiar.

Às tias e aos tios por ambas as partes da família, tanto materna quanto paterna.

À minha companheira Kelly Matias, que me atura e me socorre em momentos de stress.

Ao meu cunhado Paulo Roberto Konzen, por momentos de descontração e auxílio de revisão.

Aos meus colegas, que me auxiliaram nas coletas, nos processos de desenvolvimento, na elaboração e troca de informações funcionais para o trabalho, uma equipe multidisciplinar que só tem a agregar quando se une para divulgação de expertises adquiridas em ciclo acadêmico e profissional.

Agradecimento especial aos colegas Diogo Costa e Irandir Paulo que me apoiaram e auxiliaram com seus conhecimentos técnicos e acadêmicos no processo de evolução desta dissertação.

À equipe do IPq-SC, pela gentileza e pelo profissionalismo de sua equipe que auxiliou o desenvolvimento desta pesquisa.

À equipe do NGD/LDU, pelo acolhimento e pela oportunidade que o laboratório fornece para pesquisadores emergirem seus instintos pela ciência.

Importante registrar que a pesquisa teve auxílio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio da bolsa de mestrado, permitindo-me a concretização e dedicação exclusiva a este trabalho. Bem como do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do projeto “DESIGN E SAÚDE: contribuição do Desenho Industrial na reabilitação de pacientes e trabalhadores inseridos em ambientes psiquiátricos”, do PROEX MEC SESu UFSC, com o projeto “Psiquiatria em análise: da saúde do paciente às questões da saúde do trabalhador”, e da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva (RPDTA CAPES), que permitiram a aquisição de equipamentos, insumos e investimentos durante toda a pesquisa.

RESUMO

As Pessoas com Deficiência (PcD) são um percentual importante da população, representando 23,9% no Brasil, sendo que 7% deste possuem alguma deficiência motora, exigindo diversos recursos. Como forma de tentar minimizar esta situação, as Tecnologias Assistivas (TA's) quando adequadas ao seu usuário e contexto podem auxiliar na redução e até eliminação das dependências, exigindo uma abordagem global que possibilite a consideração de ao menos 4 aspectos: Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos, que fazem parte das bases conceituais da Gestão de Design. A integração destes aspectos ao desenvolvimento de TA's pode resultar numa otimização dos recursos e conhecimentos, potencializando resultados mais precisos, confiáveis e principalmente centrado nas necessidades humanas sem desconsiderar a tecnologia. No caso específico das órteses, objeto desta pesquisa, expõem problemas recorrentes que resultam no seu abandono (durabilidade, peso, resistência, conforto, dentre outras), problemas presentes também nas órteses de membros inferiores, especificamente as do tipo AFO (*Ankle Foot Orthosis*). Desenvolver uma Órtese do tipo AFO em Fibra de Carbono para uma PcD com deformidade na perna esquerda, com base nas Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos, foi o objetivo desta pesquisa, que se dividiu em duas fases (teórica e aplicada). A primeira fase serviu para estruturar os temas centrais e conseqüentemente estabelecer as relações entre as bases conceituais da Gestão de Design, TA, Órtese e Fibra de Carbono. A segunda fase sistematizou o processo de desenvolvimento da seguinte forma: escaneamento 3D do membro, modelagem e criação da órtese em 3D, simulação mecânica computadorizada, construção da Órtese em Fibra de Carbono, entrega para respectivo uso e acompanhamento. Esta fase se utilizou como referência do Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos, que tem como premissa básica o projeto centrado no ser humano. Como resultados, foi possível materializar (Projeto) uma Órtese de Fibra de Carbono (OFC), personalizada com as características antropométricas e biomecânicas da usuária (Pessoa), por meio de uma sequência de etapas (Procedimentos), utilizando uma série de materiais e de tecnologias (Processos), que garantiram precisão, confiabilidade, otimização e principalmente satisfação da usuária e da equipe de fisioterapeutas, configurando uma abordagem integrativa entre a Gestão de Design e a Tecnologia Assistiva.

Palavras-chave: Gestão de Design. Tecnologia Assistiva. Órtese de Fibra de Carbono. Design Centrado no Ser Humano.

ABSTRACT

People with Disabilities (PwD) are an important percentage of the population, representing 23.9% in Brazil, and 7% of them have some motor disability, requiring several resources. As a way of trying to minimize this situation, Assistive Technology (AT) when appropriate to its user and context can help reduce and even eliminate dependencies, requiring a global approach that enables the consideration of at least 4 aspects: People, Projects, Processes, and Procedures, which are part of the conceptual basis of Design Management. The integration of these aspects to the development of AT's results in an optimization of resources and knowledge, potentiating more precise, reliable, and mainly centered results on human needs without disregarding technology. In the specific case of orthoses, the object of this research, there are recurrent problems that result in their abandonment (durability, weight, resistance, comfort, among others), problems that are also present in lower limb orthoses, specifically the type AFO (Ankle Foot Orthosis). To develop a Carbon Fiber AFO Orthosis for a PwD with a left leg deformity, based on People, Projects, Processes, and Procedures, was the goal of this research, which was divided into two phases (theoretical and applied). The first phase served to structure and associated with the central themes and consequently to establish the relationships among the conceptual bases of Design Management, AT, Orthosis, and Carbon Fiber. The second phase systematized the development process as follows: 3D scanning of the limb, modeling and creation of the orthosis in 3D, computerized mechanical simulation, construction of the Carbon Fiber Orthosis, delivery for respective use, and follow-up. This phase is used as a reference to the Orientation Guide for Project Development, which has as its basic premise the human-centered project. As a result, it was possible to materialize (Project) a Carbon Fiber Orthosis (CFO), customized to the user's (Person) anthropometric and biomechanical characteristics, through a sequence of steps (Procedures), using a series of materials and technologies (Processes), which ensured precision, reliability, optimization and mainly the user's and physical therapists team's satisfaction, configuring an integrative approach between Design Management and Assistive Technology.

Keywords: Design Management. Assistive Technology. Carbon Fiber Orthosis. Human-Centered Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento de 3 graus de liberdade do tornozelo	27
Figura 2 - Pisada Supinada.....	28
Figura 3 - Ciclo da marcha	34
Figura 4 - Siglas de segmentos membro inferior	38
Figura 5 - Tipos de órteses AFOs.....	39
Figura 6 - Tensão e deformação.....	41
Figura 7 - Diagrama síntese da fundamentação teórica.	45
Figura 8 - Fases da pesquisa.....	47
Figura 9 - Estrutura do GODP.....	49
Figura 10 - Síntese Visual do fluxo da FASE 2	50
Figura 11 - Quadro clínico da usuária	56
Figura 12 - Coleta de dados termográficos da usuária	58
Figura 13 - Busca de registros e patentes de órteses existentes	59
Figura 14 - Scanner SENSE	60
Figura 15 - Processo de escaneamento utilizando o SENSE 3D.....	61
Figura 16 - Escaneamento da usuária Scanner 3D + base de escaneamento.	62
Figura 17 - Finalização do escaneamento com utilizando o programa Sense 3D.....	63
Figura 18 - PUC (Produto, Usuário e Contexto).....	64
Figura 19 - Síntese das informações iniciais da órtese.....	65
Figura 20 - Representação do projeto órtese acoplado a geometria real a usuária	67
Figura 21 - Tensões de Von Mises.....	68
Figura 22 - Deslocamento resultante.....	69
Figura 23 - Deformação equivalente	70
Figura 24 - Fator de segurança	71
Figura 25 - Escaneamento e imagem 3D do membro inferior da usuária.....	72
Figura 26 - Molde da órtese já impregnada de desmoldante PVA.....	73
Figura 27 - Kit de infusão a vácuo	74
Figura 28 - Tacky tape selador de vácuo.....	74
Figura 29 - Tecido em Fibra de Carbono bidirecional	75
Figura 30 - Pressão de vácuo do sistema recomendada para este processo	76

Figura 31 - Sistema de cura em pressão negativa vácuo.....	77
Figura 32 - Bomba de vácuo	77
Figura 33 - Órtese pós cura separada do kit infusão	78
Figura 34 - Corte e separação da órtese de seu molde.	79
Figura 35 - Órtese desmoldada.....	80
Figura 36 - Primeiro acabamento externo com resina epóxi.....	80
Figura 37 - Teste preliminar da órtese junto a usuária	81
Figura 38 - Órtese Termoplástica e OFC	82
Figura 39 - Revestimento interno da órtese e sistemas de fixação e ajuste.....	83
Figura 40 - Produto final (Órtese em Fibra de Carbono)	84
Figura 41 - Teste com a OFC	85
Figura 42 - Entrega da Órtese em Fibra de Carbono.....	86
Figura 43 - PUC com resultados obtidos.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização geral e fases da pesquisa.....	22
Quadro 2 - Terminologias e classificação de produtos assistivos para PcD	32
Quadro 3 - Tipos de órteses.....	36
Quadro 4 - Equipamentos, Materiais e Softwares	52
Quadro 5 - Ângulos máximos dos movimentos das extremidades inferiores	57
Quadro 6 - Requisitos do projeto com base nos Bloco de Referência (PUC).....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFO - *Ankle Foot Orthosis*

CAD - *Computer-Aided Design*

CAE - *Computer-aided engineering*

CF-AFOs - *Carbon Fiber - Ankle Foot Orthosis*

CFR - *Carbon Fiber Reinforced.*

CFRP - *Carbon Fiber Reinforced Plastics.*

CNC - Controle Numérico Computadorizado

DTA - Dispositivo de Tecnologia Assistiva

FAPEU - Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária

GODP - Guia de Orientação Para Desenvolvimento de Projetos.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IPq-SC – Instituto de Psiquiatria do Estado de Santa Catarina

KPa - Kilopascal

NGD/LDU - Núcleo de Gestão e Design / Laboratório de Usabilidade

OFC - Órteses em Fibra de Carbono

OMS - Organização Mundial da Saúde

PVA - Polivinílico Álcool

TA - Tecnologia Assistiva

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	18
1.4	ADERÊNCIA AO PPGD	20
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	20
1.6	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	21
1.7	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1	GESTÃO DE DESIGN.....	25
2.2	TECNOLOGIA ASSISTIVA E ÓRTESES	28
2.2.1	Órteses	35
<i>2.2.1.1</i>	<i>Órteses tipo AFO</i>	<i>38</i>
2.3	FIBRA DE CARBONO.....	40
2.4	TECNOLOGIAS CAD/CAE.....	42
2.5	SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	44
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	47
3.1	GUIA DE ORIENTAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS .	48
3.2	MATERIAIS, SOFTWARE E EQUIPAMENTOS	52
3.3	MOMENTO INSPIRAÇÃO.....	55
3.3.1	Processo Escaneamento.....	60
3.4	MOMENTO IDEAÇÃO.....	66

3.4.1	Simulação Computadorizada de Elementos Finitos.....	68
3.5	MOMENTO IMPLEMENTAÇÃO	72
4	CONCLUSÕES.....	90
4.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	91
4.2	PERCEPÇÕES DO PESQUISADOR	92
4.3	ESTUDOS FUTUROS	92
	REFERÊNCIAS.....	94
	ANEXO A - Relatório de simulação mecânica computadorizada.....	103
	ANEXO B – Documento do Comitê de Ética.	121



Introdução

“

A maior deficiência não está no corpo do deficiente físico, mas, na alma do preconceituoso.

”

Sebastião Barros Travassos.

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo tem como finalidade apresentar ao leitor o contexto a respeito do tema da pesquisa, sua problemática, a pergunta da pesquisa, seus objetivos (geral e específicos), justificativa e motivação, bem como sua aderência ao Programa de Pós-Graduação em Design (PPGD), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a delimitação e a caracterização da pesquisa. No final deste capítulo, é apresentada a estrutura da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

De acordo com o levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no censo demográfico de 2010, aproximadamente 45.606.048 milhões de pessoas, 23,9% da população total residente no Brasil têm alguma deficiência, sendo classificados em: visual, auditiva, motora e mental ou intelectual. Neste cenário, dos 23,9%, aproximadamente 7% possuem deficiência motora, em diferentes graus de dificuldades, e desses 2,33% foram afetados de forma severa. No Sul do país (Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul), estima-se que 22,51% da população possui alguma deficiência e que desses 7,11% estão relacionados à deficiência motora. Esta classificação foi definida conforme a percepção dos próprios entrevistados sobre suas funcionalidades na realização de tarefas, avaliando assim o grau de deficiência em: (i) leve: tem pouca/alguma dificuldade em realizar; (ii) moderada: tem grande dificuldade em realizar; (iii) severa: não consegue realizar (BRASIL, 2012a).

Ainda sobre o resultado do citado censo, a deficiência, de todos os tipos, teve maior incidência na população de 65 ou mais anos, sendo que, no caso da deficiência motora, a incidência de casos no grupo de 0 a 14 anos foi de aproximadamente 1%; entre o grupo de 15 a 64 anos de 5,7%; já no grupo acima de 65 anos, houve o crescimento para 38,3%, revelando a relação direta entre o processo de envelhecimento e a consequente perda de funcionalidades (BRASIL, 2012a).

Sabe-se que as Pessoas com Deficiência (PcD) enfrentam problemas de várias ordens; o Relatório Mundial sobre a Deficiência (WHO, 2011) apontou três situações do ponto de vista dos direitos humanos, onde a primeira está relacionada a **desigualdades**, por exemplo, quando

elas têm negado o acesso igualitário a serviços de saúde, emprego, educação ou participação política devido à sua deficiência. A segunda situação está relacionada à **vulnerabilidade** da violação de sua dignidade, seja por violência, abusos, preconceitos ou desrespeito devido à sua deficiência. E a terceira é quando **perdem sua autonomia**, estando sujeitas à esterilização involuntária, sendo confinadas em instituições contra sua vontade, ou quando são vistas como legalmente incompetentes devido à sua deficiência.

Além disso, o Departamento das Nações Unidas para Assuntos Econômicos e Sociais, por meio do Relatório da ONU sobre Deficiência e Desenvolvimento: Realizando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para e com pessoas com deficiência, em 2018, identificou que, do ponto de vista econômico, as PcDs (e suas famílias) estão sujeitas a uma série de problemas, e que aquelas com deficiências mais graves requerem um nível mais alto de cuidados e apoio, pois são mais propensas a serem economicamente vulneráveis, **especialmente mulheres** com deficiência (AFFAIRS, 2019). Nesse sentido, Cook e Polgar (2015) entendem que as deficiências têm consequências significativas na vida de uma Pessoa, uma vez que essas Pessoas têm maior probabilidade de estarem sub ou desempregadas; elas e suas famílias são mais vulneráveis a ter um status socioeconômico mais baixo; vivenciando uma saúde precária; tendo menos acesso à educação; e experimentando maior isolamento social, menos participação da comunidade e menos proteção e segurança.

Como forma de tentar minimizar esses problemas, utiliza-se dos conhecimentos relacionados às Tecnologias Assistivas (TAs), que de acordo com o Comitê de Ajudas Técnicas (2009) pode ser entendido como a área do conhecimento que envolve produtos/dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços, com intuito de promover a funcionalidade, relacionada às atividades e à participação das PcDs. No que se refere aos Dispositivos de Tecnologias Assistivas (DTAs), cabe destacar o avanço de pesquisas e projetos nos últimos anos. Quando adequado ao usuário e contexto, esses dispositivos podem auxiliar na independência e melhoria da qualidade de vida de seus usuários, implementar e trabalhar em parceria direta com equipes de fisioterapia, profissionais qualificados que desempenham um papel fundamental na análise de resultados para uma pesquisa desta natureza.

Neste contexto, a Gestão de Design (GD) integrada ao desenvolvimento de Projetos de DTA otimiza seu Processo, que acontece intrinsecamente, considerando todas as Pessoas envolvidas n Projeto, contribuindo com o gerenciamento, a organização e a execução dos Procedimentos adotados (MERINO *et al.*, 2019). Nesse sentido, no Processo Projetual, vêm

sendo utilizadas tecnologias, ferramentas e técnicas, que geram impactos nas estruturas da GD, alterando a interação e a viabilização relacionadas aos Processos e práticas, possibilitando oportunidades para o Design (BEST, 2012). Assim, a utilização de tecnologias, no desenvolvimento de Projetos, permite uma aproximação entre o projetista e as necessidades reais dos usuários, auxiliando, por exemplo, no desenvolvimento de novos Produtos (MERINO *et al.*, 2017; MERINO *et al.*, 2018).

Cabe destacar, ainda, que o uso dessas tecnologias permite maior agilidade, precisão e adequação dos dados, mesmo quando o Projeto envolve Pessoas com Deficiência, contribuindo com a compreensão das suas necessidades reais e desenvolvimento de projetos mais eficientes, centrados nos usuários (MERINO *et al.*, 2019).

No entanto, identifica-se como principal problema o acesso e a obtenção desses DTAs, impossibilitando o uso por parte da maioria da população de vulnerabilidade (que tem apenas o SUS como plano de saúde), fazendo com que elas não utilizem dispositivos adequados. Tudo isso conforme pesquisa realizada por Elias, Monteiro e Chaves (2007), que aponta o baixo índice de obtenção, devido às burocracias, ao despreparo do sistema educacional e da dificuldade de acesso.

Neste contexto, entre os diversos tipos de TAs existentes e classificadas pela ISO 9.999:2011, destaca-se as órteses, que, para Radomski e Latham (2013), são consideradas como um importante dispositivo no processo de reabilitação de PcDs, atuando no processo de proteção e de cicatrização de estruturas, aumentando uma função, prevenindo ou corrigindo deformidades, oferecendo repouso articular e reduzindo a dor. No entanto, essas órteses, comumente produzidas em termoplásticos, apresentam problemas de durabilidade, peso, resistência, conforto, dentro outros, que resultam no seu abandono. Esses problemas ainda se estendem às órteses de membros inferiores, em específico as do tipo *Ankle Foot Orthosis* (AFO).

1.2 OBJETIVOS

Quanto aos objetivos desta dissertação, estes foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos, descritos nos próximos itens.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma Órtese do tipo *Ankle Foot Orthosis* em Fibra de Carbono para uma PcD com deformidade na perna esquerda, com base nas Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Compreender e relacionar Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos¹ da Gestão de Design e Tecnologia Assistiva, especificamente a Órtese de Fibra de Carbono;
- Aplicar técnicas de escaneamento 3D, modelagem matemática e simulação mecânica no desenvolvimento de projetos de produtos;
- Materializar uma Órtese em Fibra de Carbono (OFC), centrada na usuária em contexto real;
- Sistematizar o processo de desenvolvimento, tendo como referência o Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos.

1.3 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O desenvolvimento dessa pesquisa traz benefícios ao Processo de desenvolvimento de Tecnologias Assistivas, em âmbitos **acadêmico, social e processo artesanal**.

Quanto ao **acadêmico**, essa pesquisa se justifica pela inclusão da Gestão de Design na sistematização do Processo centrado na usuária, conforme os aspectos apresentados por Best (2012): Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos. Além disso, por meio da integração e sistematização das tecnologias para desenvolvimento de uma Tecnologia Assistiva (Órtese do tipo AFO em Fibra de Carbono), um trabalho que requer uma equipe multidisciplinar de engenheiros, designers, terapeutas ocupacionais, fisioterapeutas entre outros, beneficiando ainda mais o paciente e englobando o conhecimento mais qualitativo.

¹ Bases conceituais da Gestão de Design, segundo Best (2012).

Em relação ao **social**, essa pesquisa possibilita à usuária o acesso a um produto que satisfaça suas necessidades, considerando as características básicas das qualidades (IIDA, 2005): ergonômica, garantindo uma boa interação entre o produto e a usuária; estética, proporcionando satisfação da usuária; e técnica, facilitando a manutenção e a higienização. Esse acesso está amparado no Art. 18 do terceiro capítulo da Lei nº 13.146/2015, estabelecido por intermédio do SUS: a atenção integral, universal e igualitária à saúde da PcD em todos os níveis de complexidade, garantindo seu acesso, incluindo a oferta de órteses (BRASIL, 2015).

Já em relação ao **processo artesanal**, o desenvolvimento dessa pesquisa se justifica pelas dificuldades encontradas para o Processo de construção de uma órtese do tipo AFO, em material que apresente as seguintes características: durabilidade, baixo peso, resistência, conforto, dentre outras. Uma vez que as órteses do tipo AFO em termoplástico (polipropileno), tradicionalmente utilizadas, possuem tempo de vida útil de aproximadamente seis meses, por causa do uso diário e do material não ser resistente para tal situação e ser relativamente pesada, o que dificulta o desempenho da marcha da paciente. Agnelli e Toyoda (2003) relatam ainda que o Processo de construção é demorado, pois não são moldados diretamente sobre a pele, e no que se refere às órteses pré-fabricadas, existem problemas por causa da incompatibilidade da geometria do usuário, pois não são fabricadas sob medida, refletindo nas dificuldades de ajustes anatômicos.

Assim, esta dissertação se justifica por desenvolver uma Tecnologia Assistiva, sendo essa uma Órtese em Fibra de Carbono (OFC), considerando as características da usuária, bem como do contexto em que ela está inserida. Utilizando, ainda, os aspectos da Gestão de Design (Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos), auxiliando nas tomadas de decisão, bem como do uso adequado das tecnologias durante a criação.

A motivação pessoal pelo tema surgiu a partir dos conhecimentos do pesquisador como engenheiro biomédico, com especialização em ensaios mecânicos computacionais. Bem como, de sua participação junto ao Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade (NGD-LDU) da Universidade Federal de Santa Catarina, onde, inicialmente, participou como colaborador em um projeto voltado ao desenvolvimento de dispositivos assistivos em novos materiais, a exemplo da Fibra de Carbono (FC). Esta colaboração contribuiu para despertar seu interesse em atuar como pesquisador e ingressar no Programa de Pós-Graduação em Design, em nível de mestrado.

1.4 ADERÊNCIA AO PPGD

Esta pesquisa possui aderência ao Programa de Pós-Graduação em Design (PPGD), da Universidade Federal de Santa Catarina, pela sua natureza e temática utilizadas no processo de seu desenvolvimento, que envolve os temas presentes na área de concentração do Pós-Design UFSC, especialmente por meio da inserção à linha de pesquisa Gestão de Design com ênfase em Tecnologia. Essa linha de pesquisa associa-se a estudos em Gestão de Design, com aplicações em organizações de base tecnológica e social, dentro dos níveis operacionais, táticos e estratégicos relacionados ao desempenho dos processos e performance das organizações. Quanto à ênfase dada à tecnologia, esta ocorreu por meio da abordagem de prototipagem, simulação, experimentação de métodos, processos e serviços (POSDESIGN, 2021).

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Quanto às temáticas, esta pesquisa se delimita a Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos, presentes na Gestão de Design (BEST, 2012), Tecnologia Assistiva (especificamente as órteses) e Fibra de Carbono. Quanto à tecnologia, esta pesquisa delimita-se aos ensaios mecânicos finitos relacionados aos fatores de transformação da malha, pontos de fixação e execução de força. Sua delimitação geográfica refere-se ao município da grande Florianópolis, em específico IPq-SC. Em relação à delimitação temporal, são considerados os estudos desenvolvidos nos anos de 2019 a 2021. Quanto ao sujeito, esta pesquisa se delimita às Pessoas com Deficiência (PcDs), especificamente deficiência neuromotora. No que se refere ao material, esta pesquisa se delimita à Fibra de Carbono. Em relação ao Projeto, é delimitada ao desenvolvimento de uma órtese do tipo AFO. Quanto aos Processos de maneira geral, ela se delimita ao escaneamento tridimensional, criação do produto no *SolidWorks*, simulação matemática computadorizada, construção da órtese e testes com o Produto, Usuário e Contexto (PUC). Quanto aos Procedimentos de avaliação e construção da órtese, segue-se os dados da simulação validados.

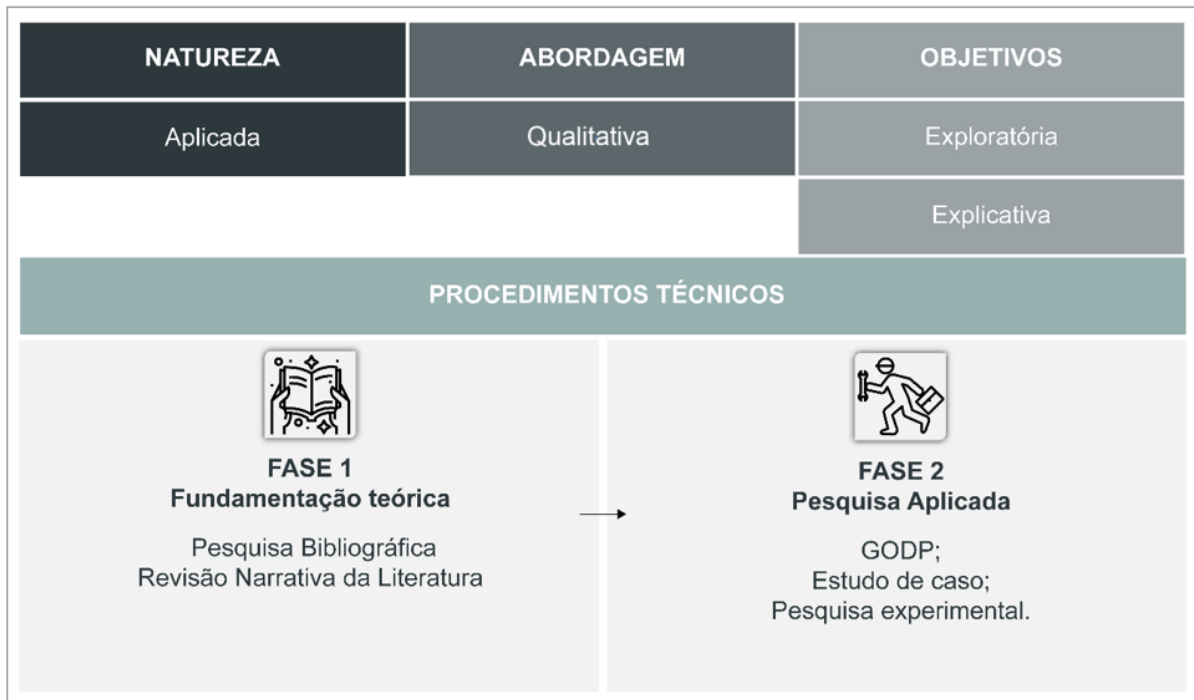
1.6 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Quanto à sua natureza, essa pesquisa é compreendida como aplicada, uma vez que “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais” (SILVA; MENEZES, 2005, p. 20). No que se refere à sua abordagem, é classificada como quantitativa, em que tudo é considerado quantificável, sendo traduzido em números, dados e informações para organizá-las e analisá-las (PRODANOV, 2013).

Em relação aos objetivos, é considerada como exploratória e explicativa. Exploratória porque objetiva promover maior aproximação do pesquisador com o problema de estudo, o colocando em evidência ou criando ideias associadas a este. E é explicativa, pois identifica os fatores que determinam ou contribuem com os acontecimentos dos fenômenos e explica a razão, o porquê das coisas (GIL, 2008; SILVA; MENEZES, 2005).

No que diz respeito aos procedimentos técnicos, foi configurada em duas fases, a citar: FASE 1 - Fundamentação Teórica e FASE 2 - Pesquisa Aplicada. Na Fase 1 (Fundamentação Teórica), foram realizadas a Pesquisa Bibliográfica, que foi desenvolvida por meio de materiais já existentes como livros, artigos científicos, teses e dissertações (GIL, 2008), e a revisão narrativa da literatura, na qual a seleção dos estudos e a interpretação dos dados e informações foram realizadas de forma subjetiva.

Quadro 1 - Caracterização geral e fases da pesquisa



Fonte: O autor.

1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura desta dissertação está dividida em cinco capítulos, sendo estes:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Neste capítulo, são apresentados a contextualização, problemática, pergunta da pesquisa, objetivos (geral e específicos), justificativa e motivação do tema, delimitação da pesquisa e a estrutura da dissertação. O capítulo também mostra a aderência ao Programa de Pós-graduação em Design da UFSC e sua linha de pesquisa, compreendida como Gestão de Design com ênfase em Tecnologia.
- **Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** Neste capítulo, são discutidos os principais temas que fundamentam esta pesquisa. Sendo esses: Gestão de Design com foco nas Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos, Design Centrado no Usuário, Ergonomia, Tecnologia Assistiva, Órteses e Tecnologia Assistiva. Ao final do capítulo é apresentada também uma síntese da fundamentação teórica.
- **Capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos:** Este capítulo apresenta os procedimentos técnicos adotados, suas fases e etapas desenvolvidas no decorrer da pesquisa.

- **Capítulo 4 – Pesquisa Aplicada:** Este capítulo apresenta o detalhamento das etapas desenvolvidas por meio do Estudo de Caso e da Pesquisa Experimental realizados no setor de reabilitação do IPq-SC. Cabe ressaltar que foi utilizado o Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos – GODP, na organização e alinhamento das etapas do processo projetual. Seguindo assim os três respectivos momentos: MOMENTO 1 - INSPIRAÇÃO, MOMENTO 2 - IDEIAÇÃO, MOMENTO 3 - IMPLEMENTAÇÃO.
- **Capítulo 5 – Conclusões:** Este capítulo apresenta as conclusões da dissertação, bem como as contribuições da pesquisa, suas limitações, percepções do pesquisador e os estudos futuros.

No final deste documento, encontram-se as referências utilizadas e os Anexos mencionados no texto, como complemento das informações apresentadas.



Fundamentação
Teórica

“

A ciência sem experimento, é deficiente.

Rodrigo Cardoso Ulguim

”

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os principais temas que fundamentaram esta pesquisa, a saber: **Gestão de Design**, considerada como articuladora e gerenciadora do processo de desenvolvimento do projeto, dando ênfase às Pessoas envolvidas e suas especificidades, bem como aos Procedimentos adotados, relacionados com os aspectos da **Ergonomia** e do **Design Centrado no Usuário**²; **Tecnologia Assistiva**, abordada como produto (**Órteses**) auxiliador e facilitador das atividades de vida diárias da **Pessoa com Deficiência**; e a **Fibra de Carbono**, material responsável pela inovação do produto por meio de sua leveza e durabilidade.

2.1 GESTÃO DE DESIGN

A Gestão de Design (GD) pode ser compreendida como o “gerenciamento bem-sucedido de pessoas, projetos, processos e procedimentos que estão por trás da criação dos produtos, serviços, ambientes e experiências que fazem parte de nossa vida diária” (BEST, 2012, p. 8). Logo, a GD deve ser utilizada como uma ferramenta de integração das funções operacionais do design desenvolvido, atingindo os objetivos traçados, bem como a coordenação de produtos, ambientes e serviços (MARTINS; MERINO, 2008).

De acordo com o *Design Management Institute* (DMI) (2021), a GD abrange os processos, as decisões e estratégias de projeto que permitem a inovação e desenvolvimento de produtos, serviços e ambientes com design mais eficaz, proporcionando melhorias à qualidade de vida das pessoas e sucesso organizacional.

Nesse sentido, Best (2012) destaca como um fator importante para o sucesso de projetos de design a maneira como essas pessoas, processos e procedimentos de um projeto são organizados, coordenados e executados. Desta forma, a GD “sugere um ponto de vista ampliado, integrado e interativo com todas as instâncias que conformam o processo projetual” (MARTINS; MERINO, 2011, p. 147)

Para Best (2012), o design se apresenta de forma tangível (pessoas, projetos, produtos e serviços) e intangível (processos de trabalho, relações interdisciplinares); assim, uma das

² Cabe ressaltar que nesta dissertação foram adotados os termos usuário e humano como similares, sendo presentes das duas formas no decorrer do texto.

contribuições da GD consiste em definir como relacionar Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos mediante uma configuração interdisciplinar e colaborativa em um contexto (empresarial, social, político e ambiental), possibilitando uma experiência satisfatória, viável e prazerosa.

Deste modo, envolvida na gestão, especificamente por meio das Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos, destaca-se a importância de projetar considerando o usuário como centro do projeto, uma vez que esses projetos auxiliam com processos bem estruturados para serem usados com sucesso, pois correspondem às expectativas e especificidades dos usuários (LANTER; ESSINGER, 2016). Com isso, o foco dado ao ser humano somado à Gestão de Design colaboram para a inovação, por meio de produtos, serviços e processos (SILVA, 2016).

Paralelo a isso, se têm estudos associados à ergonomia com ênfase na antropometria (ciência que estuda as dimensões físicas do corpo humano) e biomecânica (ciência que estuda os movimentos do corpo humano). Esses estudos se fazem cada vez mais presentes no processo de concepção de produtos, serviços e ambientes, que tem como finalidade atender às particularidades do usuário, em especial, os fatores de segurança, usabilidade e conforto (PATRIZI; PENNASTRI; VALENTINI, 2016).

Conseqüentemente, considerar os aspectos do Design Centrado no ser humano associados à ergonomia, compreendida como a adaptação do trabalho ao ser humano (IIDA; GUIMARÃES, 2016), permite que os dispositivos assistivos, a exemplo das órteses, sejam projetadas considerando as características e necessidades do usuário (OLIVEIRA et al, 2017).

Desta forma, cabe ressaltar a importância da qualidade oferecida pelo produto, e essa qualidade possui significados diferentes para determinadas pessoas. Para um gerente de produção, qualidade significa facilidade de fabricação e montagem. Enquanto para um engenheiro de manutenção é tempo de funcionamento sem defeitos e facilidade de conserto. Com isso, deve ser adotada uma postura mais abrangente quanto à qualidade do produto (BAXTER, 1998).

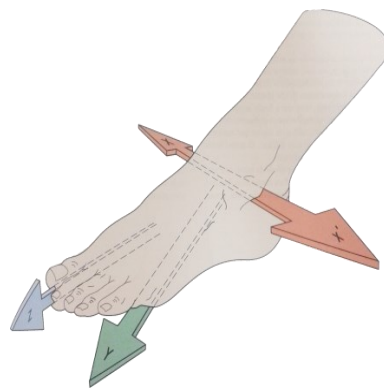
Nesse sentido, Iida (2005) informa que, do ponto de vista ergonômico, todos os produtos, independente do seu grau de complexidade, precisam satisfazer as necessidades dos seus usuários, uma vez que entram em contato com eles. Ainda o autor destaca que, para que haja um bom funcionamento desses produtos durante a interação com seus usuários, estes devem apresentar as seguintes características básicas:

- **Qualidade ergonômica:** responsável por garantir uma boa interação entre o produto e o usuário. Está relacionada com a facilidade de manuseio, adaptação antropométrica, compatibilidades de movimentos, entre outros fatores de segurança e conforto.
- **Qualidade estética:** é a que proporciona prazer e satisfação ao usuário, por meio de formas, cores, materiais, texturas e acabamentos, contribuindo para que os produtos sejam considerados atraentes e desejáveis pelo usuário.
- **Qualidade técnica:** envolve a eficiência com que o produto executa sua função, facilidade de limpeza e manutenção, dentre outros.

No caso específico desta pesquisa, focada numa órtese para membros inferiores, especificamente do tipo AFO, importante é esclarecer aspectos associados à articulação do tornozelo e de áreas próximas.

Segundo Kapandji (2012), o tornozelo ou a articulação tibiotársica é a articulação distal do membro inferior, que condiciona os movimentos da perna em relação ao pé no plano sagital. Não é apenas necessário, mas indispensável para caminhar tanto em terrenos planos como quando em terrenos irregulares. Levando em conta a movimentação em terrenos acidentados, a articulação tibiotársica é a mais importante, fazendo conjunto com a rotação axial do joelho, apresentando 3 graus de liberdade (Figura 1), permitindo que o arco plantar seja orientado se adaptando ao terreno.

Figura 1 - Movimento de 3 graus de liberdade do tornozelo



Fonte: KAPANDJI (2012).

A supinação é um movimento composto por: extensão, inversão e adução (ROOT *et al.*, 1989).

Dentre os movimentos representados na figura 2, uma das formas de pisada que não é segura para a marcha biomecânica seria a supinação excessiva, representada na figura 2, por descarregar o peso do corpo no lado de fora do pé, em sua borda externa.

Figura 2 - Pisada Supinada



Fonte: FUTFANATICS (2020)

Seguindo essa perspectiva, nos próximos tópicos serão apresentadas informações relacionadas à Tecnologia Assistiva e Órteses.

2.2 TECNOLOGIA ASSISTIVA E ÓRTESES

O termo Pessoa com Deficiência (PcD) foi preconizado, em junho de 1994, pela Declaração de Salamanca e Linha de Ação, durante a Conferência Mundial sobre Necessidades Educativas Especiais: Acesso e Qualidade (UNESCO, 1994). Sasaki (2002) explica que, ao se referir a esse grupo de pessoas, é fundamental que haja cuidados específicos com a linguagem, visto que esse também é um meio para construção de uma sociedade inclusiva. Nesse sentido, o autor apresenta 59 palavras ou expressões incorretas/inadequadas, acompanhadas de comentários e dos equivalentes termos corretos, dos quais destaca-se a necessidade de substituir termos como deficientes físicos, inválidos, incapacitado, portador de deficiência por PcD, sem especificar o tipo de deficiência, quando se referir a pessoas com qualquer tipo de deficiência.

Na classificação da *International classification of functioning (ICF), disability and health*, a **deficiência** é definida como uma limitação em um domínio funcional, que surge a partir da interação entre a capacidade particular de uma pessoa e os fatores ambientais e pessoais (WHO, 2001). Já em junho de 2011, a *World Health Organization (WHO)* lançou o Relatório Mundial sobre a **Deficiência** e, nele, ressalta o preâmbulo da Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD), que reconhece a evolução do conceito **deficiência** e que essa é resultante da interação entre PcD e barreiras comportamentais e ambientais, que impedem sua participação plena e eficaz na sociedade de forma igualitária; assim, a deficiência não é um atributo da pessoa e, por isso, então, pode-se entender que a deficiência é complexa, dinâmica, multidimensional e questionada (WHO, 2011).

A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência), que entrou em vigor no Brasil em 06 de julho de 2015 (Lei nº 13.146/2015), foi constituída com intuito de assegurar e de promover, em condições igualitárias, o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais por pessoa com deficiência, visando à sua inclusão social e cidadania (BRASIL, 2015). Para Araújo e Costa Filho (2017), a Lei nº 13.146/2015, além de trazer novos institutos jurídicos relativos à concepção de deficiência, capacidade legal, avaliação psicossocial e acessibilidade, promoveu alterações em diversas normas nacionais em suas disposições finais e transitórias.

De acordo com o Art.º 2 da Lei nº 13.146/2015, considera-se PcD aquela que tem impedimentos de longo prazo, seja de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas (BRASIL, 2015). As causas para que isso ocorra são diversas, tendo a prevalência resultante da relação complexa e dinâmica entre problemas de saúde e os fatores contextuais (WHO, 2011). As categorias dos tipos de deficiência foram especificadas no Decreto 5.296, de 2 de dezembro de 2004, subdivididas em (BRASIL, 2004):

- (a) **deficiência física**: alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, entre outras, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções;
- (b) **deficiência auditiva**: perda bilateral, parcial ou total, de quarenta e um decibéis (dB) ou mais, aferida por audiograma nas frequências de 500Hz, 1.000Hz, 2.000Hz e 3.000Hz;
- (c) **deficiência visual**: cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos

quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60°; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores;

(d) **deficiência mental**: funcionamento intelectual significativamente inferior à média, com manifestação antes dos dezoito anos e limitações associadas a duas ou mais áreas de habilidades adaptativas, tais como: comunicação, cuidado pessoal, saúde e segurança, lazer, entre outros;

(e) **deficiência múltipla** - associação de duas ou mais deficiências; e (ii) pessoas com mobilidade reduzida aquela que, não se enquadrando no conceito de pessoa portadora de deficiência, tenha, por qualquer motivo, dificuldade de movimentar-se, permanente ou temporariamente, gerando redução efetiva da mobilidade, flexibilidade, coordenação motora e percepção.

Por meio do Relatório Mundial sobre a Deficiência, a WHO propôs recomendações para políticas e programas em níveis nacional e internacional, por meio de medidas para melhorar a qualidade da acessibilidade e igualdade de oportunidades, promover a participação e inclusão, e elevar o respeito pela autonomia e dignidade da PcD (WHO, 2011). No contexto nacional, o segundo capítulo da Lei nº 13.146/2015 apresenta que toda PcD tem direito à igualdade de oportunidades com as demais pessoas e que não sofrerá nenhuma espécie de discriminação, e que é dever do Estado, da sociedades e da família assegurar, com prioridade, a efetivação dos direitos referentes à vida, à paternidade ou maternidade, à saúde, à reabilitação, aos avanços científicos e tecnológicos, dentre outros decorrentes da Constituição Federal, da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo e das leis e de outras normas que garantam seu bem-estar pessoal, social e econômico.

Nesse sentido, a Tecnologia Assistiva (TA) é compreendida como uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (CAT, 2009, p. 9). Esse termo foi traduzido do *Assistive Technology* (AT), que foi criado em 1988 como elemento jurídico dentro da legislação dos Estados Unidos da América conhecida como *Public Law* (100-407) e foi renovada em 1988 como *Assistive Technology Act* de 1988 (P.L. 105-394, S. 2432).

A WHO (2001) entende a TA como qualquer produto, instrumento, equipamento ou tecnologia adaptada ou especialmente projetado para melhorar o funcionamento de uma pessoa com deficiência. Já a legislação (Lei 108-364-OCT. 25, 2004) dos Estados Unidos da América define a TA como “qualquer item, peça de equipamento ou sistema de produto adquirido comercialmente na prateleira, modificado ou personalizado que é usado para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais de indivíduos com deficiência”, e são classificados em

“baixa tecnologia”, “média tecnologia” e “alta tecnologia”. Pode-se observar que as duas definições apresentadas têm ênfase na tecnologia e a limitam a um objeto tangível, que pode ser usado por uma PcD. O *European Parliamentary Research Service* (EPRS) relata que as TAs são projetadas para melhorar as capacidades funcionais das PcDs, alguns relativamente de baixa tecnologia, como óculos de leitura, muletas e aparelhos auditivos, e outras mais avançadas, usando ciência e tecnologia de ponta (NIERLING, 2018).

No contexto nacional, em 16 de novembro de 2006, foi instituído, pela Portaria nº 142, o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), estabelecido pelo Decreto nº 5.296/2004 no âmbito da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República, na perspectiva de ao mesmo tempo aperfeiçoar, dar transparência e legitimidade ao desenvolvimento da Tecnologia Assistiva no Brasil (CAT, 2008).

Além disso, Bersch (2017, p. 21) “entende a TA como a aplicação de conhecimentos a serviço da resolução de problemas funcionais para pessoas com deficiência, e que se propõe a romper as barreiras externas que impedem a atuação e participação das pessoas com algum tipo de limitação em quaisquer espaços e atividades de sua necessidade e interesse”. Para Prestes (2011, p. 13), “TA é utilizado para definir enorme diversidade de recursos e serviços destinados a pessoas com deficiências e esses usuários necessitam de serviços especializados de áreas distintas para facilitar sua inclusão nas mais variadas atividades sociais”.

De acordo com a Lei nº 13.146/2015, considera-se TA todo e qualquer produto, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, com vistas à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL, 2015).

Em março de 2021, houve o Decreto nº 10.645, que regulamenta o Art. 75 da Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015, para dispor sobre as diretrizes, os objetivos e os eixos do Plano Nacional de TA. Destaca-se nesse decreto o Art. 3º, que estabeleceu cinco diretrizes do Plano Nacional de Tecnologia Assistiva (PNTA), sendo: 1. Eliminação, redução ou superação de barreiras à inclusão social por meio do acesso e do uso da tecnologia assistiva; 2. Fomento à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação para a criação e implementação de produtos, de dispositivos, de metodologias, de serviços e de práticas de tecnologia assistiva; 3. Fomento ao empreendedorismo, à indústria nacional e às cadeias produtivas na área de tecnologia assistiva; 4. Promoção da inserção da tecnologia assistiva no campo do trabalho, da educação, do cuidado

e da proteção social; 5. Priorização de ações voltadas ao desenvolvimento da autonomia e da independência individuais (BRASIL, 2021).

Já o Art. 4º revogou o Art. 75 de 2015 e atualizou os objetivos do PNTA, classificando-os em cinco pontos, sendo: (i) facilitar o acesso a crédito especializado aos usuários de tecnologia assistiva; (ii) agilizar, simplificar e priorizar procedimentos de importação de tecnologia assistiva; (iii) criar mecanismos de fomento à pesquisa e à produção nacional de tecnologia assistiva; (iv) eliminar ou reduzir a tributação da cadeia produtiva e de importação de tecnologia assistiva; e (v) facilitar e agilizar o processo de inclusão de novos recursos de tecnologia assistiva no rol de produtos distribuídos no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS e por outros órgãos e entidades da administração pública.

Em relação aos tipos de TA, a Norma ISO 9.999:2011 estabeleceu terminologias e uma classificação de produtos assistivos para PcD, divididos em três níveis decrescentes: classe, subclasse e detalhamento. No Quadro 2, pode-se observar os tipos e uma breve descrição do nível classe:

Quadro 2 - Terminologias e classificação de produtos assistivos para PcD

Código	Classe	Descrição
04	Tratamento médico Pessoal	Produtos utilizados para melhorar, monitorar ou manter a condição médica do indivíduo
05	Treinamento de habilidade	Recursos utilizados para melhorar a habilidade física, mental ou social do indivíduo
06	Órteses e Próteses	Dispositivos órteses e próteses de membro inferior e superior com ou sem fonte adicional de energia, órteses cosméticas e demais produtos ortopédicos
09	Proteção e cuidados pessoais	Recursos de apoio para vestir e despir, higiene pessoal, entre outros
12	Mobilidade pessoal	Recursos de auxílio à locomoção
15	Cuidado do lar	Recursos de apoio para comer e beber, cozinhar, bem como para realização de outras tarefas no ambiente doméstico
18	Mobiliário e adaptações para residências e outras edificações	Mobiliário e demais adaptações a ambientes físicos que reduzam barreiras de mobilidade à PcD
22	Comunicação e informação	Dispositivos e práticas que auxiliem as PcDs na comunicação e transmissão de informações

24	Manuseio de objetos e equipamentos	Recursos que auxiliem a manipulação de objetos e dispositivos diversos para a realização de múltiplas atividades
27	Melhorias ambientais, ferramentas e máquinas	Dispositivos e equipamentos para contribuir com a melhoria do ambiente pessoal na vida diária. Inclui ferramentas manuais e diferentes dispositivos com fonte adicional de energia
30	Lazer	Recursos destinados a jogos, esportes e outras atividades de lazer

Fonte: Adaptado da Norma ISO 9.999:2011.

Alguns itens estão especificamente excluídos na ISO 9.999:2011, como os usados para a instalação de produtos auxiliares; soluções obtidas por combinações de produtos auxiliares individualmente; medicação; produtos e instrumentos de assistência utilizados exclusivamente por profissionais de saúde; soluções não técnicas, como assistência pessoal, cães-guia ou leitura labial; dispositivos implantados; e suporte financeiro.

No contexto nacional, o Ministério da Fazenda, Ciência, Tecnologia e Inovação e a Secretaria Nacional de Direitos Humanos da Presidência da República, na publicação da Portaria Interministerial nº 362, de 24 de outubro de 2012, no segundo anexo, dividiu em 11 Áreas Macro as TAs, juntamente com uma descrição, e o Código, recurso (bens e serviços) e descrição do recurso, sendo: (i) auxílios para a vida diária e a vida prática; (ii) Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA); (iii) recursos de acessibilidade ao computador; (iv) Sistemas de controle de ambiente; (v) projetos arquitetônicos para acessibilidade; (vi) **órteses** e próteses; (vii) adequação postural; (viii) auxílios de mobilidade; (ix) auxílios para qualificação da habilidade visual e recursos que ampliam a informação a pessoas com baixa visão ou cegas; (x) auxílios para ampliação da habilidade auditiva e para autonomia na comunicação de pessoas com déficit auditivo, surdez e surdo-cegueira; (xi) adaptações em veículos; e (xii) esporte e lazer (BRASIL, 2012).

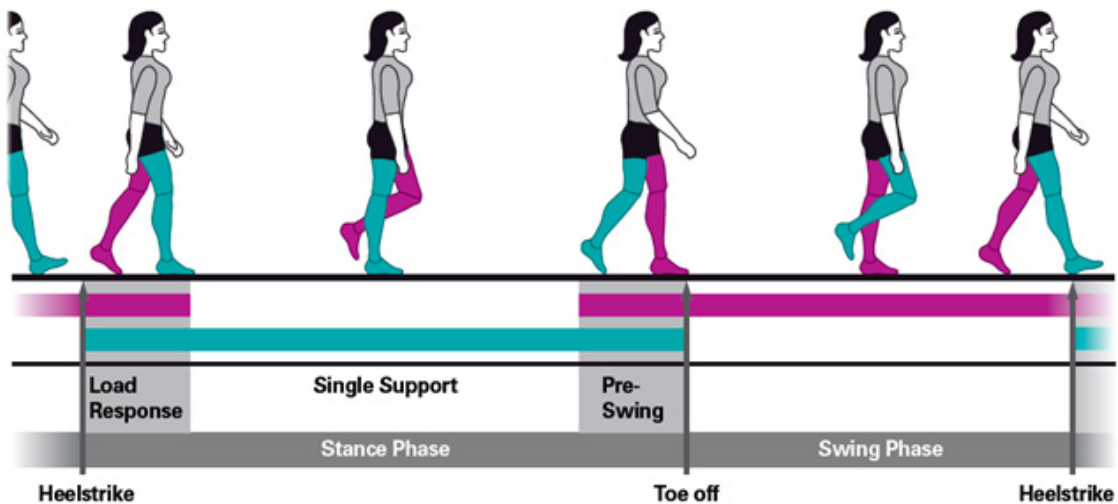
A TA tem sido usada como uma alternativa de intervenção no sentido de aumentar a habilidade funcional das PcD nas mais diversas atividades, seja no autocuidado, trabalho e lazer, bem como suporte para a vida e a participação na comunidade (HAMMEL, 2000; HAMMEL et al, 2002). Entre os diversos tipos de TA, a órtese destaca-se como um recurso importante no processo de reabilitação, no qual tem por objetivo proteger a cicatrização de estruturas; manter ou promover a amplitude de movimento de determinada articulação; substituir ou aumentar uma função; prevenir ou corrigir deformidades; oferecer repouso articular; reduzir a dor; servir como base para acessório de autoajuda, entre outros (RADOMSKI; LATHAM, 2013).

De acordo com Kapandji (2013, p.3) “a biomecânica trata do funcionamento do sistema musculoesquelético dos seres humanos e de todos os animais que possuem um esqueleto”. Assim, por meio da biomecânica é possível analisar, resolver e/ou avaliar questões relacionadas a alguma limitação que interferem nas condições mecânicas dos seres humanos (VITAL et al., 2015; HALL, 2009; REMESAL; PUENTE, 2003).

A marcha pode ser compreendida como locomoção bípede que ocorre por meio da coordenação entre várias juntas do corpo humano, especificamente as dos membros inferiores (NORDIN, FRANKEL, 2011). Para Lucarelli (2014) a marcha acontece por meio de um movimento cíclico dos membros inferiores movendo o corpo para a frente, ao mesmo tempo que mantem o equilíbrio no apoio.

Desta forma, o ciclo da marcha (Figura ??) envolve duas fases, sendo estas: uma fase de apoio e outra fase de balanço. A fase de apoio acontece quando o pé está em contato com o solo, já a fase de balanço compreende o momento em que o pé não sustenta mais o peso e se move para frente.

Figura 3 - Ciclo da marcha



Fonte: OPTOGAITE (2021)

2.2.1 Órteses

A *International Society for Prosthetics and Orthotics* (ISPO) entende a Órtese como um dispositivo no campo da tecnologia da saúde que se preocupa com o projeto, fabricação e aplicação de órteses (aparelhos ortopédicos). Uma órtese é definida como um “dispositivo aplicado externamente, usado para modificar as características estruturais e funcionais do sistema neuromuscular e esquelético” (ISPO 2021).

Segundo Carvalho (2013), o termo órtese deriva do grego, cujos termos *orthos* e *titheme* significam, respectivamente, correção e colocação. Ainda segundo o autor, a órtese pode ser definida como um dispositivo aplicado externamente ao segmento corpóreo e utilizado para modificar as características estruturais ou funcionais dos sistemas esquelético e neuromuscular. Machado (2018) define a órtese como dispositivo que auxilia as funções do corpo, mitigando insuficiências funcionais. Uma pessoa com um trauma, que pode afetar a sua capacidade de locomoção, sente inúmeras dificuldades de se adaptar e retomar as atividades cotidianas, sendo que o uso de uma órtese diminui sua limitação, facilitando assim sua retomada nas atividades corriqueiras.

Neste sentido, as órteses são colocadas junto a um segmento do corpo, onde exercem funções específicas sobre um segmento corpóreo, garantindo-lhe um melhor posicionamento, estabilização e/ou função. São normalmente confeccionadas sob medida e servem no auxílio de mobilidade, de funções manuais (escrita, digitação, utilização de talheres, manejo de objetos para higiene pessoal), correção postural, entre outros (BRASIL, 2012; CARVALHO, 2013 BERSCH, 2017).

A legislação brasileira possui Normas Técnicas, junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que têm como ênfase estabelecer, conceituar, classificar e definir métodos para as órteses, sendo: ISO 13405-1:1999 (ISO 13405-2:1999 e ISO 13405-3:1999), que partiu da NBR ISO 13405 e tem como objetivo estabelecer o método de classificação de componentes para próteses e suas construções; ISO 8549-1:1989 (ISO 8549-2:1989 e ISO 8549-3:1989), que estabelece o vocabulário dos termos utilizados na área de próteses externas e membros e órteses externas; ABNT NBR 14431:2000, que especifica os requisitos gerais para marcação, embalagem e rotulagem de componentes para órteses e próteses ortopédicas, fornecidas na condição de peças pré-fabricadas.

Na Norma da Portaria Interministerial nº 362, definiu-se que as órteses são colocadas junto a um segmento (região de interesse) do corpo, garantindo-lhe um melhor posicionamento, estabilização e/ou função, e que possuem algumas distinções de tipos relacionadas às regiões de interesse (BRASIL, 2012). No quadro 3, estão apresentados alguns tipos de órtese, com código sobre a divisão da PI nº 362 e a região de interesse do corpo.

Quadro 3 - Tipos de órteses

Região do Corpo	Código	Tipo da Órtese
Cotovelo	COD 2.6.35	Extensor para cotovelo
	COD 2.6.41	Órtese articulada para o cotovelo
Ombro	COD 2.6.36	Órtese estática para estabilização do ombro / suporte para ombro
	COD 2.6.47	Tipoia adulta e infantil
	COD 2.6.48	Órtese estática para sustentação da cintura escapular - bilateral
	COD 2.6.49	Órtese estática para sustentação da cintura escapular - unilateral
Cervical	COD 2.6.50	Órtese hcto tipo minerva imobilizadora cervical c/ apoio torácico (colar)
Quadril e/ou Pelvis	COD 2.6.51	Órtese suspensório de pavlik
	COD 2.6.57	Órtese rígida p/ luxação congênita do quadril
	COD 2.6.58	Órtese pélvico-podálica p/ adulto c/ ou s/ apoio isquiático
	COD 2.6.59	Órtese pélvico-podálica c/ ou s/ apoio isquiático (infantil e adolescente)
	COD 2.6.60	Órtese pélvico-podálica de descarga isquiática
	COD 2.6.66	Órtese pélvico-crural
Punho	COD 2.6.37	Órtese de apoio / estabilização para o punho - adulto e infantil
	CDD 2.6.40	Órtese de posicionamento funcional do punho e da mão
	COD 2.6.42	Órtese articulada para o punho
Punho e Mão	COD 2.6.44	Órtese dinâmica mioelétrica de punho e mão
	COD 2.6.45	Órtese dinâmica de punho e mão
	COD 2.6.46	Órtese estática ou progressiva antebráquiopalmar adulto e infantil
Mãos	COD 2.6.38	Órtese estática ou progressiva para os dedos e polegar
	COD 2.6.39	Órtese abdutor de polegar estático ou dinâmico
	COD 2.6.43	Órtese dinâmica para posicionamento ou tração das articulações dos dedos (quirodáctilos)
Inferiores	COD 2.2.62	Órtese cruropodálica (infantil e adolescente)

	COD 2.6.63	Órtese cruropodálica adulto
	COD 2.6.69	Órtese cruromaleolar em polipropileno p/ imobilização de joelho em extensão
	COD 2.6.65	Órtese dinâmica suropodálica tipo mola de codeville
	COD 2.6.72	Órtese pré-fabricada para estabilidade/imobilização do tornozelo unilateral
	COD 2.6.52	Órtese suropodálica unilateral articulada em polipropileno (adulto)
	COD 2.6.53	Órtese suropodálica metálica (adulto)
	COD 2.6.54	Órtese suropodálica s/ articulação em polipropileno (infantil)
	COD 2.6.55	Órtese suropodálica s/ articulação em polipropileno (adulto)
	COD 2.6.56	Órtese suropodálica articulada em polipropileno infantil
	COD 2.2.61	Órtese metálica suropodálica (infantil)

Fonte: Brasil (2012)

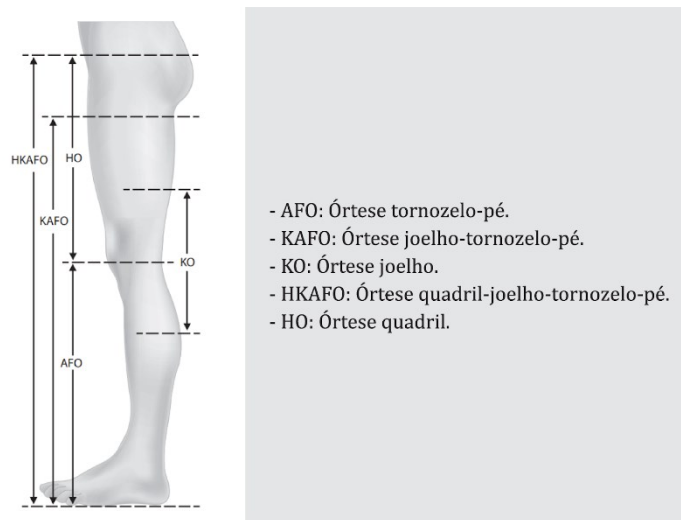
As órteses de membros inferiores têm como objetivo principal permitir, facilitar e garantir a marca funcional e segura para a PcD, seja de natureza transitória ou definitiva; além disso, sabe-se que são indicadas para facilitar e/ou auxiliar o ortostatismo, imobilizar segmentos articulares, prevenir/evitar/corrigir instalação de deformidades, evitar ou minimizar a dor (BRASIL, 2019).

Como se pôde observar no quadro 3, existem diferentes tipos, sendo que destaca-se os modelos de órtese pré-fabricada para estabilidade/imobilização do tornozelo unilateral (COD 2.6.72), que são dotadas de ajuste em velcro para imobilização com barbatanas laterais em tecido e forro acolchoado em algodão geralmente encontradas em diferentes tamanhos, e a suropodálica unilateral articulada em polipropileno para adultos (COD 2.6.52), sendo do tipo calha (goteira) posterior em polipropileno com articulação no tornozelo, com ou sem correia antivalgo ou antivaro de retropé.

Carvalho (2013) relata que, desde a ISO 8549:1989, adotou-se distintas terminologias para classificação das órteses (Figura 3), sendo aceita e aplicada em todo o mundo, em que foi convencionalizado o uso das iniciais em inglês das articulações ou dos segmentos corpóreos envolvidos, sendo: (O) *Orthosis* - órteses; (A) *Ankle* - tornozelo; (F) *Foot* - pé; (H) *Hip* - quadril; e (K) *Kenne* - joelho.

A figura 4 demonstra a identificação dos segmentos, conforme a legenda, e cada sigla entre as setas denomina uma região como descrito anteriormente, como, por exemplo, (AFO) - *Ankle Foot Orthosis*, que se refere às órteses de pé tornozelo:

Figura 4 - Siglas de segmentos membro inferior



Fonte: Adaptado de Carvalho (2013).

A definição da órtese mais apropriada, o período previsto para utilização, bem como a escolha dos materiais e componentes, para o paciente num ponto específico do tratamento individual, são de responsabilidade dos profissionais envolvidos (equipe multiprofissional) e deve considerar os aspectos cognitivos e motivacionais do paciente, com intuito de concordar com a avaliação realizada por integrantes da equipe clínica, da probabilidade do paciente e dos familiares aderirem ao tratamento e seguirem as recomendações de uso, higiene e segurança (EDELSTEIN; BRUCKNER, 2006; CARVALHO, 2013; BRASIL, 2019). Independentemente do tipo de órtese que tenha sido prescrito, é importante orientar o paciente e familiares (ou cuidadores) sobre o risco de surgimento de prurido, dor, marcas e/ou vermelhidão em alguma região, indicando pressão indesejada do aparelho contra a pele (BRASIL, 2019).

2.2.1.1 Órteses tipo AFO

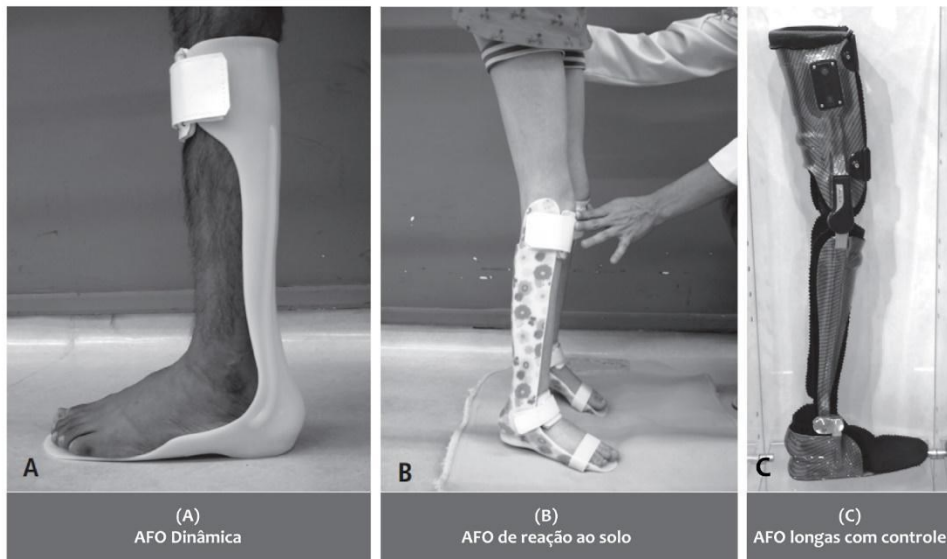
As órteses do tipo AFO auxiliam no tratamento de pacientes com lesões neurológicas ou traumáticas, sendo úteis na correção da redução ou perda da função fisiológica de movimentação ativa e estabilização do tornozelo pelos músculos da perna, e na prevenção do

surgimento de deformidades, que trazem dificuldades no desempenho da marcha (LEHMANN, 1999; EDELSTEIN; BRUCKNER, 2006; LUSARDI; JORGE; NIELSEN, 2012; BRASIL, 2017).

A AFO é utilizada para manutenção das articulações tibiotársica e subtalar em posição funcional, indicadas para pacientes com sequelas neuromotoras de origem central ou periférica, e que podem ser divididas em três segmentos, os quais estão relacionados com as regiões anatômicas, proximal (do joelho), média (do tornozelo) e distal (do antepé). Existem tipos de AFO, sendo classificadas quanto à sua função em submaleolares, supramaleolares, dinâmicas, semirrígidas, articuladas, rígidas, redutoras de tônus, de reação ao solo e AFO com estimulação elétrica funcional (CARVALHO, 2013; BARBIN, 2017).

Carvalho (2013) apresenta três possibilidades quanto à aplicação de material para materialização desse tipo de órtese, sendo: materiais termoplásticos, metálico ou Fibra de Carbono (FC). Dentre os modelos passíveis de serem materializados em FC, destacam-se três modelos apresentados na figura 5.

Figura 5 - Tipos de órteses AFOs



Fonte: Adaptado de Carvalho (2013).

AFO Dinâmica: indicadas para pacientes portadores de lesões periféricas com paralisias flácidas, que apresentam alterações na marcha causadas por fraqueza da musculatura dorsiflexora e inversora, como em lesões do nervo fibular, distrofia muscular e doença de *Charcot-Marie-Tooth*;

AFO de reação ao solo: Indicada para pacientes com fraqueza dos músculos sóleo e gastrocnêmio, como diplégicos portadores de paralisia cerebral, que apresentam marcha com flexão de joelho, tornozelos em flexão dorsal, calcâneos valgos e pés planos associados;

Órteses longas com controle na fase de apoio: indicado para pacientes de peso corpóreo de até 100 kg, com paralisia ou paresia da musculatura extensora do joelho, força muscular graus 3-5 para extensores e flexores de quadril, e de até 15° de desvios em valgo ou varo.

Klasson (1995) relata que, provavelmente, os primeiros experimentos com uso da FC em órteses (e próteses) foram realizados pelo Nigel Ring, na *Chailey Craft School* e Heritage, Sussex, Inglaterra, por volta de 1966. Já em relação às primeiras aplicações, Nelham (1981) informa que ocorreram, em 1970, na Unidade de Engenharia de Reabilitação, da *Clailey Heritage Foundation*, em crianças com deficiência de membros danificados por talidomida e de casos de espinábifida, que são paraplégicos.

Sabe-se que as FCs têm sido utilizadas tanto para reforçar órteses termoplásticas que necessitam de maior resistência em regiões de grande estresse, por exemplo na região do tornozelo de uma AFO rígida ou como estrutura de uma órtese, quanto na confecção de uma órtese de joelho, tornozelo e pé (KAFO), laminada em resina acrílica e FC (CARVALHO, 2013). Nelham (1981) aponta que há um potencial de aumento da qualidade estrutural da órtese, quando se utiliza a FC, pois é um material leve, resistente e durável.

2.3 FIBRA DE CARBONO

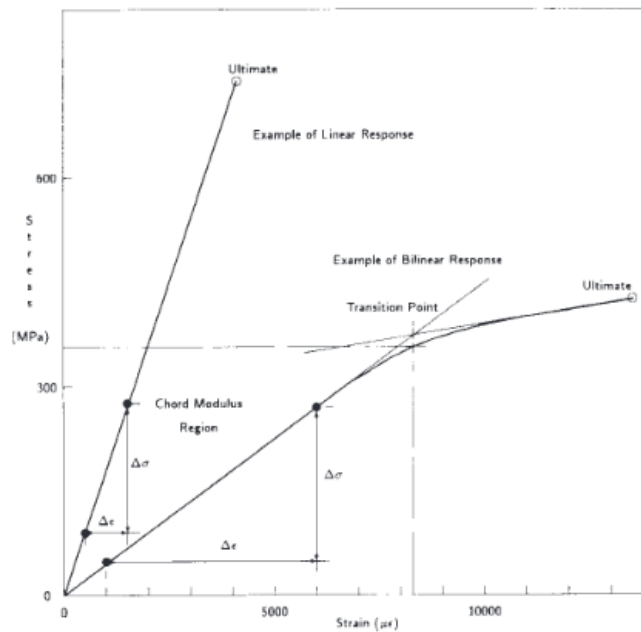
Segundo Calister (2018), os materiais sólidos são classificados em três grupos principais: metais, cerâmicas e polímeros; tomando como referência a composição química e a sua estrutura atômica. No entanto, o autor descreve que quando houver uma combinação de duas ou mais dessas três, incorporando suas melhores características, com objetivo de atingir uma combinação de propriedades que não é exibida por qualquer material isolado, essas devem ser denominadas compósitos.

De acordo com Manocha (2001), as fibras de carbono têm alguns microns de espessura, são leves, fibras sintéticas pretas, muito fortes e rígidas, com longas cadeias moleculares aromáticas, compreendendo principalmente carbono. Essas fibras são capazes de manter essa estrutura sob condições extremas de temperatura e pressão e, portanto, podem ser

usadas com todos os tipos de matrizes, isto é, polímeros, cerâmicas e metais, empregando diferentes técnicas de processamento de compósitos.

A figura 6 apresenta a tensão e a deformação extraída da normativa ASTM 3039, demonstrando o comportamento entre a tensão em mega pascal e deformação, caracterizando um ensaio de tração para compósitos em fibra de carbono.

Figura 6 - Tensão e deformação.



Fonte: ASTM 3039D /3039M (2002)

O método de teste, representado pela figura 6, determina as propriedades de tração no plano de materiais compósitos de matriz de polímero reforçados por FC. As formas de material compósito são limitadas a fibra contínua ou compostos reforçados com fibra descontínua, em que o laminado é balanceado e simétrico em relação à direção do teste (ASTM, 2002). Para se obter alto rendimento com a FC (alta resistência e rigidez com baixa densidade), têm-se investigado a combinação de vários materiais poliméricos orgânicos, como poliácridonitrila (PAN), rayon, polímeros heterocíclicos aromáticos, polímeros lineares ou obtidas de piche de petróleo (MANOCHA, 2001; DONNET *et al.*, 2003. ASHBY; JOHNSON, 2011).

No processo da criação deste compósito, uma das cautelas a se tomar como medida é a cura do material, em que o monitoramento eficaz da cura em linha é crucial para a otimização da qualidade e da fabricação de compósitos Reforçados com Fibra de Carbono - *Carbon Fiber Reinforcement* (CFR). Esse processo se torna importante, pois a capacidade de garantir alta qualidade e da produção de compósitos CFR, por meio de métodos aprimorados de

monitoramento, torna o material mais acessível a vários setores (PROZOROVSKA; BOND; ADAMS, 2016).

Para realizar reparos estruturais, uma análise é o mapeamento das fraturas e a avaliação das causas que geram as trincas, seguido da observação de suas descobertas e ocorrência dessas anomalias, pois isso é fundamental para realizar uma reestruturação de suas conformações do material de suporte em compósito de carbono. Mesmo sendo um processo relativamente demorado, a facilidade de realizar o reforço estrutural com uma equipe treinada é diretamente proporcional ao tempo de trabalho consumido para realizar o reparo estrutural, fazendo assim com que reduza o tempo de trabalho e gere menos custos de produção (SÁNCHEZ; CODÁ; FERREIRA, 2016).

As fibras de carbono desempenham um papel crucial em uma variedade de aplicações especializadas, como aeroespacial, automóvel, indústria química, engenharia geral, mísseis, nuclear energia, reforço em materiais compostos e têxteis, devido à sua inerente propriedade, incluindo alta resistência e rigidez, estabilidade dimensional, baixo coeficiente de expansão térmica, compatibilidade biológica e resistência às fadigas. Mas, devido ao comportamento anisotrópico e complexidade das interações micro e macro mecânicos entre a matriz polimérica (resina epóxi) e a FC, torna-se necessário um profundo entendimento dos mecanismos de falha e das ferramentas matemáticas exigidas para análise de tais tensões (REZENDE; BOTELHO, 2000; PARK, 2018).

Portanto, segundo Giracca, Amorin e MERINO (2019), o Processo de realização dos testes de simulação mecânica são viáveis e seguros quando associados ao comportamento do material FC e suas características mecânicas particulares.

Desta forma, o próximo tópico apresenta tecnologias que auxiliam na verificação deste Processo.

2.4 TECNOLOGIAS CAD/CAE

No processo de desenvolvimento de produtos, o uso adequado dos recursos tecnológicos é fundamental para se obter resultados satisfatórios; dentre eles, destaca-se o uso dos softwares do sistema CAD (*Computer-Aided Design*) e CAE (*Computer Aided Engineering*). Os sistemas CAD ajudam a projetar um novo produto de forma eficiente, enquanto os sistemas CAE são usados para prever e avaliar as funcionalidades futuras

(durabilidade, resistência estrutural, etc.) de um produto (DENG et al., 2002; KHAN; REZWANA, 2021).

Considera-se o sistema CAD como a aplicação de desenhos tridimensionais aplicados na concepção dos modelos e detalhamentos virtuais, seja bidimensional ou tridimensional, com a utilização de softwares matemático-gráficos, desde a etapa de conceituação até a documentação, servindo de suporte para todos os níveis do projeto do produto (SOUZA et al., 2003; SOUZA; COELHO, 2003; PIPES, 2010; VOLPATO, 2017). As ferramentas de modelagem de superfície de forma livre permitem a criação de objetos 3D com base em operações, realizadas por engenheiros e/ou designers (ZBOINSKA, 2015). Robertson e Radcliffe (2009) relatam que os fatores positivos sobre o uso do CAD 3D referem-se à agilidade na visualização, manipulação, adaptação e geração de novas ideias, otimizando todo o processo de criação.

Os softwares do sistema CAE tem por objetivo simular o desempenho de um produto, a fim de melhorar o projeto ou facilitar a solução de problemas de engenharia para vários setores. A aplicação de software pode incluir simulação, validação e otimização de produtos, processos e fabricação (BAHMAN; IANNUZZO, 2018). De acordo com Kwon e Kwon (2019), essa tecnologia ajuda as equipes de projeto a gerar, verificar, validar e otimizar as soluções. Entre as diferentes técnicas de simulação CAE, o Método dos Elementos Finitos (MEF) tem se tornado popular devido à sua versatilidade e precisão na modelagem de estruturas geométricas irregulares, propriedades de materiais complexos, simulações estáticas e dinâmicas, entre outros (CHEUNG et al., 2009; LEE; HAN, 2009; ZBOINSKA, 2015). A análise dos Elementos Finitos se apresenta como um procedimento numérico que tem como objetivo solucionar problemas físicos na análise digital do projeto, por meio de equações diferenciais parciais que dificilmente podem ser solucionadas de maneira analítica (AZEVEDO, 2003; BEATLE, 2014).

De acordo com Alves Filho (2007), os MEFs podem ser aplicados em caráter geral, independente da forma da estrutura (estrutura complexa) e da condição de carregamento, dentro da precisão aceitável do problema de engenharia, sendo esse, um caminho alternativo aos procedimentos analíticos clássicos que tinham limitações em algumas aplicações práticas. No entanto, Azevedo (2003, p. 6) alerta ao fato de, ao contrário de outros métodos para avaliação de estruturas, o MEF só tem utilidade prática se dispuser de um computador, este, sendo um requisito fundamental, devido à grande quantidade de cálculos que são necessários a se realizar. Segundo Giracca, Costa e Merino (2021), a correta injeção dos dados na caracterização

mecânica em ensaios de tração são fundamentais para o melhor resultado de extração de dados em uma simulação mecânica computadorizada do modelo a ser testado.

De forma geral, Lotti et al. (2006, P. 36) definiram o “MEF como um método matemático, no qual um meio contínuo é discretizado (subdividido) em elementos que mantêm as propriedades de quem os originou”; além disso, “esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados desejados”. Enfim, são todos aspectos importantes que precisam ser observados. Nesse sentido, existem diversos testes que podem ser realizados, dentre eles: Tensão de Von Mises, Deslocamento Resultante, Deformação Equivalente e Fator de Segurança, podendo ser realizados em diferentes softwares, como o *SolidWorks*.

2.5 SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com base nos temas e nas informações que sustentaram a Fundamentação Teórica, foi desenvolvido um diagrama síntese (figura 6), estabelecendo a conexão dos temas para a continuidade desta pesquisa.

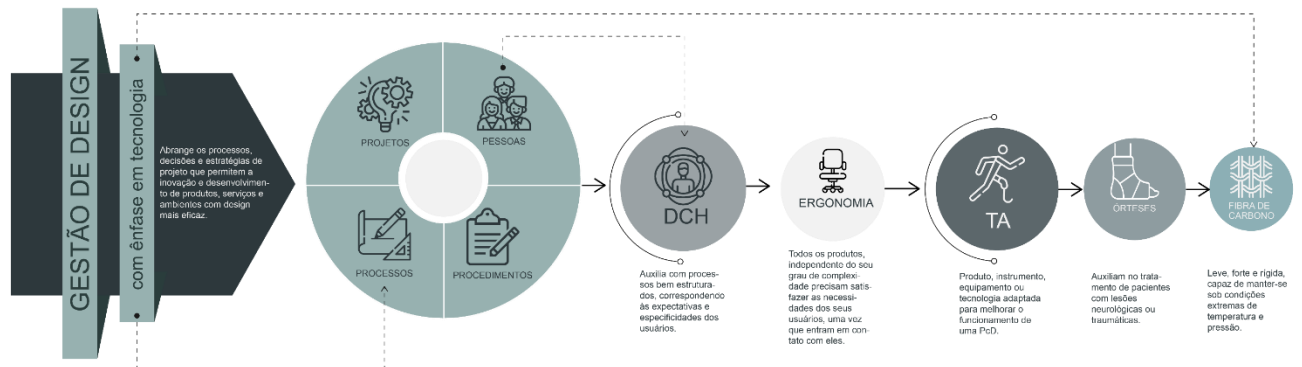
A Gestão de Design engloba cada vez mais processos de trabalhos colaborativos e interdisciplinares; desta forma, é fundamental conhecer e compreender a dinâmica que há entre as Pessoas, os Projetos, Processos e Procedimentos, bem como ficar atento à forma como os recursos podem ser empregados (BEST, 2012); assim, o bom gerenciamento destes contribui para a eficiência e a eficácia de produtos e/ou serviços.

Nesse sentido, associar a Gestão de Design à abordagem de Design Centrado no Ser Humano contribui para a proposição de soluções que atendam às necessidades e especificidades dos seus usuários (PAULO, 2021), evitando, assim, por exemplo, o abandono das Tecnologias Assistivas.

Utilizar-se dos princípios ergonômicos relacionados à biomecânica e antropometria do usuário, no processo de concepção de produtos desde a etapa inicial, permite uma maior adequação usuário-produto, bem como gera uma maior satisfação de uso ao usuário. Nesse contexto, o uso de tecnologias tem impactado as organizações e mudado a maneira como interagem, viabilizam e comportam novas relações, pessoas, processos, práticas e formas de engajamento (BEST, 2012).

Destaca-se, ainda, que a utilização de novos materiais, com maior leveza e durabilidade, agrega valor aos dispositivos assistivos, uma vez que possibilitam o uso do produto pelo usuário por muito mais tempo e, como exemplo de material, tem-se a Fibra de Carbono.

Figura 7 - Diagrama síntese da fundamentação teórica.



Fonte: O autor.



Procedimentos Metodológicos

“

Para as pessoas, a tecnologia torna as coisas mais fáceis. Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis.

”

Mary Pat Radabaugh

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa. Com sua natureza aplicada, abordagem quantitativa e objetivos exploratório e explicativo, essa pesquisa teve seus procedimentos técnicos divididos em duas fases, sendo estas: Fundamentação Teórica (FASE 1) e Pesquisa Aplicada (FASE 2), como pode ser observado na figura 8. Ressalta-se que para a organização e a estruturação do desenvolvimento desta, considerando o foco dado ao ser humano, foi utilizado o Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos (GODP), desenvolvido por Merino (2016), especificamente na Pesquisa Aplicada (FASE 2). Assim, esta fase foi dividida de acordo com os três momentos propostos pelo GODP e suas respectivas etapas, a saber: MOMENTO Inspiração (etapas: -1, 0, 1), MOMENTO Ideação (etapas: 2 e 3) e MOMENTO Implementação (etapas: 4, 5 e 6).

Figura 8 - Fases da pesquisa etapa 1 e 2



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Merino (2016).

Na FASE 1, de Fundamentação Teórica, foram realizadas as pesquisas bibliográficas e as revisões da literatura que fundamentaram a pesquisa e contribuíram com o levantamento de informações associados às áreas de interesse e objetivo da dissertação. As pesquisas envolveram:

a) Artigos científicos: em bases de dados, como Portal de periódicos CAPES, *Scopus*, *Science Direct*, *Web Of Science*, bem como anais de eventos, a exemplo do Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva, Congresso Brasileiro de Pesquisa & Design, dentre outros;

b) Teses e dissertações: no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e nas Teses e Dissertações Internacionais (ProQuest);

c) Websites: de vendas de materiais, cursos e softwares, como o *EASYCOMPOSITES*, *REDELEASE*, *ADVANCE VACUM* e *SolidWorks*;

d) Livros: disponíveis no acervo do NGD-LDU, dentre eles: Anatomia funcional - KAPANDJI (2012); O que é biomecânica - KAPANDJI (2013); Órteses - CARVALHO (2013), dentre outros.

Na FASE 2, foi desenvolvida a pesquisa aplicada por meio do estudo de caso, que teve como finalidade o desenvolvimento da Órtese em Fibra de Carbono (OFC), considerando as características da anatomia da perna da usuária, utilizando como referência o Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos (GODP).

3.1 GUIA DE ORIENTAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

Segundo Merino (2016), o GODP tem como finalidade organizar e oferecer uma sequência de ações, que permitam com que o projeto seja idealizado de forma consciente, levando em consideração o maior número de aspectos, e respondendo de forma positiva e sólida aos objetivos fixados para o projeto (Figura 9).

Figura 9 - Estrutura do GODP

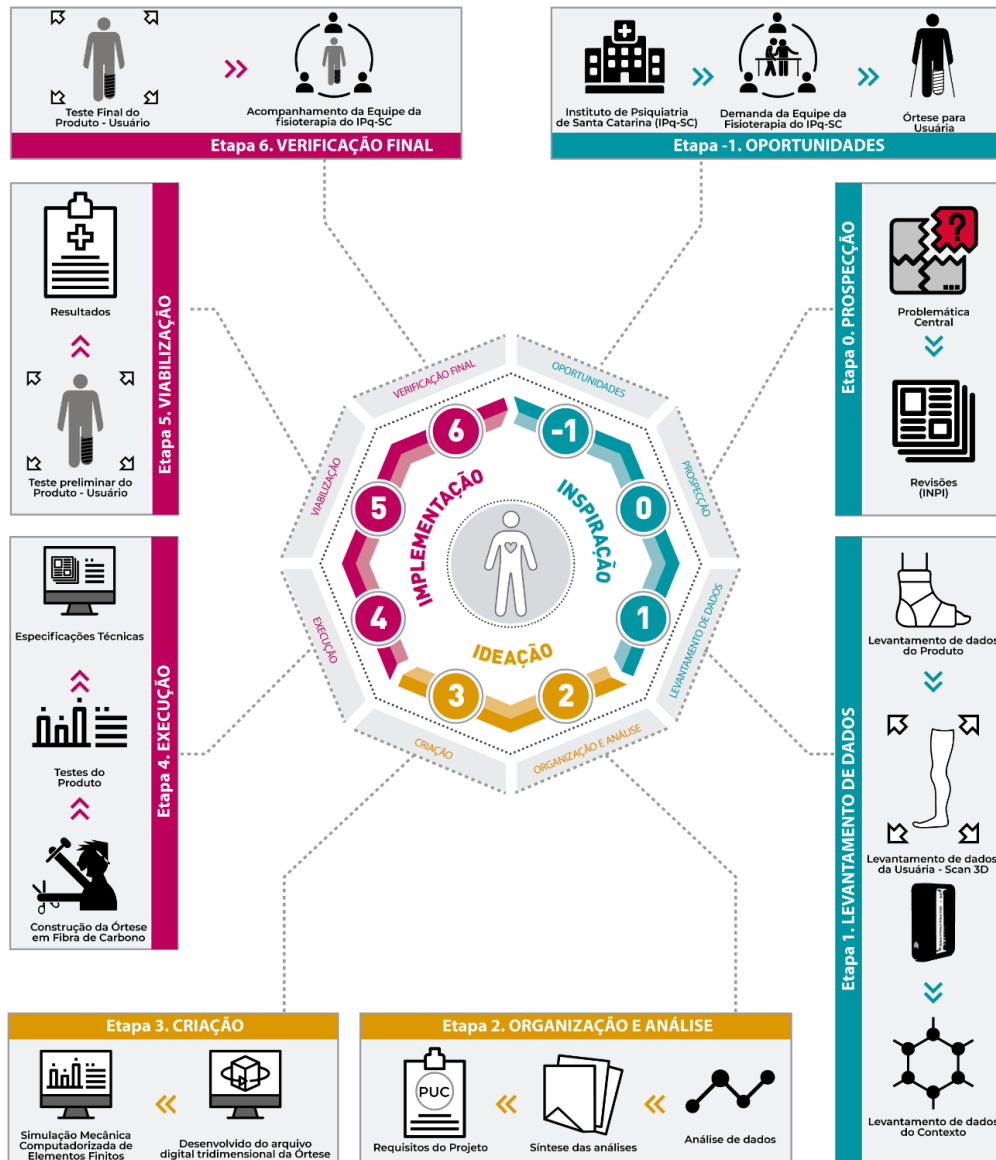


Fonte: Merino (2016).

O GODP foi formulado a partir de literaturas de Design, Engenharia e de outras áreas correlatas, por meio da contribuição de vários autores, fomentado por uma compilação de diversas metodologias, que foram reestruturadas e adaptadas, a fim de que se pudesse dar forma a um guia de orientação que contemple os aspectos intervenientes no desenvolvimento de projetos.

A figura 10 apresenta uma síntese visual do fluxo da FASE 2, a partir do GODP.

Figura 10 - Síntese Visual do fluxo da FASE 2



Fonte: O autor

MOMENTO INSPIRAÇÃO

(Etapa -1) Oportunidade: Dentro desta etapa foi determinada a oportunidade apresentada pela equipe de fisioterapeutas do IPq-SC, referente a necessidade de uma órtese para membros inferiores de uma paciente, com a finalidade de aumentar sua mobilidade, estabilizando o conjunto pé tornozelo, minimizando a anormalidade de marcha biomecânica natural, somado a leveza, durabilidade e conforto.

(Etapa 0) Prospecção: Foram verificadas as capacidades humanas e técnicas de viabilidade do projeto, bem como levantamentos preliminares, dentre os quais uma busca de patentes registradas no INPI, que permitiu confirmar a problemática central.

(Etapa 1) Levantamento de dados: Com base nos blocos de referência (Produto, Usuário e Contexto – PUC), foi realizado um levantamento de dados detalhado.

MOMENTO IDEAÇÃO

(Etapa 2) Organização e análise: Foram selecionadas e sintetizadas as informações mais relevantes e alinhadas com o escopo do projeto, com base na aplicação de técnicas e ferramentas, resultando na definição dos requisitos.

(Etapa 3) Criação: Nesta etapa foi desenvolvido o arquivo tridimensional digital da órtese e na sequência a simulação mecânica computadorizada.

MOMENTO IMPLEMENTAÇÃO

(Etapa 4) Execução: Na etapa de execução, inicialmente foi definida a quantidade de material e insumos a serem utilizadas. Segundo dados extraídos da CAE (2 metros quadrados do tecido FC), com distribuição de 3K em orientação 90° de trama bidirecional, um kit de infusão a vácuo de área 2 metros quadrados aproximadamente, para realizar até 2 infusões de sistema a vácuo, se necessário repetir o processo; ferramentas de finalização e acabamento para complementar o projeto. Incluem-se aqui os acabamentos internos e sistemas de fixação e regulagem. Em síntese, nesta etapa foi realizada a construção da OFC, testes preliminares e as especificações técnicas.

(Etapa 5) Viabilização: Na etapa de viabilização, após o teste preliminar (Produto-Usuário) acompanhado e orientado pela equipe de fisioterapeutas, foram feitos os ajustes finais na OFC, para aferir a evolução dos resultados.

(Etapa 6) Verificação Final: Na etapa de verificação final, foram realizados o acompanhamento e a observação do uso da órtese no dia a dia da usuária (teste final Produto-Usuário), sob supervisão da equipe de fisioterapeutas e contatos regulares não presenciais, tendo em vista o distanciamento social exigido pelo COVID 19.

3.2 MATERIAIS, SOFTWARE E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento do projeto foram necessários os seguintes equipamentos, materiais e softwares para o processo de construção da OFC (Quadro 4).

Quadro 4 - Equipamentos, Materiais e Softwares

EQUIPAMENTOS	OBJETIVO
Scanner 3D SENSE	Realizar escaneamento tridimensional.
Base de escaneamento	Estabilizar o scanner SENSE 3D realizando uma coleta mais rápida, limpa e qualitativa.
Iluminação LED dimerizável	Iluminação com bateria recarregável, para auxiliar no escaneamento aumentando o contraste.
Computador Lenovo i7 com placa de vídeo dedicada.	Realizar as etapas de escaneamento, Criação do modelo, Simulação e escrita do trabalho.
Bomba de vácuo	Realizar vácuo no sistema de infusão.
Balança de precisão	Balança para até 2 KG para realizar a deposição de Resina e endurecedor na correta proporção.
Dremel 4000 + extensor	Equipamento para realizar o desbaste e cortes da fibra de carbono.
Rolete metálico	Como compactador das camadas de fibra de carbono quando depositadas umas sobre as outras.
Lixadeira de roto orbital Puma 16000rpm	Realizar acabamento abrasivo controlado por tamanho de grão.
Luvas de látex	Proteger as mãos de contaminação com resina.
Máscara facial	Proteger a inalação de gases e particulados de resíduo na construção.
Jaleco	Proteger a vestimenta e a pele ao contato com o pó residual.
Óculos de proteção EPI	Proteger de particulados provenientes do compósito em etapas de refinamento.
MATERIAIS	OBJETIVO
Fibra de carbono bidirecional	Reforçar com tecido de carbono fibroso o compósito.
Resina Epoxilica	Utilizar como matriz polimérica no compósito.
Plástico de infusão a vácuo	Manter o conjunto de infusão em 1 ATM negativa.
Tecido Peel Ply	Utilizar tecido de baixa adesão entre fibra de carbono e sistema de vácuo.
Tecido respirador	Utilizar tecido para facilitar a transição de resina residual para ser desligada do compósito.
Lixa adesiva	Lixa com adesivo de fixação para auxiliar no atrito da órtese sem o calçado, quando o contato é direto no piso.
Tecido absorvente	Usar tecido para reter a resina residual que não necessita estar presente no conjunto do compósito.
Tacky tape	Adesivo de contato moldável para selar o kit de infusão a vácuo.
Líquido desmoldante PVA	Facilitar o desmolde do molde e órtese.
Palmilha em gel ortopédica	Para o conforto interno utilizar a palmilha de acolchoamento na interface pé e fibra de carbono.

Neoprene	Utilizar o Neoprene de vestimenta para esportes aquáticos, que serve de interface entre sistema de acolchoamento do restante da perna com a órtese.
Velcro	Para fixar a órtese na usuária.
E.V.A.	Utilizar interface em E.V.A. entre o velcro e a usuária como sistema de acolchoamento
Adesivo líquido Superciano	Utilizar adesivo de contato entre Neoprene e órtese, Cintas de velcro e órtese.
Potes descartáveis	Utilizar para realizar a mistura do epóxi.
Pincéis de aplicação	Para aplicar da resina no compósito utilizando a técnica Hand Lay-Up.
Verniz	Verniz com protetor UV para evitar a degradação da resina por exposição UV.
SOFTWARES	OBJETIVO
Scanner 3D SENSE	Realizar escaneamento tridimensional.
<i>Solid Simulation</i>	Utilizar o software de simulação de elementos finitos.
<i>SolidWorks</i>	Utilizar o software de modelagem e criação 3D.

Fonte: O autor.



Pesquisa
Aplicada

“

Devemos parar de acreditar que a deficiência impede uma pessoa de fazer algo.

Autor Desconhecido.

”






PESQUISA APLICADA

A seguir, a Pesquisa Aplicada é apresentada seguindo os momentos e etapas do Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos.

3.3 MOMENTO INSPIRAÇÃO

Etapa Oportunidade (-1): A oportunidade surgiu no Instituto Psiquiátrico de Santa Catarina (IPq-SC), a partir da observação de uma paciente pela equipe de fisioterapeutas. Esta apresentava pisada supinada e necessitava de algum dispositivo para auxiliar no processo de reabilitação. A mesma fazia uso de uma órtese (em termoplástico) que atendia parcialmente às suas necessidades, com problemas de dimensionamento, peso, conforto, durabilidade e resistência. Desse modo, a paciente apresentava sua mobilidade comprometida e necessitava de uma nova órtese, que se adequasse de forma precisa à geometria do seu membro inferior esquerdo, que fosse leve, durável, confortável, e que permitisse a estabilização da articulação do tornozelo esquerdo, com a função de manter o pé em uma posição neutra, e que com o uso contínuo não houvesse desgaste do produto ou lesões para a usuária, sendo definido o desenvolvimento de uma Órtese de Fibra Carbono (OFC). A figura 11 apresenta uma síntese do quadro clínico da usuária.

Figura 11 - Quadro clínico da usuária

Hemiplegia	Paralisia cerebral	Tratamentos
 <p>● Áreas mais afetadas ● Áreas menos afetadas</p>	 <p>A paralisia cerebral, também denominada encefalopatia crônica não progressiva da infância, é consequência de uma lesão estática, ocorrida no período <u>pré</u>, <u>peri</u> ou pós-natal que afeta o sistema nervoso central em fase de maturação estrutural e funcional.</p> <p>A desordem motora na paralisia cerebral pode ser acompanhada por distúrbio sensorial, perceptivos, cognitivos, de comunicação, comportamental, por epilepsia e por problemas musculoesqueléticos.</p>	 <p>O tratamento com medicamentos limita-se, em geral ao uso de anticonvulsivantes, quando necessário e mais raramente medicamentos psiquiátricos para estabilizar o controle dos distúrbios afetivos-emocionais da agitação psicomotora ligada a deficiência mental.</p>
<p>Hemiplegia é definida como uma seqüela neurológica caracterizada por paralisia em um hemicorpo (uma das metades do corpo) devido a uma doença neurovascular com consequências e comprometimentos em vários níveis de acordo com a área atingida, levando a limitações funcionais e incapacidades contralaterais ao hemisfério lesado</p>	<p>Pé equino (pé caído)</p>  <p>O pé equino é uma condição na qual o movimento de flexão é limitado, ou seja, alguém com equino não possui a flexibilidade necessária para trazer a parte superior do pé para a parte da frente da perna.</p>	 <p>A fisioterapia tem como objetivo a inibição da atividade reflexa anormal, normalizar o tônus muscular e facilitar o movimento normal, com isso haverá uma melhora da força, da flexibilidade, da amplitude de movimento (ADM), dos padrões de movimento e, em geral das capacidades motoras básicas para a mobilidade funcional.</p>

Fonte: Acervo NGD/LDU-UFSC com base em informações IPq-SC.

A usuária é muito ativa e realiza diversas atividades, para as quais necessita certo grau de independência, porém apresenta dificuldades ao caminhar, sendo este um dos motivos que

justificam o uso de uma órtese funcional para a reabilitação dos membros inferiores, tornozelo e pé³.

Segundo Nicolás Garcia (2017), que desenvolveu estudos correlatos, é fundamental analisar os movimentos biomecânicos do quadril, joelho, tornozelo e pé para se conhecer a anatomia e o funcionamento das articulações envolvidas na marcha do paciente; as informações do nome dos movimentos e ângulos máximos são apresentadas no Quadro 5:

Quadro 5 - Ângulos máximos dos movimentos das extremidades inferiores

SEGMENTO CORPORAL	MOVIMENTO	ÂNGULO MÁXIMO
Quadril	Abdução	60°
	Adução	31°
	Flexão	145°
	Extensão	30°
	Rotação Interna	60°
	Rotação Externa	30°
Joelho	Abdução	-
	Adução	-
	Flexão	120°
	Extensão	50°
	Rotação Interna	30°
	Rotação Externa	40°
Tornozelo	Abdução	25°
	Adução	25°
	Flexão	30°
	Extensão	50°
	Rotação Interna	5°
	Rotação Externa	5°

Fonte: KAPANDJI, 2012.

Na figura 12, tem-se o resultado de uma coleta com câmera termográfica da usuária e de seu quadro clínico, que permitiu compreender e identificar as condições reais da marcha da

³ As informações de necessidade da usuária foram fornecidas pela equipe de fisioterapeutas do IPq-SC.

usuária, permitindo identificar áreas de contato, atrito, inflamação, dentre outras, que foram consideradas no desenvolvimento da OFC.

Figura 12 - Coleta de dados termográficos da usuária



Fonte: Nicolás García (2017).

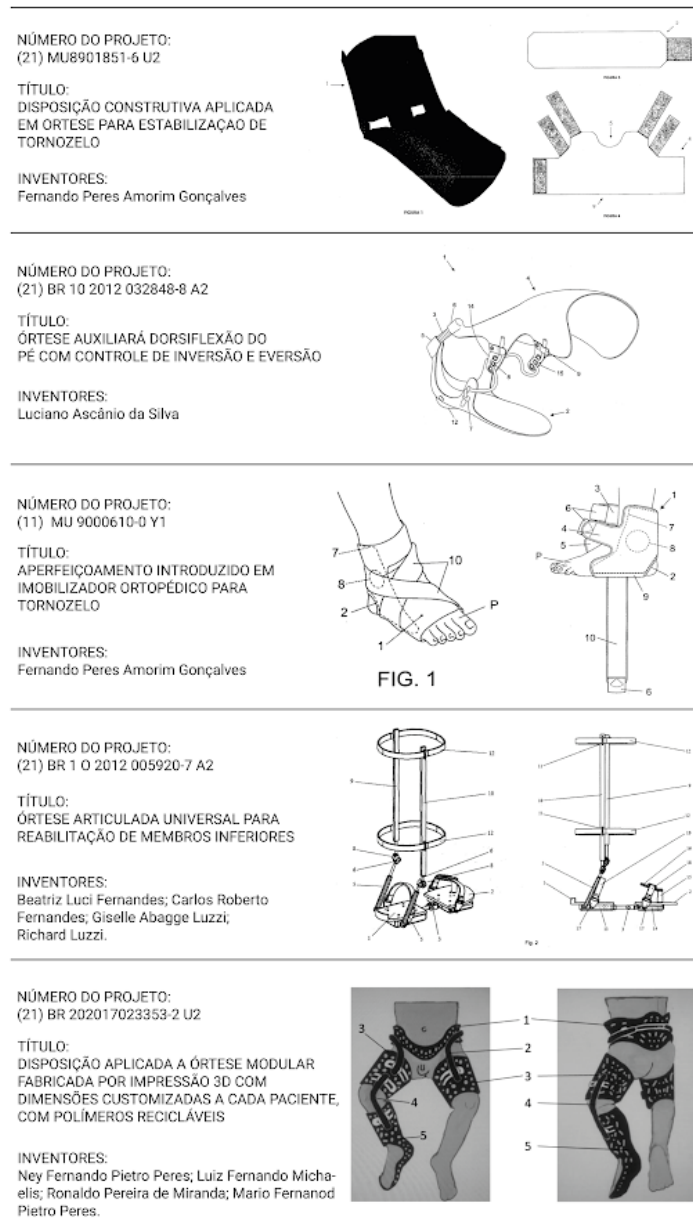
Essas imagens foram capturadas com uma câmera Flir modelo E40, com temperatura de 22°C, a um metro da usuária posicionada sentada, em pé e deitada, a fim de examinar as diferentes áreas da perna, pé e planta do pé. A análise foi realizada após caminhada com a órtese (termoplástica) posicionada para determinar alterações térmicas assimétricas, localizar pontos de atrito, ausência de força e também a compensação da perna de apoio (NICOLÁS GARCÍA, 2017).

Na etapa de **Prospecção (0)**, foram realizados levantamentos e análises preliminares para definir e confirmar a problemática central e uma maior compreensão sobre o assunto.

Foram realizadas buscas na base nacional de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), com o propósito de identificar os projetos similares, utilizando os termos: **órtese** e **aparelho ortopédico**. Com o primeiro termo (órtese) foram levantados 71 projetos; após sua análise, foram selecionados 04 projetos utilizados como referência, sendo: (i) Órtese articulada universal para reabilitação de membros inferiores; (ii) Disposição aplicada a órtese modular fabricada por impressão 3D com dimensões customizadas a cada paciente, com polímero reciclável; (iii) Disposição construtiva aplicada em órtese para estabilização de tornozelo; e (iv) Órtese auxiliar à dorsiflexão do pé com controle de inversão e eversão. Em relação ao segundo termo (aparelho ortopédico), foram identificados 215 projetos; no entanto, após sua análise, foi selecionado 01 projeto, sob o título: “Aperfeiçoamento introduzido em

imobilizador ortopédico para tornozelo”. Na Figura 13, são apresentados os resultados deste levantamento, dividindo as informações em: título do projeto, nome dos inventores, número do documento e imagens.

Figura 13 - Busca de registros e patentes de órteses existentes



Fonte: Elaborado pelo autor com base no INPI.

Na etapa de **Levantamento de dados (1)**, com base nos blocos de referência (PUC), foi realizado o levantamento de dados sobre o quadro clínico da usuária e o escaneamento do membro inferior esquerdo.

3.3.1 Processo Escaneamento

Foi realizado o escaneamento com o dispositivo SENSE 3D (figura 14) da empresa *3DSYSTEMS*; o scanner foi conectado por uma interface USB 3.0 em um computador do tipo notebook, para o qual os dados são transmitidos em tempo real ao software.

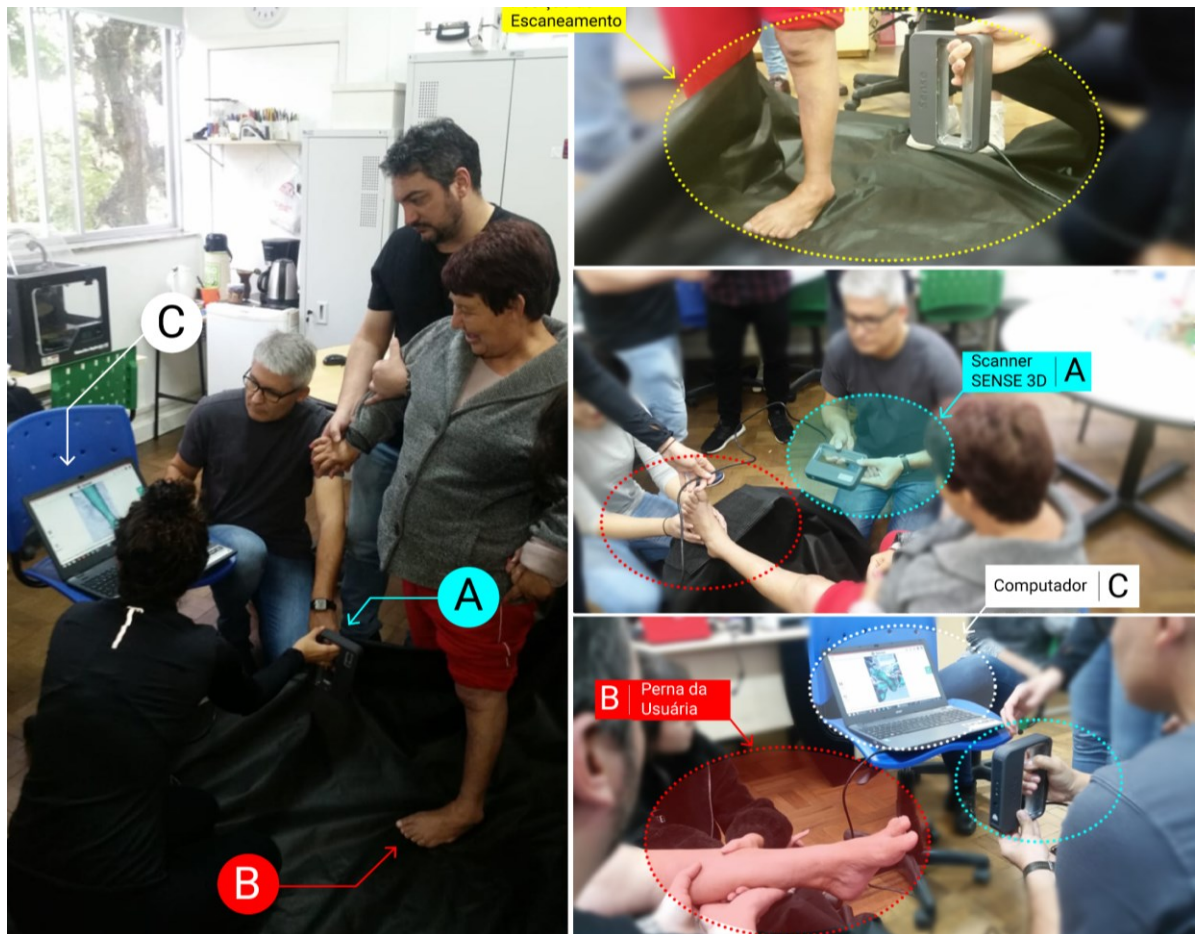
Figura 14 - Scanner SENSE



Fonte: 3BE (2020).

A figura 15 demonstra o processo de escaneamento da usuária, especificamente o escaneamento do membro inferior (perna esquerda). A indicação, no detalhe A identifica o scanner 3D; a letra B, a área de interesse que está sendo escaneada e, a letra C, o programa SENSE 3D utilizado no processo de escaneamento em tempo real.

Figura 15 - Processo de escaneamento utilizando o SENSE 3D



Fonte: O autor.

Na sequência foi realizado uma nova captura do membro inferior da usuária, utilizando o mesmo equipamento (SENSE 3D), porém utilizando a base de escaneamento desenvolvida com a finalidade de diminuir a possibilidade de erros gerados na construção de malha pelo software, em razão de movimentos não lineares durante a captura de dados.

A figura 16 mostra o Processo de escaneamento utilizando a base com o *scanner* 3D. No detalhe a letra A desta figura, permite visualizar o scanner 3D afixado ao braço de translação da base. Na letra B, a área de interesse escaneada e, na letra C, o processamento do scanner no computador em tempo real.

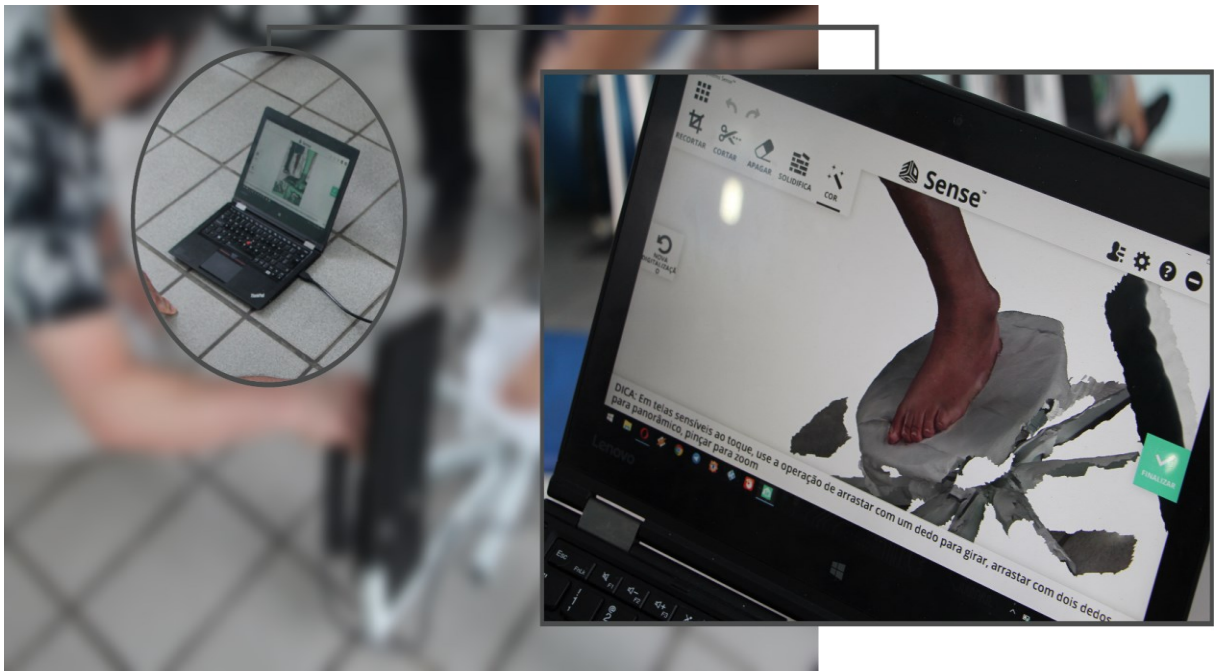
Figura 16 - Escaneamento da usuária Scanner 3D + base de escaneamento.



Fonte: O autor.

A figura 16 mostra o uso com sucesso do scanner na usuária, com a base de escaneamento diminuindo em aproximadamente 1/3 o tempo de escaneamento, trazendo um resultado de aproximadamente 200% com mais definição e redução de imperfeições em relação ao seu uso sem a base de escaneamento. Importante registrar que a usuária apresentava dificuldades de se manter estabilizada em pé por conta própria, mesmo com a ajuda da equipe que realizou o escaneamento auxiliando em sua estabilização, apresentou certo grau de instabilidade, porém insuficiente para comprometer a captura. A figura 17 permite visualizar a finalização do processo de escaneamento.

Figura 17 - Finalização do escaneamento com utilizando o programa Sense 3D



Fonte: O autor.

A base de escaneamento desenvolvida se mostrou eficiente. Inclusive, com o resultado do escaneamento, foi possível gerar um arquivo STL⁴ preenchido e, no próprio programa, foi realizada a exclusão de partes que não faziam relação com o membro da usuária, preservando apenas a área de interesse.

Em síntese, durante o desenvolvimento desta etapa, foi possível definir os blocos de referência Produto, Usuário e Contexto (Figura 18).

⁴ O conjunto de letras STL *STereoLithography* é uma extensão binária para interpretação em CAE e vastamente utilizado para impressão em 3D.

Figura 18 - PUC (Produto, Usuário e Contexto)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados/informações fornecidas pelo IPq-SC

O **Produto** a ser desenvolvido é uma órtese do tipo AFO, materializada em Fibra de Carbono, tendo como objetivo a manutenção do pé em posição neutra, evitando o pé caído, com o tornozelo fixo em 90°, sendo formado por uma estrutura única, que vai da planta do pé à panturrilha, com tiras de sustentação que auxiliam na fixação e ajuste da órtese no membro e uso de material acolchoado nas áreas de contato direto.

A **Usuária** da órtese é do sexo feminino, que possui 59 anos e teve entrada do IPq-SC em 1972 (49 anos de residência). Possui diagnóstico de paralisia cerebral, transtornos mentais, hemiplegia esquerda, pé equino e cisto gorduroso, todos estes problemas agravados no lado esquerdo (especialmente no pé esquerdo). Segundo a equipe de fisioterapeutas, a atual órtese (termoplástico) vem apresentando problemas associados ao conforto, durabilidade, segurança, dentre outras, comprometendo as exigências relacionadas ao uso diário, comprometendo sua locomoção e conseqüentemente a sua autonomia. A figura 19 apresenta uma síntese das informações apresentadas até o momento.

Figura 19 - Síntese das informações iniciais da órtese



Fonte: O autor.

Em relação aos aspectos mentais, é considerada uma síndrome progressiva caracterizada pela deterioração das funções mentais, interferindo diretamente nas atividades diárias do indivíduo (aspectos psicológicos, sociais, físicos e neuropsicológicos), afetando sua qualidade de vida (ZANINI, 2010). A paralisia cerebral mescla um grupo de afecções permanentes do sistema nervoso central sem caráter progressivo e surge já no período neonatal (PRADO; SILVEIRA LEITE, 2004).

O **Contexto** de uso do produto está relacionado a todos os locais frequentados pela usuária dentro do IPq-SC. Segundo relatos da equipe de fisioterapeutas que acompanham a usuária, ela possui acesso a toda a região dentro e fora do IPq-SC, caminhando aproximadamente 5 km diários, subindo e descendo escadas, demandando o uso da órtese por pelo menos 10 horas por dia de forma contínua.

3.4 MOMENTO IDEAÇÃO

Na etapa de **Organização e Análise de dados (2)**, foi realizada a análise dos dados e sua síntese, como base para a definição dos requisitos.

Seguindo as orientações da etapa que recomendam usar o Bloco de Referência (PUC) para organizar as informações, foi possível definir os requisitos do projeto, apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Requisitos do projeto com base nos Bloco de Referência (PUC)

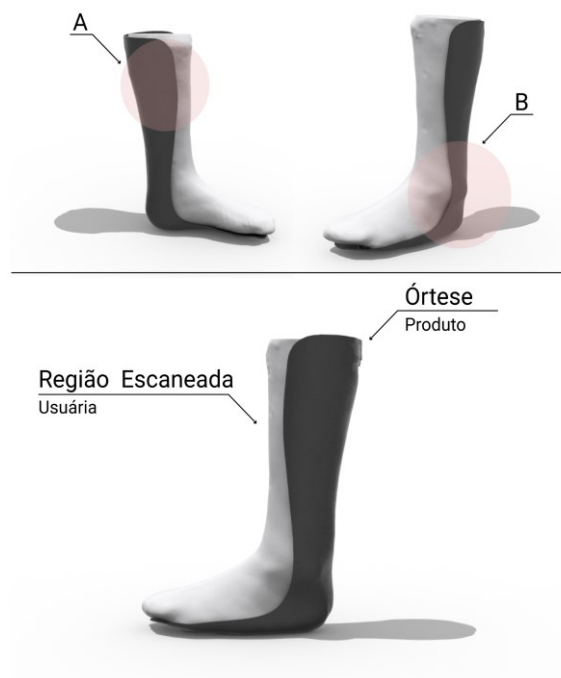
BLOCO	REQUISITO
PRODUTO	<ul style="list-style-type: none"> ● Ser fabricado em Fibra de Carbono 3k; ● Ser durável ao tempo de uso; ● Ter peso do produto montado entre 360g a 400g; ● Ser resistente à fadiga de cargas cíclicas constantes; ● Ser resistente à corrosão; ● Ser resistente à combustão; ● Ser confortável e adaptável à geometria da usuária; ● Ser confortável, utilizando material acolchoado (similar ao Neoprene acolchoado) na região de contato com a usuária; ● Utilizar tiras em velcro para fixação; ● Ser de fácil higienização; ● Reduzir a carga de torção; ● Manter o pé em posição neutra e estabilizar a lateral esquerda do tornozelo; ● Limitar a rotação; ● Evitar pronação; ● Evitar dorsiflexão; ● Estabilizar prevenindo quedas; ● Formato anatômico da palmilha; ● Material deve resistir a cargas excessivas se assim for exigido; ● Tiras de sustentação devem ser ajustáveis ● Revestimento interno antialérgico e biocompatível; ● Sistema de conforto interno na interface órtese e conjunto pé tornozelo.
USUÁRIO	<ul style="list-style-type: none"> ● Utilizar material biocompatível para evitar a irritação na região da superfície de contato; ● Utilizar material confortável para evitar úlceras; ● Manter a postura corporal adequada durante as atividades; ● Manter estabilizada na articulação pé-tornozelo; ● Possuir acabamento superficial liso; ● Estabilizar a marcha na articulação do tornozelo. ● Melhor postura corporal auxiliando no ponto de equilíbrio em seu centro de massa;

	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensões adequadas e mais precisas antropométricas; • Conforto na interface de contato; • Facilidade em acoplar e extrair o conjunto órtese.
CONTEXTO	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir a retirada de fácil acesso pelo responsável; • Eliminar insumos desnecessários; • Ser durável as alterações de exposição do clima; • Ser resistente a produtos químicos de base ácida; • Uso contínuo em sua rotina diária. • Facilidade de utilizar calçados de mesmo tamanho em ambos os pés pelas dimensões do conjunto.

Fonte: Do autor.

Na etapa de **Criação (3)**, foi desenvolvido o arquivo digital tridimensional (CAD) da órtese, com a finalidade de visualizar e realizar a simulação CAE. Para esta finalidade, foi utilizado o software *SolidWorks*⁵, tendo como base o resultado do escaneamento 3D, que representa as características geométricas específicas da anatomia da usuária, permitindo um produto mais preciso, confortável, ergonômico e funcional. A figura 20 apresenta o resultado final do modelo e da compatibilidade (Destaque A e B) da geometria do Produto - Usuária.

Figura 20 - Representação do projeto órtese acoplado a geometria real a usuária



Fonte: O autor.

⁵ Podendo ser criado em outros softwares como: *Rhinoceros*, *Inventor*, *OnShape*, entre outros.

Tendo o modelo em 3D da órtese, passou-se para a simulação CAE, em que foram definidos os processos e parâmetros para a simulação mecânica, utilizando o *software SolidWorks Simulation*.

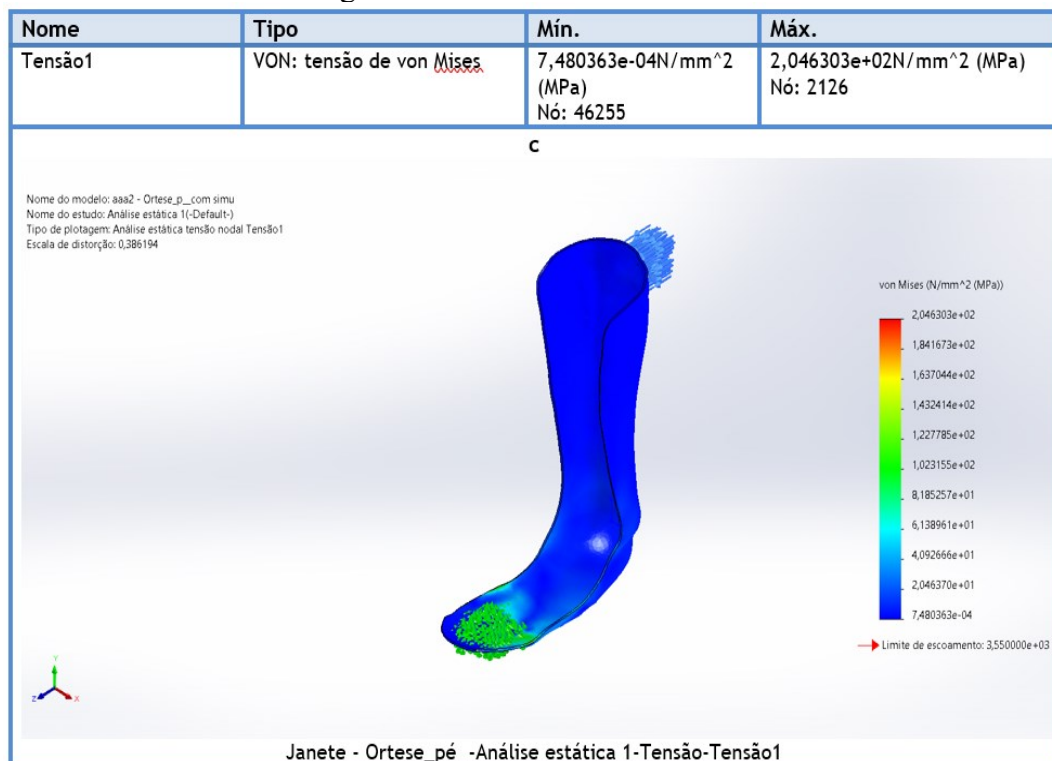
3.4.1 Simulação Computadorizada de Elementos Finitos

Com os dados extraídos do relatório de Simulação Mecânica Computadorizada de Elementos Finitos (conforme apresentado no Anexo A), quatro fatores foram analisados por meio dos testes executados, sendo eles: Tensão de Von Mises, Deslocamento Resultante, Deformação Equivalente e Fator de Segurança.

Um dos requisitos definidos para o projeto foi a resistência em termo de cargas sob pressão, com um fator de segurança aproximado a 190% do valor ruptura, na deformação em movimento e deslocamento simulando um ciclo de marcha. Isto permitiu gerar a deformação em seu ponto correto, mantendo o restante do dispositivo integro.

O primeiro resultado da simulação mecânica computadorizada é apresentado com base no primeiro fator de teste (tensão de Von Mises) apresentado na figura 21.

Figura 21 - Tensões de Von Mises

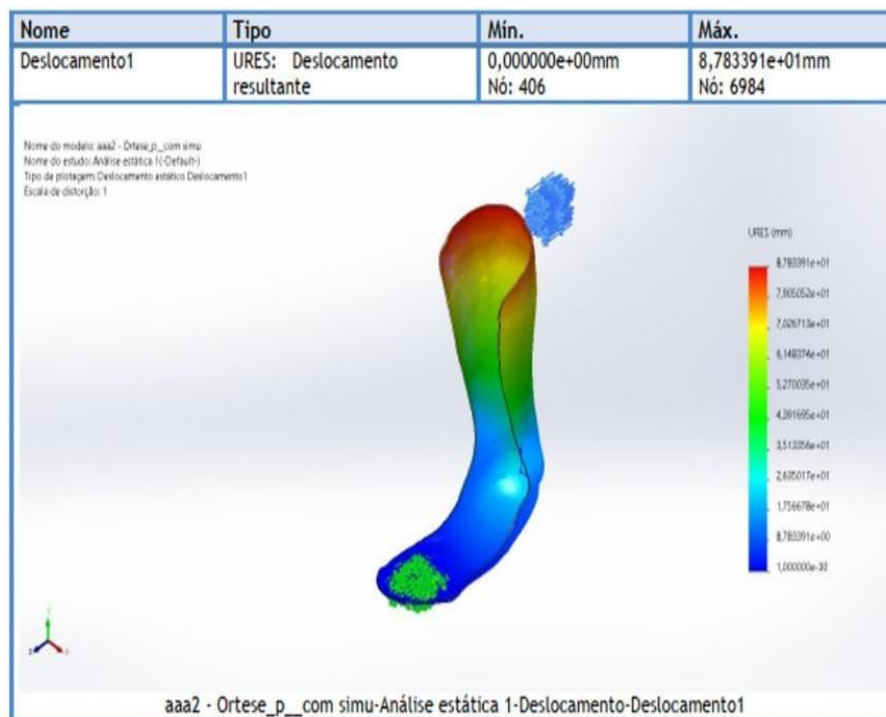


Fonte: Elaborado pelo autor com base no relatório *SolidSimulation*.

Utilizando as tensões de Von Mises⁶, foi possível determinar o ponto de pressão crítico com uma concentração de carga. Este teste, alerta o projetista para uma possível falha do projeto, porem neste caso, a simulação não identificou nenhum ponto crítico.

Na segunda análise, foi avaliado o Deslocamento Resultante da órtese em sua amplitude máxima de trabalho (figura 22).

Figura 22 - Deslocamento resultante



Fonte: Elaborado pelo autor com base no relatório *SolidSimulation*.

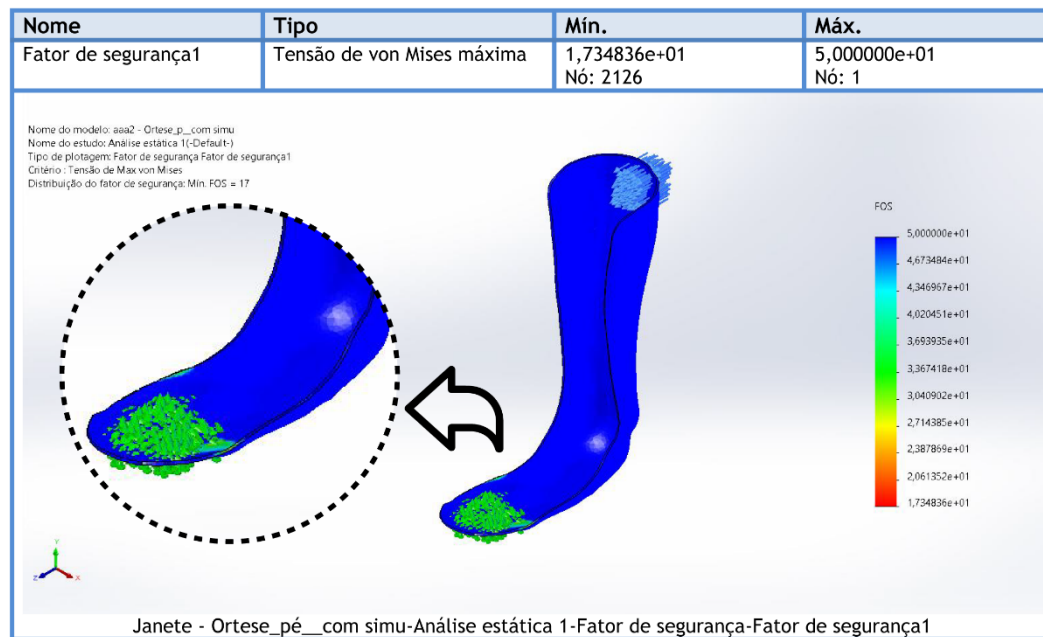
Analisando os resultados desta simulação, foi possível concluir que o conjunto teve um deslocamento de massa de aproximadamente 88 milímetros, sem gerar comprometimento de possível ruptura da órtese, demonstrando a maleabilidade e resistência estrutural da orientação de montagem do compósito utilizado.

A deformação equivalente, apresentada na figura 23, foi a terceira simulação realizada e os resultados se apresentaram equilibrados, não identificando nenhum ponto crítico de

⁶ Tensão de Von Mises é definida como a resistência interna por unidade de área de um corpo a uma força externa aplicada. Na metalurgia mecânica, o escoamento sob tensões combinadas pode ser expresso em termos de uma combinação particular de tensões principais; ou seja, o escoamento não depende de tensões normais individuais ou tensões de cisalhamento sozinho (WANG, 1997).

deformação a ponto de comprometer a órtese, verificando-se uma maior concentração próximo das setas de indicação de fixação (detalhe na figura 23).

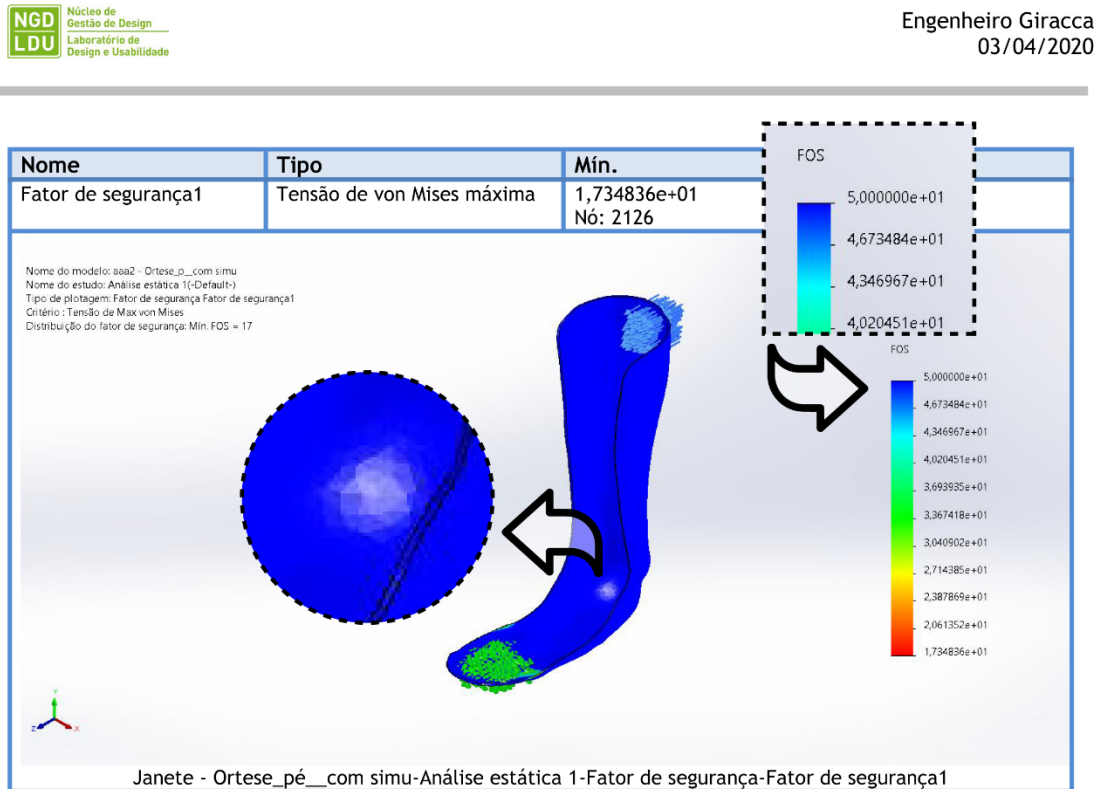
Figura 23 - Deformação equivalente



Fonte: Elaborado pelo autor com base no relatório *Solid Simulation*.

O fator de segurança foi a quarta simulação determinada pela resistência do material e a tensão de Von Mises atribuídas até a carga exercida sobre o conjunto dos 26.979 elementos calculados, que definiram a malha com 16 pontos jacobianos, resultando em uma malha de alta qualidade. O fator de segurança é apresentado na figura 24, com os valores 5 no zoom da figura.

Figura 24 - Fator de segurança



Fonte: Elaborado pelo autor com base no relatório *SolidSimulation*.

Após a análise do fator de segurança, concluiu-se que mesmo com quase 200% mais de carga, o conjunto é capaz de suportar sem romper, determinando um possível ponto próximo ao calcanhar que deveria ter uma atenção em relação à quantidade de material. Este resultado não apresenta risco no projeto (área branca próxima ao calcanhar – identificada com a letra X), podendo ser minimizada/eliminada com uma camada a mais de reforço interno de compósito de carbono.

Considerando os resultados satisfatórios da simulação mecânica computadorizada, foi possível dar continuidade ao projeto, com o processo de construção da OFC. O Anexo A (p. 95-112) apresenta o relatório na íntegra.

A realização da simulação mecânica computadorizada, permitiu uma avaliação mais precisa e confiável do projeto conceitual (digital) da órtese, tendo obtido resultados satisfatórios, possibilitando a continuidade do projeto.

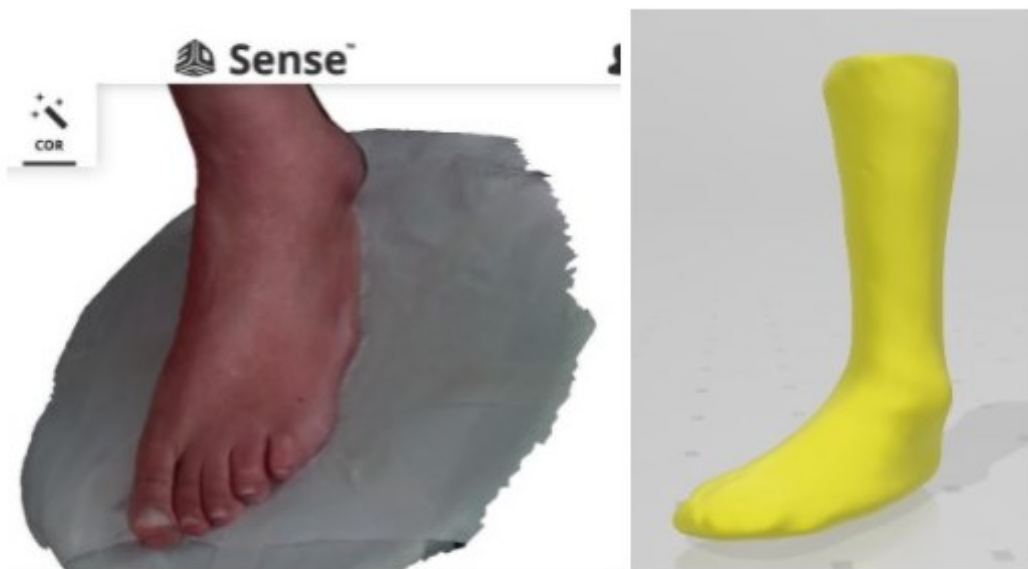
3.5 MOMENTO IMPLEMENTAÇÃO

Neste momento, foram providenciados os materiais para a construção da órtese, juntamente com o planejamento geral do Processo. De igual forma, após a materialização, a órtese foi disponibilizada para a usuária e paralelamente seu acompanhamento junto à equipe de fisioterapeutas. Na sequência, as etapas de viabilização e verificação final do projeto, encerraram o processo.

Etapa de Execução (4)

Preparando os materiais para construção: Nesta etapa (4), foram providenciados e preparados os materiais para a construção da órtese. Para esta finalidade, foi utilizado um molde pré-fabricado com a anatomia da usuária, obtida do escaneamento 3D. A figura 25 representa o escaneamento do membro inferior da usuária (lado esquerdo) e a imagem do membro em arquivo digital 3D, pronto para manipulação (lado direito).

Figura 25 - Escaneamento e imagem 3D do membro inferior da usuária



Fonte: O autor.

Processo de Construção: O Processo de construção se utilizou dos seguintes insumos para a laminação *Hand Lay Up*⁷: tecido fibra de carbono bidirecional aproximadamente 2m²,

⁷ Conhecido também como Laminação Manual, pois são colocadas manualmente as mantas de fibra e a resina. Amplamente empregado em produções em série com volumes menores, assim como em desenvolvimentos de protótipos, o *Hand Lay Up* (HLU) é capaz de produzir itens de geometria complexa e com alta qualidade.

resina epóxi Redelease® SQ-2001, endurecedor Redelease SQ-315™, desmoldante PVA verde da Redelease, balança de precisão, rolete metálico para laminação, lixadeira de roto orbital Puma 16000rpm, Dremel 4000, estufa para realizar a cura em rampa de temperatura (opcional). A figura 26 mostra o molde infundido com PVA, ilustrando parte deste processo:

Figura 26 - Molde da órtese já impregnada de desmoldante PVA



Fonte: O autor.

O uso de desmoldante PVA (um preparado líquido à base de álcool polivinílico que, quando aplicado, produz uma película fina, flexível e antiaderente, dando à peça moldada um acabamento liso e semi-brilhante) é essencial para facilitar o desmolde da forma com a órtese.

A figura 27 mostra os itens que compõem o kit de infusão a vácuo. No detalhe identificado na figura, observa-se o tecido *peel ply*, que é utilizado nos processos de laminação manual, a vácuo ou sistemas por infusão. Isto possibilita uma superfície texturizada e pronta para laminações secundárias, facilitando a separação do produto final da órtese e o kit de infusão a vácuo. O segundo item é o tecido respirador, que é um filme perfurado com resistência à tração de 6000 PSI, suportando temperaturas de até 157° celsius e serve de interface controlada para escoamento de resina até o próximo tecido. O terceiro item, é um tecido absorvente (Breather) utilizado no processo de laminação a vácuo, que serve para reter a resina sobressalente do conjunto, facilitando o processo de cura do compósito e auxiliando na proporção de equilíbrio de proporção entre matriz polimérica e reforço fibroso. Por último, é usado um filme de infusão a vácuo, responsável por sustentar efetivamente a pressão negativa do sistema, o que resulta na extração de possíveis bolhas, melhorando a integração interlaminar, melhorando a adesão entre camadas. Este filme apresenta as seguintes características

mecânicas: alongamento de até 300%, resistência à tração de 18 Mpa e resistência à temperatura de até 180° Celsius.

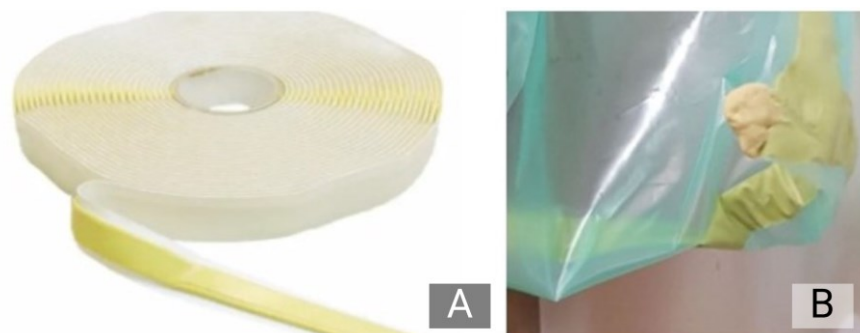
Figura 27 - Kit de infusão a vácuo



Fonte: O autor.

Para a selagem, foi utilizado um adesivo em formato de fita selante chamada de *Tacky Tape*, a qual é uma massa moldável que suporta temperaturas de até 150° celsius e vem comercialmente em formato de rolo. Sua função é selar qualquer abertura, orifício ou canal de entrada de ar, realizando um enclausuramento hermético. A figura 28 mostra o rolo (letra A) e ele infundido no sistema a vácuo (letra B).

Figura 28 - Tacky tape selador de vácuo



Fonte: O autor.

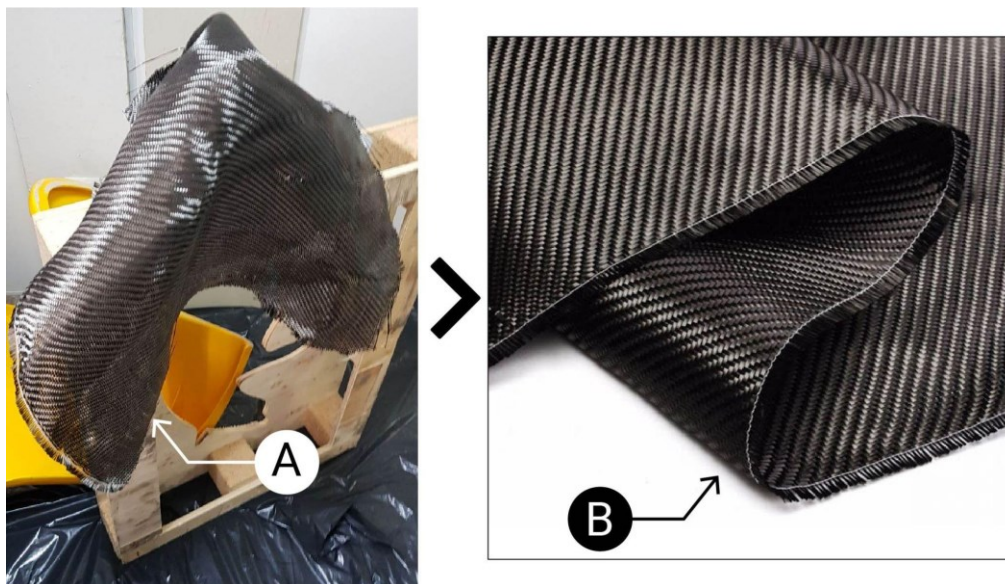
Para realizar o processo de catálise da matriz polimérica, foi utilizado um pote plástico descartável, em que foi realizada a mescla de resina epóxi com seu endurecedor ou catalisador

que promoveu o enrijecimento da matriz polimérica. A utilização de uma balança digital foi necessária para se ter o controle preciso do peso dos dois elementos que compõem a matriz. A proporção da mescla é de 100% do epóxi e 50% de endurecedor.

Um fator importante é a mistura homogênea da matriz polimérica, realizada com um misturador ou palito de madeira, de forma lenta e contínua, por aproximadamente 8 a 10 minutos. A realização da mistura, reduz a impregnação de bolhas de ar na matriz, minimizando o aparecimento de pontos de falha.

A figura 29 apresenta o tecido de Fibra de Carbono bidirecional no processo de conformidade ao desenho do molde (letra A) e o tecido no rolo de transporte (letra B).

Figura 29 - Tecido em Fibra de Carbono bidirecional



Fonte: O autor.

Processo de laminação: Na laminação *hand lay up*, foi utilizada a forma do membro inferior impressa em 3D com base no escaneamento inicial (dependendo das exigências, pode ser utilizado um molde de gesso em substituição do impresso em 3D). Neste processo, foram utilizadas 3 camadas de desmoldante PVA, da marca Redelease, a fim de que a peça não aderisse ao molde durante o procedimento de cura, juntamente com a balança de precisão para preparar uma mistura de resina e endurecedor na proporção de 2 partes de resina para 1 parte de endurecedor.

Utilizou-se um rolete metálico específico na laminação para que as camadas do material fibroso se impregnassem com resina de forma uniforme e sem excessos, deixando as

camadas compactadas e sem bolhas de ar. Na sequência, foram infundidas em um sistema a vácuo com tecido *peel ply*, filme respirador, tecido absorvente e filme de infusão a vácuo. Nesta conformação, foram utilizadas camadas de fibras bidirecionais. A figura 30 apresenta o sistema de vácuo em seu ato de função equivalente a 100 KPa (kilopascal).

Figura 30 - Pressão de vácuo do sistema recomendada para este processo

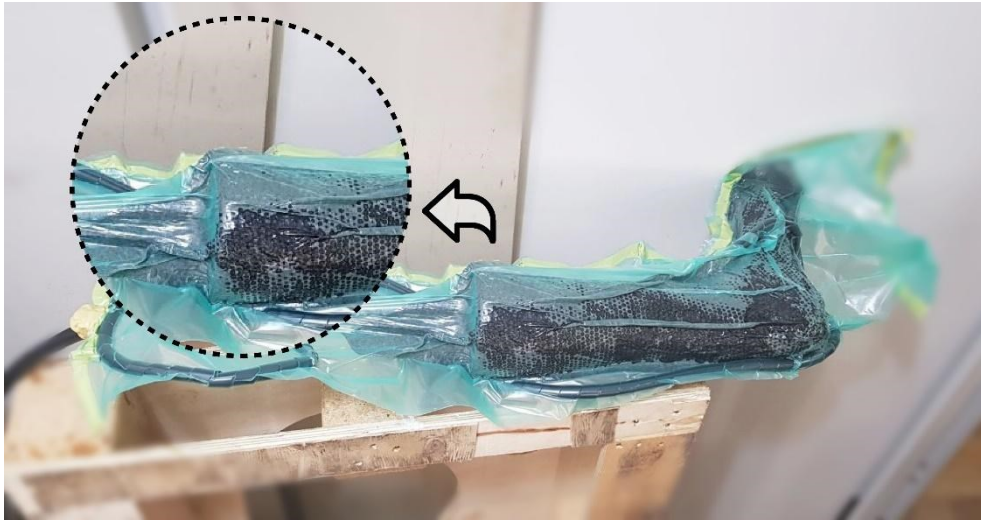


Fonte: O autor.

No instante em que o sistema de pressão negativa se apresenta estável e sem nenhum ponto de falha, é possível observar o excesso de resina se deslocando de forma ordenada para o tecido absorvente, aumentando a resistência de construção do compósito (proporção ideal de 30% a 45% de resina epóxi), e obtendo um resultado mecânico otimizado.

Na figura 31, é possível visualizar o processo em pressão negativa a vácuo, em que os pontos mais escuros representam o excesso de resina sendo depositada no tecido absorvente auxiliando a melhor proporção do conjunto.

Figura 31 - Sistema de cura em pressão negativa vácuo



Fonte: O autor.

A bomba a vácuo é fundamental para este processo. Neste caso, foi utilizada uma bomba comercial livre de manutenção com óleo, otimizando o processo de infusão com baixa manutenção, e um filtro de particulados, que evita a entrada de impurezas ao corpo de atuação da bomba, preservando de alguma eventual quebra da ferramenta (figura 32).

Figura 32 - Bomba de vácuo



Fonte: O autor.

Importante registrar que para o correto uso da rampa com aquecimento deve ser utilizado um molde resistente. A figura 33 mostra a órtese pós cura separada de seu conjunto de infusão a vácuo.

Figura 33 - Órtese pós cura separada do kit infusão



Fonte: O autor.

Processo de Refinamento da Órtese: Após o processo de cura, foi necessário recortar a órtese e separá-la da sua forma. Para esta finalidade, foi utilizada uma micro retífica⁸ com discos de corte finos, a fim de não gerar estresse ou possíveis delaminações entre camadas por ataque abrasivo de grão abrupto. A figura 34 ilustra o processo de recorte e desmolde (letra A) e a ferramenta utilizada (letra B).

⁸ Neste caso, foi utilizada uma Dremel modelo 4000 com extensor. Recomenda-se cuidado e atenção quando se trabalha no manuseio de particulares suspensos como carbono, por serem extremamente condutivos; se em grande número entrar para o sistema interno elétrico da ferramenta pode gerar um curto circuito. É muito importante deixar equipamentos elétricos distantes do pó particulado de corte quando se trabalha com FC.

Figura 34 - Corte e separação da órtese de seu molde.



Fonte: O autor.

Um fator crucial na manipulação de preparação, acabamento e processamento de compósitos de carbono é a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), em todas as etapas, a fim de evitar absorção de particulado de carbono, pois sua ingestão ou contato com mucosa pode ser alérgico e até mesmo tóxico para o organismo. Desta forma, importante registrar que, em todas as etapas, foram utilizados jaleco, óculos de proteção, máscaras faciais 3M e em algumas das etapas, foram utilizadas luvas látex para manipulação de resina.

Dando sequência à construção, após a separação (molde e órtese), foi iniciado o Processo de refinamento, inicialmente com o lixamento dos pontos de resina em algumas partes do corpo da órtese. Na figura 35, é possível visualizar os pontos e as protuberâncias que se formaram, sendo possível visualizar a órtese sem refinamento (A) e a órtese recebendo os primeiros acabamentos (B), utilizando a lixadeira roto orbital com lixas abrasivas de distintos tamanhos de grão, desde o mais abrasivo 600 até o menos abrasivo 1500 (B).

Figura 35 - Órtese desmoldada



Fonte: O autor.

Na continuidade do processo de acabamento externo, foi realizada uma nova mistura da matriz polimérica (epóxi) com seu endurecedor para começar o processo de estética no acabamento externo superficial (figura 36).

Figura 36 - Primeiro acabamento externo com resina epóxi



Fonte: O autor.

Após o processo de acabamento externo, foi aplicado verniz com proteção ultravioleta (3 camadas uniformes), uma vez que a resina epóxi é facilmente degradada com a ação UV de

exposição solar. Isto permite preservar suas capacidades físicas de resistência ao longo do tempo.

Após concluído o acabamento superficial da órtese, foi realizado o teste preliminar com a usuária para verificar ajustes, tamanho, pontos de contato/atrito, regulagens, etc., sob supervisão da equipe de fisioterapeutas (figura 37).

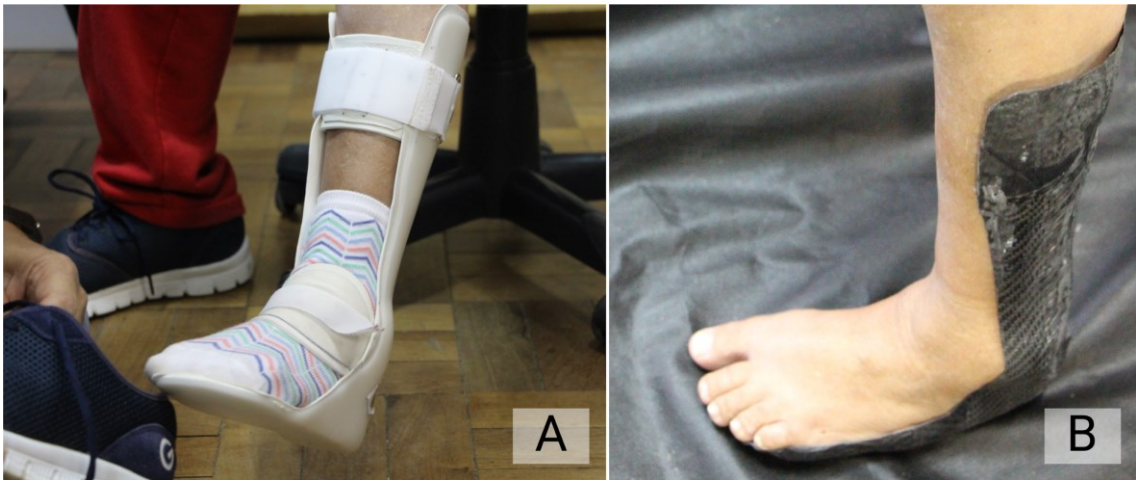
Figura 37 - Teste preliminar da órtese junto a usuária



Fonte: O autor.

A figura 38 apresenta a órtese termoplástica (A) e a nova OFC (B) na etapa de testes preliminares de encaixe e condicionamento formal.

Figura 38 - Órtese Termoplástica e OFC



Fonte: O autor.

A órtese em termoplástico (A), possui um maior volume de material e em contrapartida a OFC (B), apresenta um menor volumem de material.

Como resultados desta etapa, foi possível identificar pontos de contato e atrito que posteriormente foram eliminados, (o contato do maléolo com a antiga órtese não era eficiente o que ocasionava dor, desconforto e escara por pressão) solucionamos esta observação incluindo uma camada dupla de palmilha gel e o Neoprene, criando um sistema de amortecimento duplo com densidades distintas garantindo maior conforto durante seu uso. Outro aspecto importante foi o dimensionamento e posicionamento dos sistemas de fixação da órtese. Importante registrar que tanto a usuária quanto a equipe de fisioterapeutas ficaram satisfeitos com a evolução do projeto e o resultado dimensional alcançado até este momento.

Etapa de Viabilização (5)

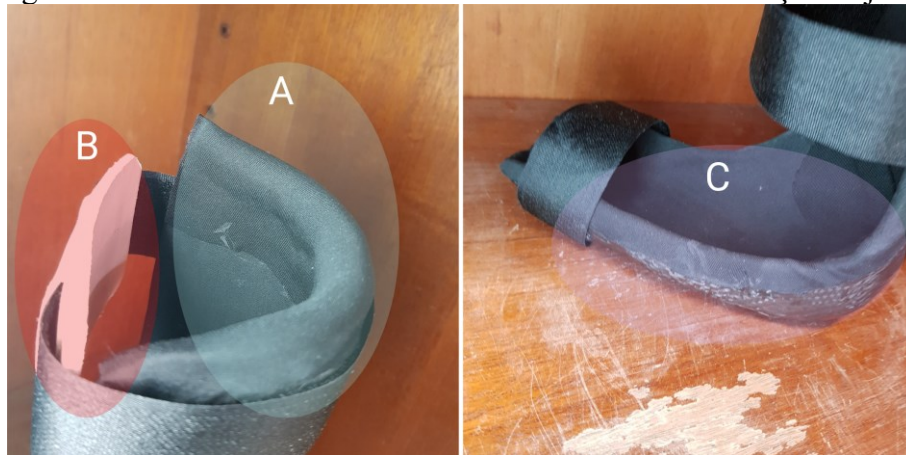
Após os ajustes realizados depois da verificação da compatibilidade da geometria do produto com a região da perna da usuária, deu-se continuidade ao processo de fabricação.

O revestimento interno, ou seja, o material que entra em contato com o membro da usuária, é um item importante na sequência de montagem da órtese. Este material precisa de algumas características singulares pelo fato de ser de uso contínuo. Assim sendo, deve ser resistente, de fácil higienização, antialérgico, biocompatível, maleável e dispor de um acolchoamento confortável, visando o uso quase ininterrupto (retirado apenas para dormir).

O material escolhido para esta finalidade foi o Neoprene⁹, utilizado em vestimentas de surfistas e praticantes de esportes aquáticos, com características compatíveis com os requisitos do produto.

A figura 39 apresenta a órtese com o revestimento interno e bordas em tecido de Neoprene acolchoado, permitindo uma área de contato confortável e ao mesmo tempo resistente. Nesta figura é possível também, identificar o Neoprene (A), que protege todo o interior da órtese, a tira de velcro com EVA (B), como sistema de fixação e ajuste de aperto na altura da canela, uma visão do revestimento interno da base com o sistema de fixação e ajuste da extremidade do pé (C):

Figura 39 - Revestimento interno da órtese e sistemas de fixação e ajuste



Fonte: O autor.

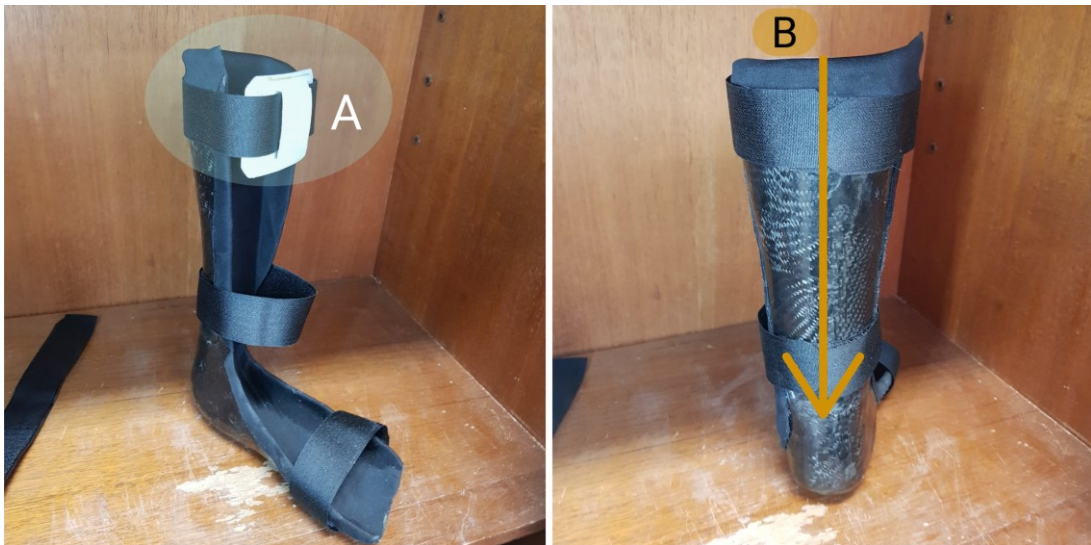
No desenvolvimento de fixação modular, foram utilizadas fitas de velcro fixadas com supercola de contato, na superfície externa da estrutura, possibilitando seu ajuste em vários níveis de retenção e conforto.

Um aspecto importante na escolha da Fibra de Carbono foi o desejo da usuária de poder utilizar a órtese com calçados de numeração equivalente ao real. Porém, com a órtese em termoplástico isto não era possível, em razão da espessura do material, somada ao peso. Desta forma, a OFC atendeu uma expectativa pessoal da usuária, o que é considerado um aspecto positivo e reforça a importância da consideração do ser humano no processo de desenvolvimento de projetos.

⁹ O Neoprene possui propriedades técnicas excelentes, como elevada tensão de ruptura e rasgamento, alto alongamento, ótima resiliência, grande resistência à abrasão, e baixa deformação permanente à compressão, somando ainda, ótimas características de resistência à óleos, solventes, oxigênio, ozônio, intempéries e boa resistência à flama, sendo um dos tipos de elastômeros de alta performance mais utilizados mundialmente.

A figura 40 apresenta o produto final (OFC), onde é possível visualizar a estrutura completa (lateral e posterior), com o detalhe do sistema de fixação e de ajuste em EVA, fita de velcro (A), além do alinhamento da perna em relação à articulação do tornozelo, para a correção da deformação (B):

Figura 40 - Produto final (Órtese em Fibra de Carbono)



Fonte: O autor.

Com o produto final concluído, foi possível dar sequência ao processo, com a entrega da órtese para uso contínuo e acompanhamento da equipe de fisioterapeutas. Importante registrar, antes de passar para a próxima etapa, que foi realizada uma nova visita e novos testes com a usuária, sob supervisão da equipe de fisioterapeutas (figura 41)

Figura 41 - Teste com a OFC



Fonte: O autor.

A partir destes testes, foram identificadas algumas oportunidades de melhoria, dentre elas a inclusão de uma superfície adesiva com grau alto de atrito na parte inferior (contato com o piso), neste caso sem uso de calçado. Entretanto, apresentou-se funcional em algumas superfícies, mas dificultou o processo de calçar e de retirar a órtese de seu calçado pela usuária sem assistência, motivo pelo qual esta melhoria foi descartada. Desta forma, ajustes e reforços nos pontos de contato e atrito foram providenciados, bem como o aumento da largura das fitas de sustentação lateral.

Etapa de Verificação Final (6)

Nesta etapa, a OFC foi entregue para a usuária e equipe de fisioterapeutas, a fim de que pudesse ser usada em substituição da órtese de termoplástico (figura 42), entrega esta realizada antes do início da pandemia.

Figura 42 - Entrega da Órtese em Fibra de Carbono



Fonte: O autor.

Importante lembrar que a partir deste momento houve a necessidade de distanciamento social (COVID 19) e, neste caso (ambientes hospitalares), uma restrição total de contato com os pacientes, o que comprometeu o acompanhamento presencial do uso da OFC. Contudo, foi adotada a estratégia de contato constante com a equipe de fisioterapeutas e visitas à instituição (sem contato com a usuária), procurando sanar possíveis problemas ou dúvidas em relação a OFC.

Neste sentido, recebemos um *feedback* considerado fundamental do chefe da equipe de fisioterapia do IPq-SC:

Entro em contato apenas para passar um Feedback sobre a órtese da Usuária! Após todo este trabalho de desenvolvimento e execução da órtese, quero deixar registrado que é a melhor órtese de todos os tempos! Após os ajustes nas dobras, ficou muito boa! Não está machucando e a Usuária está muito bem e muito feliz! É muito bom ver a ciência e a persistência fazendo a real diferença, e com baixo custo! Obrigado por dedicar seu tempo e seu conhecimento conosco, tenha certeza que aqui estamos todos realmente gratos por tudo! Grande abraço!.

Uma matéria publicada na revista da Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária (FAPEU)¹⁰, no mês de janeiro de 2021, registrou a percepção da direção do IPq-SC em relação as atividades desenvolvidas pelo NGD/LDU UFSC, onde se inclui a pesquisa da OFC:

Agradeço todo o esforço de vocês, todos os projetos que tivemos, já sabendo que esse agradecimento é muito pequeno em relação a todo o ganho que tivemos (Paulo Márcio Souza, ex-diretor do IPq-SC).

Parabéns pelo empenho da sua equipe e pelo auxílio prestado aos profissionais, e, conseqüentemente, à população (Henrique Fogaça, diretor do IPq-SC).

Após 06 meses de uso, não foram identificados o surgimento de prurido, dor, marcas e/ou vermelhidão na região do calcanhar, mais precisamente no maléolo, indicando uma pressão e contato adequados da órtese junto a pele da usuária, atendendo as orientações do Ministério da Saúde (BRASIL, 2019).

Ao total, o período de testes já ultrapassou os 12 meses, com acompanhamento da equipe de fisioterapia, sendo verificado que a OFC continua atendendo de forma satisfatória a usuária, tendo sido identificados apenas: desgaste natural do material de revestimento (especialmente palmilha), por ser um gel moldável, tendo a vida útil definida pelo ciclo de uso e desgaste do sistema de fixação/ajuste (velcro) e EVA. Importante registrar, que a OFC está 100% preservada, atendendo as definições técnicas que orientaram sua construção e principalmente as exigências da usuária e equipe de fisioterapeutas.

A Figura 43 apresenta o Bloco de Referência (PUC) atualizado com os resultados obtidos ao final do projeto.

¹⁰ Esta reportagem integra a 12ª edição da Revista da FAPEU, que pode ser acessada no link apresentado nas referências (FAPEU, 2021).

Figura 43 - PUC com resultados obtidos



Fonte: O autor

Com base nas informações apresentadas na Fundamentação Teórica (FASE 1) e os resultados dos Blocos de Referência (Produto, Usuário e Contexto), cabe destacar a importância da ergonomia, especificamente no que se refere aos aspectos antropométricos e biomecânicos centrados no usuário, contribuindo, assim, com a qualidade ergonômica estética e técnica do produto final.



Conclusões

“

Amar uma pessoa com deficiência é ter a certeza de que você é importante para alguém.

”

Caio Vinicius Souza

4 CONCLUSÕES

Esta pesquisa partiu da problemática relacionada às características da órtese tipo AFO, produzida em materiais poliméricos, tais como: o peso elevado, o desgaste em pouco tempo de uso, falhas e riscos de ruptura. Considerando os aspectos relacionados à usuária, foi verificado que a incompatibilidade da geometria do membro inferior com o produto alterava a marcha e gerava desconforto e insegurança, acarretando no possível abandono da Tecnologia Assistiva. Diante desse cenário, teve-se como objetivo o desenvolvimento de uma órtese do tipo AFO em Fibra de Carbono, uma vez que este material apresenta leveza, resistência, conforto, durabilidade, compatibilidade da geometria e segurança, considerando as Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos (BEST, 2012).

Quanto aos Procedimentos Metodológicos adotados, estes foram considerados satisfatórios. A FASE 1 (Fundamentação Teórica) permitiu o aprofundamento sobre os temas centrais da pesquisa (Gestão de Design, Tecnologia Assistiva, Órteses e Fibra de Carbono), por meio das pesquisas bibliográficas e revisões da literatura. A FASE 2 (Pesquisa Aplicada) possibilitou a sistematização do Processo de construção da órtese, por meio do GODP.

No que se refere às contribuições da pesquisa, do ponto vista científico, foi possível sistematizar o **Processo** de desenvolvimento da órtese de Fibra de Carbono, considerando as especificidades da Usuária (**Pessoa**), permitindo a reprodução para Projetos que apresentam demandas similares, somando ergonomia, Design Centrado no Usuário à integração das Tecnologias (CAD/ CAE). De igual forma, acredita-se que esta pesquisa poderá auxiliar na prática projetual no design, na engenharia de produto e áreas afins. Outra contribuição é o Quadro 6 (p. 66) no qual foram apresentados os requisitos projetuais definidos, divididos de acordo com os Blocos de Referência (PUC), que facilitaram o desenvolvimento de do projeto da OFC.

Relacionando os objetivos propostos temos os seguintes resultados:

- A relação entre Pessoas, Projetos, Processos e Procedimentos, conduziu com muita destreza a materialização da Órtese de Fibra de Carbono;
- Com as aplicações de técnicas de escaneamento 3D utilizando a base como fermenta no processo, reforçou uma boa modelagem matemática e simulação mecânica no desenvolvimento do projeto com resultado do produto esperado;
- Foi materializada a Órtese em Fibra de Carbono (OFC), centrada na usuária em contexto real atendendo todas as expectativas;
- Desta forma foi sistematizado o processo de desenvolvimento, tendo como referência o Guia de Orientação no Desenvolvimento de Projetos.

No ponto de vista social, o **Projeto** (Órtese de Fibra de Carbono) desenvolvido permitiu melhorias nas Atividades de Vida Diárias (AVD's) da usuária, possibilitando conforto, segurança e promoção da autonomia da usuária, segundo relato da equipe de fisioterapeutas e da própria usuária.

Quanto ao ponto de vista tecnológico, cabe destacar a utilização adequada dos equipamentos, materiais e softwares durante o desenvolvimento do **Projeto**, assim como as potencialidades e limitações de cada tecnologia, podendo ser utilizado por outros pesquisadores e projetistas em situações de **Projetos** similares. Em síntese pode ser afirmar que o conjunto de Procedimentos possibilitou que o desenvolvimento da OFC atende-se de forma satisfatória as exigências técnicas, medicas e pessoais do dispositivo de Tecnologia Assistiva, configurando uma abordagem que integrou de forma bem sucedida a Gestão de Design (Projetos, Pessoas, Processos e Procedimentos), com a Tecnologia Assistiva, na especificidade de uma Órtese em Fibra de Carbono, por meio de uma abordagem que privilegiou o ser humano, com suas capacidades e limitações.

4.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A principal limitação da pesquisa foi o distanciamento social, provocado pelo cenário da pandemia da COVID-19, que impediu uma série de atividades presenciais junto à usuária e equipe de fisioterapeutas. Ainda assim, foi possível dar continuidade ao projeto, porém de

forma mais lenta e cautelosa, seguindo as orientações dos órgãos governamentais da saúde pública do governo estadual.

4.2 PERCEPÇÕES DO PESQUISADOR

Quanto às percepções do pesquisador, destaca-se o acesso e a participação no Núcleo de Gestão e Laboratório de Design e Usabilidade (NGD-LDU), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que proporcionou um espaço físico adequado, com Tecnologias de ponta e interação humana, contribuindo para o conhecimento, aprendizagem e experiências junto a uma equipe multidisciplinar. Sem estas condições, esta pesquisa não teria se materializado da forma que foi finalizada. Outro aspecto importante verificado durante o desenvolvimento do Projeto (neste caso de TA - OFC) foi a consideração e ativa participação da usuária (com suas especificidades e restrições), juntamente com a equipe de fisioterapeutas.

Assim, a oportunidade de aproximação com o mundo real (neste caso, o acesso ao IPq-SC) foi fundamental, pois possibilitou a realização de constantes visitas, levantamentos, testes, acompanhamentos, reuniões, esclarecimentos, etc. Desta forma, a contribuição com a qualidade de vida da usuária é inegável (percepção dela própria e da equipe de fisioterapeutas).

Por fim, o Programa de Pós-Graduação em Design com uma área de concentração (Gestão) e uma ênfase (Tecnologia), oportuniza a integração de conhecimentos e expertises, como neste caso do design e da engenharia, potencializando o avanço do conhecimento científico e o crescimento profissional e pessoal de todos os envolvidos

4.3 ESTUDOS FUTUROS

Sugere-se realizar novos estudos para aferir a precisão e replicabilidade dos procedimentos descritos, considerando a possibilidade de aumentar o número de usuários e quadros clínicos.

Outra oportunidade está na utilização de tecnologias de captura de movimentos por sensores inerciais (Xsens) e Eletromiografia de Superfície (EMG) para avaliar o desempenho da OFC desenvolvida.

Levantar e descrever os conceitos de Gestão de processos, Tecnologia Integrada, Captura de movimentos por sensores inerciais, eletromiografia de superfície, dinamometria

digital manual, análise de cinemática centrado no ser humano e Ergonomia; mapear e sistematizar os elementos essenciais para uma coleta de dados com tecnologia integrada, tendo como foco da coleta a integração das tecnologias na análise da biomecânica (ciclo da marcha) na comparação entre órtese em termoplástico e em órtese em FC, centrado no ser humano.

Avaliar e refinar os processos de escaneamento 3D, bem como um comparativo entre o uso da base para escaneamento desenvolvida e o método tradicional de captura, buscando aprimorar os aspectos de precisão, confiabilidade e agilidade.

▪ REFERÊNCIAS

3BE. **Scan Sense 3D**. 2020. Disponível em: <https://3be.com.br/produtos/sense-3d-scanner/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

AFFAIRS, United Nations Department of Economic and Social (org.). Realizing the Sustainable Development Goals for persons with disabilities. **Disability And Development Report 2018**, [S.L.], p. 31-45, 12 jun. 2019. UN. <http://dx.doi.org/10.18356/a0b1b1d1-en>.

AGNELLI, Luciana B.; TOYODA, Cristina Y. Estudo de materiais para a confecção de órteses e sua utilização prática por Terapeutas Ocupacionais no Brasil. **Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 83-94, jun. 2003.

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos Finitos**: a base da tecnologia CAE. 5. ed. São Paulo: Érica, 2007.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e Design**: Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto. 2ªed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011, 346 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14431: 2000: **Próteses e órteses - Requisitos gerais para marcação, embalagem e rotulagem de componentes**. Rio de Janeiro: ABNT, p. 3, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14431:2000: **Próteses e órteses - Requisitos gerais para marcação, embalagem e rotulagem de componentes**. Rio de Janeiro, p. 3, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 13405-1:1999: **Próteses e órteses - Classificação e descrição de componentes para próteses**. Parte 1: Classificação de componentes para próteses. Rio de Janeiro: ABNT, p. 2, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 13405-1:1999: **Próteses e órteses - Classificação e descrição de componentes para próteses**. Parte 2: Descrição de componentes para próteses de membro inferior. Rio de Janeiro: ABNT, p. 2, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 13405-1:1999: **Próteses e órteses - Classificação e descrição de componentes para próteses** Parte 3: Descrição de componentes para próteses de membro superior. Rio de Janeiro: ABNT, p. 7, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 8549-1:1999: **Próteses e órteses - Vocabulário**: Parte 2: Termos relativos a próteses externas de membros e aos usuários destas próteses. Rio de Janeiro: ABNT, p. 4, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 8549-3:1989: **Próteses e órteses - Vocabulário**: Parte 1: Termos relativos a órteses externas. Rio de Janeiro: ABNT, p. 5, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 8549-3:1989: **Próteses e órteses - Vocabulário**: Parte 3: Termos relativos a órteses externas Rio de Janeiro: ABNT, p. 5, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 9999: 2016: **Auxílios técnicos para pessoas com deficiência** - Classificação e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, p. 194, 2016.

ASTM 7264D/7264M, **Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials**: © International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States: ASTM, 2016.

ASTM D 3039/D 3039M, **Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials**: This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States: ASTM, 2002.

AZEVEDO, Álvaro Ferreira Marques. **MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**. Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, p. 258, 2003.

BAHMAN, Amir Sajjad; IANNUZZO, Francesco. Computer-aided engineering simulations. **Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging**, [S.L.], p. 199-223, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102094-4.00010-4>.

BARBIN, Isabel Cristina Chagas. **Prótese e órtese**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 168 p.

BATHE, Klaus-Jürgen. **Finite Element Procedures**. Watertown: Pearson Education, 2014. 1065 p.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. Editora Blucher, 2011.

BERSCH, R. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Porto Alegre: Assistiva - Tecnologia e Educação, 2017.

BEST, Kathrin. **Fundamentos da gestão do design**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BRASIL. **DECRETO Nº 10.645 DE 11 DE MARÇO DE 2021**. Decreto nº10.64. 200º da Independência e 133º da República, Brasília, 2021.

BRASIL. **DECRETO Nº 5.296 DE 2 DE DEZEMBRO DE 2004**. Decreto nº5.296. 183o da Independência e 116º da República, Brasília, 2004.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. **Comitê de Ajudas Técnicas**. Tecnologia Assistiva. – Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

Cartilha do Censo 2010: Pessoa com Deficiência. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR); Secretaria Nacional de promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD), Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012a, p. 32.

CARVALHO, José André de. **Órteses: um recurso terapêutico complementar.** 2. ed. São Paulo: Manole, 2013.

CAT (Comitê de Ajudas Técnicas). **Tecnologia Assistiva.** Secretaria Especial dos Direitos Humanos. Brasília: CORDE, p. 138, 2009.

CHEUNG, Jason Tak-Man *et al.* Current methods in computer-aided engineering for footwear design. **Footwear Science**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 31-46, mar. 2009. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19424280903002323>.

COOK, A. M.; POLGAR, J. M. **Assistive Technologies: Principles and Practice.** 4^a. Missouri: Elsevier, 2015.

DENG, Y.-M. *et al.* A CAD-CAE Integrated Injection Molding Design System. **Engineering With Computers**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 80-92, 29 abr. 2002. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s003660200007>.

DMI. About DMI. Disponível em: https://www.dmi.org/page/What_is_Design_Manag. Acesso em: 19 mai. 2021.

DONNET, J.B. *et al.* Carbon Fibers. **Encyclopedia of Physical Science and Technology**, [S.L.], p. 431-455, 2003. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b0-12-227410-5/00082-x>.

EASYCOMPOSITES. EASYCOMPOSITES. 2020. Disponível em: <https://www.easycomposites.co.uk/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

EDELSTEIN, J. E.; BRUCKNER, J. **Órtese, Abordagem Clínica.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

ELIAS, M.P.; MONTEIRO, L.M.C e CHAVES C.R. **Acessibilidade a benefícios legais disponíveis no Rio de Janeiro para portadores de deficiência física.** Laboratório de Disfunção Miccional do Instituto Fernandes Figueira/Fundação Oswaldo Cruz. 2007.

FUTFANATICS. **Tipos de pisada.** 2020. Disponível em: <https://blog.futfanatics.com.br/treino/como-saber-meu-tipo-de-pisada>. Acesso em: 20 mar. 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIRACCA, Cesar Nunes; COSTA, Diogo Pontes; MERINO, Eugenio Andrés Díaz. Órtese em fibra de carbono de baixo custo: gestão e tecnologia no processo de design e engenharia: projetos e aplicações. **Tecnologia Assistiva: Projetos e Aplicações**, Florianópolis, n. 1, p. 177-182, mai. 2021. Canal 6 Editora. <http://dx.doi.org/10.52050/9786586030549>.

GIRACCA, Cesar Nunes; MERINO, Eugenio Andrés Díaz. Construção De Órteses Em Fibra De Carbono De Baixo Custo. Joinville: **Plural Design**, v. 2, n. 1, 20 dez. 2019. Disponível em: <http://periodicos.univille.br/index.php/PL/article/view/81/63>. Acesso em: 20 jun. 2020.

Guia para Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção. Ministério da Saúde; Secretaria de Atenção Especializada à Saúde, Departamento de Atenção Especializada e Temática, Brasília: Ministério da Saúde, 2019. p.108.

HALL, Susan Jean. **Biomecânica básica**. 5. ed. Barueri: Manole, 2009.

HAMMEL, Joy. Assistive Technology and Environmental Intervention (AT-EI) Impact on the Activity and Life Roles of Aging Adults with Developmental Disabilities. **Physical & Occupational Therapy in Geriatrics**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 37-58, 1 set. 2000. The Haworth Press. http://dx.doi.org/10.1300/j148v18n01_04.

HAMMEL, Joy; LAI, Jin-Shei; HELLER, Tamar. The impact of assistive technology and environmental interventions on function and living situation status with people who are ageing with developmental disabilities. **Disability And Rehabilitation**, [S.L.], v. 24, n. 1-3, p. 93-105, jan. 2002. UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09638280110063850>.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, v. 200, 2005.

IIDA, Itiro; GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo. **Ergonomia: projeto e produção**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

ISO-9999. Assistive Products for Persons with Disability: Classification and Terminology. BSI, CH/173, p. 86, 2011.

ISPO (Luxemburgo) (comp.). **International Society for Prosthetics and Orthotics (ISPO)**. Disponível em: <https://www.ispoint.org/page/POservices>. Acesso em: 20 jan. 2021.

KAPANDJI, AI: **Fisiología articular: esquemas comentados de mecánica humana**. Sexta edición. Tomo I: Miembro superior. Madrid. Médica Panamericana 2012.

KHAN, Md Tarique Hasan; REZWANA, Saki. A review of CAD to CAE integration with a hierarchical data format (HDF)-based solution. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 248-258, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.009>.

KLASSON, B. L. Carbon fiber and fiber lamination in prosthetics and orthotics. **Prosthetics & Orthotics International**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 74-91, ago. 1995. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.3109/03093649509080349>.

LANTER, David; ESSINGER, Rupert. User-Centered Design. **International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology**, p. 1-4, 2016.

LEHMANN, F. J. Orthotics for the Wounded Combatant. In: **BELANDRES**, 1999.

Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Lei nº 13.146. Brasília, 2015.

LEITE, J. M. R. S.; PRADO, G. F. do. Paralisia cerebral Aspectos Fisioterapêuticos e Clínicos. **Revista Neurociências**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 41–45, 2004. DOI: 10.4181/RNC.2004.12.41. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/neurociencias/article/view/8886>. Acesso em: 27 maio. 2021.

LOTTI, Raquel S. *et al.* Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 35-43, abr. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-54192006000200006>.

LUCARELI, Paulo Roberto Garcia. **Marcha Normal**. Disponível em: <http://www.analisedemarcha.com/marcha_normal.php>. Acesso em: 24 jun. 2021.

LUSARDI, M. M; JORGE, M; NIELSEN, C. C. **Órteses e próteses na reabilitação**. 3º ed. Filadélfia, PA: Elsevier Saunders, 2012.

MACHADO, G.S. **Órteses e Próteses no sistema único de saúde**. Estudo Técnico, abril de 2018.

MANOCHA, L.M. Carbon Fibers. **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**, [S.L.], p. 906-916, 2001. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b0-08-043152-6/00174-1>.

MARTINS, Rosane Fonseca de Freitas; MERINO, Eugenio Andrés Díaz. **Gestão de design como estratégia organizacional**. Rio de Janeiro: Rio Books, 2011.

MERINO, Eugenio A. D. *et al.* Implementation of Integrated Instrumentation in Assistive Technology. *Advances In Ergonomics In Design*, [s.l.], p.549-560, 24 jun. 2017. **Springer International Publishing**. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-60582-1_55.

MERINO, Eugenio A. D. *et al.* O uso da instrumentação tecnológica em projetos de tecnologia assistiva: captura de movimentos e termografia infravermelha. **Human Factors in Design**, [s.l.], v. 7, n. 14, p.95-113, 15 out. 2018. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/2316796307142018095>.

MERINO, G. S. A. D. **Guia de orientação para desenvolvimento de projetos: uma metodologia de design centrado no usuário**. Florianópolis: NGD/UFSC, 2016. Disponível em: Acesso em: 12 jul. 2016.

MERINO, Giselle Schmidt Alves Díaz. **GODP – Guia de Orientação para Desenvolvimento de Projetos: Uma metodologia de Design Centrado no Usuário**. Florianópolis: NGD/UFSC, 2016. Disponível em: <www.ngd.ufsc.br>. Acesso em: 12 jul. 2016.

Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0504_0920.pdf. Acesso em: 20 mai. 2020

NELHAM, R.L. Carbon fiber reinforced plastic applied to prosthetics and orthotics. **Journal Of Biomedical Engineering**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 305-314, out. 1981. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0141-5425\(81\)90137-0](http://dx.doi.org/10.1016/0141-5425(81)90137-0).

NICOLÁS GARCÍA, David José. **Integración de dos métodos de Ingeniería de Diseño para la realización de Órtesis para estabilización de pie y tobillo.** [s. l.], 2017. Disponível em: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/78187>. Acesso em: 10 jun. 2021.

NIERLING, L.; *et al.* **Assistive Technologies for People with Disabilities. Part III: Perspectives on Assistive Technologies Study.** European Parliament: Brussels, Belgium. 101p. 2018.

NORDIN, Margareta; FRANKEL, Victor H. **Biomecânica básica do sistema musculoesquelético.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

OPTOGAITE. **Ciclo da marcha.** 2021. Disponível em: <http://www.optogait.com/Gait-Analysis-on-Treadmill>. Acesso em: 24 jun. 2021.

PARK, Soo-Jin. History and Structure of Carbon Fibers. **Carbon Fibers**, [S.L.], p. 1-30, 2018. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-0538-2_1.

PATRIZI, Alfredo; PENNESTRÌ, Ettore; VALENTINI, Pier Paolo. Comparison between low-cost marker-less and high-end marker-based motion capture systems for the computer-aided assessment of working ergonomics. **Ergonomics**, v. 59, n. 1, p. 155-162, 2016.

PAULO, Irandir Izaquiel. **Gestão e Tecnologia: sistema de captura de movimentos por sensores inerciais (Xsens) para o levantamento de dados no design centrado no ser humano.** 2021. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Centro de Comunicação e Expressão, Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/222069>. Acesso em: 27 mai. 2021.

PIPES, Alan. **Desenho para designers.** Editora Blucher, 2010.

Portaria Interministerial nº 362 de 24 de outubro de 2012. Ministério da Fazenda, Ciência, Tecnologia e Inovação; Secretaria Nacional de Direitos Humanos da Presidência da República, Brasília, 2012.

POSDESIGN (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN). **Mestrado e Doutorado em Design: Gestão de Design.** Florianópolis, 2021. Disponível em: <<http://www.posdesign.ufsc.br/doutorado-em-design>> Acesso em: 06 mar. 2021.

PRESTES, R.C. **Tecnologia Assistiva: atributos de design de produto para adequação postural personalizada para posição sentada.** 2011. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Design e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição.** Editora Feevale, 2013.

PROZOROVSKA, L.; BOND, R.; ADAMS, D. Cure monitoring of carbon fiber reinforced composite via laser vibrometry. In: (Ratcliffe J. G. Davidson B.D. Czabaj M.W., Ed.) **PROCEEDINGS OF THE AMERICAN SOCIETY FOR COMPOSITES - 31ST TECHNICAL**

CONFERENCE, ASC 2016 2016, **Anais**. DEStech Publications Inc., Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85013922253&partnerID=40&md5=964a026c1842f53bd0cf0c128e2e2552>, 2016.

RADOMSKI, Mary Vining; LATHAM, Catherine A. Trombly. **Terapia Ocupacional para Disfunções Físicas**. 5. ed. Santos: Ed Santos, 2013. 1458 p.

REDELEASE. **REDELEASE**. Kit compósitos e materiais. Disponível em: <https://www.redelease.com.br/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

REMESAL, Alberto Ferraras; PUENTE, Raket Poveda. Biomecánica y Discapacidad. **Informació psicològica**, n. 83, p. 9-14, 2003. Disponível em: <http://www.informaciopsicologica.info/OJSmottif/index.php/leonardo/article/viewFile/360/309>> Acesso em: 24 de jun. 2021.

REZENDE, Mirabel; BOTELHO, Edson. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial**. Polímeros, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282000000200003&script=sci_arttext>. Acesso em: 14 abr. 2016.

ROBERTSON, B. F.; RADCLIFFE, D. F. Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design. **CAD Computer Aided Design**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 136–146, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.06.007>.

SÁNCHEZ, Emil; CODÁ, Francisco; FERREIRA, Fernando. Compósitos de Fibras de Carbono para Reparo e Reforço Estrutural. **Revista Gestão e Gerenciamento**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p.1-4, 01 jan. 2016. Anual. Disponível em: <http://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento/article/view/121/71>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

SASSAKI, R. K. Terminologia Sobre Deficiência na era da Inclusão. **Revista Nacional de Reabilitação (Reação)**, v. 5, n. 24, p. 6–9, 2002.

SHEEHAN, Conor.; Elaine Figgins. A Comparison of Mechanical Properties between Different Percentage Layups of a Single-Style Carbon Fiber Ankle Foot Orthosis. **Prosthetics and Orthotics International** 41, no. 4 (August 2017)

SILVA, Ana Lúcia. **Gestão de Design e Projeto Centrado no ser Humano: Mapeamento e Diagnóstico de Equipes Remotas com Foco na Inovação**. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 178 p., 2016.

SILVA, Edna Lúcia da.; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/ppgcb/files/2011/03/Metodologia-da-Pesquisa-3a-edicao.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2021.

SILVA, Giorgio Gilwan da *et al.* Análise Ergonômica do Posto de Trabalho de uma Oficina de Órteses e Próteses para Reabilitação de Pessoas com Deficiência. **Dapesquisa**, Florianópolis, v. 12, n. 9, p.164-181, 19 dez. 2014. Anual. Disponível em:

<<http://revistas.udesc.br/index.php/dapesquisa/article/viewFile/5066/4023>>. Acesso em: 19 dez. 2014.

SOLIDWORKS. **CAD/CAE**. 2020. Disponível em: < https://discover.solidworks.com/pt-br/solidworks-products-v2?utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=202001_glo_ps_sea_pt_XOP6876_labl_brand_lat_br_exact&mktid=&gclid=CjwKCAjw-e2EBhAhEiwAJI5jg65lfeCcEkPSvWQ_wSC2Y-QjUBNIamQruliCgBUAR0_jvmi406vxVBoCKx4QAvD_BwE/> Acesso em: 28 mar. 2020.

SOUZA, A. F.; COELHO, R. T. (2003). Tecnologia CAD/CAM: Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril [Paper presentation]. **23º Encontro Nac. de Eng. de Produção** - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

SOUZA, M. A., *et al.* Integrating 3-D reconstruction of tomographic images and rapid prototyping for fabrication of medical models. **Journal of Biomedical Engineering**, v.19, p.103-105, 2003.

Tecnologia Assistiva. Brasília: CORDE, 2009, p. 138.

UNESCO. **Declaração de Salamanca**: Sobre Princípios, Política e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais. Espanha - Salamanca: Organização das Nações Unidas, nov. 1994. Disponível em: <<http://uniapae.apaebrasil.org.br/wp-content/uploads/2019/10/DECLARA%C3%87%C3%83O-DE-SALAMANCA-E-LINHA-DA-A%C3%87%C3%83O-SOBRE-NECESSIDADES-EDUCATIVAS-ESPECIAIS.pdf>> Acesso em 10 de Fev. 2021.

VACUUM, Advanced. **Kit de vácuo para laminação**. Disponível em: <https://www.advancedvacuum.com.br/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

VITAL, J. P. et al. Tecnologias para a análise do movimento humano. In: R. Ruben, M. Vieira, C. Campos, H. Almeida, J. Siopa, P. Bártolo, & J. Folgado (Edits.), 6o Congresso Nacional de Biomecânica. 2015. p. 1-6.

VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. Editora Blucher, 2017.

WANG, D. *et al.* Von Mises Stress in Chemical-Mechanical Polishing Processes. **Journal of the Electrochemical Society**, [S.L.], v. 144, n. 3, p. 1121-1127, 1 mar. 1997. The Electrochemical Society. <http://dx.doi.org/10.1149/1.1837542>.

WANG, D. *et al.* Von Mises Stress in Chemical-Mechanical Polishing Processes. **Journal of the Electrochemical Society**, [S.L.], v. 144, n. 3, p. 1121-1127, 1 mar. 1997. The Electrochemical Society. <http://dx.doi.org/10.1149/1.1837542>.

WHO. **International Classification of Functioning, Disability and Health**. 2001. Disponível em: <<http://www.who.int/classifications/icf/en/>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

WHO. **Towards a common language for functioning, disability and health (CIF)**. Geneva: World Health Organization, 2011.

ZANINI, R. S. Demência no idoso: aspectos neuropsicológicos. **Revista Neurociências**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 220–226, 2010. DOI: 10.34024/rnc.2010. v18.8482. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/neurociencias/article/view/8482>. Acesso em: 26 maio. 2021.

ZBOINSKA, Malgorzata A. Hybrid CAD/E platform supporting exploratory architectural design. **Computer-Aided Design**, [S.L.], v. 59, p. 64-84, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2014.08.029>.

▪ ANEXO A - Relatório de simulação mecânica computadorizada

Relatório de simulação mecânica computadorizada com descrição de processos para simulação passo a passo.



Simulação de Janete - Ortese_pé com Simulation

Data: sábado, 3 de abril de 2021
 Projetista: Engenheiro Giracca
 Nome do estudo: Análise carga órtese
 Tipo de análise: Análise estática

Sumário


Descrição	1
Pressuposições.....	2
Informações do modelo	2
Propriedades do estudo	3
Unidades.....	3
Propriedades do material	4
Acessórios de fixação e Cargas.....	5
Informações de malha	6
Forças resultantes	8
Resultados do estudo	9
Conclusão	13
Apêndice	13

Descrição


Esta simulação foi executada no software *Simulation*, um suplemento do *SolidWorks* que realiza a simulação de cargas gerenciada por um método de cálculo em elementos finitos, onde é dividido em várias seções individuais de geometrias conhecidas (malha) para calcular a distribuição de forças que o conjunto (objeto, materiais e geometrias associadas ao design) que conseguem suportar em modelo matemático computadorizado.

Pressuposições

Informações do modelo



Nome do modelo: Janete STEP - Ortese_pé__com simulation
Configuração atual: Janete_final

Corpos sólidos			
Nome e referência do documento	Tratado como	Propriedades volumétricas	Caminho/Data do documento modificado
 Ortese_p__janete_sol001	Corpo sólido	Massa:0,232465 kg Volume:0,000130598 m ³ Densidade:1.780 kg/m ³ Peso:2,27815 N	E:\Janete com simulação\aaa2 - Ortese_p__com simu.SLDPRT Apr 3 16:13:02 2021

Propriedades do estudo


Nome do estudo	Análise estática 1
Tipo de análise	Análise estática
Tipo de malha	Malha sólida
Efeito térmico:	Ativada
Opção térmica	Incluir cargas de temperatura
Temperatura de deformação zero	25° Celsius
Inclui efeitos da pressão de fluidos do SOLIDWORKS Flow Simulation	Desativada
Tipo de Solver	Automático
Efeito no plano:	Desativada
Mola suave:	Desativada
Atenuação inercial:	Desativada
Opções de união incompatíveis	Automático
Grande deslocamento	Ativada
Calcular forças de corpo livre	Ativada
Atrito	Desativada
Usar método adaptável:	Desativada
Pasta de resultados	Documento do SOLIDWORKS (E:\Janete com simulação\resultador simulação)

Unidades

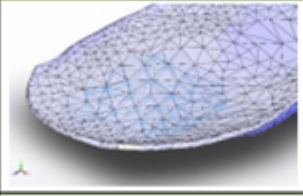
Sistema de unidades:	SI (MKS)
Comprimento/Deslocamento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidade angular	Rad/s
Pressão/Tensão	N/mm ² (MPa)

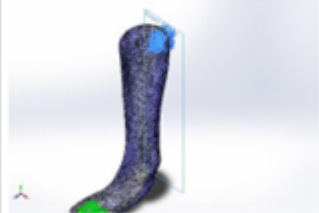


Propriedades do material

Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	<p> Nome: Hexcel AS4C (3000 Filaments) Tipo de modelo: Isotrópico linear elástico Critério de falha predeterminado: Desconhecido Limite de escoamento: 3.550 N/mm² Resistência à tração: 2.028 N/mm² Resistência à compressão: 950 N/mm² Módulo elástico: 5.000 N/mm² Coefficiente de Poisson: 0,38 Massa específica: 1,78 g/cm³ Módulo de cisalhamento: 97 N/mm² </p>	<p> Corpo sólido 1(Ortese_p__janete_sol001) (aaa2 - Ortese_p__janete_sol001) </p>

Acessórios de fixação e Cargas

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação			
Fixo-1		Entidades: 102 borda(s), 83 face(s) Tipo: Geometria fixa			
Forças resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Força de reação(N)	0,167022	0,131296	-33,3897	33,3904	
Momento de reação (N.m)	0	0	0	0	

Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga			
Força-1		Entidades: 286 borda(s), 18 face(s), 1 plano(s) Referência: Front Plane Tipo: Aplicar força Valores: ---; ---; 1300 N			

Informações de malha

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado:	Malha com base em curvatura
Pontos Jacobianos para malha de alta qualidade	16 Pontos
Tamanho máximo de elemento	6,65405 mm
Tamanho de elemento mínimo	6,65405 mm
Qualidade da malha	Alta

Informações de malha - Detalhes

Total de nós	53518
Total de elementos	26979
Proporção máxima	100,33
% de elementos com Proporção < 3	57
% de elementos com Proporção < 10	0,571
% de elementos distorcidos(Jacobiana)	0
Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss):	00:00:25
Nome do computador:	Lenovo NGD



Forças resultantes

Forças de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	0,167022	0,131296	-33,3897	33,3904

Momentos de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

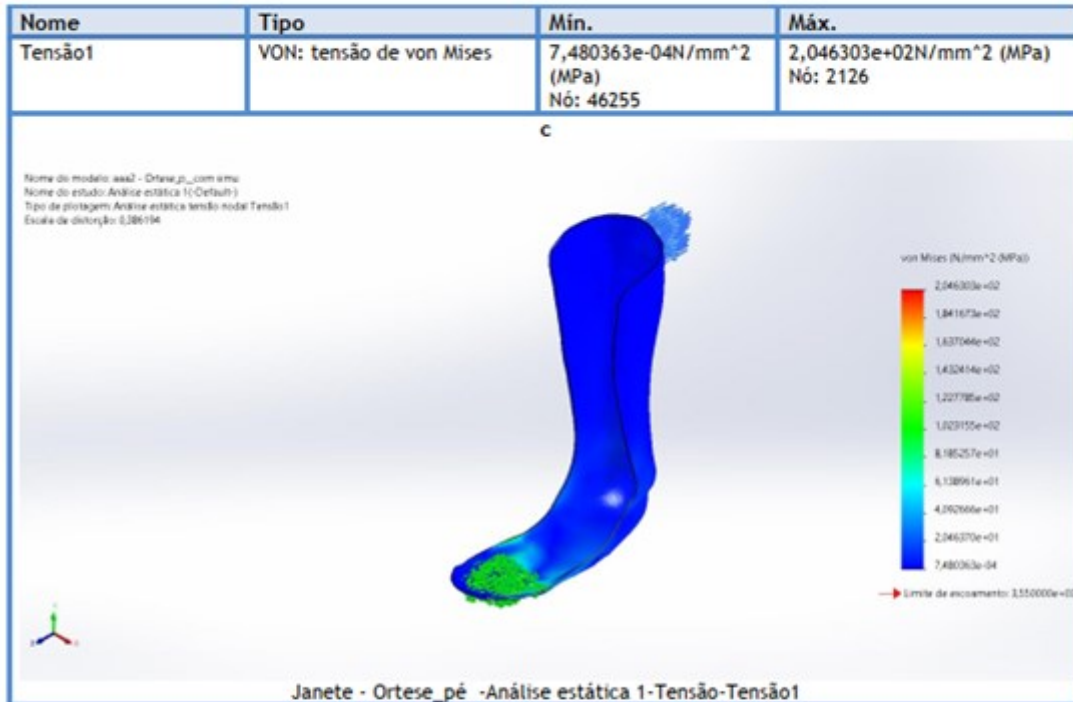
Forças de corpo livre

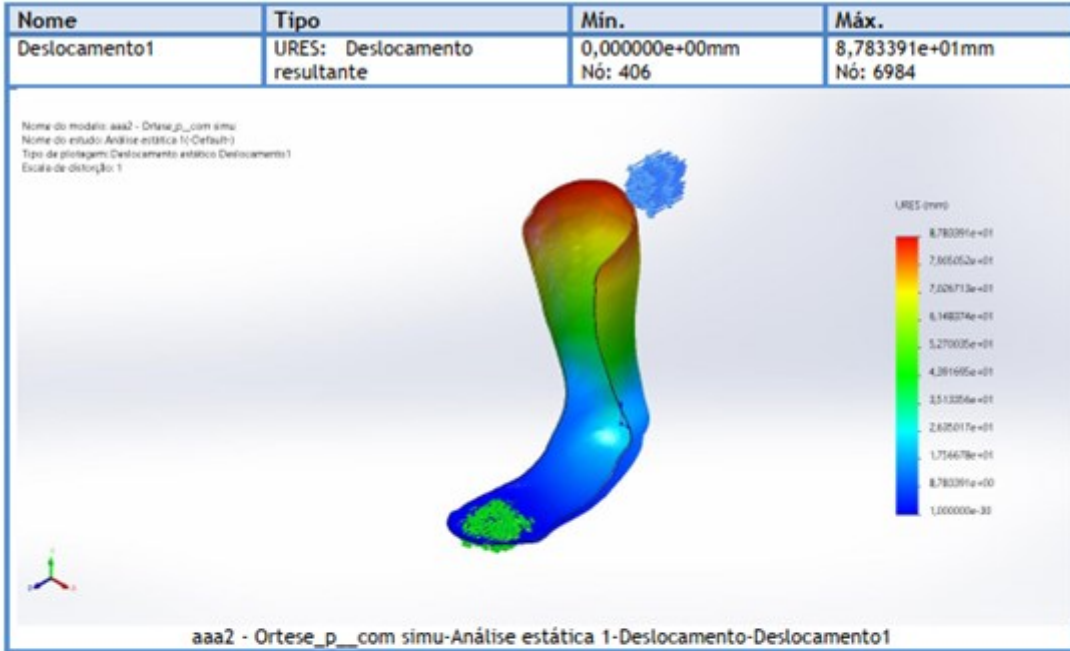
Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	0	0	0	0

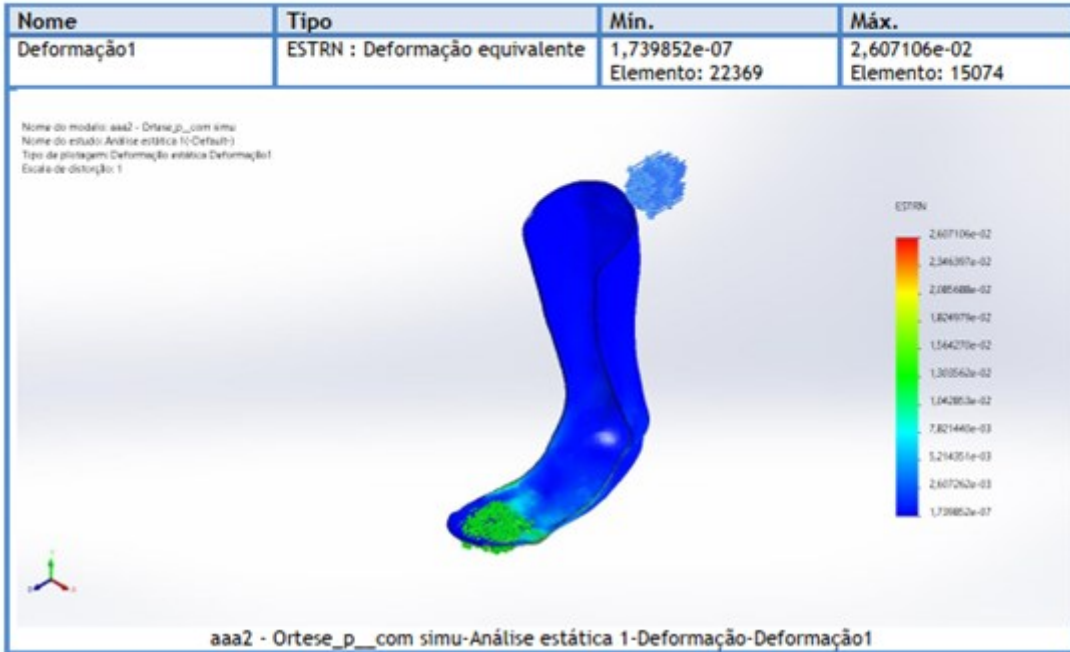
Momentos de corpo livre

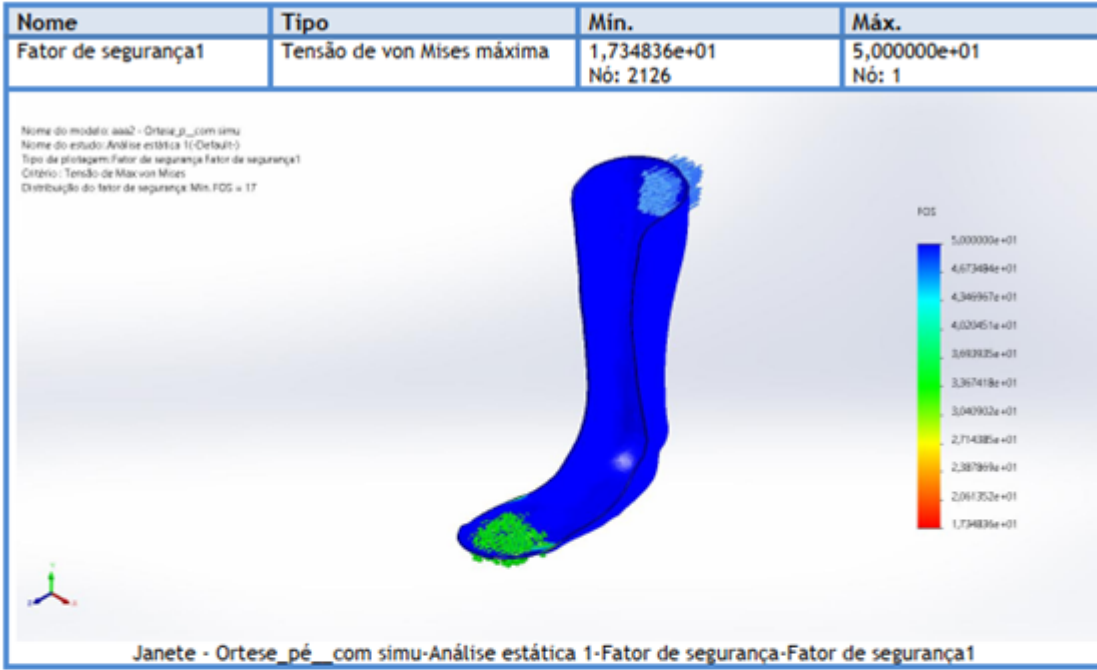
Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

Resultados do estudo









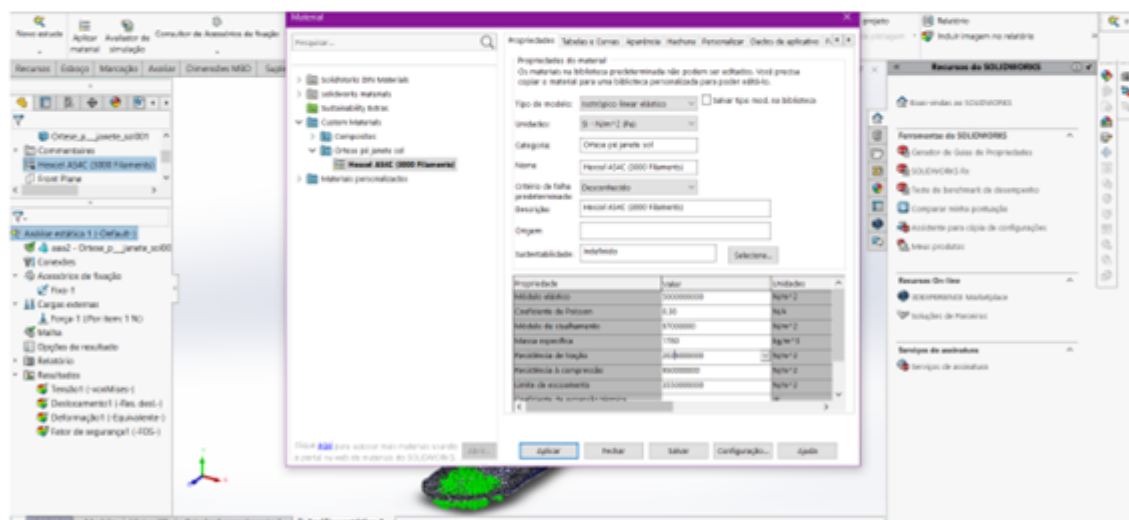
Conclusão

Dentro dos requisitos do projeto a qual o modelo foi designado a resistir em termo de cargas sob pressão temos os resultados com seu fator de segurança em aproximadamente 200% de seu valor para possível colapso da peça. Tendo como deformação em seu movimento acompanhando a biomecânica do deslocamento em passada gerando a deformação em seu ponto correto e mantendo o restante do dispositivo com deslocamento mínimo realizando o trabalho de suporte órtese mediante ao seu trabalho requerido com todas as vantagens que o material proposto tem a oferecer em suas características.

Apêndice

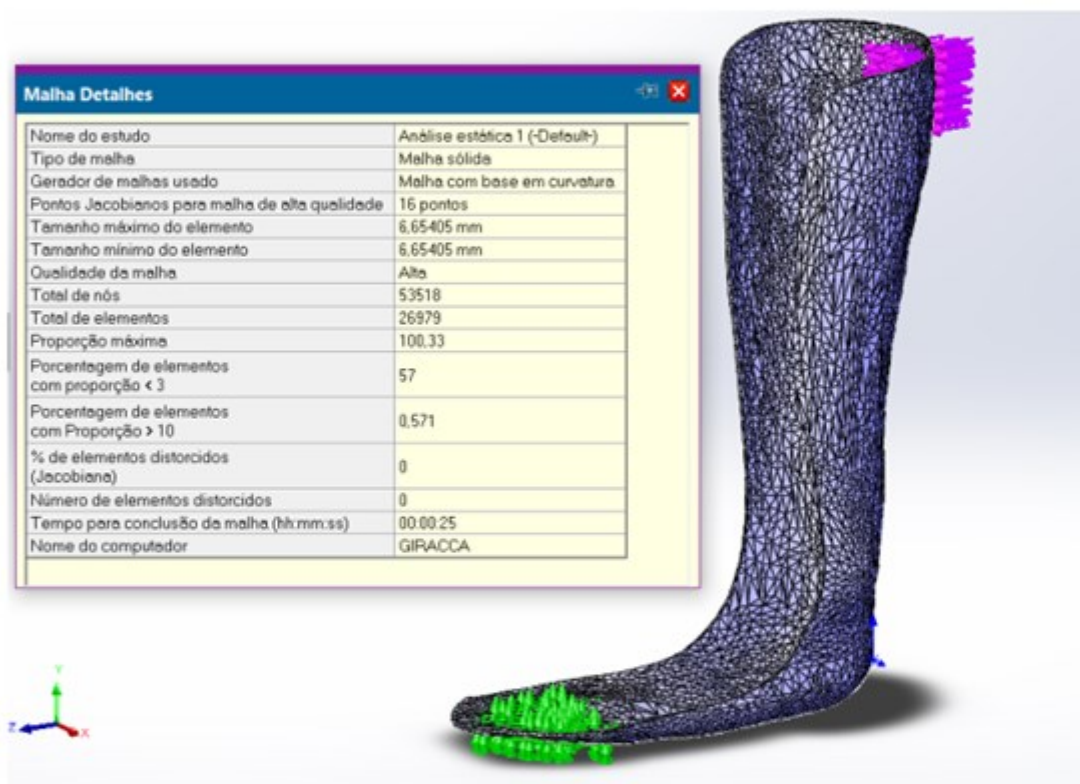
As etapas subsequentes são os passos de inserção dos dados para realizar o processo de simulação.

- Passo 1: Adicionar o material.

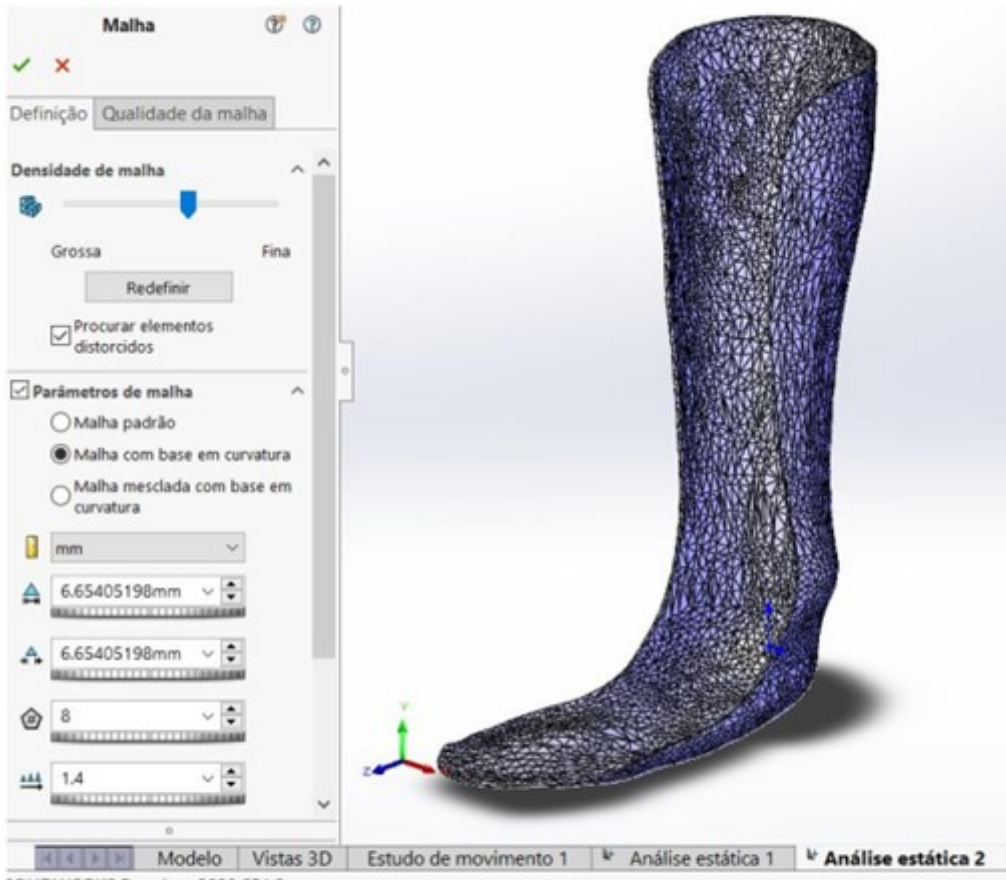


Descrever com precisão os parâmetros descritos para avaliação do material conforme dados extraídos do ensaio mecânico que valida o método de construção do compósito de fibra de carbono, desta forma a precisão de resistência em caso de falha é alta evitando o desperdício de material e tempo de trabalho com protótipos.

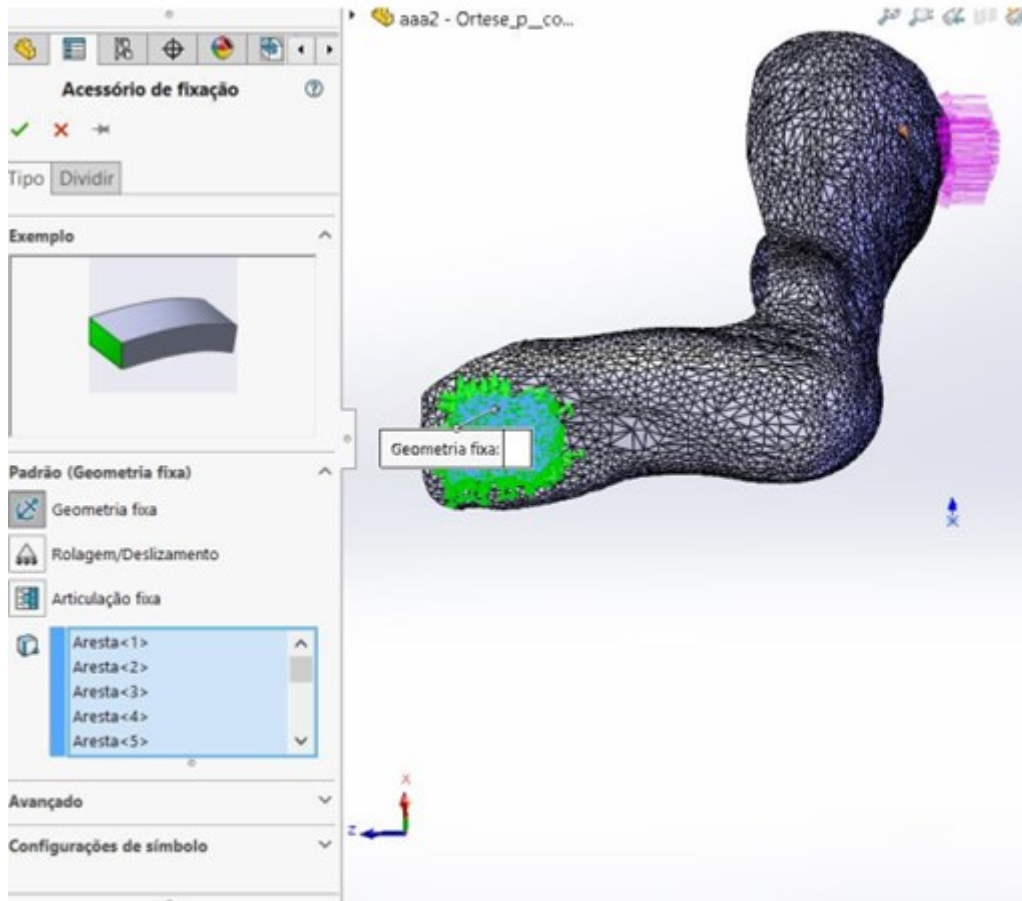
- Passo 2: Gerar a malha do dispositivo a ser simulado com a compreensão de modo FEM (*Finite element method*) FEA (*Finite Element Analysis*), Desta forma de criação da malha de seu modelo o programa interpreta a melhor forma de calcular os pontos de atuação das forças desejadas trazendo um resultado formado destes cálculos de aplicação de carga e suas respectivas resultantes.



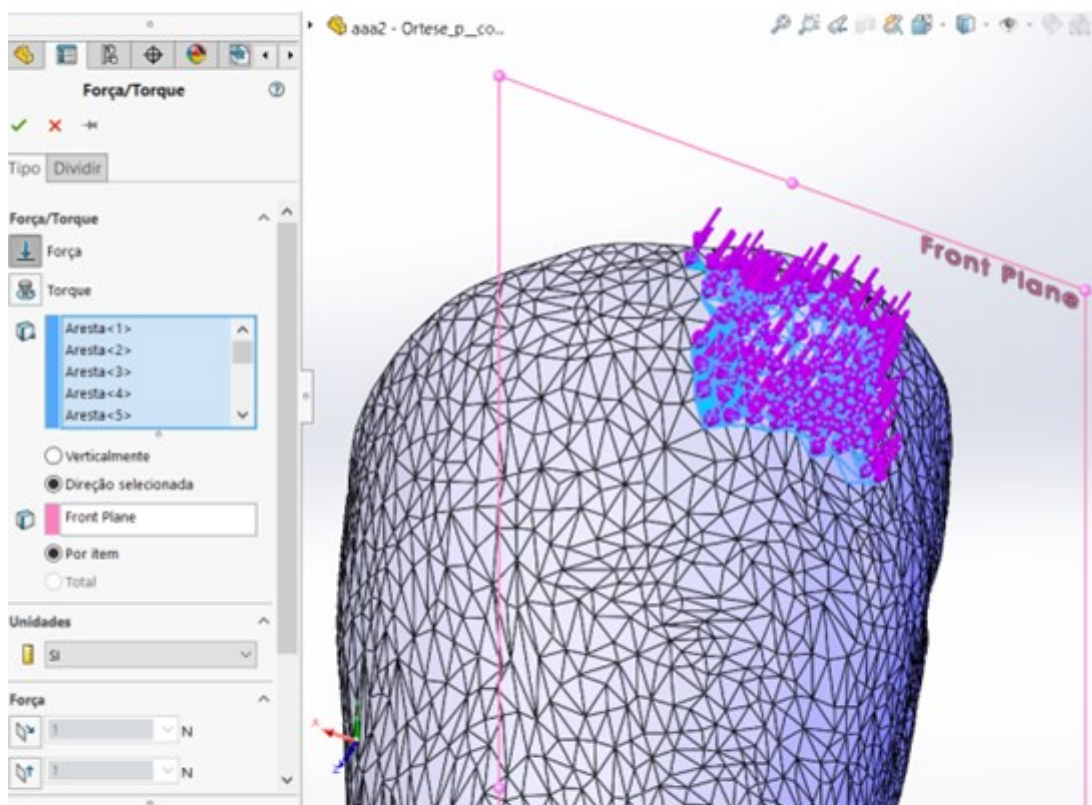
A criação da malha pode envolver fatores que venham a falhar em seu processo de criação, porém quando tratamos de dispositivos para a recuperação de movimento biomecânico os parâmetros mais recomendados de geração da malha são com opções de malha com base em curvatura, demonstrado na figura abaixo.



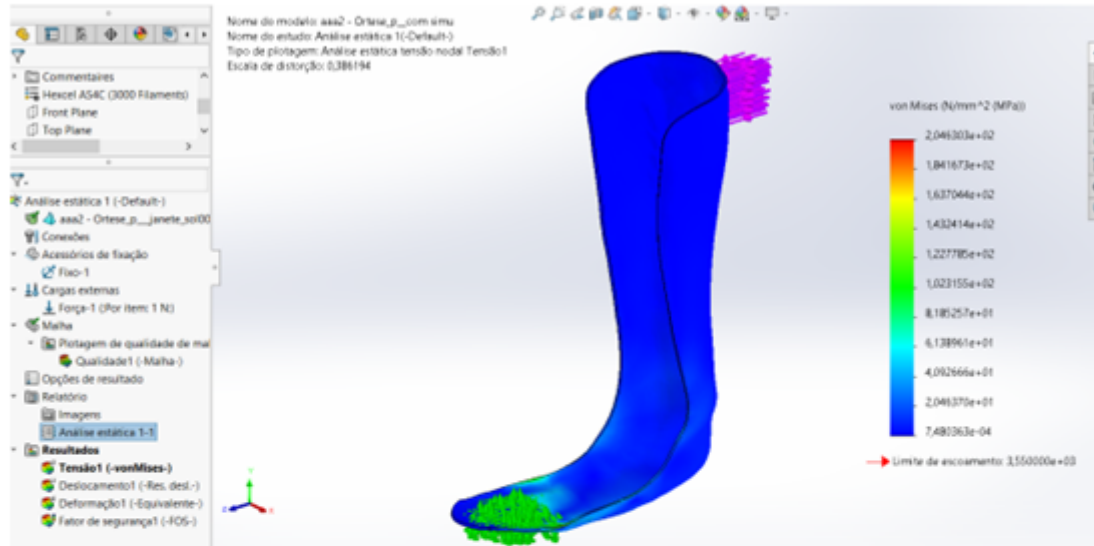
- Passo 3: Criar os acessórios de fixação para simular a parte de contato da peça com o piso na simulação de uso da passada. Na figura abaixo os itens selecionados em verde são os pontos determinados de fixação para o estudo eferente.



- **Passo 4:** Adicionar as cargas externas, neste caso uma força de pressão demonstrada na figura abaixo em azul e sua direção de trabalho em setas da cor rosa demonstram o conjunto simulando a fita de fixação representada pelas forças que poderiam ser exercidas na órtese.



-Passo 6: rodar a simulação como análise estática e gerar o relatório Subsequente de seus resultados.



▪ ANEXO B – Documento do Comitê de Ética.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC

**COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Design e Saúde: da saúde do paciente às questões da saúde do trabalhador

Pesquisador: Eugenio Andres Diaz Merino

Versão: 7

CAAE: 45555215.7.0000.0121

Instituição Proponente: Universidade Federal de Santa Catarina

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante: 120176/2017

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Informamos que o projeto Design e Saúde: da saúde do paciente às questões da saúde do trabalhador que tem como pesquisador responsável Eugenio Andres Diaz Merino, foi recebido para análise ética no CEP Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC em 10/10/2017 às 10:07.

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br