

DESENVOLVIMENTO DE CAPA PARA PRÓTESE TRANSTIBIAL IMPRESSA EM 3D

DEVELOPMENT OF A COVER FOR A 3D PRINTED TRANSTIBIAL PROSTHESIS

TORRES, Pablo Marcel de Arruda; PhD. em Design e Inovação; Unidade Acadêmica de Design – Universidade Federal de Campina Grande

pablo@design.ufcg.edu.br

MACÊDO, Haniel Pereira; Graduando em Design; Universidade Federal de Campina Grande

hanielmcd@gmail.com

SILVA, Samara Alves da; Graduanda em Design; Universidade Federal de Campina Grande

sampx29@gmail.com

FURTADO, Nyanne Silva; Graduanda em Design; Universidade Federal de Campina Grande

nyannefurtado16@gmail.com

ALVES, Matheus Ferreira; Graduando em Design; Universidade Federal de Campina Grande

matheusferreiraalves100@gmail.com

Resumo

Uma prótese é um dispositivo acoplado ao corpo humano para substituir a ausência de uma parte do corpo. No caso de uma prótese transtibial, pode-se utilizar alternativamente uma capa que dê o volume da região da panturrilha à perna amputada e funcione também como uma cobertura cosmética. Logo, o objetivo desse trabalho é descrever o processo de desenvolvimento de um novo modelo de capa para prótese transtibial capaz de ser produzido por meio de impressão 3D. Como método de projeto, utilizamos o Duplo Diamante. Foram geradas alternativas de novos modelos por meio de *mockups* construídos para auxiliar às tarefas de criação, levando a seguir à modelagem digital tridimensional. O modelo proposto de capa para prótese apresenta atributos estéticos (personalização, cores e relevos), formais (aparência anatômica), e funcionais (devolver o formato da perna e facilitar o uso pelo usuário). A Manufatura Aditiva possibilita a customização, reposição e adaptação de itens, podendo diminuir custos e tempo de fabricação.

Palavras Chave: Manufatura Aditiva; Prótese Transtibial; Tecnologia Assistiva.

Abstract

A prosthesis is a device attached to the human body to replace the absence of a part of the body. In the case of a transtibial prosthesis, a cover can alternatively be used to add volume to the calf region of the amputated leg and also function as a cosmetic covering. Therefore, the objective of this work is to describe the process of developing a new cover model for transtibial prosthesis capable of being produced through 3D printing. As a design method, we use Double Diamond. New model alternatives were generated through mockups built to assist with creation tasks, leading to three-dimensional digital modeling. The proposed prosthetic cover model presents aesthetic (personalization, colors and reliefs), formal (anatomical appearance), and functional attributes (returning the shape of the leg and facilitating use by the user). Additive Manufacturing enables the customization, replacement and adaptation of items, which can reduce costs and manufacturing time.

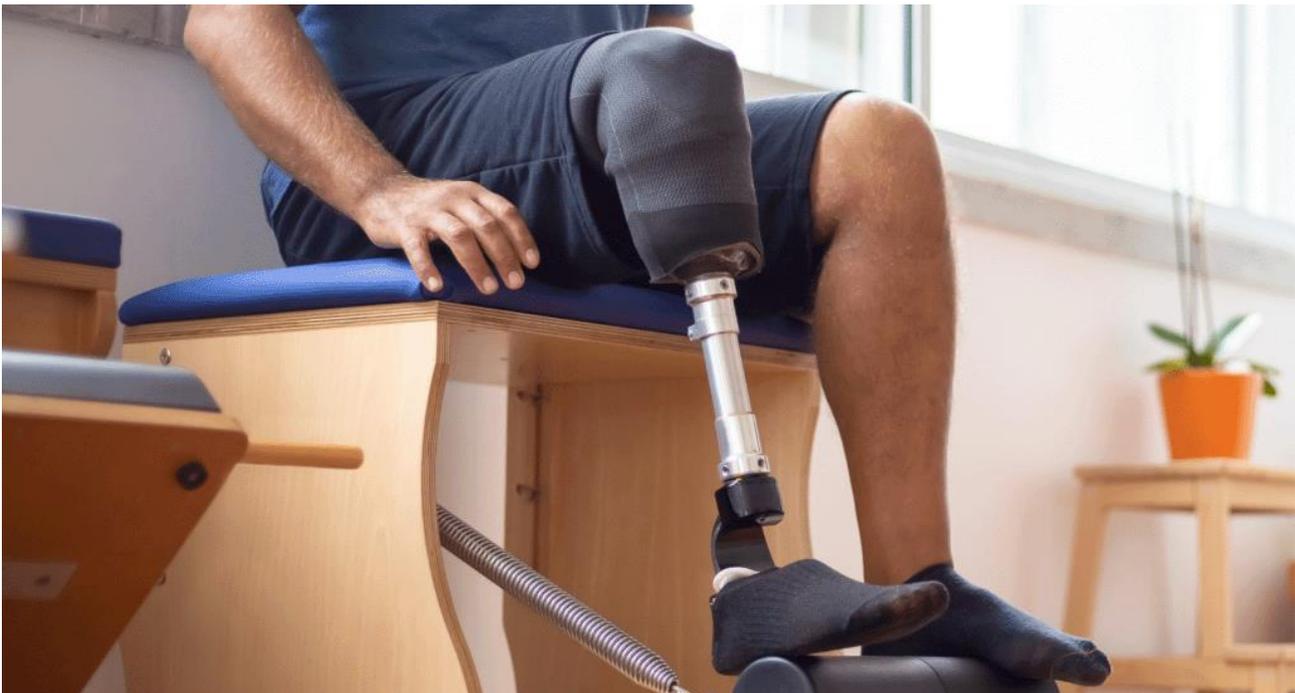
Keywords: Additive Manufacturing; Transtibial prosthesis; Assistive Technology.

1 Introdução

Uma prótese é um dispositivo acoplado ao corpo humano para substituir a ausência de uma parte do corpo, geralmente da perna ou do braço (Castaneda, 2021). De acordo com a Associação Médica Brasileira, próteses para membros superiores e inferiores são classificadas como externas ou não implantadas. O objetivo principal das próteses para reabilitação de amputados é devolver o equilíbrio fisiológico, psicológico e social do indivíduo, sobretudo nas amputações de membros inferiores que incidem diretamente no ato de andar. A prótese pode suprir necessidades motoras, emocionais e comportamentais dos indivíduos, possibilitando a eles a realização de tarefas cotidianas (Porsani, 2020).

As amputações dos membros inferiores são as mais comuns no Brasil, correspondendo a 85% (oitenta e cinco por cento) dos procedimentos. Destas, 70% são amputações transtibiais (INSS, 2017), ou seja, ocorrem entre a articulação do joelho e tornozelo, retirando parte da tíbia e fíbula, mas mantendo a articulação do joelho (Figura 1). De acordo com Campos *et al.* (2014, p. 269), “a maioria das pessoas amputadas nesse nível são capazes de participar das atividades da vida diária com grande eficiência”. Ainda de acordo com os autores, as próteses transtibiais possuem como componentes básicos: encaixe, suspensão, adaptadores e tubo, e pé modular.

Figura 1: Exemplo de prótese transtibial



Fonte: blog.lojadoamputado.com.br.

Como o tubo metálico presente nas próteses é funcional, mas tem aparência pouco natural, pode-se utilizar alternativamente uma capa para prótese, que dê o volume da região da panturrilha à perna amputada e funcione também como uma cobertura cosmética que esconda o tubo metálico da prótese (Prado e Sogabe, 2022). No caso da capa de prótese transtibial, outra de suas finalidades é proteger as próteses com amputações abaixo do joelho. Por consequência, para o desenvolvimento da capa para prótese nesse nível de amputação deve ser levado em consideração as dimensões dos componentes básicos individuais da prótese, visando um bom encaixe e funcionamento ideal.

A Manufatura Aditiva (MA, ou em língua inglesa, *Additive Manufacturing*), técnica popularmente conhecida como impressão 3D, tem emergido como uma tecnologia poderosa e flexível nas mais diversas áreas de aplicação. Mais recentemente, mostrou-se forte aliada da saúde, sobretudo na área de órteses e próteses, possibilitando soluções personalizadas e com grande precisão para os pacientes, de modo que os indivíduos possam manter certo nível de bem-estar (Azevedo *et al.*, 2018). A impressão 3D permite a geração de objetos sólidos com geometrias complexas de maneira automatizada, tendo como origem um modelo 3D digital, sem a necessidade de moldes ou de outros meios de produção (Porsani, 2020).

Assim, o objetivo desse trabalho é descrever o processo de desenvolvimento de um novo modelo de capa para prótese transtibial capaz de ser produzido por meio de impressão 3D, que visa devolver ao usuário o volume da perna, proteger o tubo da prótese e funcionar como elemento estético personalizável.

2 Manufatura Aditiva e Tecnologia Assistiva

Tecnologias Assistivas (TAs) são todos os recursos e serviços que auxiliam e expandem as habilidades funcionais de pessoas portadoras de algum nível de deficiência, visando proporcionar a autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (Porsani, 2020). A TA é uma alternativa essencial para a inclusão social, por permitir, facilitar ou compensar o desempenho nas atividades de autocuidado, trabalho, lazer, e facilitar o papel ocupacional e social do indivíduo (Who, 2015 *apud* Amaral *et al.*, 2024). A indisponibilidade de dispositivos de TA para os indivíduos que necessitam pode gerar menos oportunidades, maior necessidade de cuidadores e custos para o sistema de saúde, aumento de estresse e de incapacidades. Assim, a problemática da falta de acesso e da descontinuidade do uso dos produtos assistivos é um desafio global (Amaral *et al.*, 2024). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), mais de 2,5 bilhões de pessoas em todo o planeta precisam de um ou mais produtos assistivos, número que tende a crescer à medida que a população mundial envelhece, porém, quase um bilhão delas não têm acesso a essas tecnologias (WHO e UNICEF, 2022).

A Manufatura Aditiva (MA) pode ser definida como um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, a partir de um modelo computacional 3D originado de um sistema CAD (*Computer-Aided Design*). Essa tecnologia aditiva possibilita a confecção de peças a partir de vários tipos de materiais, em diferentes formatos e em um processo automatizado (Volpato e Carvalho, 2017). A MA possibilita construir objetos de geometrias mais complexas, camada por camada, com redução do gasto energético e do desperdício (Steenhuis e Pretorius, 2017). As técnicas utilizadas durante o processo de modelagem e impressão 3D podem contribuir significativamente para desenvolvimento de produtos em TA, que cada vez mais utilizam de ferramentas do Design de produto, visando satisfazer as necessidades dos usuários. A MA tem o potencial de melhorar a comunicação entre médicos pacientes, facilitar o acesso a tratamentos, planejamento de cirurgias, oferecendo soluções personalizadas, melhorando a qualidade de vida dos indivíduos e também abrindo novas fronteiras no cuidado médico (Encinas e Figueiredo, 2024).

O processo de impressão por filamento fundido (FDM, do inglês *Fused Deposit Modelling*) se caracteriza pela extrusão de material por um bico aquecido, depositado camada por camada. Essa tecnologia é a mais utilizada na impressão 3D devido ao seu custo relativamente baixo e a capacidade de produzir peças resistentes e com boa qualidade, utilizando materiais comerciais, como PLA, ABS, PET-G e TPU. O método de produção de uma peça com esta tecnologia se divide em três grandes etapas: (1) Modelagem tridimensional através de software CAD (*Computer-Aided*

Design); (2) Fatiamento do modelo digital 3D em finas camadas, simulação da manufatura e configuração dos parâmetros de impressão; e (3) Impressão da peça através de uma máquina controlada por computador. Dependendo da impressão, posteriormente pode ser necessário aplicar algum acabamento na superfície da peça para melhorar sua superfície.

3 Materiais e Métodos

O desafio de projeto abordado neste artigo foi definido durante as reuniões para validação e orientação, dentre as demandas relatadas pelos profissionais do Centro Especializado em Reabilitação (CER-IV), um órgão público que recebe pacientes de Campina Grande, além de outras 19 cidades da região metropolitana e outras cidades do Estado da Paraíba.

Como método de projeto, utilizamos o Duplo Diamante (*Double Diamond*), proposto pelo *Design Council* da Inglaterra e utilizado em projetos de design e inovação (Ball, 2019). Trata-se de uma representação visual de como solucionar desafios projetuais, realizando dois ciclos sucessivos, separados em quatro fases:

- **Descobrir (*Discover*):** questionamentos iniciais, buscar ideias ou inspirações, pesquisas sobre o tema, buscando entender as necessidades do usuário/mercado em relação ao problema abordado;
- **Definir (*Define*):** interpretar, avaliar, classificar, analisar os dados, identificando os desafios de design e gerando um briefing do projeto;
- **Desenvolver (*Develop*):** criar, desenvolver, repetir, testar e refinar soluções e alternativas;
- **Entregar (*Deliver*):** seleção da melhor da alternativa e refinamento, visando a prototipagem e fabricação da proposta.

No primeiro diamante, que se refere às etapas de *Descobrir* e *Definir*, foram realizados pesquisas, análises, desenvolvimento de habilidades e testes com modelagem e impressão 3D. Em seguida, o segundo diamante se iniciou com a etapa *Desenvolver*, onde ocorreu o processo de geração de alternativas através de desenhos e modelos de estudo (*mockups*) em materiais como papel, papel cartão, garrafa pet e espuma. Os *mockups* auxiliaram no desenvolvimento do modelo 3D, sendo utilizados como referência para sistemas e medidas. Os sistemas funcionais críticos do projeto, sobretudo o sistema de fechamento da capa, foram impressos, seguidos de testes e refinamento, que levaram à remodelagem e reimpressão em ciclos que se repetiram até as soluções ficarem satisfatórias. A última etapa, *Entregar*, correspondeu à validação do projeto, entrega da capa para prótese finalizada e apresentação do resultado alcançado.

Para o desenvolvimento deste projeto, os materiais e tecnologias utilizados fazem parte da estrutura do Laboratório de Manufatura Aditiva para Tecnologias Assistivas (D4H Lab) que é vinculado ao curso de Design e ao programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Campina Grande. O laboratório possui computadores e *notebooks* com configurações adequadas para a utilização de *softwares* de modelagem 3D, escaneamento e fatiamento eletrônico das peças. Em relação às impressoras 3D, o espaço conta com seis impressoras, sendo quatro do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*).

4 Desenvolvimento da Capa para Prótese Transtibial

Uma capa para Prótese Transtibial é destinada exclusivamente para amputados de membros

inferiores que utilizam prótese com nível de amputação transtibial, que tem como finalidade devolver o formato da perna e proteger a prótese do usuário. Com o objeto de estudo estabelecido, deu-se início ao processo de desenvolvimento utilizando as etapas do método *Double Diamond*.

Foram feitas pesquisas e análises, a saber: Análise Comparativa, Estrutural, Funcional e de Sistemas. Foram identificadas informações sobre morfologia, dimensões, métodos de fixação, processo de fabricação, estética e diferencial, além da adaptação ao coto (parte do membro que fica após uma amputação ou uma desarticulação). Esses dados foram apresentados às Fisioterapeutas e Terapeutas Ocupacionais, que analisaram e validaram as informações, e complementaram afirmando que os pacientes tinham a necessidade de proteção para suas próteses e insegurança referente ao formato da perna na hora de utilizar calças por exemplo, pois se sentiam desconfortáveis com o formato do coto. Esse produto poderia devolver a eles a sensação de bem estar e auxiliar na adaptação ao uso da prótese.

Assim, foram estabelecidos requisitos e parâmetros projetuais (Tabela 1), levando em consideração as características que se destacaram nas análises, bem como as recomendações das Fisioterapeutas e Terapeutas Ocupacionais do CER.

Tabela 1: Requisitos e parâmetros da capa prótese

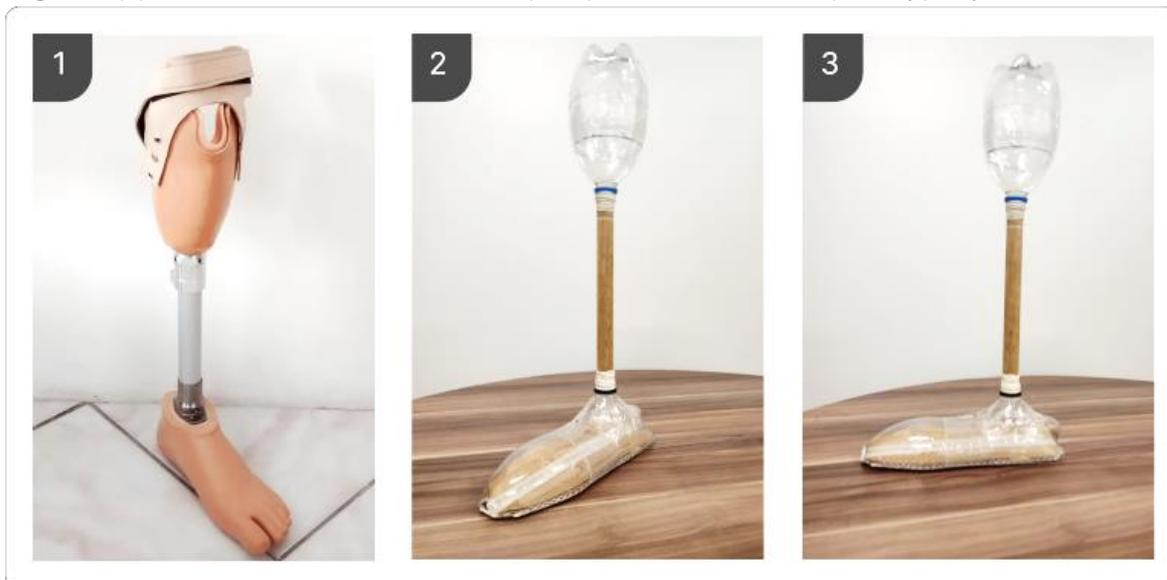
Requisitos	Parâmetros
Impresso em 3D - Resistente - Leve	Ser fabricada em Nylon ou PETG
Encaixe dinâmico	Ser dividido em 2 partes que se encaixam de maneira dinâmica por meio de corte lateral
Sistema de Junção impresso	Sistema impresso separadamente que se encaixe na capa juntando as 2 metades
Sistema de ajuste de tamanho	Possibilidade de ajuste pré impressão para economizar filamento
Superfície Personalizável	Desenhos em alto relevo na superfície da capa
Encaixe com a haste da prótese	Circunferência de no mínimo 3,2 cm de diâmetro

Fonte: autores.

Dando início à etapa *Desenvolver*, foram geradas alternativas de novos modelos para a capa prótese, bem como foram realizados testes e *mockups* foram construídos para auxiliar às tarefas de criação. A partir dos parâmetros estabelecidos, para entender melhor o projeto em nível físico e tridimensional, foram desenvolvidos três *mockups*. O primeiro foi da prótese transtibial (Figura 2), utilizando garrafa pet (representando o coto e o pé artificial), e cabo de vassoura (representando a haste da prótese), que nos deu noção das suas dimensões. Foram utilizadas medidas antropométricas para construção do modelo em escala real, e o mesmo foi utilizado como base de testes para os demais.

O segundo modelo (Figura 3) foi elaborado para estudo das possibilidades de divisão da capa, aplicado diretamente na junção presente em seu interior (representada por recortes de espuma). Recortes internos no diâmetro do cabo de vassoura que representa a haste da prótese foram realizados, e cortes partindo do meio da peça, para o estudo de possibilidades.

Figura 2: (1) Referência de Prótese Transtibial; (2 e 3) Modelo volumétrico (*mockup*) de prótese transtibial



Fonte: autores, com adaptação de adpostural.com.br.

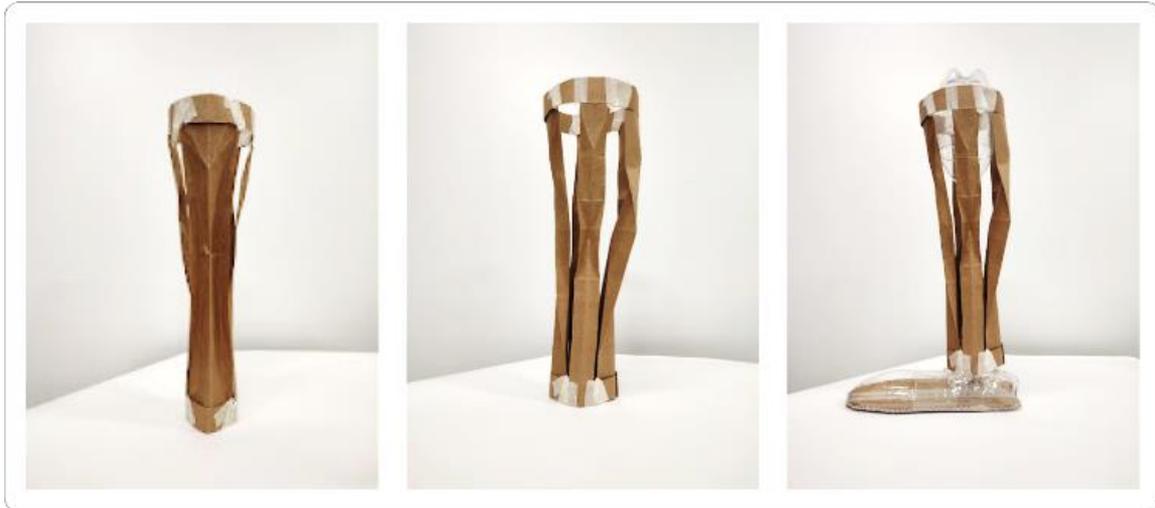
Figura 3: Modelos para testes de junção da capa à prótese



Fonte: autores.

O terceiro modelo foi feito com papel cartão (Figura 4), representando o formato da perna de modo anatômico, utilizando tiras de papel cartão dando forma à panturrilha e canela, simulando a mesma função que a capa exerce para a prótese. Para estabelecer o limite, foi utilizado uma média aproximada nas medidas antropométricas do começo da panturrilha da perna e final da canela, através de circunferências de tiras de papel cartão, e tiras largas moldadas para formar as curvas da perna.

Figura 4: *Mockup* da capa em papel cartão



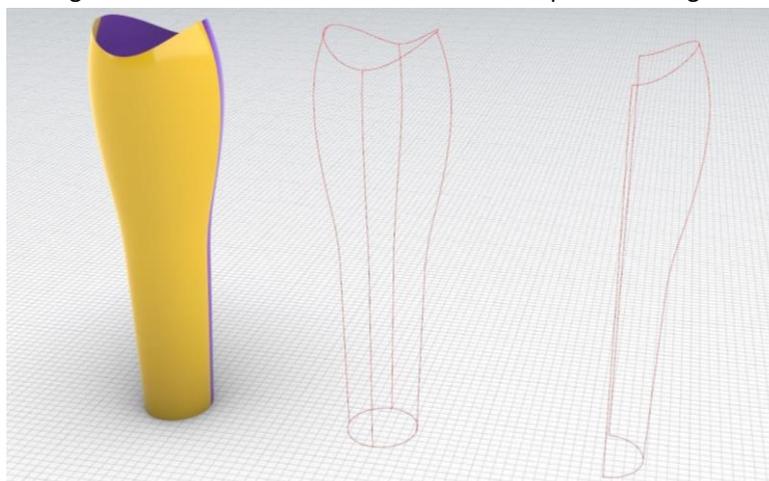
Fonte: autores.

4.1 Modelagem 3D digital

A partir dos estudos com os modelos volumétricos, partimos para a modelagem digital da capa para prótese. Primeiramente, foram extraídas as linhas de contorno que se formaram nas dobraduras do modelo volumétrico, que foram utilizadas como guia para o modelo 3D, sendo ajustadas no *software* para escala real e para um formato mais anatômico (Figura 5). A partir das linhas de construção, obtivemos a estrutura base, onde o qual foram feitos os testes de modelagem.

O tamanho da haste presente na prótese, varia em função do tamanho do coto do usuário, para abranger uma quantidade maior de próteses. Inicialmente foi aplicado um recorte na estrutura, localizado abaixo do meio da capa, assim deixando uma área maior para os distintos tamanhos de cotos, visando maior conforto para o usuário. Foi utilizado como referência os modelos estudados anteriormente, aplicando um furo de 3,1 cm de diâmetro e depois dividido em 2 partes, assim estabelecendo a necessidade de encaixes tipo macho-fêmea para junção entre ambas as partes (Figura 6). Posteriormente foram aplicados testes de cortes na divisão entre as partes frontal e posterior da capa (Figura 7), permanecendo reto o corte na junção com a haste, assim possibilitando mais segurança.

Figura 5: Linhas de contorno e estrutura base para modelagem



Fonte: autores

Figura 6: Recorte da estrutura e junção com a haste



Fonte: autores.

Figura 7: Testes de na divisão entre as partes frontal e posterior da capa



Fonte: autores.

Foram elaborados também diversos tipos de desenhos aplicados em alto relevo, por meio de linhas projetadas na superfície da capa, e posteriormente transformadas em fios com espessura de 1,5 mm (Figura 8). Isto possibilita ao usuário escolher o melhor desenho, o que, aliado às diversas possibilidades de cores com a qual a capa pode ser impressa (podendo variar inclusive na coloração da parte frontal e posterior), oferece uma enorme gama de combinações e opções de personalização.

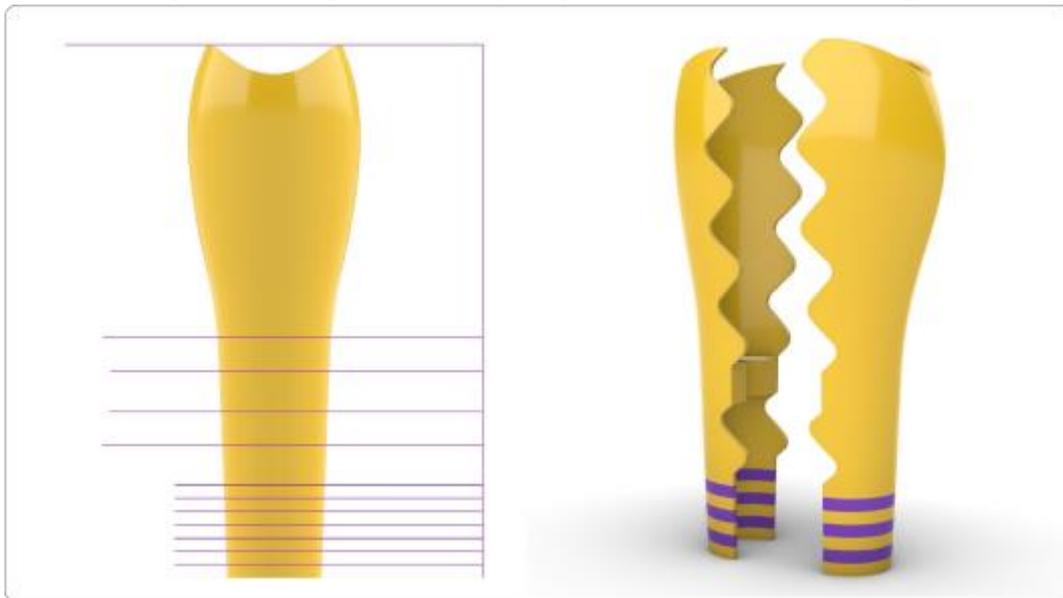
Ainda no modelo digital, desenvolvemos um sistema simples para ajuste de tamanho, dado que próteses não são padrão industrial e variam de paciente para paciente. Como a medida total da capa é de 40 cm de altura, (média antropométrica da área conjunta da panturrilha e canela, comumente utilizada nas capas), foi estabelecida a área de ajuste de tamanho na base da capa, aplicando recortes de 1 cm na altura da base até 6 cm, possibilitando a redução da capa até a medida de 34cm de altura, a depender do usuário (Figura 9). Com isso, o recorte da base e ajuste de altura da capa pode ser editado ainda no arquivo digital, antes da sua impressão.

Figura 8: Simulações de desenhos de relevos aplicados à superfície da capa e possíveis cores



Fonte: autores.

Figura 9: Linhas guia e recortes para ajuste de tamanho no modelo digital



Fonte: autores.

4.2 Sistema de fixação das partes da capa

Para que a capa possa ser presa à prótese de forma segura e sem risco de desencaixar com o uso cotidiano, se fez necessário também projetar um sistema que fixasse as partes frontal e posterior. A intenção sempre foi de fazer com que esse sistema de fixação também pudesse ser impresso em 3D, de modo a facilitar a produção e dispensar o uso de implementos externos. Para isso, foram pesquisados diversos sistemas de fixação, na busca do que melhor se adequasse ao projeto, juntando as duas faces da capa, visando a facilidade de travamento e com uma estética condizente a da capa.

O primeiro sistema desenvolvido foi chamado de junção-cancela, que simula uma cancela segurando as 2 partes da capa, inspirado num fecho de vasilha plástica doméstica (Figura 10). O funcionamento seria através de 3 furos na superfície da capa, com possibilidade de rotação em 180.

Para testar o sistema, realizamos uma prototipagem focalizada, onde foi impresso somente um recorte específico de área da capa e do sistema de junção, sendo necessário a aplicação de deformação por calor utilizando soprador térmico para testar a funcionalidade no formato oval da superfície da capa. No teste, foi observado que o sistema era difícil de prender as partes, por ser mecanicamente instável, o que poderia causar desconforto ao usuário durante a utilização.

O segundo sistema chamamos de junção interna, que tinha como foco uma junção de maneira disfarçada, localizada no interior das partes da capa (Figura 11). Essa alternativa tinha como objetivo se aproveitar das formas presentes no corte da separação de partes da capa, para realizar a junção por meio de encaixe, no formato do corte fluido. Durante o teste de impressão em escala real, houve um erro devido à complexidade do formato da peça, além do encaixe ficar com uma camada fina de aproximadamente 13 mm, quebrando com facilidade com qualquer impacto.

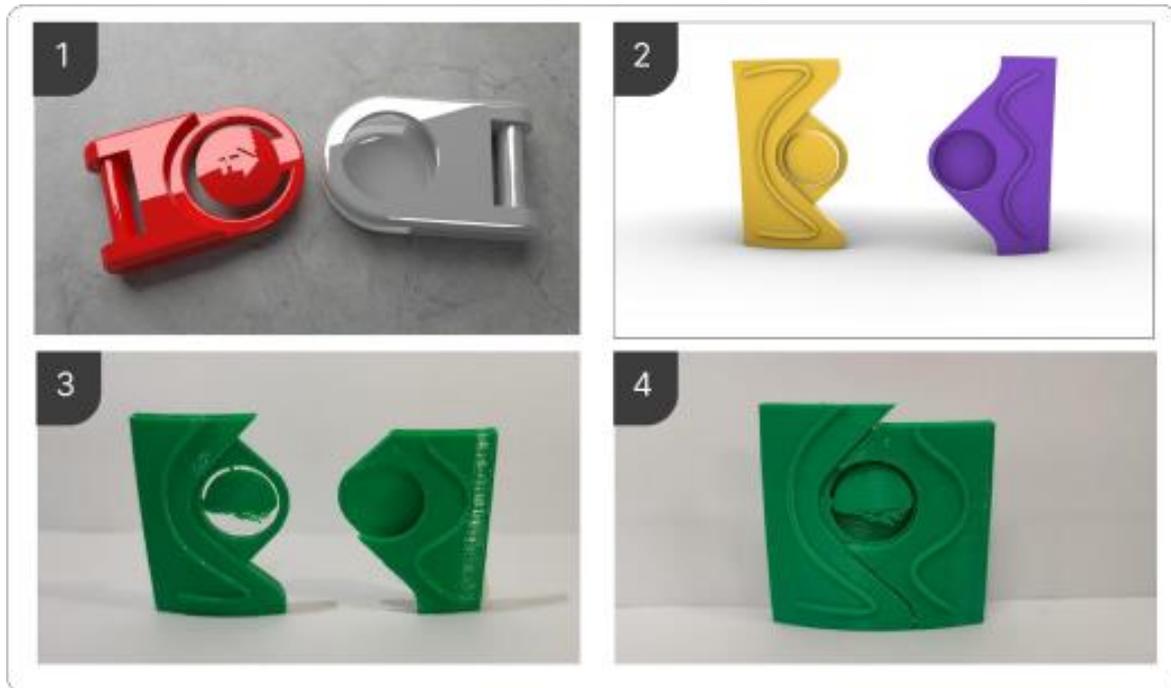
O terceiro sistema chamamos de trava de alternância, inspirado em uma fivela (Figura 12). Esse modelo foi desenvolvido para junção entre superfícies diferentes tendo suas partes acopladas em lados opostos das peças a serem juntadas. Essa trava é dividida em quatro partes, sendo duas partes que dão sustentação, fundidas permanentemente em lados opostos da capa, e outras duas travas, impressas separadamente e encaixadas posteriormente. Para o teste de impressão, foi selecionado um recorte maior da superfície lateral da capa com a área da junção. A impressão teve bom resultado e ao encaixar as peças de trava, elas apresentaram um bom funcionamento. Assim, por apresentar o melhor resultado nos testes de impressão e uso, o sistema trava de alternância foi selecionado como definitivo para o produto

Figura 10: (1) Modelo de referência / 2 Modelagem digital do sistema junção-cancela / 3 e 4 Sistema impresso em 3D



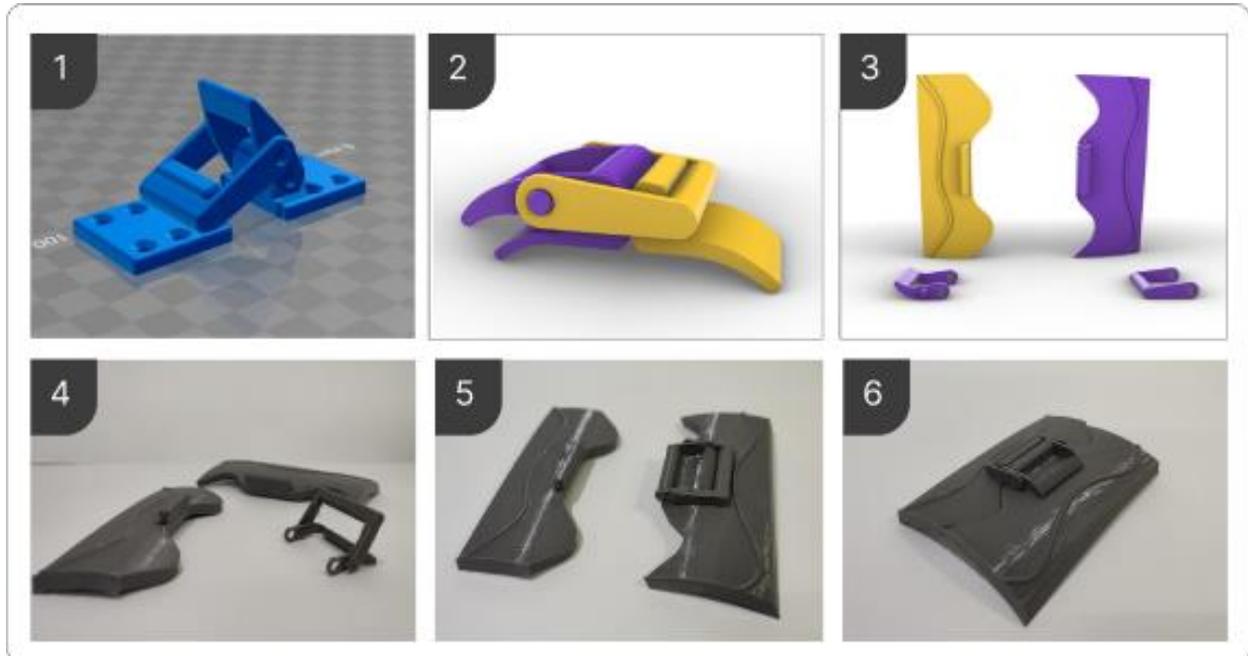
Fonte: autores.

Figura 11: (1) Modelo de referência / 2 Modelagem digital do sistema junção interna / 3 e 4 Sistema impresso em 3D



Fonte: autores.

Figura 12: (1) Modelo de referência / 2 Modelagem digital do sistema trava de alternância / 3 a 6 Sistema impresso



Fonte: autores.

4.3 Testes de impressão

Após o desenvolvimento dos modelos digitais da capa e do sistema de junção, foi possível fazer a impressão do modelo por completo. O tamanho da peça, removendo 3 camadas bases para testar a funcionalidade de ajuste de tamanho, e a escala (reduzida em 1:2) foram ajustados para impressão do primeiro protótipo (Figura 13). Foi possível observar alguns erros de alinhamento no modelo, posteriormente corrigidos na versão digital, e devido ao redimensionamento para

impressão em escala, o sistema de junção apresentou fragilidade, porém já tínhamos observado que o sistema funcionou em escala real. Depois de realizados os refinamentos e correções, foram realizados mais 2 testes de impressão, desta feita imprimindo as partes frontal e posterior separadamente e em cores diferentes (Figura 14). Visando uma melhor acomodação ao coto, também foram aplicados o arredondamento das bordas de cima, para não causar desconforto ao usuário, e o redimensionamento e reposicionamento dos pinos de ligação entre partes da capa.

Figura 13: Primeira impressão, em escala reduzida



Fonte: autores.

Figura 14: Teste de impressão com partes em cores diferentes



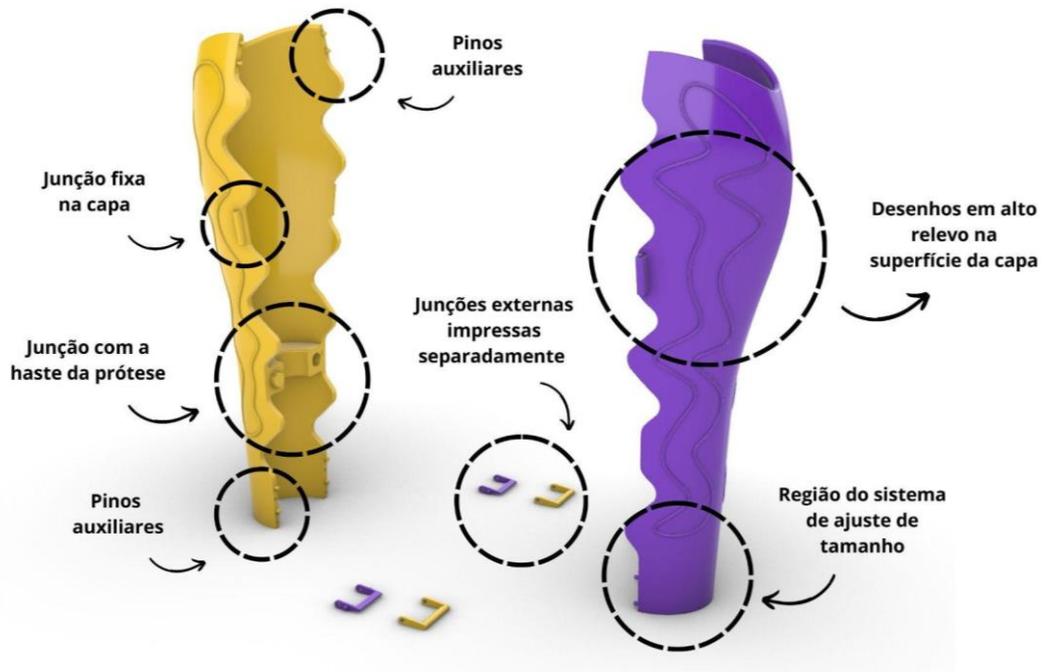
Fonte: autores.

5 Resultados e discussões

A capa possui pinos internos auxiliares do tipo macho e fêmea, dispostos em sentidos opostos para auxiliar na fixação, que são mais largos na junção com a haste, trazendo mais fixação para aquela região, assim como o sistema de junção por trava de alternância, que possibilita uma boa fixação entre as partes (Figura 15). A trava também é de fácil reposição, podendo ser reimpressa caso venha a quebrar ou alternância de cores do mesmo. Quanto à dimensão do produto, a capa para prótese apresenta uma altura média de 40 cm. Visando sua adaptação a diferentes tamanhos de próteses, foi aplicado o sistema de ajuste de tamanho com possibilidade de redução de tamanho

de até 6cm no modelo digital, chegando até 34cm de altura a depender do tamanho da prótese do futuro usuário.

Figura 15: Detalhamento das partes da capa para prótese

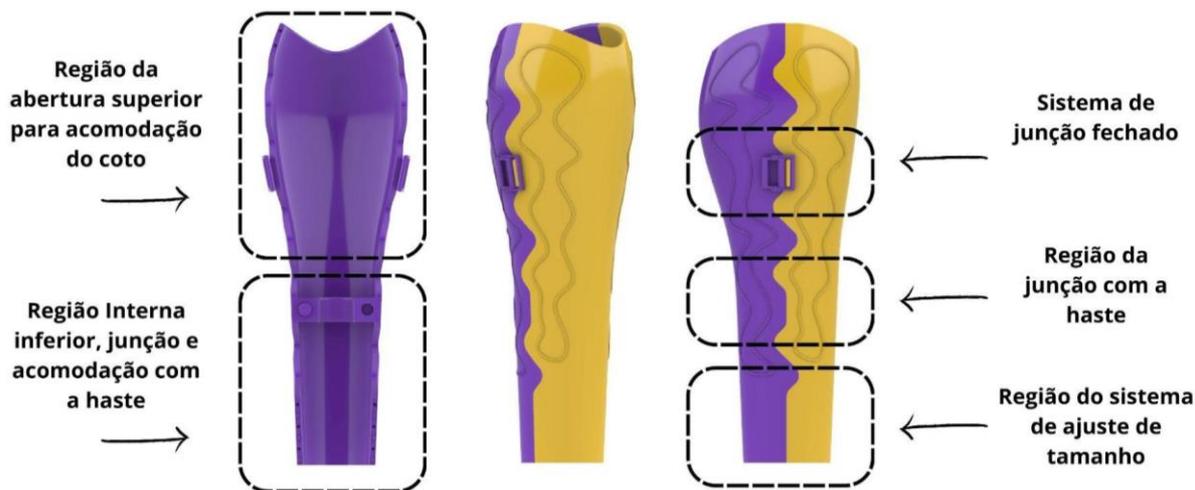


Fonte: autores.

Em relação ao seu sistema de funcionamento, o encaixe é possível através do corte lateral que separa a capa em 2 partes (frontal e posterior), para acomodar o coto do usuário em seu interior. A capa conta com uma abertura superior mais larga, que vai afunilando para parte inferior, remetendo a um design anatômico, similar ao da perna. A região interna inferior apresenta a junção por encaixe, que possui o corte circular visando o encaixe e acomodação com a haste da prótese. Os desenhos em alto relevo têm um design sutil na transição para as áreas do sistema de junção e o sistema de ajuste de tamanho (Figura 16). O sistema de ajuste de tamanho permite o corte digital da capa, se adequando à dimensão da perna do usuário ainda antes de ser impresso.

Ao final, a capa cumpre com os objetivos pré-estabelecidos de proteger a prótese, criar volume para a perna amputada e ser um acessório estético para o usuário (Figura 17).

Figura 16: Partes da capa prótese



Fonte: autores.

Figura 17: Aplicação da capa sobre a prótese transtibial



Fonte: autores.

6 Conclusão

Ao final, foi possível alcançar o objetivo principal de se projetar uma capa para prótese de membro inferior, do tipo transtibial, capaz de ser produzida por meio de impressão 3D. O projeto cumpriu com os requisitos e parâmetros definidos na parte de análise. O modelo gerado de capa para prótese, resultante da pesquisa, apresenta atributos estéticos (personalização, cores e relevos), formais (proporção e aparência anatômica), e funcionais (devolver o formato natural da perna e possibilitar o uso fácil e independente pelo usuário). A capa pode ser inteiramente impressa em 3D, com apenas um único material, além de possuir ajuste de tamanho antes do processo de fabricação, evitando desperdício de material. Ainda com relação ao material, sugerimos a impressão em nylon, um material mais resistente e adequado, além da configuração de parâmetros

de impressão que resultem em um produto resistente a impactos, mas que ao mesmo tempo seja leve (o usuário já tem que lidar com o peso da prótese, a capa não pode adicionar mais carga e esforço às suas atividades).

Foi possível perceber que nesse caso em particular, a representação do produto por meio de modelos foi o método criativo utilizado, sem explorar muito os desenhos (mais comum). Isso se deu sobretudo por se tratar de um projeto em que as características tridimensionais do produto eram mais evidentes, o que nos levou logo para a criação de *mockups*.

A utilização da Manufatura Aditiva na área da saúde possibilita a customização, fácil reposição e adaptação de itens, podendo diminuir custos e tempo de fabricação. No caso do presente projeto, é importante a produção de TA's que não somente sejam funcionais, mas que elementos estéticos e simbólicos do produto possam contribuir com a aceitação/adaptação do usuário ao uso da prótese transtibial.

Com o modelo impresso, foi possível identificar algumas características que poderiam ser melhoradas para o modelo final, tais quais:

- Acomodação do Coto - Encaixe: O coto transtibial geralmente é formado pela panturrilha e o início da canela, podendo variar de comprimento e espessura, a depender do usuário. A circunferência da borda superior da capa pode apresentar desconforto para alguns usuários, devido à variedade de tamanhos possíveis. Portanto, para abranger uma quantidade maior de próteses de usuários há duas possíveis soluções: produzir variações da capa prótese com diferenças de tamanho de 2 cm entre elas, assim aumentando as dimensões do produto por completo; ou utilizar uma programação paramétrica em *software* de modelagem tridimensional digital para o modelo para se adequar ao tamanho ideal da amputação do usuário, assim abrangendo a utilização do produto por mais usuários;
- Acomodação do coto - Temperatura: Para proteção e conforto do coto do usuário no encaixe da prótese transtibial, geralmente se usa encaixe em espuma de polietileno maleável, também utilizadas como alternativa para aumentar o volume do coto e possibilitando o encaixe da prótese. A dúvida nesse ponto é a necessidade de algum método de resfriamento para a temperatura dentro da capa da prótese, tendo em vista que ela é toda vedada, sendo preciso verificar se essa característica incomodaria o usuário;
- Encaixe da haste: Para o encaixe foi utilizada uma média da dimensão da haste, para o recorte presente na junção da capa, de aproximadamente 3,1 cm. Por conta da variedade de tamanhos de cotos, posteriormente foi percebido que esse tamanho e posição podem variar. Assim, a realização de mais testes com o modelo em escala real poderá validar se o encaixe na altura em que ele está é adequado para os usuários de prótese transtibial, ou será necessário realizar modificações também nessa parte da capa;
- Abertura da capa para prótese: O encaixe e desencaixe da capa com a prótese por meio da trava de alternância foi pensado para permitir que o usuário manipulasse as duas travas presentes nas laterais da capa com somente uma das mãos, de modo que fosse independente da ajuda de outras pessoas. O teste com usuário através de um modelo em escala real possibilitará a validação de funcionamento desse sistema na prática, além de poder verificar se a altura dessas travas está acessível e confortável para o paciente.

Por fim, há a necessidade da realização de testes com a capa para prótese diretamente com o paciente final, visto que a presente pesquisa teve sua primeira etapa focada no desenvolvimento tecnológico e produtivo da capa. Entretanto, ainda que nessa fase preliminar, os resultados foram

apresentados aos profissionais do Centro Especializado em Reabilitação (CER), que se mostraram satisfeitos com os resultados alcançados neste projeto. Logo, a próxima etapa do projeto consiste em adaptar, produzir, entregar e verificar como a capa para prótese funcionará no cotidiano de pacientes reais.

Referências

AMARAL, D.; MERINO, G.; CABRAL, A.K.; MENEZES, D. **Serviço de Tecnologia Assistiva: revisão integrativa sobre modelos e boas práticas**. In: DOMENECH, S.C. (org.). Anais do 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva. Florianópolis: Editora Udesc, 2024.

AZEVEDO, L.G.C.; BAÍA JUNIOR, L.O.S.; OLIVEIRA, M.S.; AMORIM, N.D.M.; COUTINHO, K.D.; NAGEM, D.A.P.; GUERRA NETO, C.L.B.G.; HÉKIS, H.R.; VALENTIM, R.A.M. **Órteses e próteses aplicadas à tecnologia 3D na saúde: uma revisão sistemática**. In: Tecnologia 3D na Saúde: uma visão sobre Órteses e Próteses, Tecnologias Assistivas e Modelagem 3D. COUTINHO, K.D. *et al.* (org.). Natal: SEDIS-UFRN, 2018.

BALL, J. **The Double Diamond**: A universally accepted depiction of the design process. Design Council. 2019. Disponível em: <<https://www.designcouncil.org.uk/our-work/news-opinion/double-diamond-universally-accepted-depiction-design-process/>>. Acesso em: 22 de maio de 2024.

CASTANEDA, L. **Próteses de membros superiores e inferiores: indicações e confecção**. In: Atenção à pessoa com deficiência I: transtornos do espectro do autismo, Síndrome de Down, pessoa idosa com deficiência, pessoa amputada e órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção. Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção. São Luís: UNA-SUS; UFMA, 2021.

ENCINAS, R.S.; FIGUEIREDO, L.F. **A importância da manufatura aditiva para fabricação de próteses de membros: um panorama sobre a aplicação**. In: DOMENECH, S.C. (org.). Anais do 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva. Florianópolis: Editora Udesc, 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDADE SOCIAL (INSS). **Manual técnico de prescrição de órteses, próteses ortopédicas não implantáveis e meios auxiliares de locomoção**: Diretrizes para a perícia médica. INSS: Brasília, 2017.

PORSANI, R. N. **Avaliação do design na experiência emocional do usuário por meio da produção de carengens customizáveis para próteses transtibiais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. FAAC: Bauru, 2020.

PRADO, V. M.; SOGABE, M.T. **Impressão 3D no desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva**: contribuições do design. *Projética*, Londrina, v. 13, n. 1, p. 15-35, 2022.

STEENHUIS, H.J., PRETORIUS, L. **The additive manufacturing innovation: a range of implications**. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vl. 28, n. 1, p. 122-143, 2017.

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D**. In: VOLPATO, N. (org.). *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Blucher, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO); UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). **Global report on assistive technology**. World Health Organization, 2022. Disponível em: <<https://iris.who.int/handle/10665/354357>>. Acesso em: 25 abr 2024.