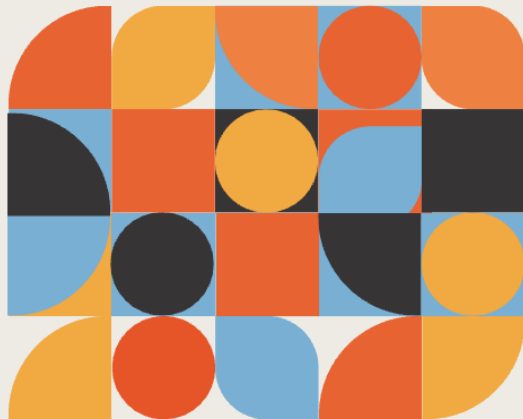




DESIGN DE LINER ORTOPÉDICO COM TECNOLOGIAS DIGITAIS DO DESIGN DE MODA: ESTUDO DE CASO

Orthopedic Liner Design with Digital Technologies from Fashion Design: A Case Study

Silva, Anabelle C. C.; Graduanda; Universidade Tecnológica Federal do Paraná, anabelle1711@gmail.com¹

Gonçalves, Afonso; Mestre; Fibrenamics, Institute of Innovation on Fiber-based Materials and Composites, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal, afonsogoncalves@fibrenamics.com²

Pires, Gisely A.; Doutora; Universidade Tecnológica Federal do Paraná, giselypires@professores.utfpr.edu.br³

Arruda, Luisa M.; Doutora; Fibrenamics, Institute of Innovation on Fiber-based Materials and Composites, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal, luisa.arruda@fibrenamics.com⁴

Resumo: Este estudo propõe desenvolver e validar uma metodologia em design ortopédico, a partir de ferramentas do design de moda, para criar um protótipo personalizado de *liner* para amputados transtibiais. Integra tecnologias como digitalização 3D, modelação tridimensional, simulação no *CLO 3D* e manufatura aditiva em material biocompatível. A abordagem evidencia o potencial científico do design de moda como campo transdisciplinar, promovendo soluções funcionais e personalizadas. Os resultados demonstram melhorias na funcionalidade, personalização, e no conforto.

Palavras-chave: *CLO 3D*; Personalização; Modelagem digital; Design ortopédico.

Abstract: This study proposes the development and validation of a methodology in orthopedic design, based on fashion design tools, to create a personalized liner prototype for transtibial amputees. It integrates technologies such as 3D scanning, three-dimensional modeling, simulation in *CLO 3D*, and additive manufacturing using biocompatible material. The approach highlights the scientific potential of fashion design as a transdisciplinary field, promoting functional and customized solutions. The results demonstrate improvements in functionality, personalization, and comfort.

Keywords: *CLO 3D*; Personalisation; Digital modeling; Orthopedic design.

Introdução

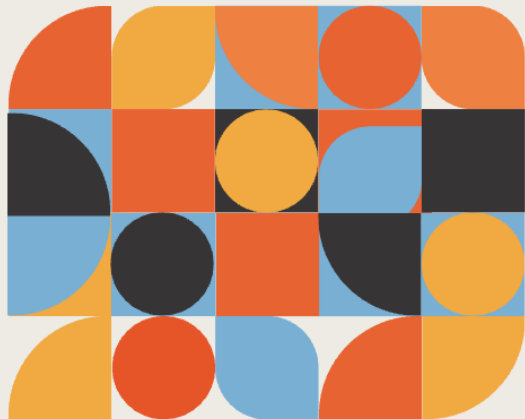
¹ Minicurrículo do primeiro autor, máximo 3 linhas

² Minicurrículo do segundo autor (quando houver), máximo 3 linhas

³ Minicurrículo do terceiro autor (quando houver), máximo 3 linhas

⁴ Minicurrículo do quarto autor (quando houver), máximo 3 linhas





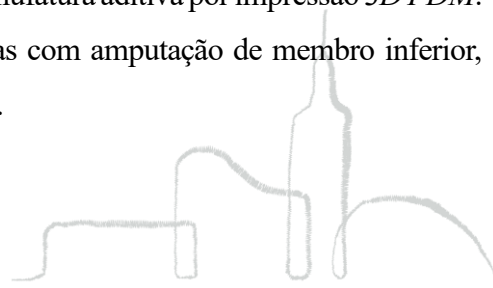
O presente trabalho concentra-se no estudo de tecnologias computacionais avançadas aplicadas ao design de Moda, com foco na criação e fabricação de dispositivos ortopédicos personalizados para pessoas amputadas de membro inferior, especificamente, o *liner*. De acordo com a norma ISO 13405-2:2015, que trata dos dispositivos auxiliares utilizados em próteses para membros inferiores, e com a RDC nº 185/2001 da ANVISA, o *liner* — uma manga flexível de silicone, poliuretano ou elastômero termoplástico colocada diretamente sobre o coto — deve cumprir requisitos de desempenho biomecânico, segurança e compatibilidade com tecidos humanos, sendo considerado parte integrante do sistema protético.

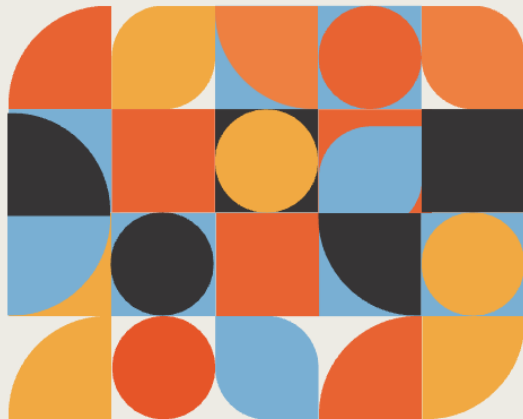
Neste estudo, o objetivo principal é investigar soluções inovadoras que contribuam para o aprimoramento do conforto, da adaptação anatômica e da funcionalidade dos *liners* ortopédicos, atendendo às necessidades específicas dos usuários. A metodologia adotada consiste em um estudo de caso que integra o escaneamento 3D do membro residual, modelagem digital (CAD) para otimização do design, simulação da usabilidade através do *software CLO 3D* (Fit, análise de movimento, mapas de pressão) e manufatura aditiva por impressão 3D através da técnica *FDM (Fused Deposition Modelling)*, utilizando filamentos flexíveis e biocompatíveis.

O referencial teórico fundamenta-se em literatura recente sobre fabricação digital personalizada, inovação em dispositivos médicos e avanços em manufatura aditiva (Fardan et al., 2023, p. 26; Franco, 2021, p. 25; Arruda et al., 2019, p. 18). Assim como, investiga o impacto do design ergonômico em vestuário inteligente, aplicado ao desenvolvimento de dispositivos médicos, utilizando a simulação tridimensional através do *software CLO 3D* (Boldt et al., 2020, p. 33). Dessa forma, o trabalho busca contribuir para o avanço do design ortopédico personalizado, destacando o impacto das tecnologias digitais na eficiência, precisão e personalização de próteses ortopédicas (Koerner, 2021, p. 40; Takahashi; Kim, 2019, p. 22; Wang; Hu, 2014, p. 1605).

Objetivos

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um protótipo funcional de *liner* ortopédico personalizado, utilizando tecnologias avançadas de escaneamento 3D, modelagem digital e manufatura aditiva por impressão 3D *FDM*. A proposta visa atender às especificidades anatômicas e funcionais de pessoas com amputação de membro inferior, otimizando o conforto, a ventilação e a adaptação do *liner* ao membro residual.





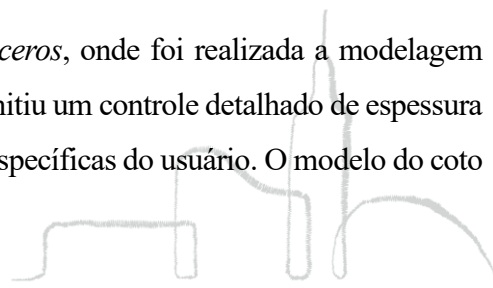
Para alcançar esse objetivo, o estudo contempla as seguintes etapas: o mapeamento das principais demandas e desconfortos relatados por usuários de próteses por meio de inquérito estruturado; a modelação do membro residual através do molde de gesso; a digitalização tridimensional precisa do molde com o objetivo de obter um modelo anatômico fiel; o projeto do *liner* em *software* CAD, incorporando metaestruturas otimizadas para conforto e funcionalidade; a fabricação do protótipo com filamentos flexíveis e biocompatíveis, e, por fim, a realização de testes para avaliar parâmetros como conforto térmico, ventilação, vestibilidade e adaptação funcional ao corpo do usuário.

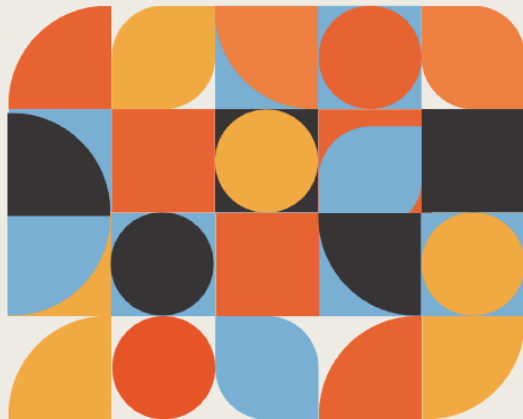
Metodologia

A pesquisa adotou uma abordagem interdisciplinar, integrando tecnologias de engenharia digital com princípios de design centrado no usuário. O estudo de caso foi conduzido com Francisco Cazarin, homem de 69 anos, com amputação transtibial e usuário de prótese há mais de 20 anos, proporcionando uma perspectiva aprofundada e experiente sobre o uso de *liners* ortopédicos. O processo teve início com a coleta de dados qualitativos e quantitativos junto a usuários de próteses transtibiais, por meio da aplicação de um inquérito estruturado, com o objetivo de identificar padrões de desconforto, limitações no uso e expectativas quanto ao desempenho dos *liners* enquanto interface entre o coto e a prótese. O instrumento utilizado para a coleta de dados encontra-se disponível em anexo ao final deste trabalho.

Para a etapa de digitalização anatômica, foi realizado um molde em gesso do membro residual de Francisco Cazarin, o que garantiu maior fidelidade ao modelo anatômico, especialmente considerando que a etapa principal da pesquisa foi conduzida em Portugal, na Fibrenamics, empresa com sede na Universidade do Minho em Guimarães. A partir desse molde físico, foi possível gerar um modelo preciso para digitalização tridimensional. Para isso, utilizou-se o *Transcan C – Professional Desktop 3D Scanner*, um scanner de alta precisão que permitiu a captura detalhada da morfologia do membro residual. O modelo 3D bruto obtido foi posteriormente submetido a um processo de retopologia, fundamental para reorganizar a malha digital e otimizar sua estrutura, garantindo que o arquivo pudesse ser manipulado eficientemente em *softwares* de simulação, como o *CLO 3D*. Sem essa etapa, a complexidade e irregularidades do escaneamento dificultariam o uso do modelo em análises digitais.

Após a retopologia, o modelo foi importado para o *software Rhinoceros*, onde foi realizada a modelagem personalizada do *liner* com base na anatomia escaneada. Essa modelagem permitiu um controle detalhado de espessura e zonas de flexibilidade, essenciais para adaptar o dispositivo às necessidades específicas do usuário. O modelo do coto





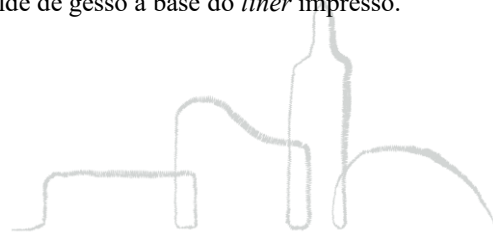
escaneado foi exportado para o *software DAZ 3D*, onde foi integrado a um modelo virtual de corpo humano — um “boneco” digital. Essa etapa foi necessária porque o *CLO 3D* ainda não oferece a opção de importar membros residuais ou corpos com amputações diretamente, limitando as possibilidades de simulação para usuários com essa condição. Ao incorporar o coto em um modelo humano completo no *DAZ 3D*, foi possível gerar uma representação mais realista do usuário para posterior importação no *CLO 3D*.

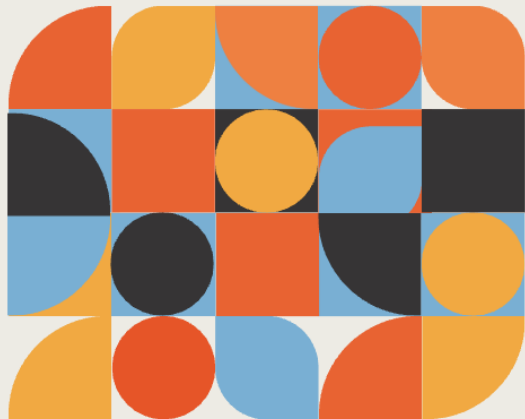
Com o modelo completo, o projeto foi então exportado para o *CLO 3D*, onde foram realizados testes digitais essenciais, como análise de mapas de tensão (*strain maps*), ajuste (*fit maps*) e mapa de estresse (*stress maps*), avaliando o comportamento do *liner* em diferentes condições de uso. Inicialmente, as simulações foram feitas com o avatar em posição ortostática (em pé), representando a postura mais comum durante o uso da prótese. Embora o *software* permita ajustes manuais da pose, as simulações em outras posições (como sentado ou em movimento) são limitadas, configurando uma restrição metodológica para análises dinâmicas mais complexas.

A aplicação de metaestruturas geométricas internas, com foco em absorção de impacto, ventilação e distribuição de pressão, foi realizada no *software Spherene*, que permite a parametrização de estruturas complexas. O protótipo foi impresso por manufatura aditiva na máquina *Creality CR-M4*, utilizando o filamento Filaflex 82A da marca Recreus, um TPU flexível e biocompatível com densidade de aproximadamente 1,15 g/cm³ e dureza Shore A 82, características semelhantes às dos *liners* comerciais. O modelo final apresenta espessura variável, de 6 mm na região proximal até 20 mm na extremidade distal, adaptando-se às exigências biomecânicas do coto. As metaestruturas foram inspiradas na porosidade do ouriço-do-mar, com gradiente de 32% de abertura na face interna e 20% na externa, promovendo ventilação eficiente e reduzindo o acúmulo de suor — principal queixa relatada no estudo de caso. A impressão *3D FDM* possibilitou a personalização anatômica precisa e maior controle das geometrias internas, otimizando o tempo de produção e reduzindo desperdícios.

As etapas do processo de desenvolvimento podem ser visualizadas na Figura 1, que reúne as imagens mencionadas ao longo da seção.

Figura 1: Etapas do processo de modelagem do *liner* ortopédico. Da esquerda para a direita: (a) molde do coto realizado em Francisco Cazarin; (b) escaneamento 3D do molde; (c) modelo retopologizado; (d) modelação do *liner* no *Rhinoceros*; (e) teste do *liner* no *CLO 3D*; (f) base do *liner* com metaestruturas impressa em 3D; (g) acoplamento do molde de gesso à base do *liner* impresso.



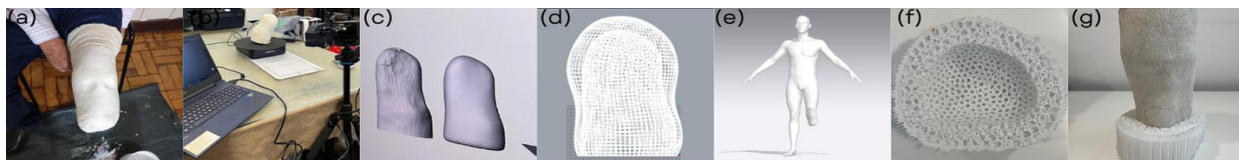


20º COLÓQUIO DE MODA

19º FÓRUM DAS ESCOLAS DE MODA DOROTÉIA BADUY PIRES
11º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM DESIGN E MODA

FAAP - SÃO PAULO

DE 30 DE SETEMBRO A 03 DE OUTUBRO DE 2025



Fonte: do autor, 2025.

Discussão

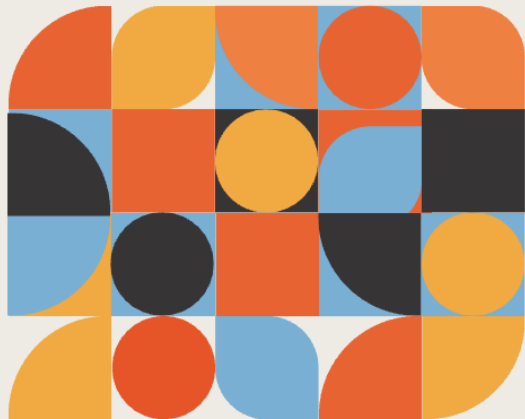
O estudo de caso foi conduzido com Francisco, amputado transtibial há mais de vinte anos, que utiliza prótese diariamente. Ele relatou desconforto e dor no coto após uso prolongado do *liner* tradicional, além de inchaço decorrente da ventilação insuficiente e do ajuste inadequado. Um dos principais incômodos mencionados foi o calor excessivo gerado pela prótese, que provoca suor intenso, a ponto de, por vezes, ser necessário interromper o trabalho para retirá-la. O acúmulo de suor também contribui para odores indesejáveis e dificulta a higiene.

Francisco indicou que as áreas mais sensíveis do coto incluem a região frontal, lateral, áreas com cicatrizes e, principalmente, a extremidade distal, que suporta grande parte do peso corporal. Nessas regiões, ele apontou a necessidade de acolchoamento adicional. Também relatou dificuldades com o uso da meia de coto, como a formação de rugas e vincos que causam desconforto, além da dificuldade em ajustar corretamente o acessório.

Com base nessas demandas, foi realizado o escaneamento 3D do coto de Francisco utilizando o scanner Transcan C. A digitalização permitiu capturar com precisão as irregularidades do volume, áreas cicatriciais e regiões sensíveis, possibilitando uma modelagem detalhada e adaptada ao seu formato específico. A extremidade distal do *liner*, por exemplo, foi projetada com 20 mm de espessura, visando absorver melhor a carga exercida nessa região.

Além disso, a metaestrutura incorporada nas áreas críticas com o objetivo de melhorar a ventilação interna e reduzir a retenção de calor e suor — a maior expectativa de Francisco em relação ao novo produto.

As simulações realizadas no *CLO 3D* desempenharam um papel fundamental na validação digital do projeto, permitindo a visualização de mapas de tensão, deformação e ajuste em diferentes regiões do *liner*. Essa etapa possibilitou a identificação de áreas críticas antes da produção física, contribuindo para decisões mais assertivas durante o desenvolvimento. Inicialmente os testes foram realizados utilizando um dos tecidos padrão do próprio *software*. Em seguida, foi criado um material personalizado, configurado com parâmetros próximos às propriedades reais do Filaflex 82A: elasticidade (Stretch Weft/Warp) superior a 120%, alto valor de *shear*; baixa resistência à flexão (*bending*),



20º COLÓQUIO DE MODA

19º FÓRUM DAS ESCOLAS DE MODA DOROTÉIA BADUY PIRES
11º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM DESIGN E MODA

FAAP - SÃO PAULO

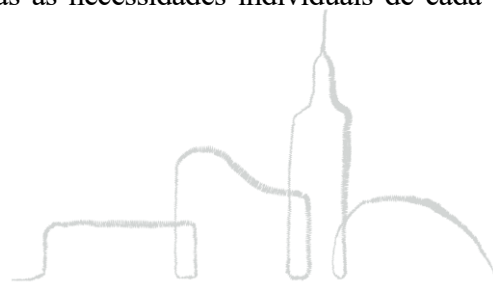
DE 30 DE SETEMBRO A 03 DE OUTUBRO DE 2025

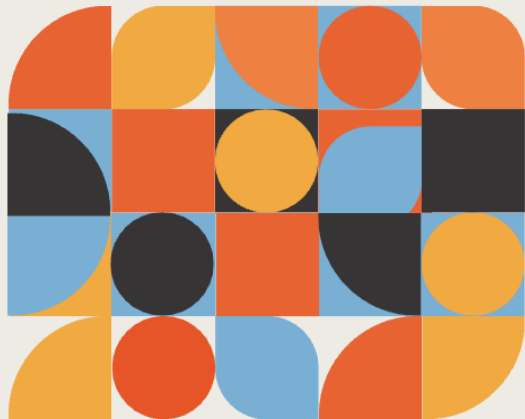
densidade de aproximadamente $1,12 \text{ g/cm}^3$, espessura entre 0,8 mm e 1 mm, alta fricção e amortecimento de alongamento (*stretch damping*) médio. Para a visualização, foi aplicada uma textura personalizada que simula a aparência porosa da metaestrutura. O novo material respondeu adequadamente aos testes digitais, permitindo uma simulação mais fiel do comportamento físico do *liner* em uso.

Um dos desafios encontrados durante o desenvolvimento foi a limitação dos *softwares* de simulação utilizados. Embora o *CLO 3D* tenha se mostrado uma ferramenta poderosa para análise de ajuste e comportamento do *liner*, sua ausência de modelos corporais com amputações impôs dificuldades significativas. Para superar essa limitação, o modelo do membro residual escaneado precisou ser exportado para o *DAZ 3D*, onde foi integrado a um avatar humano virtual, antes de ser importado novamente para o *CLO 3D* para realização dos testes de tensão e ajuste. Como o escaneamento foi realizado diretamente no coto de Francisco, participante do nosso estudo de caso, o avatar resultante manteve as medidas reais do membro residual.

Essa necessidade expõe uma lacuna nas ferramentas digitais atuais para o design de dispositivos ortopédicos personalizados: a falta de representações adequadas de corpos com condições específicas, como amputações. Isso dificulta o trabalho de profissionais que buscam produtos mais inclusivos e anatômicos, exigindo soluções alternativas que tornam o processo menos ágil e mais complexo. Assim, há uma demanda para que *softwares* de simulação têxtil evoluam, incorporando modelos corporais diversificados e permitindo um desenvolvimento mais eficiente e realista de produtos adaptados às necessidades reais dos usuários.

Adicionalmente, a utilização da impressão *3D FDM* se mostrou uma estratégia eficaz para a fabricação personalizada de dispositivos ortopédicos, viabilizando protótipos com geometrias complexas a partir de arquivos digitais. Embora essa tecnologia apresente limitações, como o tempo relativamente elevado de impressão e a formação de linhas visíveis entre as camadas, que podem afetar o acabamento superficial e o conforto em contato direto com a pele. Por outro lado, essa abordagem digital integrada proporcionou maior agilidade em ajustes de design, menor desperdício de material e custo reduzido na produção em pequena escala. Acima de tudo, ressaltou-se o potencial da manufatura aditiva na oferta de soluções altamente customizadas e adaptadas às necessidades individuais de cada usuário no contexto da reabilitação personalizada.





Resultados

O desenvolvimento do protótipo de *liner* ortopédico personalizado permitiu validar, em ambiente digital, a viabilidade de um fluxo de trabalho totalmente baseado em tecnologias computacionais. A combinação do escaneamento 3D de alta precisão com a modelagem detalhada no *Rhinoceros* e a aplicação de metaestruturas no *software Spherene* possibilitou a criação de um modelo com geometria adaptada às características individuais do membro residual. As simulações realizadas no *CLO 3D* forneceram uma visualização preliminar do desempenho do *liner* em termos de ajuste e distribuição de pressão, permitindo otimizações ainda na fase virtual.

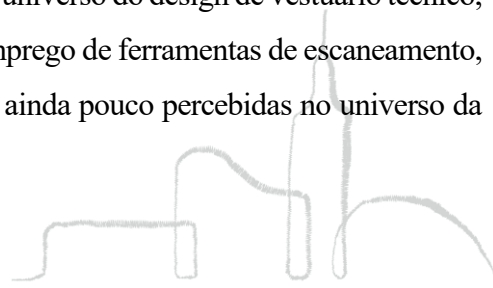
Apesar dos avanços alcançados até o momento, ainda não foi possível realizar testes de usabilidade do protótipo com o usuário real, o que será essencial em etapas futuras para validar o conforto, a funcionalidade e a aceitação do produto no uso prático. Entretanto, o *liner* foi vestido no coto de gesso feito anteriormente, permitindo uma avaliação preliminar do ajuste e da conformação do material à geometria do membro residual.

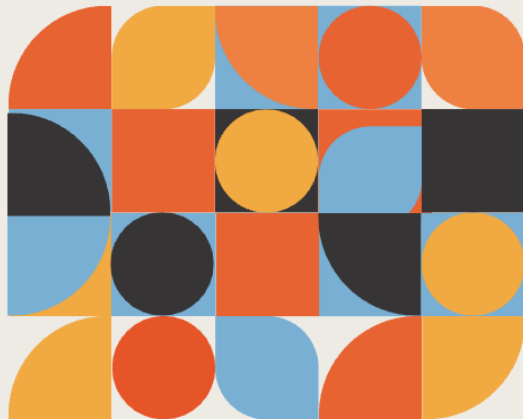
Em relação à fabricação, a impressão 3D realizada com a *Crealitiy CR-M4*, por meio da tecnologia *FDM*, demonstrou ser funcional, porém com um tempo de produção consideravelmente elevado, especialmente ao trabalhar com filamentos flexíveis e estruturas complexas. Isso evidencia a necessidade de futuras otimizações tanto no design quanto nos parâmetros de impressão, ou ainda a consideração de outros equipamentos mais eficientes para aplicações clínicas em larga escala, como por exemplo, a impressão do *liner* via *SLA (Stereolithography)*.

De modo geral, os resultados obtidos até esta fase demonstram o potencial das ferramentas digitais no desenvolvimento de dispositivos ortopédicos personalizados, abrindo caminho para soluções mais acessíveis, adaptadas e tecnicamente avançadas.

Considerações Finais

A proposta deste trabalho ressalta o valor da personalização em dispositivos ortopédicos como o principal fator para promover a qualidade de vida de pessoas amputadas. Integrando tecnologias digitais ao processo de desenvolvimento, este estudo propõe uma nova abordagem que se aproxima do universo do design de vestuário técnico, no qual conforto, ajuste ao corpo e performance são fatores fundamentais. O emprego de ferramentas de escaneamento, modelagem paramétrica e simulação virtual permitiu visualizar possibilidades ainda pouco percebidas no universo da





moda aplicada à saúde, especificamente no desenvolvimento de peças adaptadas a uma morfologia específica e a exigências fisiológicas particulares.

Além de colaborar para a produção de soluções mais exatas e mais acessíveis, o emprego de processos digitais se destaca principalmente pela sua eficiência, sua sustentabilidade e maior capacidade de personalização em pequena escala. Neste sentido, o estudo reafirma o potencial do pensamento projetual iterativo, que permite aprimorar o objeto em ciclos de simulação e análise antes da sua materialização, reduzindo desperdício de material e os custos de prototipagem.

Ainda que os testes com usuários reais não tenham sido realizados nesta fase, os resultados obtidos fornecem base sólida para o desenvolvimento futuro de *liners* mais ergonômicos, adaptáveis e alinhados às necessidades do público amputado. O trabalho também aponta para a importância de fortalecer a colaboração entre áreas como design, tecnologia têxtil, saúde e fabricação digital, criando pontes entre o conhecimento acadêmico, a inovação prática e o impacto social. Dessa forma, espera-se que esta pesquisa inspire novas investigações e soluções no campo da moda inclusiva e da reabilitação personalizada.

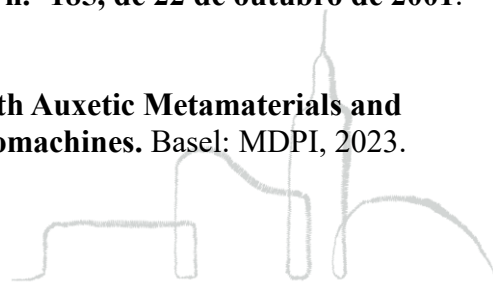
APÊNDICE A – Inquérito estruturado aplicado à usuário de prótese transtibial

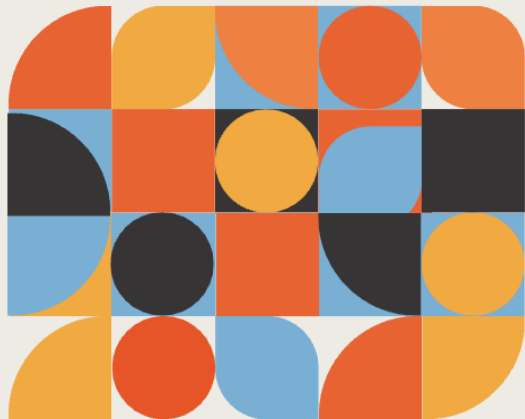
O inquérito completo utilizado nesta pesquisa está disponível no link:

<https://forms.gle/fBudVPF4KBxQZyWdA>

Referências

- ARRUDA, Luisa M.; CARVALHO, Helder. **3D Printing as a Design Tool for Wearables: Case Study of a Printed Glove**. Cham: Springer, 2019.
- BOLDT, Rachel S.; ARRUDA, Luisa M. *et al.* **The Impact of Ergonomic Design on Smart Garments**. Cham: Springer, 2020.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC n.º 185, de 22 de outubro de 2001**. Brasília: ANVISA, 2001.
- FARDAN, Muhammad Faris *et al.* **Revolutionizing Prosthetic Design with Auxetic Metamaterials and Structures: A Review of Mechanical Properties and Limitations**. *Micromachines*. Basel: MDPI, 2023.





20º COLÓQUIO DE MODA

19º FÓRUM DAS ESCOLAS DE MODA DOROTÉIA BADUY PIRES
11º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM DESIGN E MODA

FAAP - SÃO PAULO

DE 30 DE SETEMBRO A 03 DE OUTUBRO DE 2025

FRANCO, F. M. **Uso de modelagem 3d e manufatura aditiva no auxílio à fabricação de próteses faciais de silicone.** Curitiba: 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13405-2: Prosthetics – Structural testing of lower-limb prostheses – Part 2: Test levels and loading parameters.** Geneva: ISO, 2015.

KOERNER, Julia. **Julia Koerner / JK3D / Setae Jacket – BIG SEE.** Ljubljana: BIG SEE, 2025. Disponível em: <<https://bigsee.eu/julia-koerner-jk3d-setae-jacket/>>. Acesso em: 13 maio. 2025.

TAKAHASHI, Haruki; KIM, Jeeun. **3D printed fabric: Techniques for design and 3D weaving programmable textiles.** New York: Association for Computing Machinery, Inc., 2019.

WANG, Zhengyue; HU, Hong. **Auxetic materials and their potential applications in textiles.** Londres: Textile Research Journal, v. 84, n. 15, p. 1600–1611, 2014.

