



Desenvolvimento de órteses suropodálicas (AFO) para crianças com o uso da Impressão 3D

Development of foot orthoses (AFO) for children using 3D printing

Giovanna Silva Rodrigues Manussakis, discente, UFG

giovanna.silva@discente.ufg.br

Ana Izabel Teles, discente, UFG

Anaizabel@discente.ufg.br

Pedro Henrique Gonçalves, docente, UFG

pedrogoncalves@ufg.br

Número da sessão temática da submissão – [5]

Resumo

O estudo visa explorar o uso de órteses suropodálicas de membros inferiores em crianças entre 3 e 5 anos, com ênfase na produção por meio de modelagem e impressão 3D. A fabricação de órteses personalizadas, a partir da impressão 3D, oferece vantagens ambientais consideráveis, como a produção mínima de resíduos, menor dependência de trabalho manual, maior capacidade de personalização e agilidade na fabricação, fatores que permitem criar modelos adequados e sustentáveis às necessidades individuais de cada paciente. O principal objetivo deste estudo é evidenciar os benefícios da impressão 3D na produção de órteses suropodálicas tornozelo-pé, tanto para o meio ambiente, quanto para a melhoria da qualidade de vida de pacientes com necessidades ortopédicas.

Palavras-chave: Membros Inferiores; Crianças; Sustentabilidade.

Abstract

The study aims to explore the use of lower limb supramalleolar orthoses in children aged 3 to 5 years, with an emphasis on production through modeling and 3D printing. The manufacturing of customized orthoses using 3D printing offers significant environmental advantages, such as minimal waste production, reduced reliance on manual labor, increased customization capacity, and faster manufacturing. These factors enable the creation of models that are suitable and sustainable for each patient's individual needs. The main objective of this study is to highlight the benefits of 3D printing in the production of ankle-foot supramalleolar orthoses, both for the environment and for improving the quality of life of patients with orthopedic needs.

Keywords: Lower Extremity; Children; Sustainability.



1. Introdução

A origem do termo órtese vem da palavra grega “Orthos” que significa direito, reto, normal. A órtese, de modo geral, é definida como um dispositivo exoesquelético que, aplicado a um ou vários segmentos do corpo, tem a finalidade de proporcionar o melhor alinhamento possível, priorizando a funcionalidade de cada indivíduo (Ministério da Saúde, 2019, p. 19). As órteses para membros inferiores podem ser de diferentes tipos, entre as quais: a órtese para quadril, joelho e pé (HKAFO), joelho, tornozelo e pé (KAFO), tornozelo e pé (AFO), órtese para o joelho (KO), para o quadril (HpO) e para o pé (FO).

As órteses suropodálicas são órteses para o complexo articular de tornozelo e pé, também denominadas de Ankle-foot-orthosis (AFO), goteiras ou calhas de panturrilha (Barbin, 2017). Esse modelo de órtese é dividido em duas categorias, as fixas, nas quais não é permitido o movimento no nível articular do tornozelo, e as órteses articuladas que permitem o movimento de dorsiflexão plantar (Castaneda, 2021). A articulação desta órtese deve ser alinhada com os maléolos e o plano frontal, evitando uma rotação indesejada da perna durante a transferência de peso (Ministério da Saúde, 2019, p. 24). Esses dispositivos são utilizados no tratamento de lesões, deformidades e distúrbios neuromusculares (Pereira et al., 2012). A órtese tornozelo-pé apresenta como funções principais a prevenção de deformidades em equino, controle do alinhamento do pé e tornozelo, distribuição de peso, alinhamento corporal, equilíbrio e desempenho na marcha, uma vez que melhoram a distribuição da pressão, com isso, são fundamentais na realização da marcha (Wojciechowski et al, 2019).

Diante disso, a órtese é recomendada após uma avaliação detalhada da biomecânica do paciente, tanto em movimento quanto de forma estática, para analisar as características do alinhamento e funcionamento dos pés (Kobayashi et al., 2015). Em crianças o uso da órtese impacta diretamente no desempenho de atividades de vida diária, e pode orientar o processo de avaliação e intervenção dos profissionais (Cury et al., 2006). Ademais, esses dispositivos ajudam a reduzir dores e desconfortos ortopédicos, e podem auxiliar na melhoria do desempenho em atividades físicas, já que são feitas sob medida, são capazes de atender às necessidades específicas de cada indivíduo, por meio de um ajuste preciso, combinado com a projeção sob a perspectiva da impressão 3D.

A produção de órteses AFO por meio de impressão 3D traz diversos benefícios em comparação aos métodos tradicionais de fabricação. Uma das principais vantagens é a personalização (Wixted et al., 2021). Com a impressão 3D, é possível criar órteses que se ajustam melhor à anatomia de cada paciente, pois levam em consideração as particularidades de cada usuário. Isso resulta em dispositivos mais confortáveis e eficazes, já que são feitos sob medida, otimizando a funcionalidade e o conforto para o paciente (Kaye et al, 2017).

A impressão 3D diminui de forma significativa a produção de resíduos, uma vez que utiliza apenas o material necessário para a fabricação da órtese, diminuindo o desperdício em comparação com os métodos convencionais, que possuem inúmeras etapas de moldes e recortes de material até chegar na etapa final do produto (Chen et al., 2016). Esse fator, além de tornar o processo mais sustentável, reduz o custo operacional, principalmente, a longo prazo, pois diminui a dependência de mão-de-obra especializada, otimiza o gasto de insumos e possibilita trabalhar com materiais de baixo custo.

Além disso, o uso da impressão 3D agiliza a produção já que possibilita que as órteses sejam fabricadas em curto período de tempo quando comparado aos métodos tradicionais, representando um melhor prognóstico para o paciente, visto que a órtese auxilia na



deambulação do usuário, sendo essencial na maior funcionalidade e qualidade de vida do indivíduo. Ainda, caso necessário, é possível fazer ajustes rápidos durante o processo, sem a necessidade de recomeçar o projeto, uma vez que o material utilizado possui maior maleabilidade diferente das modelagens usuais (Mavroidis et al., 2011).

2. Procedimentos Metodológicos

O presente estudo foi realizado com base no desenvolvimento do Laboratório de Estudos Inventivos em Tecnologias Assistivas (Lab. EITA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizado em Goiânia. Trata-se de um projeto interdisciplinar entre as áreas de Fisioterapia e Design. O processo de desenvolvimento da pesquisa incluiu cinco etapas principais: seleção do modelo, escaneamento 3D do respectivo modelo, modelagem 3D, impressão 3D e acabamento da peça.

2.1. Desenvolvimento a partir da modelagem virtual

A modelagem virtual é uma abordagem essencial no desenvolvimento de produtos, pois possibilita a criação de representações digitais detalhadas de objetos ou sistemas. Na área do design, são utilizados softwares avançados para a construção de modelos tridimensionais de alta precisão, que permitem uma visualização clara e realista do produto antes de sua fabricação. Esse processo ocorre devido a integração da tecnologia avançada com outras ferramentas, como o escaneamento e impressão 3D.

Para a realização deste trabalho, foi escolhida uma criança de sete anos, a qual possui diagnóstico de síndrome do pé caído, condição que afeta a capacidade de levantar a parte anterior do pé. Após a seleção e apresentação do procedimento experimental para os responsáveis legais, estes concordaram voluntariamente com a pesquisa.

2.1.1. Escaneamento do pé

O levantamento tridimensional do pé do paciente é fundamental para a produção personalizada da órtese, o que garante a fidelidade das dimensões do projeto final. Dessa forma, foi realizado o escaneamento do membro (Figura 1) utilizando um scanner 3D, o pé foi apoiado no chão para obter a carga real descarregada sobre o pé e escanear a geometria do membro pressionado.



Figura 1: Escaneamento do pé. Fonte: elaborado pelos autores.

2.1.2. Modelagem 3D

Após a etapa de escaneamento do pé, é realizada a modelagem da órtese (Figura 2). Para isso, existem diversos tipos de softwares, nesse estudo, o “Autodesk Fusion 360” foi utilizado. Ele harmoniza técnicas de modelagem paramétrica, de malha e de escultura, além de recursos para simulação, colaboração e fabricação, tudo em uma única plataforma. Ideal para as áreas de engenharia, design de produtos e prototipagem.

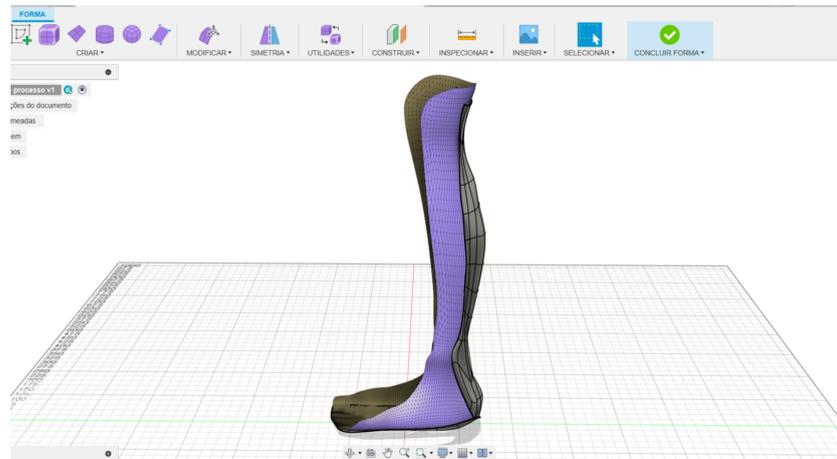


Figura 2: Modelagem da órtese. Fonte: elaborado pelos autores.

O software utiliza de um sistema CAD (Computer-Aided Design), esse processo permite fabricar componentes mais complexos, em diferentes materiais e características, como polímeros, cerâmicas, metais e até biológicos. (Neto et al., 2018).

A difusão deste método possibilitou avanços especialmente no campo da saúde, e diversos estudos já foram realizados mostrando a sua aplicabilidade principalmente no desenvolvimento de tecnologias assistivas como próteses e órteses, sejam elas compostas, híbridas ou peças complementares (Neto et al., 2018).

2.1.3. Impressão 3D

Depois de projetar a órtese por meio do software “Fusion 360”, o arquivo é exportado, em formato stl. A importância dessa ação é garantir a leitura do modelo digital no software de fatiamento. Em seguida, para a impressão da órtese, o modelo foi preparado no software “Cura”, sendo este um software para ajuste e processamento do modelo tridimensional. Ele tem o objetivo de converter o arquivo como instrução para a impressora 3D, conhecido como g-code e impresso no equipamento do modelo ender S1, possui um bico de 0,04mm e densidade de preenchimento variando por zona de pressão.

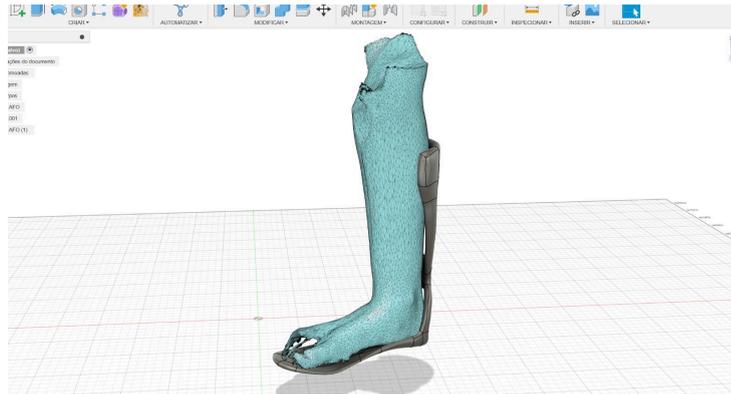


Figura 3: Modelo de impressão da órtese. Fonte: elaborado pelos autores.

Para a escolha do material de impressão, o polipropileno (PP) foi selecionado por apresentar propriedades de alta resistência à tração e ao impacto, baixa densidade, alta resistência a umidade, boa adesão entre as camadas e flexibilidade. A órtese impressa pode ser vista na Figura 3.

Tabela 1

Peso do material	
Peso total do material gasto	120g
Peso do modelo final (sem suporte)	97g

Fonte: Autores.

2.1.4. Pós-processamento

A órtese tornozelo-pé Codivilla é utilizada no tratamento do pé caído, para que seja eficaz, um dos principais requisitos é ser fina e lisa, pois assim, evita o volume excessivo para o paciente e pode ser inserida dentro do calçado.

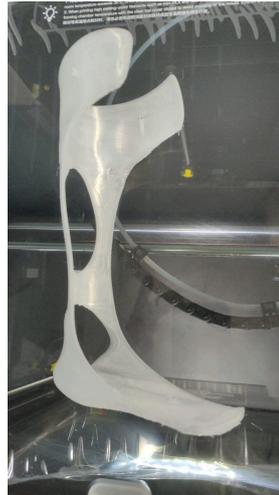


Figura 4: Pós-processamento da órtese. Fonte: elaborado pelos autores.

3. Resultados

Em relação ao tempo de produção, o método de impressão 3D apresenta agilidade quando comparado ao método tradicional. No processo de fabricação convencional, nota-se uma dependência de trabalho manual, especialmente na etapa de moldagem do gesso. Nesse processo, um profissional qualificado modifica o molde anatômico de gesso de acordo com a necessidade de alinhamento de cada paciente (Ministério da Saúde, 2014, p. 238). Esse desenvolvimento possui uma demanda significativa de tempo para ambas as partes, tanto do paciente, quanto do ortesista, o que torna o procedimento desagradável. Uma vez que, o paciente precisa permanecer imóvel durante toda a aplicação do gesso, o que pode gerar desconforto e dificuldade, além de demandar paciência e resistência.

Da mesma forma, o processo de produção das órteses por meio da impressão 3D exige a disposição de um profissional qualificado com experiência no uso de softwares e equipamentos empregues nesse tipo de processo, além do conhecimento específico sobre as áreas e sobre a deposição de material por camada, que irão variar de acordo com a necessidade individual de cada paciente.

No aspecto ambiental, ressalta-se ainda que, os materiais utilizados na impressão 3D são em grande maioria, recicláveis e biodegradáveis, o que pode reduzir de forma significativa o impacto ambiental, pois podem ser reciclados e reutilizados em outros modelos, uma vez que essas órteses infantis acompanham o desenvolvimento infantil, e precisam ser trocadas com frequência, a partir disso, devido à maleabilidade do material, o mesmo utilizado para desenvolver a primeira órtese pode ainda ser utilizado na segunda.

Em relação ao tempo de produção da órtese, em cada etapa foi observado que o processo de escaneamento do pé levou cerca de uma hora, a etapa de modelagem levou duas horas, enquanto a impressão durou em torno de quatro horas para uma criança de três anos e treze horas para uma criança de cinco anos, por fim, a fase de acabamento levou 10 minutos para retirar os suportes e anexar o velcro. Contudo, é importante considerar que, em uma produção com maior número de participantes, há uma maior desenvoltura no processo de produção. Entre as vantagens da impressão 3D, a agilidade se destaca entre as mais relevantes.



4. Discussão

Embora a manufatura aditiva tenha sido um assunto relevante nos dias atuais, a inserção prática desse método no desenvolvimento de órteses depende de muitos fatores, sendo um dos mais relevantes, a experiência dos profissionais envolvidos, o que é fundamental para garantir a eficácia e a segurança das órteses produzidas. A impressão 3D exige não só um novo conjunto de habilidades técnicas, mas também uma reconfiguração dos processos de trabalho. Isso significa que os profissionais precisam se adaptar ao uso de novas ferramentas e metodologias para garantir que o processo seja eficaz.

Ainda assim, quando se compara o processo de impressão 3D com o processo convencional de produção das órteses, como o gesso, a diferença é significativa em vários aspectos. O método de fabricação com gesso, exige longos períodos de preparação e adaptação. Para criar uma órtese, o ortesista executa uma das etapas mais importantes, a confecção do molde, o que exige tempo de secagem e imobilização do membro do paciente. Além disso, é um processo manual e artesanal, dependendo da habilidade do profissional, a fim de garantir um ajuste adequado ao paciente.

Em contrapartida, a impressão 3D permite que a órtese seja desenhada digitalmente com base nas especificações individuais de cada paciente e, em seguida, seja mandada para a fase de impressão. Por mais que a configuração inicial do processo de impressão possa exigir tempo, uma vez que o modelo está pronto, a impressão de múltiplas órteses ou modelos personalizados pode ser feita de maneira mais eficiente e com maior precisão. Isso torna o processo de produção de órteses mais ágil, economizando tempo e recursos ao longo do processo.

Contudo, a impressão 3D exige capacitação profissional específica. Essa tecnologia tem o potencial de acelerar a produção e melhorar a personalização das órteses, porém, ela não é tão intuitiva quanto os métodos tradicionais. Envolve o domínio de software de modelagem 3D, o controle de impressoras 3D e o entendimento dos materiais adequados para cada tipo de órtese. Portanto, os profissionais da saúde precisam de treinamento adicional para lidar com as novas tecnologias, o que representa um desafio na transição dos métodos tradicionais para os modernos.

Além disso, a sustentabilidade é um aspecto crucial no contexto da produção de órteses, especialmente ao considerar a transição para a impressão 3D. A fabricação aditiva oferece uma redução significativa no desperdício de materiais, pois permite a criação de modelos sob demanda, evitando a produção em larga escala e o uso excessivo de matéria-prima. Além disso, a possibilidade de utilizar materiais recicláveis e biocompatíveis contribui para a redução do impacto ambiental. Ao adotar esse método, as empresas podem não apenas aprimorar recursos e reduzir resíduos, mas também fomentar práticas mais sustentáveis no desenvolvimento de dispositivos médicos, alinhando inovação com responsabilidade.

Em resumo, a manufatura aditiva oferece inúmeras vantagens no campo da saúde, especialmente no que se refere à personalização e eficiência na fabricação de órteses. No entanto, a transição dos métodos tradicionais para novas tecnologias, exige adaptação tanto no processo de produção quanto na capacitação dos profissionais envolvidos. Com o tempo, o comprometimento com tal método tem o potencial de tornar a fabricação de órteses mais rápida, acessível e adaptada às necessidades específicas de cada paciente.

5. Considerações Finais



Este estudo, aborda o potencial da impressão 3D na fabricação de órteses suropodálicas, além de avaliar as capacidades dessa forma de produção, também identifica as oportunidades de aprimoramento dos dispositivos já existentes. Ademais, busca-se compreender a relação das metodologias alternativas na redução de resíduos gerados durante todas as etapas do processo de fabricação, a fim de promover soluções mais duradouras, sustentáveis e eficientes.

A sustentabilidade neste estudo é destacada pela capacidade da impressão 3D de reduzir resíduos e otimizar o uso de materiais, permitindo a produção personalizada e sob demanda. O que reduz eventuais perdas e facilita o uso de materiais recicláveis, contribuindo para práticas mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

A análise dos resultados demonstra que a metodologia adotada foi eficaz em fornecer informações sobre o panorama atual da produção de órteses AFO, além de evidenciar as possibilidades de inovação com a aplicação da impressão 3D nas etapas de fabricação. Esse cenário destaca a relevância da pesquisa para impulsionar melhorias contínuas na indústria, favorecendo tanto a redução de resíduos quanto o desenvolvimento de dispositivos mais customizados e eficientes.

Dessa forma, a implementação da impressão 3D nesse contexto apresenta benefícios ambientais, econômicos e sociais, como maior personalização, otimização do tempo de produção, diminuição de custos e simplificação do design, fatores que podem gerar mudanças significativas no setor de órteses.

Referências

BARBIN, I. Prótese e órteses. Londrina, PR: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.

BRASIL, Ministério da Saúde. Técnico em órteses e próteses: livro-texto. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde, Departamento de Gestão do Trabalho na Saúde, 2014.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Especializada à Saúde, Departamento de Atenção Especializada e Temática: GUIA PARA PRESCRIÇÃO, CONCESSÃO, ADAPTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ÓRTESES, PRÓTESES E MEIOS AUXILIARES DE LOCOMOÇÃO, 2019.

CASTANEDA, L. Planejamento Regional Integrado. PDF interativo In: UNIVERSIDADE ABERTA DO SUS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. 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.



CHEN, R. K. et al. Fabricação aditiva de órteses e próteses personalizadas — uma revisão. *Additive Manufacturing*, v. 12, p. 77–89, 2016.

CURY, Vcr; MANCINI, Mc; MELO, Ap; FONSECA, St; SAMPAIO, Rf; TIRADO, Mga. Efeitos do uso de órtese na mobilidade funcional de crianças com paralisia cerebral. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 67-74, 2006. FapUNIFESP (SciELO).

Kaye R. et al. Impressão tridimensional: uma revisão sobre a utilidade na medicina e na otorrinolaringologia. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2016.

KOBAYASHI, Toshiki et al. The effect of changing plantarflexion resistive moment of an articulated ankle-foot orthosis on ankle and knee joint angles and moments while walking in patients post stroke. *Clinical Biomechanics*, v. 30, n. 8, p. 775–780, out. 2015.

MAVROIDIS, C. et al. Patient specific ankle-foot orthoses using rapid prototyping. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 8, p. 1, 12 jan. 2011.

NETO, C. et al. Tecnologia 3D na saúde: uma visão sobre Órteses e Próteses, Tecnologias Assistivas e Modelagem 3D. 1a ed. Natal: SEDIS-UFRN, 2018.

PEREIRA, R.B. et al. Efeitos do uso de órteses na Doença de Charcot-Marie-Tooth: atualização da literatura. **Fisioterapia e Pesquisa**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 388-393, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO).

WIXTED, C. M. et al. Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: current applications and future developments. *JAAOS Global Research and Reviews*, v. 5, n. 4, p. e20.00230-11, 20 abr. 2021.

WOJCIECHOWSKI, E. et al. Feasibility of designing, manufacturing and delivering 3D printed ankle-foot orthoses: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*, v. 12, p. 11, 2019.