

09.

# Manufatura Aditiva aplicada no Design de Órtese Infantil para Membros Inferiores

## *Additive Manufacturing Applied in Children's Orthosis Design for Lower Limb*

### **Pablo Marcel de Arruda Torres**

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande  
pablo@design.ufcg.edu.br

### **Matheus Ferreira Alves**

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande  
matheusferreiraalves100@gmail.com

### **Samara Alves da Silva**

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande  
samppx29@gmail.com

### **Nayanne Silva Furtado**

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande  
nayannefurtado16@gmail.com

### **Haniel Pereira Macêdo**

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande  
hanielmcd@gmail.com

A Manufatura Aditiva tem sido aplicada em campos diversos, inclusive em Tecnologias Assistivas (TA). As órteses podem ser definidas como dispositivos de caráter exoesquelético que auxiliam membros, órgãos ou tecidos a cumprirem suas funções. O objetivo do projeto foi desenvolver uma órtese infantil para membros inferiores produzida por meio de tecnologias digitais e processos de Manufatura Aditiva (MA). O método utilizado foi o Duplo Diamante. Uma órtese já utilizada e feita por moldagem térmica de plástico serviu de referência, da qual foram analisados pontos positivos e negativos e elencadas modificações e adaptações. O modelo final de órtese apresenta janelas para a respiração da pele na sua parte traseira, gerando mais conforto e leveza. No âmbito simbólico-estético, destaque para os desenhos em alto relevo e as combinações de cores, que dão um aspecto lúdico ao produto, e podem aumentar a aceitação da órtese por crianças. No aspecto produtivo, as partes foram desenhadas para serem mais adequadas ao processo de impressão 3D.

**Palavras-chave** órtese suropodálica, manufatura aditiva, tecnologia assistiva.

*Additive Manufacturing has been applied in different fields, including Assistive Technologies (AT). Orthoses can be defined as exoskeletal devices that help limbs, organs or tissues to fulfill their functions. The objective of the project was to develop a children's orthosis for lower limbs produced using digital technologies and Additive Manufacturing (AM) processes. The method used was the Double Diamond. An orthosis already used and made by thermal plastic molding served as a reference, from which positive and negative points were analyzed and modifications and adaptations were listed. The final orthosis model features windows for skin breathing on its back, providing more comfort and a lightness design. In the symbolic-aesthetic scope, emphasis is placed on the high-relief designs and color combinations, which give a playful aspect to the product, and can increase acceptance of the orthosis by children. In terms of production, the parts were designed to be more suitable for the 3D printing process.*

**Keywords** AFO orthosis, additive manufacturing, assistive technologies.

## 1. Introdução

Os processos de fabricação possuem princípios baseados na moldagem do material, que envolvem na maioria das vezes a sua fundição, subtração, deformação plástica, união (soldagem, colagem, etc.) ou divisão de componentes (serragem e cortes). No final da década de 1980, um novo princípio de fabricação baseado na adição de material foi apresentado, denominado atualmente de Manufatura Aditiva (Volpato e Carvalho, 2017) ou Impressão 3D (Martins, 2017). Esse processo possibilita que o modelo de um produto desenvolvido em computador seja materializado através da sucessiva deposição de camadas de materiais, possibilitando liberdade geométrica de construção de praticamente qualquer estrutura física (Santos, 2017). A tecnologia de Manufatura Aditiva é amplamente aplicada em campos como robótica aeroespacial, nanodispositivos, materiais porosos, engenharia e aplicações médicas (Chen et al., 2020).

Neste último campo, destacam-se aplicações em Tecnologia Assistiva (TA), que são soluções de problemas vivenciados por pessoas com deficiência, com mobilidade reduzida, idosos ou aqueles que temporariamente apresentam dificuldades práticas em executar tarefas do cotidiano. No universo das Tecnologias Assistivas, as Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção (OPM) ocupam papel de destaque no âmbito da saúde, pois devem ser entendidos como auxílios para a ampliação de uma habilidade funcional ou realização de uma ação desejada e que se encontra impedida por circunstância de deficiência ou pelo envelhecimento. Utilizados como um elemento auxiliar no processo de reabilitação, esses instrumentos favorecem o tratamento terapêutico, possibilitando maior autonomia e melhorando a qualidade de vida. Ou seja, as TAs promovem a habilitação e reabilitação de pacientes com comprometimento físico, auxiliando no processo de tratamento, favorecimento da recuperação de suas funções orgânicas e contribuição para o melhor prognóstico do comprometimento apresentado (Morimoto et al., 2021).

As órteses podem ser definidas como dispositivos de caráter exoesquelético que auxiliam membros, órgãos ou tecidos a cumprirem suas funções. Quando focada no conjunto tornozelo-pé, as órteses cumprem funções de alinhamento e alívio de dor, devido ao paciente possuir algum grau de espasticidade, pé caído ou outra alteração neuromusculoesquelética (Adiputra et al., 2019). Essas órteses são classificadas como suropodálicas articuladas (*articulated ankle-foot orthosis*).

O objetivo dessa pesquisa foi desenvolver uma órtese suropodálica articulada (membros inferiores) para crianças de 2 anos, que fosse passível de ser feita por meio de modelagem digital e processos de Manufatura Aditiva. Para tal, foi utilizada como base uma órtese de referência já existente e utilizada (Figura 1), feita pelo processo tradicional de moldagem térmica de plástico, da qual foram analisados pontos positivos e negativos e elencadas possíveis modificações e adaptações.

**Figura 1.** Modelo de Órtese AFO de referência.  
Fonte: Próprios Autores.



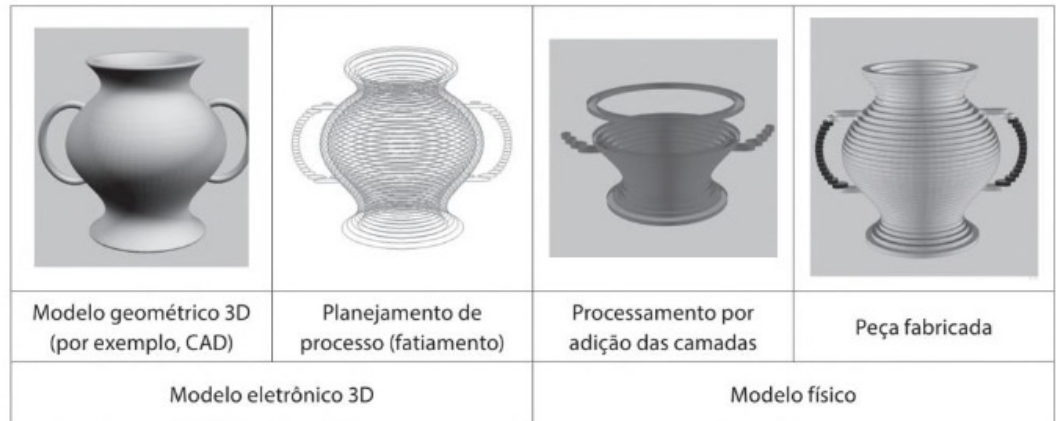
## 2. Manufatura Aditiva

A Manufatura Aditiva (ou *Additive Manufacturing* - AM) é uma tecnologia disruptiva que permite às pessoas fabricarem itens em qualquer lugar e em qualquer momento, desde que tenham uma impressora 3D. De acordo com Santos (2017, p. 36) a Manufatura Aditiva permite a produção de “produtos impressos diretamente pelo usuário, sem a necessidade de processo de produção convencional, proporcionando aos designers a possibilidade de desenvolver e apresentar resultados físicos de projetos com geometrias complexas e digitalmente customizadas”.

Este é um processo no qual, a partir de modelos digitais e máquinas controladas por Comando Numérico Computadorizado (CNC), é possível criar objetos com formas, tamanhos e cores variados. A fabricação do objeto ocorre por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente. Esse modelo geométrico 3D é originado de um software CAD (*Computer-Aided Design*), como *Rhinoceros* ou *SolidWorks*.

Volpato e Carvalho (2017) explicam que o processo tem início com o modelo 3D da peça sendo "fatiado" eletronicamente, obtendo-se curvas de nível 2D que definirão, em cada camada, onde será ou não adicionado material. A peça física é, então, gerada por meio do empilhamento e da adesão sequencial das camadas, da base até o seu topo (Figura 2).

**Figura 2.** Processo da modelagem eletrônica até o modelo físico impresso em 3D.  
 Fonte: Volpato e Carvalho, 2017.



Mesmo que essa tecnologia já exista há mais de três décadas, apenas recentemente ela atingiu o nível para aplicações que envolvem cuidados de saúde (Zadpoor & Malda, 2016). Impressoras 3D estão permitindo produzir modelos anatômicos e dispositivos personalizados para pacientes com anomalias específicas. Como resultado, a impressão 3D está sendo utilizada como técnica de manufatura em saúde e medicina, incluindo dentistas, diversas engenharias e medicina regenerativa e formulação de drogas, emergindo no que diz respeito ao comércio de produtos médicos, pesquisas e impressão de órgãos (Azevedo et al., 2018).

### 3. Órteses suropodálicas

A Manufatura Aditiva é capaz de confeccionar produtos físicos avançados e especializados por meio de tecnologia computadorizada. Alguns desses produtos são as órteses, que podem ser definidas como um aparelho externo que auxilia o sistema musculoesquelético, projetado para compensar a fraqueza ou a ausência da função muscular ou para impedir a ação direta dos músculos espásticos. A finalidade preliminar de uma órtese é melhorar funcionalidades do sujeito em seu cotidiano. Uma das classificações das órteses tem relação com a locomoção para membros superiores e inferiores; no segundo caso, temos palmilhas, supramaleolar, suropodálicas (*Ankle-Foot Orthosis* ou AFO), entre outras (Ministério da Saúde, 2019). As órteses suropodálicas ou órteses tornozelo-pé, foco do presente trabalho, são aparelhos ortopédicos utilizados para auxiliar a função fisiológica de movimentação ativa e estabilização do tornozelo pelos músculos da perna, prevenindo e corrigindo deformidades neuromusculoesqueléticas através da diminuição de carga causada pelo fornecimento de torques auxiliares para as articulações, melhorando os movimentos (ZHOU et al., 2022). As órteses suropodálicas podem ser utilizadas por diversos tipos de pessoas que sofreram algum tipo de trauma ou lesão. Alguns dos mais comuns, de acordo com Ministério da Saúde (2019), são: lesão medular, acidente cardiovascular (AVC), trauma crânio-encefálico, doenças degenerativas, paralisia cerebral e qualquer tipo de patologia que leve à plegia.

### 4. Materiais e métodos

O método projetual a ser utilizado foi o Duplo Diamante, ou *Double Diamond*, desenvolvido pelo Design Council, da Inglaterra (Ball, 2019). O *Double Diamond* é uma representação visual, uma maneira simples de descrever as etapas de qualquer projeto de design e inovação, independentemente dos métodos e ferramentas utilizados. As primeiras etapas do modelo Duplo Diamante foram DESCOBRIR e DEFINIR, envolvendo a pesquisa de dados primários e secundários. Foram realizadas as seguintes etapas no processo: Análise da órtese de referência existente; levantamento de materiais; testes e entendimento das limitações técnicas das máquinas de impressão 3D, a fim de explorar a criatividade focalizada nestes limites. O foco do presente projeto é essencialmente tecnológico, ou seja, envolve os processos de modelagem e impressão tridimensional para gerar um modelo de órtese infantil para membros inferiores. Ferramentas como Painéis semânticos, Mapas Mentais e tabelas comparativas foram utilizadas para organização das ideias e extração de insights. As etapas seguintes, relativas ao segundo diamante do modelo, foram DESENVOLVER e ENTREGAR, englobando técnicas de criatividade e pranchas de desenvolvimento. Nesta etapa também são incluídos processos criativos ligados aos softwares de modelagem 3D, de modo a ampliar ainda mais o espectro de possibilidades desenvolvidas. Ainda nesta etapa, englobamos a construção de modelos tridimensionais de baixa fidelidade (com materiais simples e baratos), além naturalmente da confecção de modelos impressos em 3D e testes funcionais, estruturais e de resistência. Ao final, o novo modelo de órtese foi finalizado e os resultados do projeto foram apresentados. Com relação aos materiais e tecnologias necessárias para realização da presente pesquisa, a estrutura utilizada foi do D4H Lab - Laboratório de Manufatura Aditiva para Tecnologias Assistivas,

ligado ao Curso de Design e ao Programa de Pós-Graduação em Design da UFCG. O laboratório conta com impressoras 3D por fusão de filamento ou FDM (*Fused Deposit Modeling*), que usam filamentos de PLA (Ácido Polilático), ABS (Acrilonitrila, Butadieno, Estireno) e o PETG (Polietileno Tereftalato Glicol), bem como impressoras de estereolitografia ou SLA (*Stereolithography Apparatus*), que usa resina fotopolimérica curável, enrijecida por meio da aplicação de feixes de luz.

### 5. Resultados e discussão

O conceito que norteou a criação da nova órtese sempre teve em consideração o aumento do respiro da pele na área da panturrilha, onde as principais forças musculares da perna estão presentes, além de tentar dar mobilidade aos dedos. O resultado são duas áreas de respiro para a pele: a primeira na área do tríceps sural e a segunda na posterior do tornozelo (Figura 3), o que pode gerar mais conforto e maior possibilidade de aceitação por um usuário tão exigente quanto uma criança. O desenho das laterais se molda ao formato da panturrilha e na base também se buscou adequação ao formato do pé, de modo a evitar formas não naturais que pudessem causar incômodo. Levando-se em conta a peça inferior do objeto (base), duas regiões de formas mais orgânicas foram criadas logo abaixo do tornozelo com eixo horizontal maior, permitindo assim maior harmonia entre o pé a forma.

**Figura 3.** Destaque às áreas de respiro e das texturas em alto relevo da nova órtese.  
Fonte: Próprios Autores.



Com relação aos aspectos estéticos e simbólicos, durante a pesquisa foi verificado que muitas crianças não gostam de usar a órtese suropodálica por elas serem muito distantes do universo lúdico em que estão inseridas e assim chamarem a atenção de outras crianças, fazendo com que o usuário se sinta diferente dos demais. Apesar de não ser o foco do projeto, o modo como as órteses podem influenciar a autoestima das crianças, com sua estética, pode ser um item importante para a sua maior aceitação órtese. Neste sentido, duas estratégias foram usadas: aplicar elementos estéticos e lúdicos e a utilização de cores.

As linhas em alto relevo dão maior destaque, reforçando as janelas de respiro e dando um aspecto lúdico à peça (Figura 3). Pensando na aplicação de textura e *affordance* visual para a aplicação das presilhas, foram acrescentados pequenos relevos arredondados. Além disso, o desenho foi otimizado para permitir um melhor encaixe entre a base e a traseira da órtese.

Como são feitas em impressoras 3D de filamento, há inúmeras combinações de cores possíveis com o qual a órtese pode ser feita, visto que filamentos estão disponíveis em diversas cores. Isso gera a possibilidade de personalizar a peça de acordo com as cores preferidas da criança assistida; pode ser uma cor única, pode ser cada peça com uma cor (como no modelo final apresentado), podem ser cores fortes ou mais suaves, enfim, o usuário é quem opta a variação preferida. O modelo final foi impresso em cores suaves, de modo a criar um produto mais leve e divertido.

As peças finais também são mais adequadas ao processo de impressão 3D. A base (em lilás) ficou completamente plana, o que aumenta a área de contato com a mesa da impressora e permite que a peça seja impressa em pé, sem suportes. A posterior (em verde) também teve o contato com a mesa de impressão ampliado, tendo a sola plana. Isso faz com que ela 'cole' na mesa de impressão e também permite que essa peça seja impressa sem suportes.

Foram adicionados dois pinos laterais (Figura 3), também impressos em 3D, que encaixam as duas partes da órtese (base e posterior) e permitem o movimento entre as partes, visto se tratar de uma órtese dinâmica. Os pinos são fixados por parafuso fixando as peças no eixo que a impedem de se soltarem facilmente. Por fim, a parte interna da órtese é revestida com uma camada de borracha, para tornar o uso mais cômodo e confortável, além da inserção e fixação das correias que prendem a órtese à perna do usuário (Figura 5).

**Figura 4.** Modelo final da órtese AFO infantil impressa em 3D.  
Fonte: Próprios Autores.



**Figura 5.** Simulação de uso da órtese AFO infantil.  
Fonte: Próprios Autores.



Ademais, por ser uma tecnologia que trabalha com arquivos digitais e máquinas controladas por computador, o processo de fabricação em Manufatura Aditiva facilita a disseminação dos arquivos na Internet, em sites de compartilhamento, em formato de inovação aberta. Esses arquivos poderão ser baixados, modificados e adaptados para cada usuário.

## 6. Conclusão

O objetivo principal dessa pesquisa foi atingido, pois conseguimos produzir um novo modelo de órtese infantil para membros inferiores por meio do processo de Manufatura Aditiva de filamentos poliméricos. Os resultados obtidos foram mudanças estéticas e funcionais que são capazes de possibilitar maior adesão de crianças na faixa de 2 anos às órteses suropodálicas, ao passo que contribui para inovação tecnológica na área de saúde.

O modelo resultante tem caráter experimental e teve foco na tecnologia de Manufatura Aditiva, demonstrando a possibilidade de se fazer uma órtese com esse processo, em alternativa à tradicional moldagem térmica.

O modelo final impresso em PLA, um material mais fácil de imprimir, precisa ser confeccionado em ABS ou PETG, que são plásticos com propriedades físicas e mecânicas mais adequadas para as exigências do uso cotidiano de uma órtese. Após essas adaptações, o produto precisa ser testado e avaliado pelo usuário final, que pode solicitar modificações e uma nova rodada de adaptações, até o seu uso pleno.

## 7. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Brasil), por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), como também da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ).

## 8. REFERÊNCIAS

- ADIPUTRA, D., NAZMI, N., BAHUDDIN, I., UBADILLAH, U., IMADUDDIN, F., ABDUL RAHMAN, M., MAZLAN, S., & ZAMZURI, H. (2019). *A review on the control of the mechanical properties of Ankle Foot Orthosis for gait assistance*. *Actuators*, 8(1), 10.
- BALL, J. (2019). *The Double Diamond: A universally accepted depiction of the design process*. Disponível em <https://www.designcouncil.org.uk/our-esources/archive/articles/double-diamond-universally-accepted-depiction-design-process>.
- CHEN, C., WANG, X., WANG, Y., YANG, D., YAO, F., ZHANG, W., WANG, B., SEWVANDI, G. A., YANG, D., & HU, D. (2020). *Additive manufacturing of piezoelectric materials*. *Advanced Functional Materials*, 30(52).
- SANTOS, J. R. L. (2017). *A Manufatura Aditiva no Design de Produtos*. In: Volpato, N. (ed.). *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão*. São Paulo: Blucher.
- VOLPATO, N. & CARVALHO, J. (2017). *Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D*. In: Volpato, N. (ed.). *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão*. São Paulo: Blucher.
- MARTINS, V.H.C. (2017). *Impressão 3D: uma abordagem de produção mais limpa?* 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Escola de Engenharia. Guimarães: Universidade do Minho.
- MORIMOTO, S. Y. U.; CABRAL, A. K. P. S.; SANGUINETTI, D. C. M.; FREITAS, E. S. R.; MERINO, G. S. A. D.; COSTA, J. Â. P.; COELHO, W. K. & AMARAL, D. S. (2021). *Órteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa*. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, 29.
- AZEVEDO, L.G.C., BAIA JUNIOR, L.O.S., OLIVEIRA, M. S., AMORIM, N.D.M., COUTINHO, K.D., NAGEM, D.A.P., GUERRA NETO, C.L.B., HÉKIS, H.B. & VALENTIM, R.A.M. (2018). *Órteses e próteses aplicadas à tecnologia 3D na saúde: uma revisão sistemática*. In: Coutinho, K.D. et al. (org.). *Tecnologia 3D na Saúde: uma visão sobre Órteses e Próteses, Tecnologias Assistivas e Modelagem 3D*. Natal: SEDIS-UFRN.
- ZHOU, C.; YANG, Z.; LI, K. & YE, X. (2022). *Research and Development of Ankle–Foot Orthoses: A Review*. *Sensors*, 22(17). Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9460335>.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (2019). *Guia para Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção*. Brasília: Ministério da Saúde.
- ZADPOOR, AMIR A. & MALDA, JOS (2016). *Additive Manufacturing of Biomaterials, Tissues, and Organs*. *Biomedical Engineering*, Springer Nature, 1(45), 1-11.