

TRANS VERSO

08 Estudo comparativo entre os métodos de produção tradicional e impressão 3D de órteses plantares

recebido em 13/09/2024
aprovado em 13/10/2024

Estudo comparativo entre os métodos de produção tradicional e impressão 3D de órteses plantares

Bárbara Bernadelli Ribeiro

bernadelli@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Sofia Maria Mecnas Areias Lima

sofia.areias@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Laura Duarte Santana

lauraduarte@discente.ufg.br
Universidade Federal de Goiás

Pedro Henrique Gonçalves

pedrogoncalves@ufg.br
Universidade Federal de Goiás

RESUMO (PT): Este estudo explora o uso de órteses plantares para membros inferiores, com ênfase em dois métodos de produção, tendo em vista sua relevância no tratamento de disfunções biomecânicas. A fabricação de palmilhas personalizadas, por meio da impressão 3D, é apresentada como uma alternativa inovadora e sustentável, que emprega polímeros avançados. O objetivo principal é comparar a produção tradicional de palmilhas com a produção por manufatura aditiva, no que diz respeito à geração de resíduos. Para isso, utilizou-se os processos de fabricação desenvolvidos pelo Centro de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER) e pelo Laboratório de Estudos e Inventividades em Tecnologias Assistivas (Lab.EITA) da UFG. Mediante a avaliação e comparação da geração de resíduos entre os métodos, nota-se que a impressão 3D oferece vantagens consideráveis, como a geração mínima de resíduos, menor dependência de trabalho manual e maior personalização e velocidade, o que pode revolucionar a indústria de palmilhas ortopédicas.

Palavras-chave: órteses, impressão 3D, palmilhas.

ABSTRACT (ENG): This study explores the use of plantar orthoses for lower limbs, with emphasis on two production methods, considering their relevance in the treatment of biomechanical dysfunctions. The manufacture of customized insoles, through 3D printing, is presented as an innovative and sustainable alternative, which employs advanced polymers. The main objective is to compare the traditional production of insoles with production by additive manufacturing, with regard to waste generation. For this, the manufacturing processes developed by the Dr. Henrique Santillo Rehabilitation and Readaptation Center (CRER) and the Laboratory of Studies and Inventiveness in Assistive Technologies (Lab.EITA) of UFG were used. By evaluating and comparing the waste generation between the methods, it is noted that 3D printing offers considerable advantages, such as minimal waste generation, less dependence on manual labor and greater customization and speed, which can revolutionize the orthopedic insole industry.

Keywords: orthotics, 3D printing, insoles.

1. Introdução

A órtese é um dispositivo aplicado externamente que tem como objetivo melhorar a qualidade do movimento de um indivíduo, podendo ser aplicada em várias partes do corpo. As órteses para o membro inferior podem ser de diversos tipos, como a órtese para quadril, joelho, tornozelo e pé (HKAFO), joelho, tornozelo e pé (KAFO), tornozelo e pé (AFO) e órtese para o joelho (KO), para o quadril (HpO) e para o pé (FO) (Brasil, 2014, p. 210).

A órtese para o pé ou órtese plantar (FO) tem várias funções, como correção, compensação, proteção e algumas combinam controle funcional com proteção (Crabtree *et al.*, 2009, p.2), sendo indicadas para pessoas de todas as idades que apresentem problemas nos pés ou membros inferiores. O tipo de órtese escolhida dependerá da necessidade de cada indivíduo, podendo se apresentar sob a forma de sapatos, sapatos modificados e palmilhas (pré-fabricadas ou personalizadas).

As órteses plantares personalizadas são abundantemente prescritas após avaliações em movimento e de forma estática para verificar os tipos de pisada e quais as órteses plantares necessitam ser prescritas. Além de redistribuir as pressões, elas são capazes de minimizar dores ou até melhorar o desempenho esportivo, já que são confeccionadas sob medida para o pé do indivíduo usando impressão plantar.

Durante a produção de órteses plantares personalizadas, faz-se necessário a realização de uma análise prévia dos pés, a fim de verificar se há desajustes nos pés como pronação e supinação, além da altura dos arcos plantares e análise da marcha (Whittle, 2007). As palmilhas podem ter diversas indicações como para reduzir a pressão plantar e minimizar problemas plantares associados aos problemas musculoesqueléticos, assim como para aumentar a performance em atletas (Seger, F., 2017, p. 44). Elas devem ter a função de reduzir e distribuir as pressões plantares entre os pontos de apoio, para minimizar o estresse nesses pontos durante a execução de atividade física ou em longos períodos em pé (Davia-Aracil; Hinojo-Pérez; Jimeno-Morenilla, 2018, p. 38).

A produção individualizada e personalizada das palmilhas possibilita o controle da pressão plantar de diferentes tipos de morfologias dos pés, visto que cada usuário possui uma biomecânica distinta. Dessa forma, o potencial de tratamento proposto proporcionará desenvolver um material adequado para atender aos requisitos mecânicos e clínicos individuais e assim favorecer o tratamento.

A produção das palmilhas tem início por meio da captura da geometria do pé, seja por meio da digitalização ou manualmente e depois passa pela fase de design. Nessa fase são realizadas as correções dos moldes no negativo ou positivo ou com o uso de "CAD 3D", que pode ser por meio da manufatura rápida.

Segundo Park (Park, 2021, p. 12), a manufatura aditiva é um modo de produção sustentável, pois economiza materiais e energia, minimizando o impacto ambiental. Ademais, a impressão 3D permite uma versatilidade no design e na adaptação ao produto. Trata-se de uma técnica que utiliza a deposição de material, formando uma camada sobreposta sobre outra, camada por camada, para criar o objeto tridimensional.

Nesse contexto, existe uma variabilidade de materiais que podem ser utilizados nessa técnica, entretanto, os polímeros de alto desempenho, os nanocompósitos, são bastante utilizados na impressão 3D. Polímero de alto

desempenho é um grupo de materiais poliméricos que são conhecidos por reter suas propriedades mecânicas, térmicas e químicas desejáveis quando submetidos a ambientes agressivos, como elevada temperatura, pressão e corrosão. Esses polímeros, quando agregados a nanocargas (nanotubo de carbono), nanoargila e grafeno, têm a capacidade de potencializar suas propriedades mecânicas, inclusive fornecendo condutividade térmica e elétrica (Leon *et al.*, 2016, p. 6).

Giannopoulos *et al* (2016, p. 4), em uma revisão, relatam que o uso da impressora 3D, melhora significativamente a comunicação com os pacientes e possui um potencial revolucionário para a prática clínica. A máquina tem sido utilizada, por exemplo, com aplicabilidade na área cardiovascular na assistência diagnóstica, em algoritmos de gerenciamento em doenças cardiovasculares complexas e também em planejamento e simulação de procedimentos cirúrgicos e intervencionistas.

Nos últimos anos, o uso da impressão 3D na fabricação das órteses plantares se mostrou promissor ao possibilitar a adição de novas propriedades às palmilhas, conferindo valor agregado. A manufatura aditiva permite, por exemplo, áreas ocas ou com maior densidade de filamento, definidas previamente no design da palmilha, que podem contribuir para absorção de choque, flexibilidade e alteração dos pontos de pressão plantar (Davia-Aracil; Hinojo-Pérez; Jimeno-Morenilla, 2018, p. 43).

O objetivo deste estudo é comparar, com foco na geração de resíduos durante as etapas, o método de produção de palmilha tradicional com o método de produção por prototipagem rápida.

2. Procedimentos metodológicos

A produção tradicional de desenvolvimento das palmilhas foi descrita com base no processo adotado pela Oficina Ortopédica do Centro Estadual de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER), localizado em Goiânia (GO). A produção por prototipagem rápida foi apresentada de acordo com a produção do Laboratório de Estudos Inventivos em Tecnologias Assistivas (Lab. E.I.T.A) da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizado também em Goiânia.

2.1. Produção tradicional

O processo de desenvolvimento tradicional de órteses no CRER é realizado por meio de um molde de gesso e é um processo artesanal ainda muito utilizado, principalmente nos centros de saúde. Este método envolve uma série de etapas meticulosas e detalhadas que resultam em palmilhas feitas sob medida para os pés dos usuários.

2.1.1. Molde negativo do pé

Na primeira etapa, por meio de uma caixa de espuma copiadora, é possível obter o molde inicial do pé. O paciente deve estar sentado, com o joelho flexionado em 90° e posicionar os dois pés no centro de cada caixa de espumas. Dessa forma, ao ser afundada, ela reproduz a forma dos dois pés, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1 - Produção do molde negativo: caixa de espuma copiadora e molde negativo do pé. Fonte: Brasil, 2014.

O formato dos pés que foi reproduzido na espuma permite o desenvolvimento do molde negativo do pé, que será preenchido na próxima etapa com gesso.

2.1.2. Molde positivo do pé

Nessa etapa, o molde negativo pode ser preenchido com gesso que, após a secagem, é retirado da espuma copiadora formando o molde positivo, mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Produção do molde positivo: preenchimento da espuma com gesso e molde positivo. Fonte: Brasil, 2014.

A partir da secagem do material, os moldes positivos são acrescidos de uma camada extra de gesso nos pontos em que se objetiva alívio, enquanto onde se pretende aumentar a pressão, uma camada de gesso é retirada.

2.1.3. Moldagem da palmilha

Após esses ajustes, o molde segue para a etapa de modelagem da palmilha. O material, normalmente composto pelo polímero de Etileno Acetato de Vinila (EVA), é recortado e colocado em um forno com temperatura em torno de 200°C, por cerca de 20 segundos, observado na Figura 3.



Figura 3 - Moldagem do EVA: molde positivo e EVA no forno. Fonte: Adaptação de Brasil, 2014.

A borracha de EVA pode variar de acordo com o nível de rigidez que se pretende alcançar. Os valores para sua espessura podem ser de dois, quatro ou oito milímetros e para a densidade 17 ou 35. Dessa forma, após sair do forno, o material é colocado sobre o molde, como pode ser visto na Figura 4, uma mesa de sucção que copia a superfície do molde para o EVA.



Figura 4 - Moldagem do EVA: Sucção do EVA no molde. Fonte: Adaptação de Brasil, 2014.

2.1.4. Acabamento

Após o resfriamento do EVA, o recorte é realizado e a palmilha está pronta, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Palmilha pronta. Fonte: Brasil, 2014.

2.2. Produção por prototipagem rápida

A prototipagem rápida é um processo fundamental na concepção e desenvolvimento de produtos, que permite a criação rápida de modelos físicos ou protótipos de um design. Essa abordagem faz o uso de tecnologias avançadas, como a impressão 3D, para produzir modelos tridimensionais precisos em um curto período de tempo. Ao unir essa tecnologia com o escaneamento 3D, o processo torna-se ainda mais individualizado e preciso.

2.2.1. Levantamento da geometria do pé

O levantamento tridimensional do pé do indivíduo é fundamental para a produção personalizada da palmilha, o que garante a fidelidade das dimensões do objeto produzido. No caso desta pesquisa, foi utilizado um *scanner 3D*, que, de um modo geral, é definido como qualquer dispositivo digital sem contato, não destrutivo, que utiliza luz ou laser para capturar com precisão a forma de um objeto físico em dados CAD (*Computer Aided Design*).

Para o processo, foi utilizado um *scanner 3D EinScan PRO 2X Plus* que possui uma precisão de 0.05 ~ 0.01 mm. Durante o escaneamento, o paciente, que

pode estar sentado ou em pé, apoia o seu pé em uma plataforma estática transparente, de tal forma que seja possível reproduzir a forma aproximada do apoio do pé no chão, como mostra a Figura 6.

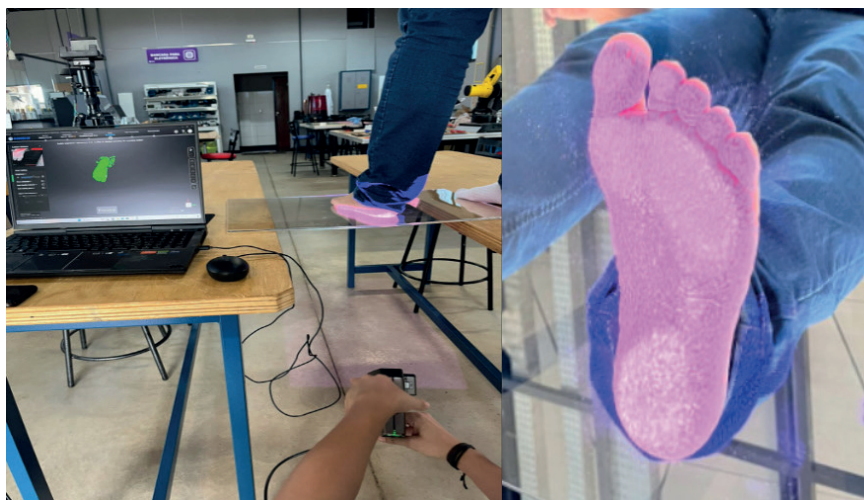


Figura 6 - Processo de escaneamento: utilização do scanner e vista posterior do pé ao ser escaneado. Fonte: Autores, 2024.

Após o escaneamento do pé, um tratamento da nuvem de pontos é realizado, o que permite a criação do arquivo STL (acrônimo que significa estereolitografia, formato comum na impressão 3D).

2.2.2. Modelagem 3D

Na etapa seguinte, após a obtenção do modelo do pé, a modelagem da palmilha é realizada. Para isso, o *software* “Gensole” foi utilizado, por ser um *software* gratuito e também por possibilitar construir palmilhas ajustadas, conforme Figura 7.

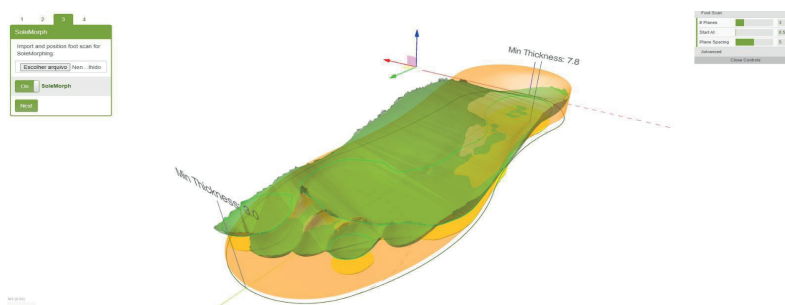


Figura 7 - Modelagem da palmilha - “Gensole”. Fonte: Autores, 2024.

O programa utiliza o “*Solemorph*”, um processo que molda a superfície superior da palmilha de acordo com a geometria do pé. Isso é feito por meio da possibilidade de alterar a densidade, com áreas de malha mais grossa ou mais fina para compensar áreas de alta pressão, além do ajuste das curvas da palmilha para combinar com cada calçado e da inclusão de furos na parte superior ou nas superfícies para melhor fluxo de ar e estimulação das células sanguíneas.

2.2.3. Impressão 3D

Depois de projetar a palmilha por meio do *software* “Gensole”, o arquivo é exportado, em formato AMF (*Módulo Advanced Format*), para o Slic3r. A importância dessa ação reside na função que a extensão permite de construir um modelo 3D com diferentes arquivos, possibilitando configurações de materiais com diferentes densidades na impressão 3D. Em seguida, para a impressão da palmilha, o modelo foi preparado no *software* “SLICER”, sendo este um *software open source* para ajuste fino e processamento do modelo tridimensional. Ele tem o objetivo de converter o arquivo em instruções para a impressora 3D, conhecido como G-CODE e impresso no equipamento do modelo *Creality Ender 3 S1 PRO* (Figura 8), possui um bico de 0,4mm e densidade de preenchimento variando por zona de pressão.

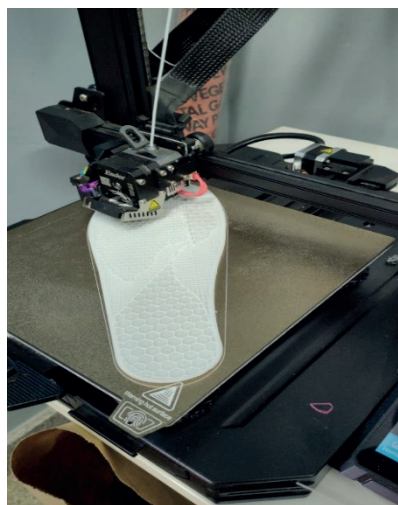


Figura 8 - Impressão da palmilha por meio da impressora 3D. Fonte: Autores, 2024.

Para a escolha do material de impressão, o *UltraFlex TPU 40 SHORE D* (termoplástico de ácido polilático com base em amido de milho) foi selecionado por apresentar propriedades de elasticidade, resistência à abrasão, material comumente utilizado na impressão 3D para a produção de palmilhas ortopédicas, modelos de próteses, solas sandálias, entre outros. A palmilha impressa pode ser vista na Figura 9.



Figura 9 - Palmilha impressa. Fonte: Autores, 2024.

2.2.4. Pós-processamento

Por fim, a palmilha é revestida com Neoprene, que foi recortado em uma máquina de corte à laser, observado na Figura 10.

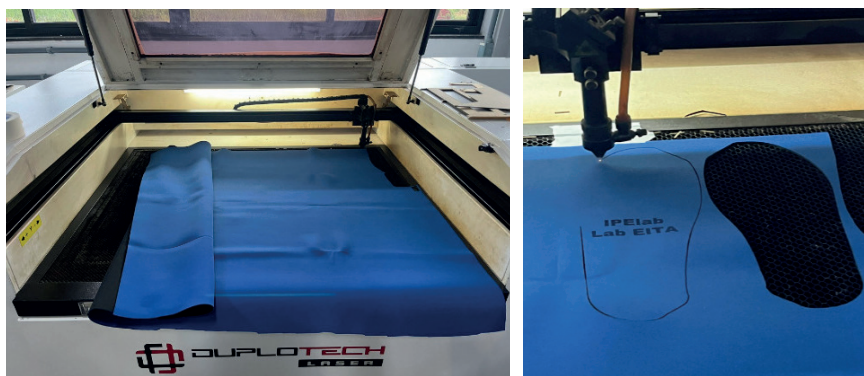


Figura 10 - Corte do Neoprene na máquina de corte à laser: máquina de recorte e recorte do Neoprene. Fonte: Autores, 2024.

Nesse contexto, com o objetivo de gerar mais conforto ao indivíduo, o processo chega ao fim, com a palmilha revestida pelo Neoprene (Figura 11).



Figura 11 - Palmilha com o Neoprene. Fonte: Autores, 2024.

3. Resultados

No processo de fabricação tradicional, observa-se a dependência da habilidade manual de profissionais qualificados e experientes nos processos de moldagem do gesso. Nesse processo, o ortesista precisa modificar o molde anatômico de gesso de cada paciente, adicionando ou removendo material, conforme as necessidades de correção postural de cada usuário. Da mesma forma, o processo de produção das palmilhas por meio da impressão 3D exige a necessidade de um profissional qualificado, com experiência no uso de softwares e equipamentos utilizados nesse tipo de processo, além de conhecimento sobre as áreas onde deve haver maior ou menor deposição de material por camada, que irão variar de acordo com a necessidade individual de cada paciente.

Em relação ao tempo de entrega, a palmilha produzida por meio do método de produção tradicional analisado levou cerca de três meses para ser entregue, considerando o dia da primeira visita do paciente à clínica até o dia de finalização da palmilha. Por meio do método de produção de impressão 3D, é possível reduzir esse tempo de entrega para três dias, sendo que o tempo de levantamento da geometria do pé foi de cerca de uma hora, o tempo da etapa de modelagem, três horas, a impressão de quatro horas e trinta minutos e, por fim a adição do Neoprene levou cerca de 20 minutos. Para isso, deve ser levado em consideração que, no momento em que a coleta de dados foi realizada, a demanda de palmilhas no CRER era alta e que o número de funcionários era reduzido. Além disso, a produção da palmilha em 3D poderia ter esse tempo reduzido para a entrega no mesmo dia, mas

devido a coleta de dados de etapa por etapa para o trabalho realizado, esse tempo foi estendido.

Outro aspecto importante a ser considerado diz respeito à personalização. No método tradicional, há limitações, e ajustes manuais são frequentemente necessários para adaptar o produto ao pé do usuário, o que gera mais resíduos à medida que cada ajuste é feito. Por outro lado, o modelo digital pode ser facilmente modificado para atender às necessidades específicas de cada usuário, como a inclusão de suportes adicionais, a utilização de mistura de materiais diferentes, a alteração da densidade de material e o design personalizado para uma melhor adaptação e conforto. Ressalta-se ainda que os materiais utilizados na impressão 3D desta palmilha são recicláveis e biodegradáveis, o que pode reduzir ainda mais o impacto ambiental ao permitir que os resíduos sejam reciclados e reutilizados.

Ademais, no processo convencional utiliza-se de materiais de alto impacto ambiental. O EVA, por exemplo, é um dos polímeros mais comumente achados em microplásticos dos descartes urbanos e industriais de afluentes (Hajji *et al.*, 2024). Ainda, o uso do gesso traz diversas consequências, considerando a geração de vários resíduos ao longo de sua cadeia produtiva, desde a extração do minério até o descarte inadequado do material, os quais promovem a redução da vegetação nativa, contaminação do lençol freático e emissão de gases poluentes atmosféricos (Pinheiro, 2011, p. 61 e p. 94).

Além disso, também há o descarte de um par de caixas de espuma copiadora para cada paciente. Em contrapartida, na manufatura aditiva o filamento usado é um termoplástico a base de amido de milho, ou seja, é biodegradável, além de que o uso da máquina de corte à laser traz uma precisão que permite gerar o mínimo de sobras do material Neoprene.

O fluxograma abaixo (Figura 12), ilustra a comparação entre esses dois processos, com foco na geração de resíduos.

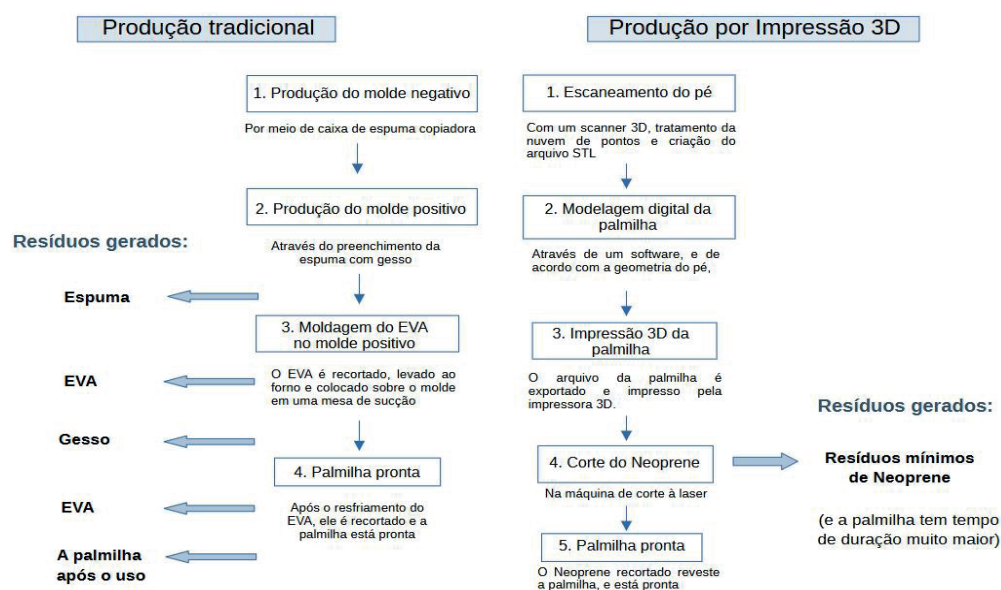


Figura 12 - Fluxograma da produção tradicional e da impressão por prototipagem rápida.
Fonte: Autores, 2024.

De modo geral, as palmilhas em impressão 3D geram menos resíduos de material e otimizam o uso dos recursos, tornando-as potencialmente mais sustentáveis em comparação ao método tradicional. Sendo assim, este método de produção diminui os impactos ambientais, consumo de energia e reduz a pegada de carbono. Como proposta para um trabalho futuro, seria interessante quantificar a quantidade de resíduos gerados com o intuito de estabelecer também o custo do processo dos dois modelos de produção, tanto no campo de materiais como também nas questões de descarte. Isso permitiria uma análise comparativa mais abrangente entre o método tradicional e a impressão 3D, considerando não apenas os aspectos técnicos e de personalização, mas também os impactos econômicos e ambientais de cada abordagem.

A produção de palmilhas, tanto pelo método convencional quanto pela impressão 3D, envolve diferentes impactos e benefícios, que podem ser analisados sob as perspectivas ambientais, econômicas e sociais. O método convencional, amplamente utilizado na indústria, apresenta desafios relacionados ao consumo de materiais, energia e descarte, enquanto a impressão 3D surge como uma alternativa inovadora, ambientalmente mais eficiente e sustentável. O quadro abaixo (Quadro 1) explora essas diferentes vertentes, evidenciando as vantagens e desvantagens de cada método, com foco nos impactos ambientais, econômicos e sociais envolvidos.

Aspecto	Produção Tradicional	Produção por prototipagem rápida
Ambiental	Geração de resíduos desde as etapas: descarte de espuma, EVA e gesso. Descarte da palmilha após o uso.	Redução de resíduos: geração de resíduo mínimo de Neoprene. A palmilha pode ter seu filamento reaproveitado após o uso.
	Materiais com alto impacto ambiental: O EVA, por exemplo, é um dos polímeros mais comumente achados em microplásticos dos descartes urbanos e industriais de afluentes (Hajji, <i>et al.</i> , 2024).	Material biodegradável (termoplástico de ácido polilático com base em amido de milho).
Econômico	Processo de moldagem e secagem realizados de forma segmentada, podendo levar até meses para serem finalizadas e entregues ao consumidor final.	A impressão da palmilha é feita em 4 horas e 30 minutos e pode ser entregue no mesmo dia do escaneamento dos pés.
	Fabricação manual, requer mais de um profissional para atender a demanda das etapas, elevando os custos de produção.	Fabricação em processo automatizado de deposição de material por camada para a construção do objeto - economia de mão de obra e recursos financeiros.
	Requer grande espaço físico para acomodação da oficina e maquinário de produção (forno, local de secagem dos moldes, mesa de sucção).	Necessário apenas o espaço para acomodar a impressora 3D e o scanner.

Social	Em caso de necessidade de alterações, todo o processo de confecção da palmilha, incluindo a modelagem em gesso, precisa ser reiniciado.	Em situações de alterações, o arquivo digital do modelo da palmilha pode ser salvo e reutilizado para futuras modificações, o que permite ajustes rápidos e econômicos, sem a necessidade de refazer todo o processo de modelagem inicial.
	Estilização não é possível em palmilhas pré-fabricadas.	Possibilidade de versatilidade no design e na adaptação dos produtos a partir das demandas do consumidor.

Quadro 1 - Comparação dos aspectos ambientais, econômicos e sociais entre a produção de palmilhas convencionais e impressas em 3D. Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

4. Discussões

As órteses personalizadas são consideradas um padrão *Standart* e custam mais que as pré-fabricadas, que não possuem uma altura do arco adequada e boa durabilidade (Majumdar *et al.* 2013, p.1). Nesse sentido, seria ideal que as palmilhas personalizadas mantivessem maior eficácia e funcionalidade em relação às outras e permitissem a produção por um custo baixo, com menor geração de resíduos.

Como foi demonstrado, o processo convencional atualmente utilizado pelo CRER demanda trabalho manual em todas as etapas e há descarte de espuma, gesso e da própria palmilha após o uso. Em comparação, a fabricação de palmilhas pela prototipagem rápida retira a necessidade do gesso e da termomoldagem, além de permitir que o processo seja menos dependente do trabalho manual e mais sustentável por gerar uma quantidade mínima de resíduos, no processo de corte à laser do Neoprene, e possibilitar que o termoplástico da palmilha seja reutilizado após o uso, reduzindo os custos a longo prazo. Além disso, a palmilha impressa tridimensionalmente apresentou 59g de peso, mostrando-se mais leve em comparação a palmilha convencional de tamanho aproximado, com 68g, podendo representar maior conforto ao usuário.

O sistema de produção por prototipagem ainda apresenta vantagens em relação à precisão na aplicação de diferenças de pressão. Nesse processo, é possível alterar de forma quantificada os níveis de densidade para cada área da palmilha, de acordo com o escaneamento obtido da geometria pé. Já na produção convencional, os níveis de densidade da palmilha são alterados pela adição de mais camadas de EVA ou por meio do lixamento ou incremento de gesso ao molde positivo antes da moldagem do EVA.

5. Considerações finais

A análise e comparação da geração de resíduos ao longo das várias fases de produção de uma palmilha ortopédica são de extrema importância, pois destacam a necessidade de minimizar o desperdício durante o processo de fabricação. Conclui-se que, para uma análise abrangente e robusta do processo de produção de palmilhas tradicionais em comparação com as produzidas em 3D, seria ideal implementar uma avaliação quantitativa mais aprofundada, com foco no ciclo de vida completo das duas produções. Recomenda-se, portanto, que futuras pesquisas incorporem essa abordagem metodológica

mais abrangente para oferecer uma compreensão mais completa e precisa das diferenças entre os dois métodos de produção de palmilhas.

Este estudo, ao explorar as potencialidades do processo de fabricação, visa não apenas avaliar as capacidades desta metodologia, mas também identificar oportunidades para desenvolver novos protocolos de produção de palmilhas ou aprimorar produtos existentes. Além disso, busca-se compreender o uso e o impacto das metodologias alternativas na geração de resíduos durante a produção.

Ao avaliar os resultados à luz desses objetivos, torna-se evidente que o método de pesquisa empregado foi eficaz em fornecer percepções sobre as práticas existentes e as possibilidades de inovação na produção de palmilhas ortopédicas. Isso destaca a importância de métodos de pesquisa para orientar a melhoria contínua na indústria, contribuindo para a redução do desperdício e o desenvolvimento de produtos mais eficientes e sustentáveis. Por fim, a adoção da produção em impressão 3D oferece vantagens nos aspectos ambientais, econômicos e sociais: como personalização, velocidade, custo e simplificação do design, o que pode revolucionar a indústria de palmilhas ortopédicas.

Agradecimentos

Este trabalho foi possível graças à oportunidade de participação dos autores no Programa de Iniciação à Pesquisa (PIP) da Universidade Federal de Goiás (UFG), além do fomento fornecido, durante a pesquisa, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela UFG.

Referências

- 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.
- CRABTREE, P., DHOKIA, V. G., NEWMAN, S. T., ANSELL M. P. Manufacturing Methodology for Personalised Symptom-Specific Sports Insoles. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, p. 972–979, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2009.04.016>.
- DAVIA-ARACIL, M.; HINOJO-PÉREZ, J. J.; JIMENO-MORENILLA, A. Impressão 3D de palmilhas anatômicas funcionais. **Indústria de Computação**, v. 95, p. 38-53, 2018.
- GIANNOPOULOS, A. A.; MITSOURAS, D.; YOO, S.-J.; LIU, P. P.; CHATZIZISIS, Y. S.; RYBICKI, F. J. Applications of 3D printing in cardiovascular diseases. **Nature Reviews Cardiology**, v. 13, n. 12, p. 701–718, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2016.170>.
- HAJJI, S.; BEN-HADDAD, M.; ABELOUAH, M.R.; RANGEL-BUITRAGO, N.; ALLA, A.A. Microplastic characterization and assessment of removal efficiency in an urban and industrial wastewater treatment plant with submarine emission discharge. **The Science of The Total Environment**, v. 945, p. 174115–174115, out. 2024.
- LEON, A. C.; CHEN, Q.; PALAGANAS, N. B.; PALAGANAS, J. O.; MANAPAT, J.; ADVINCULA, R. C. High performance polymer nanocomposites for additive manufacturing applications. **Reactive and Functional Polymers**, v. 103, p. 141–155, 2016.
- MAJUMDAR, R. *et al.* Development and evaluation of prefabricated antipronation foot orthosis. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, v. 50, n. 10, p. 1331–1342, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24699969>. Acesso em: 5 set. 2024.
- PARK, S.; FU, K. Polymer-based filament feedstock for additive manufacturing. **Composites Science and Technology**, v. 213, p. 108876, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108876>.
- PINHEIRO, M. S. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 330p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de Campinas, São Paulo, 2011.
- SEGER, F.; TAVARES, J. M. R. **Análise da influência de palmilhas personalizadas na distribuição das pressões plantares e no controlo postural**. [S. l.], Universidade do Porto, 2017.
- WITTLE, M. W. **Gait Analysis an introduction**, 4a ed., v. 53, n. 9. London: Heidi Harrison, 2007.