

Produção de Palmilhas Impressas em 3D na Prevenção de Úlceras em Pessoas com Diabetes

Production of 3D Printed Insoles for the Prevention of Ulcers in People with Diabetes

Sofia Maria Mecnas Areias Lima, Estudante de graduação de Fisioterapia, Universidade Federal de Goiás.

sofia.areias@discente.ufg.br

Vitória Souza de Oliveira , Estudante de graduação de Fisioterapia, Universidade Federal de Goiás.

oliveira_oliveira@discente.ufg.br

Pedro Henrique Gonçalves , Professor Doutor do Curso Design de Produtos, Universidade Federal de Goiás

pedrogoncalves@ufg.br

Resumo

A diabetes mellitus é caracterizada pela resistência à insulina e/ou produção insuficiente desse hormônio, que tem como uma de suas complicações a neuropatia periférica, que pode resultar na ocorrência de úlceras plantares, sendo a palmilha personalizada um pilar para a abordagem terapêutica dos indivíduos e prevenção dessas lesões. Este estudo avaliou a produção de palmilhas personalizadas por prototipagem rápida para a prevenção das úlceras plantares em pessoas diabéticas, com o objetivo de estabelecer um protocolo viável tecnicamente, possibilitando desenvolver um protocolo com maior viabilidade técnica. Esse método foi dividido em etapas, que envolveram processo de escaneamento, modelagem em softwares, impressão 3D e pós-processamento, que inclui o recorte dos materiais de revestimento e a fixação dos mesmos na palmilha. A fabricação de palmilhas por manufatura aditiva demonstrou eficiência e sustentabilidade, visto que há redução de custos, otimização de tempo e materiais, com menor geração de resíduos.

Palavras-chave: Diabetes; Palmilhas; Prototipagem Rápida; Úlceras plantares; Manufatura Ativa

Abstract

Diabetes mellitus is characterized by insulin resistance and/or insufficient production of this hormone, one of the complications of which is peripheral neuropathy, which can result in the occurrence of plantar ulcers. Personalized insoles are a pillar for the therapeutic approach of individuals and the prevention of these injuries. This study evaluated the production of customized insoles by rapid prototyping for the prevention of plantar ulcers in diabetic people, with the aim of establishing a technically feasible protocol, making it possible to develop a protocol with greater technical feasibility. This method was divided into stages, which involved a scanning process, software modeling, 3D printing and post-processing, which includes cutting out the lining materials and attaching them to the insole. The manufacture of insoles by additive manufacturing has proven to be efficient and sustainable, since there is a reduction in costs, optimization of time and materials, with less waste generation.

Keywords: Diabetes; Insoles; Rapid Prototyping; Plantar Ulcers; Active Manufacturing

1. Introdução

A diabetes mellitus (DM) é caracterizada pela resistência à insulina e/ou pela produção insuficiente desse hormônio pelo pâncreas, resultando em um estado de hiperglicemia (American Diabetes Association, 2011 p. S62). A hiperglicemia crônica (HC) pode provocar danos macro e microvasculares, impedindo que os vasos sanguíneos mantenham o tecido saudável (Cameron *et al.*, 2001 p. 1973), com destaque para condições como neuropatia diabética periférica (NDP), uma disfunção de um ou mais nervos nas extremidades do corpo (Feldman *et al.*, 2019 p. 1). A NDP é uma preocupação significativa devido às complicações que podem surgir nessa população, pois leva à perda da sensibilidade protetora nos pés (van Netten *et al.*, 2024 p. 2), estando intimamente relacionado à má distribuição das pressões plantares (Stoicescu, 2020 p.146), aumentando o risco de desenvolvimento de úlceras plantares (UP), que, sem o devido tratamento, tornam-se o principal fator de risco para amputações de membros inferiores, considerada o desfecho mais grave das UP (Veves *et al.*, 1992 p. 660. ; Assumpção *et al.*, 2009 p. 134-135).

Com a progressão da NDP, surgem alterações estruturais envolvendo o sistema musculoesquelético, caracterizadas por deformidades como dedos em garra, proeminências ósseas e rigidez articular (Pham *et al.*, 2000 p. 606). Essas alterações promovem desequilíbrios biomecânicos (Andreozzi *et al.*, 2020 p.1), resultando na redistribuição anômala das pressões plantares, o que predispõe ao desenvolvimento de úlceras (Caselli *et al.*, 2002 p.1068). Ademais, as lesões ulcerativas comumente são complicadas por infecções bacterianas, as quais podem evoluir para quadros graves, como celulite, osteomielite e gangrena (Stoicescu, 2020 p.141-149). Dessa forma, quando não abordadas adequadamente, essas complicações potencializam o risco de amputações, configurando um desfecho severo e de impacto significativo para o paciente (Pham *et al.*, 2000 p. 606; Assumpção *et al.*, 2009 p. 134-135).

O acesso a medidas preventivas para reduzir o risco de ulceração do pé nos casos de diabetes mellitus (DM), tais como cuidados podológicos e uso de calçados adequados e palmilhas personalizadas são imprescindíveis para evitar complicações nessa população (BUS *et al.*, 2023 p. 10-11). Contudo, muitos pacientes chegam ao sistema de saúde em estágios avançados da doença, frequentemente apresentando descontrole glicêmico e complicações incapacitantes para suas atividades de vida diária (Jorge *et al.*, 1999 p. 367 ; Nunes *et al.*, 2006 p.128; Wan *et al.*, 2020 p.2). Ainda que as órteses plantares e dispositivos de alívio associados, como as palmilhas, tenham demonstrado eficácia na redução das UP, a aquisição dessas tecnologias ainda é limitada, bem como a adesão e usabilidade palmilhas pela população diabética são dificultosos.

A fabricação de palmilhas ortopédicas ainda é predominantemente manual, e requer um alto nível de customização e acabamento, o que eleva os custos e prolonga o tempo de produção (Ribeiro *et.al.*, 2024 p. 142). O método de produção tradicional também gera resíduos ao longo de todas as suas etapas de confecção como mostrado na Figura 1, impactando o meio ambiente com os resíduos gerados, uma vez que são de difícil reutilização

e reciclagem. Além disso, materiais derivados do gesso, por exemplo, podem levar à contaminação do solo e da água (Pinheiro, 2011 p. 52).

Nessa perspectiva, a produção por manufatura aditiva (MA) vem se mostrando promissora nos campos da prática clínica, sendo aplicada nas mais diversas áreas da saúde (Barani *et al.*, 2005 p. 191 ; Giannopoulos *et al.*, 2016 p.4), inclusive na ortetização (Ren *et al.*, 2024 p.16-17), desse modo a combinação do escaneamento 3D com a impressão 3D possibilita a produção em maior escala de órteses plantares e palmilhas, incorporando um alto grau de automação e refinamento no acabamento. Além disso, essa tecnologia abre caminho para o desenvolvimento de dispositivos mais avançados com o objetivo de aprimorar a mobilidade, sustentação e autonomia dos pacientes.

Dessa forma, o objetivo deste estudo é testar e desenvolver um protocolo para estudar as possibilidades técnicas para a produção de palmilhas por prototipagem rápida na prevenção de úlceras plantares em pessoas com diabetes.

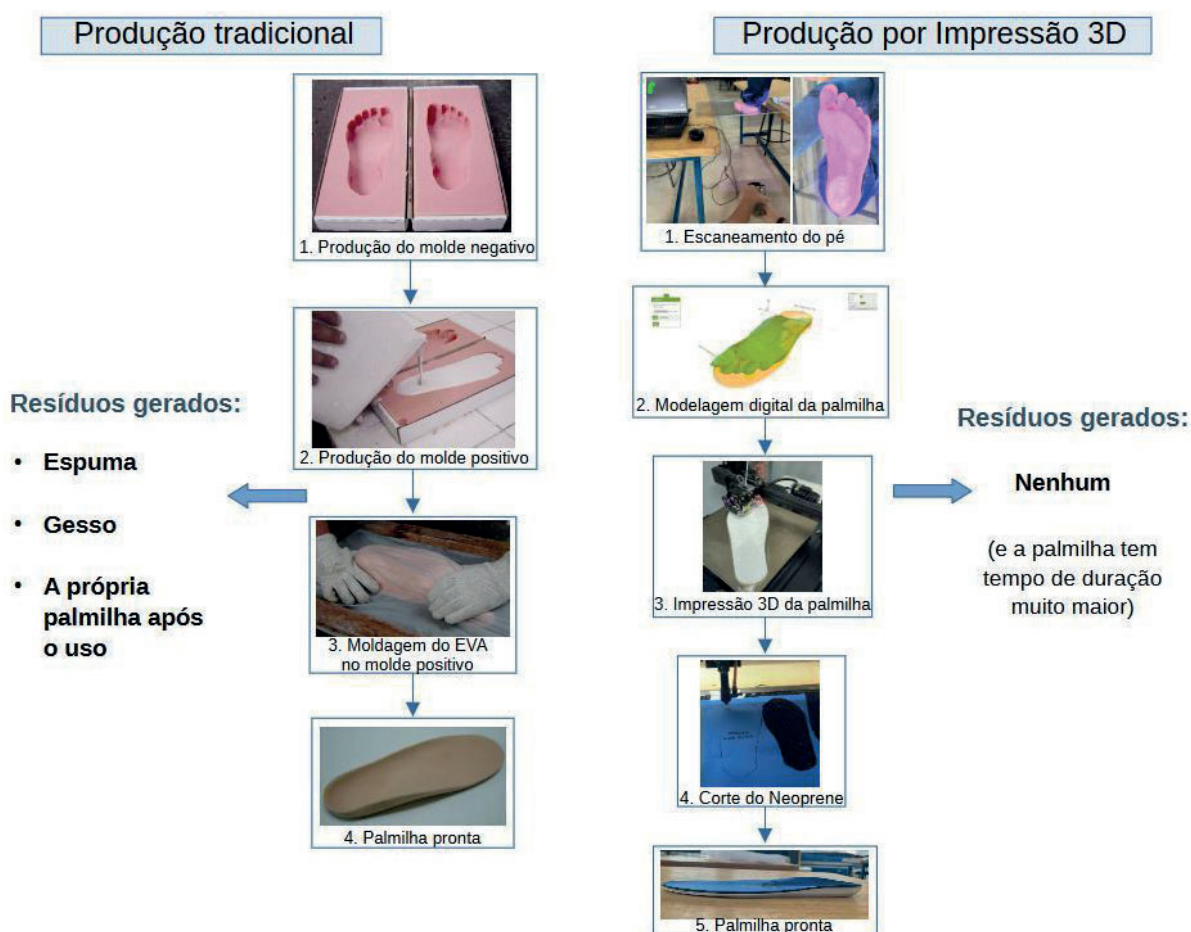


Figura 1: Fluxograma da produção tradicional e da impressão por prototipagem rápida. Fonte: Ribeiro *et. al*, 2024

2. Procedimentos Metodológicos

Foi realizado um levantamento bibliográfico das palmilhas já existentes para pessoas diabéticas com neuropatia periférica, para analisar os métodos e suas possibilidades de

produção na prototipagem rápida. O processo de produção do estudo por prototipagem rápida (3D) foi realizado na rede de laboratórios de Ideias, Prototipagem e Empreendedorismo (IPElab) da Universidade Federal de Goiás - GO, localizado em Goiânia. O teste foi realizado em um indivíduo não-diabético do sexo feminino, 21 anos, sem deformidades nos pés, dessa forma, vale salientar que foi realizada uma simulação de calosidades em pontos do antepé, (Figura 2 (a)), região com potencial elevado para desenvolver pelas úlceras plantares em indivíduos com neuropatia diabética grave (BUS *et al.*, 2023 p. 3 ; Caselli *et al.*, 2002 p.1067-1070)).

2.1 Levantamento da geometria do pé

O processo de escaneamento do pé é uma etapa essencial para o desenvolvimento da palmilha personalizada, pois possibilita a obtenção das especificidades e dimensões exatas do pé diabético (Ribeiro *et al.*, 2024 p. 137), além de permitir alterações adicionais futuramente caso necessárias (Jonnala U.K.; Sankineni R.; Kumar Y. R, p. 106005, 2023). Neste estudo, utilizou-se um scanner portátil 3D para a digitalização, o modelo utilizado foi o EinScan PRO 2X Plus, com uma precisão que varia entre 0,05 e 0,01 mm. Esse equipamento é definido como um dispositivo digital sem contato e não destrutivo, que emprega luz ou laser para captar com precisão a geometria de um objeto físico e convertê-la em dados CAD (Computer-Aided Design). Durante o processo de escaneamento, o pé foi posicionado sobre uma plataforma estática, permitindo a obtenção de uma representação aproximada de seu apoio no solo ou dentro do calçado (Figura 2 (a) Figura 2 (b) e Figura (c)). Após a digitalização, os dados passam por um tratamento da nuvem de pontos e são convertidos em um arquivo no formato STL (estereolitografia), amplamente utilizado na impressão 3D.

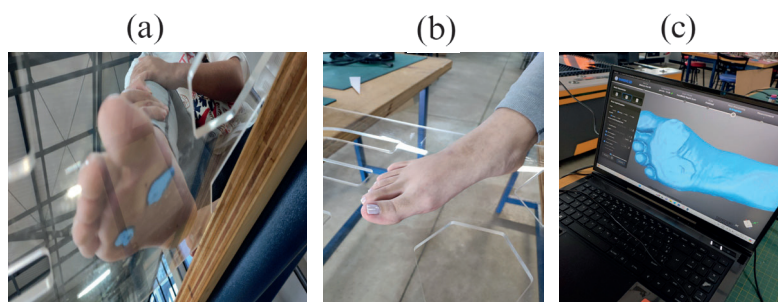


Figura 2: Processo de escaneamento: (a) Simulação de calosidades no antepé, (b) pé apoiado sobre superfície e (c) Pé escaneado no software EinScan PRO 2X Plus. Fonte: elaborado pelos autores.

2.2 Modelagem 3D

Após o escaneamento e processamento do modelo do pé, a modelagem da palmilha foi realizada por meio do software gratuito Gensole (figura 3), o qual viabiliza a modelagem de palmilhas com regiões de durezas customizadas que contribuem para a redução das altas pressões plantares, fundamentais para a prevenção do aparecimento das úlceras plantares. Além de disponibilizar outras funções, como a moldagem da superfície superior do pé conforme sua estrutura, por meio do processo “Solemorph” e curvas de contorno configuradas para proporcionar uma melhor acomodação das palmilhas dentro do calçado (Ribeiro *et al.*, 2024 p.138).

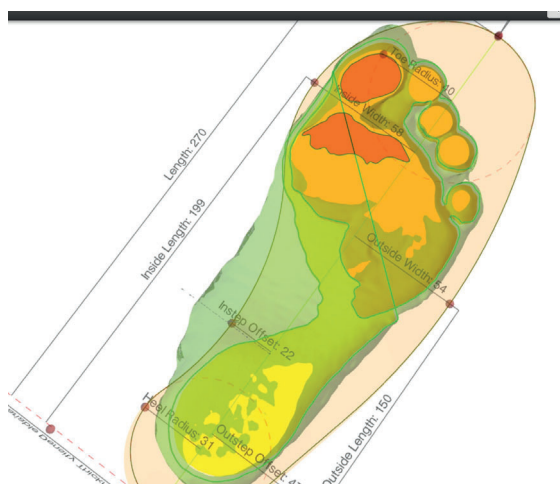


Figura 3: Modelagem da palmilha no software Gensole. Fonte: elaborado pelos autores

2.3 Impressão 3D

Posteriormente ao design da palmilha no software Gensole, o arquivo é exportado no formato AMF para o programa gratuito Slic3r. Essa etapa é importante, pois esse formato permite combinar múltiplos arquivos em um único modelo 3D, possibilitando a configuração de materiais com diferentes densidades durante a impressão (Figura 4 (a)).

Para a fabricação da palmilha, o modelo foi ajustado no software OrcaSlicer e impresso na impressora Creality Ender 3 S1 PRO (Figura 4 (b) e Figura 4 (c)), utilizando um bico de 0,4 mm e densidade de preenchimento variável conforme as zonas de pressão. O material empregado na impressão foi o UltraFlex TPU 40 SHORE D, um termoplástico à base de ácido polilático derivado do amido de milho (Kumar & Sarangi, 2023 p.9). Esse material é amplamente utilizado na manufatura aditiva devido às suas propriedades elásticas e resistência à abrasão, sendo comum na produção de palmilhas ortopédicas, solas de sandálias, próteses e outros dispositivos personalizados. Posteriormente, o tempo total da impressão ficou em 3 horas 20 minutos e o peso da palmilha em 46g.

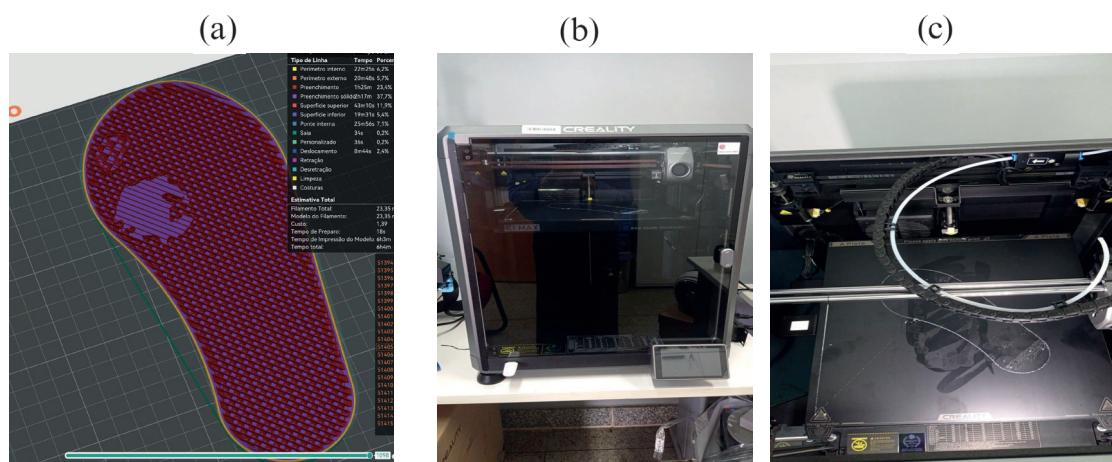


Figura 4: (a) Fatiamento da palmilha no software OrcaSlicer. (b) Impressora Creality Ender 3 S1 PRO e (c) Impressão da palmilha sendo realizada. Fonte: elaborado pelos autores.

2.4 Pós-processamento

Os materiais selecionados para o revestimento foram recortados em uma máquina de corte à laser (Figura 5 (a), Figura 5 (b) e Figura 5 (c)). Em sequência, foram realizados testes com duas colas, sendo uma de adesivo instantâneo e outra adesivo spray (Figura 6 (a) e Figura 6 (b)), para analisar qual teria maior potencial de adesão com o material da palmilha impressa. Com os resultados dos testes foi constatado que a cola de adesivo spray apresentou maior aderência entre as camadas de revestimento e a palmilha.

Por fim, foram realizados dois testes de palmilhas. Uma das palmilhas foi revestida com PORON® 4701-40-20 (Espessura máxima 3.18mm) (figura 7 (a)), um poliuretano em forma de uma espuma macia que fornece uma ampla gama de desempenho de compressão e vedação em uma variedade de aplicações, inclusive palmilhas. Esse material apresenta suas características físicas como força de compressão, resistência à tração e alongamento por longos períodos e mantém a integridade em longas flutuações de temperatura (Elastomeric Material Solutions, 2016 p.1).

O outro modelo foi revestido com duas camadas (Figura 7 (b)), uma de PORON® 4701-40-20 e outra de Acetato de Vinila (EVA), de espessura 0.4 mm, que é um polímero flexível, resistente à pressão e com capacidade de absorção de choques e proporciona maior conforto durante a marcha.

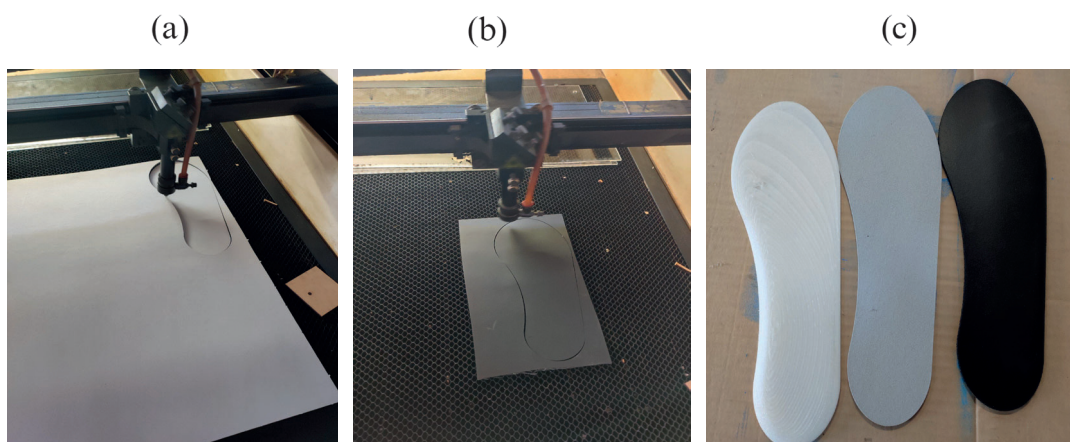


Figura 5: Pós processamento: (a) Corte à laser PORON® 4701-40, (b) Corte à laser EVA e (c) Palmilha impressa em 3D e revestimentos recortados. Fonte: elaborado pelos autores.



Figura 6: Teste de aderência: (a) Colas adesivas testadas e (b) Palmilhas com teste realizado. Fonte: elaborado pelos autores.



Figura 7: Palmilhas revestidas: (a) Palmilha revestida com camada de PORON© 4701-40 e (b) Palmilha revestida com duas camadas: PORON© 4701-40 e EVA. Fonte: elaborado pelos autores.

3. Resultados

O processo de prototipagem rápida mostrou-se eficaz para a produção de palmilhas, dado a eficiência que possui, possibilitando a produção de palmilhas personalizadas em 5 etapas, sendo, o escaneamento do pé, a modelagem por meio das imagens escaneadas, a impressão 3D, o recorte dos materiais de revestimento e a finalização da palmilha.

Nos dois modelos de palmilhas fabricadas neste estudo, a densidade foi modificada nos pontos onde houve a simulação de calosidades, a fim de resultar o alívio de pressão nessas regiões. Dessa forma, nota-se a importância da personalização das palmilhas para atender a necessidade do usuário, visto que cada indivíduo possui suas especificidades, sendo essencial para minimizar a ocorrência de úlceras.

Ademais, os materiais de revestimento são primordiais para que haja um melhor resultado no que tange ao alívio de pressão e surgimento de úlceras plantares. Shi (2022 p. 8-10) e Ren et al. (2024 p.17) pontuaram que superfícies macias podem contribuir para o amortecimento de impacto, provocando uma redução significativa na descarga de pressão plantar. Diante disso, ao realizar o revestimento das palmilhas em 3D fabricadas para este estudo, objetivou-se trazer maior conforto para o usuário e melhor qualidade ao produto desenvolvido, selecionando o PORON© e o EVA, materiais com texturas macias e diversas propriedades. Vale destacar que a massa final das palmilhas variou em torno de 5g, sendo que a palmilha revestida com uma única camada de PORON© 4701-40-20 apresentou massa final de 62g, enquanto a palmilha de dupla camada apresentou 67g.

De modo geral, o processo de fabricação de palmilhas 3D possui diversos benefícios quando comparado a produção manual, visto que há uma otimização do tempo e materiais, redução de custos e viabilização de alterações posteriores na modelagem sem custos adicionais. Ademais, a palmilha impressa em 3D pode contribuir para a redução do impacto ambiental, sendo que o material utilizado na impressão é reciclável e há uma geração mínima de resíduos dos revestimentos.

4. Discussão

Como Muir, *et al.* (2022 p.1) pontuou, as palmilhas personalizadas são frequentemente prescritas na prática clínica, pois estão entre os principais mecanismos descritos na literatura para se reduzir a ocorrência de úlceras plantares. A fabricação desses dispositivos pode ser realizada pelo método convencional, mas também pela manufatura aditiva, que tem alcançado cada vez mais notoriedade.

O processo convencional envolve etapas que geram grande quantidade de resíduos, sendo, a produção do molde negativo por meio da caixa de espuma e o molde positivo com gesso, como mostrados na Figura 1. A produção de palmilhas nos serviços públicos do Brasil exige um número expressivo de sapateiros e técnicos ortopédicos para atender à demanda, uma vez que todas as etapas do processo são realizadas manualmente, o que pode afetar a eficiência e a disponibilidade do serviço. Diante disso, a manufatura aditiva tem diversas vantagens, pois assim como Park (2021 p.12) afirmou, a MA é um modo de produção sustentável, que proporciona economia de materiais e energia, além de minimizar os impactos ambientais.

Nesse sentido, outro aspecto importante que deve ser ressaltado, é a vantagem que a impressão 3D possui em relação a precisão da aplicabilidade de diferentes níveis de densidade em pontos diversos da palmilha, sendo necessário realizar as alterações por meio das imagens escaneadas do pé. Ao contrário do método convencional, que exige um trabalho manual de lixamento ou adição de camadas de EVA, para fazer as alterações.

Neste estudo houve o desenvolvimento de palmilhas impressas em 3D, porém, ele apresenta limitações, visto que não foram aplicados testes em indivíduos diabéticos e neuropatas, fazendo-se necessário uma nova pesquisa para que se façam as devidas aplicações e análises.

No entanto, este estudo abre novas perspectivas e se torna um potencial para outras investigações acerca de comparações entre as palmilhas tradicionais e impressas em 3D no que tange a pressão plantar.

5. Conclusão ou Considerações Finais

A criação de uma palmilha ortopédica impressa em prototipagem rápida para a população diabética é de relevância substancial, uma vez que direciona a atenção para um problema frequentemente negligenciado nesse grupo específico e minimiza o desperdício durante as etapas de fabricação. Este estudo busca explorar as possibilidades da manufatura aditiva, avaliando seu potencial para a criação de novos protocolos de produção, aprimoramento de produtos já existentes e otimização do uso de tecnologias em saúde, visando tornar a fabricação de palmilhas mais acessível, padronizada e adaptada às necessidades dessa população. Nesse contexto, a prototipagem rápida se destaca por oferecer personalização, agilidade na produção, redução de custos e resíduos, e a possibilidade de desenvolver designs mais complexos. Além

disso, sua aplicação no desenvolvimento de palmilhas é fundamental para atender de forma rápida a demanda dos indivíduos diabéticos com risco de ulcerações plantares, promovendo maior qualidade de vida.

Referências

AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. *Diabetes Care*, v. 34, supl. 1, p. S62–S69, Jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc11-S062>. Disponível em: https://diabetesjournals.org/care/article/34/Supplement_1/S62/25845/Diagnosis-and-Classification-of-Diabetes-Mellitus. Acesso em: 12 fev. 2025.

ANDREOZZI, F.; CANDIDO, R.; CORRAO, S.; FORNENGO, R.; GIANCATERINI, A.; PONZANI, P.; PONZIANI, M. C.; TUCCINARDI, F.; MANNINO, D. Clinical inertia is the enemy of therapeutic success in the management of diabetes and its complications: A narrative literature review. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, v. 12, p. 52, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph191912502>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/19/12502>. Acesso em: 11 fev. 2025.

ASSUMPÇÃO, E. C, PITTA, G.B; DE MACEDO, C.L; MENDONÇA, G.B; ALBUQUERQUE, L.C.A; LYRA, L.B.C; TIMBÓ, R.M; BUARQUE, T.L.L. Comparação dos fatores de risco para amputações maiores e menores em pacientes diabéticos de um Programa de Saúde da Família. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 8, n. 2, p. 133–138, jun. 2009. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-54492009000200006>. Disponível em: <https://www.jvascbras.org/journal/jvb/article/doi/10.1590/S1677-54492009000200006>. Acesso em: 12 fev. 2025.

BARANI, Z.; HAGHPANAHI, M.; KATOOZIAN, H. Three dimensional stress analysis of diabetic insole: A finite element approach. *Tecnologia e Cuidados de Saúde*, Ira v. 13, ed. 3, p. 185-192, Junho 2005. DOI 10.3233/THC-2005-13305. Disponível em: <https://content.iospress.com/articles/technology-and-health-care/thc00370>. Acesso em: 12 fev. 2025.

BUS, S. A.; SACCO, I. C. N.; MONTEIRO-SOARES, M.; RASPOVIC, A.; PATON, J.; RASMUSSEN, A.; LAVERY, L. A.; NETTEN, J. J. van. Guidelines on the prevention of foot ulcers in persons with diabetes (IWGDF 2023 update). **Diabetes/Metabolism Research and Reviews**, v. 40, n. 3, e3651, 2023. ISSN 1520-7552. DOI 10.1002/dmrr.3651. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/dmrr.3651>. Acesso em: 12 fev. 2025.

CAMERON, N. E. et al. Vascular factors and metabolic interactions in the pathogenesis of diabetic neuropathy. *Diabetologia*, v. 44, n. 11, p. 1973–1988, 1 nov. 2001. DOI 10.1007/s001250100001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s001250100001#citeas>. Acesso em: 12 fev. 2025.

CARO, C.C.; FARIA, P.S.P.; BOMBARDA, T.B.; FERRIGNO, I.S.V.; PALHARES, M.S. A dispensação de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção (OPM) no Departamento Regional de Saúde da 3ª Região do Estado de São Paulo. **Cadernos Brasileiros de Terapia**

Ocupacional, v. 22, ed. 3, p. 525-526, 2014. Disponível em: <https://www.cadernosdeterapiaocupacional.ufscar.br/index.php/cadernos/article/view/796/565>. Acesso em: 10 jan. 2025.

CASELLI, A.; PHAM, H.; GIURINI, J. M.; ARMSTRONG, D. G.; VEVES, A. The forefoot-to-rearfoot plantar pressure ratio is increased in severe diabetic neuropathy and can predict foot ulceration. *Diabetes Care*, v. 25, n. 6, p. 1066–1071, 2002. DOI 10.2337/diacare.25.6.1066. Disponível em: <https://doi.org/10.2337/diacare.25.6.1066>. Acesso em: 12 fev. 2025.

ELASTOMERIC MATERIAL SOLUTIONS. Shelf-life and proper storage of PORON® cellular polyurethane materials. Woodstock: Rogers Corporation, 2016. **Industrial Sales Bulletin**. Disponível em: <https://www.rogerscorp.com>. Acesso em: 12 fev. 2025.

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. DOI: 10.1038/nrcardio.2016.170. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrcardio.2016.170>. Acesso em: 12 fev. 2025.

JONNALA, U. K.; SANKINENI, R.; KUMAR, Y. R. Design and development of fused deposition modeling (FDM) 3D-Printed Orthotic Insole by using gyroid structure. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Índia, v. 145, p. 106005, 2023. DOI 10.1016/j.jmbbm.2023.106005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616123003582?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2025.

JORGE, B. H.; BORGES, M. F.; BRITO, V. N.; SANTOS, T. G.; THIRONE, A. C. Análise clínica e evolução de 70 casos de lesões podais infectadas em pacientes diabéticos. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*, v. 43, p. 366-372, 1999. DOI 10.1590/S0004-27301999000500009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abem/a/fVpZvNgpMYkZvbBRD5xHpsK/?lang=pt>. Acesso em: 11 fev. 2025.

KUMAR, R.; SARANGI, S.K.. 3D Printed Customized Diabetic Foot Insoles with Architecture Designed Lattice Structures – A Case Study. *Biomedical physics & engineering express*, Índia, v. 10, n. 1, p. 015019–015019, 29 dez. 2023. DOI 10.1088/2057-1976/ad1732. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2057-1976/ad1732>. Acesso em: 13 fev. 2025.

MUIR, B.C; LI, J; HUDAK, Y.F; KAUFMAN, G.E; CULLUM, S; AUBIN, P.M. Evaluation of novel plantar pressure-based 3-dimensional printed accommodative insoles - A feasibility study. *Clinical Biomechanics*, EUA, v. 98, p. 105739, Agosto de 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2022.105739>. Disponível em: [https://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033\(22\)00169-3/fulltext](https://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033(22)00169-3/fulltext). Acesso em: 11 fev. 2025.

NICKERSON, K. A.; LI, E. Y.; TELFER, S.; LEDOUX, W. R.; MUIR, B. C. Exploring the mechanical properties of 3D-printed multilayer lattice structures for use in accommodative insoles. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, EUA, v. 150, n.

106309, 2024. DOI 10.1016/j.jmbbm.2023.106309. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S175161612300663X?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2025.

NUNES, M. A.; RESENDE, K. F.; CASTRO, A. A.; PITTA, G. B.; FIGUEIREDO, L. F.; MIRANDA JR, F. Fatores predisponentes para amputação de membro inferior em pacientes diabéticos internados com pés ulcerados no estado de Sergipe. *Jornal Vascular Brasileiro*, v. 5, p. 123-130, 2006. DOI 10.1590/S1677-54492006000200008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jvb/a/96rNPHN63vqBdwKWQNgvNMp/?lang=pt>. Acesso em: 11 fev. 2025.

PARK, S.; FU, K. (KELVIN). Polymer-based filament feedstock for additive manufacturing. *Composites Science and Technology*, v. 213, p. 108876, Setembro de 2021. DOI 10.1016/j.compscitech.2021.108876. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353821002323?via%3Dihub>. Acesso em: 11 fev. 2025.

PINHEIRO, S.M.M. Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes. 2011. 303 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1616701>. Acesso em: 11 fev. 2025.

REN, Y; WANG, H; SONG, X; WU, Y; LYU, Y; ZENG, W. Advancements in diabetic foot insoles: a comprehensive review of design, manufacturing, and performance evaluation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, China*, v. 12, p. 1394758, 14 jul. 2024. DOI <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1394758>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2024.1394758/full>. Acesso em: 11 fev. 2025.

RIBEIRO, B. B.; LIMA, S. M. M. A.; GONÇALVES, P. H.; SANTANA, L. D. Estudo comparativo entre os métodos de produção tradicional e impressão 3D de órteses plantares. **Revista Transverso**, v. 1, n. 15, 1 dez. 2024. DOI: 10.36704/transverso.v1i15.9094. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/transverso/issue/view/531>. Acesso em: 11 fev. 2025.

SHI, Q.; LI, P.; YICK, K.; JIAO, J.; QI-LONG, L. Influence of Contoured Insoles with Different Materials on Kinematics and Kinetics Changes in Diabetic Elderly during Gait. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, China, v. 19, ed. 12502, setembro de 2022. DOI 10.3390/ijerph191912502. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/19/12502>. Acesso em: 11 fev. 2025.

STOICESCU, M. Skin lesions. Londres: **Elsevier eBooks**, 2020. p. 1-178. ISBN 978-0-12-819640-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819640-3.00001-2>. Acesso em: 12 fev. 2025.

VAN NETTEN, J. J.; BUS, S. A.; APELQVIST, J.; CHEN, P.; CHUTER, V.; FITRIDGE, R.; GAME, F.; HINCHLIFFE, R. J.; LAZZARINI, P. A.; MILLS, J.; MONTEIRO-SOARES, M.; PETERS, E. J. G.; RASPOVIC, K. M.; SENNEVILLE, E.; WUKICH, D. K.; SCHAPER, N. C.; Definitions and criteria for diabetes-related foot disease (IWGDF 2023 update). **Diabetes/Metabolism Research and Reviews**, v. 39, p. e3654–e3654, 15 maio 2023. DOI

10.1002/dmrr.3654. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/dmrr.3654> . Acesso em: 13 fev. 2025.

PHAM, H; HARKLESS, L.B.; ARMSTRONG, D.G.; GIURINI, J.M.; HARVEY, C. VEVES, A. Screening techniques to identify people at high risk for diabetic foot ulceration: a prospective multicenter trial. **Diabetes Care**, v. 23, n. 5, p. 606–611, 1 maio 2000. 6. DOI 10.2337/diacare.23.5.606. Disponível em:
<https://diabetesjournals.org/care/article/23/5/606/22436/Screening-techniques-to-identify-people-at-high> . Acesso em: 15 fev. 2025.

VEVES, A.; MURRAY, H. J.; YOUNG, M. J.; BOULTON, A. J. M. The risk of foot ulceration in diabetic patients with high foot pressure: a prospective study. **Diabetologia**, v. 35, n. 7, p. 660–663, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00400259>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00400259> . Acesso em: 12 fev. 2025.

WAN, K. S.; MOY, F. M.; YUSOF, K. M.; MUSTAPHA, F. I.; ALI, Z. M.; HAIRI, N. N. Clinical inertia in type 2 diabetes management in a middle-income country: a retrospective cohort study. **PLoS ONE**, v. 15, e0240531, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0240531. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0240531> . Acesso em: 12 fev. 2025.

FELDMAN, E.L; CALLAGHAN, B.C.; POP-BUSUI, R; ZOCHODNE, D.W. ; WRIGHT, D.E; BENNETT, D.L; BRIL, V.; RUSSELL, J.W; VISWANATHAN, V. Diabetic neuropathy. **Nature Reviews Disease Primers**, v. 5, n. 1, p. 42, 2019. DOI: 10.1038/s41572-019-0097-9.-1. Disponível em:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7096070/> . Acesso em: 15 fev. 2025.