

Manufatura sustentável de um protótipo de fortalecimento muscular respiratório feito em impressão 3D

Sustainable manufacturing of a respiratory muscle strengthening prototype made with 3D printing

Isabelle Ferreira^{1*}, Cristina Branco Däum¹, Johan Ricardo Masselai¹, Camila Nara Moraes¹,
Natalia Veronez da Cunha²

¹Universidade do Planalto Catarinense, Lages, Santa Catarina, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Saúde, Universidade do Planalto Catarinense, Lages, Santa Catarina, Brasil.

*Autora para correspondência: isabelleferreira17@uniplaclages.edu.br.

RESUMO

Introdução: A fraqueza da musculatura respiratória pode comprometer a função ventilatória e a qualidade de vida dos indivíduos. Embora existam dispositivos comerciais disponíveis para o treinamento da musculatura inspiratória, como o POWERbreathe Classic[™], o alto custo desses equipamentos ainda representa uma barreira ao acesso por grande parte da população.

Objetivo: Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um protótipo para fortalecimento muscular respiratório por meio da manufatura aditiva utilizando impressão tridimensional (3D). **Materiais e Métodos:** Inspirado no POWERbreathe Classic[™], o dispositivo foi modelado no software Fusion 360[®] e confeccionado com poliacido láctico (PLA), polímero biodegradável e biocompatível. A técnica de modelagem por deposição fundida (FDM) foi empregada na impressora 3D Creality K2 Combo, operando a 200 °C com mesa aquecida a 60 °C. Foram produzidas quatro peças principais: câmara superior, câmara inferior, rosca de ajuste e dosador. **Resultados:** As peças produzidas apresentaram alta fidelidade ao modelo digital, com acabamento preciso, estrutura compatível e encaixes funcionais. O design do protótipo permitiu a incorporação de bocais descartáveis e melhorias que facilitaram o acoplamento entre as partes, favorecendo a higienização e possibilitando o uso compartilhado, que reforça seu potencial para aplicação prática em contextos clínicos e domiciliares. **Conclusão:** A impressão 3D pode representar uma solução acessível e funcional

para o fortalecimento muscular respiratório, especialmente em contextos de restrição econômica, promovendo maior equidade no acesso à saúde. No entanto, a validação da utilização do equipamento é necessária para assegurar sua eficácia e segurança.

Palavras-chave: músculos respiratórios; impressão 3D; equipamentos e provisões.

ABSTRACT

Introduction: Respiratory muscle weakness can impair ventilatory function and reduce individuals' quality of life. Although commercial devices for inspiratory muscle training, such as the POWERbreathe Classic™, are available, their high cost remains a barrier to access for a large portion of the population. **Objective:** This study aimed to develop a prototype for respiratory muscle strengthening through additive manufacturing using three-dimensional (3D) printing. **Materials and Methods:** Inspired by the POWERbreathe Classic™, the device was modeled using Fusion 360® software and fabricated with polylactic acid (PLA), a biodegradable and biocompatible polymer. The fused deposition modeling (FDM) technique was employed on a Creality K2 Combo 3D printer. Four main parts were produced: upper chamber, lower chamber, adjustment screw, and doser. **Results:** The produced parts showed high fidelity to the digital model, with precise finishing, compatible structure, and functional fittings. The prototype's design allowed for the incorporation of disposable mouthpieces and improvements that facilitated the assembly between parts, enhancing hygiene and enabling shared use, which reinforces its potential for practical application in clinical and home settings. **Conclusion:** 3D printing may represent an accessible and functional solution for respiratory muscle strengthening, especially in contexts of economic limitation, promoting greater equity in access to healthcare. However, validation of the device's use is necessary to ensure its efficacy and safety.

Keywords: respiratory muscles; 3D printing; equipment and supplies.

1 INTRODUÇÃO

A debilidade das musculaturas respiratórias é uma condição multifatorial que pode acometer indivíduos de diferentes faixas etárias e condições clínicas sendo responsável pela redução de força e resistência gerando fraqueza muscular progressiva (West, 2013). Todo

indivíduo está sujeito a necessitar do trabalho mecânico dessas musculaturas e não obter resposta ideal, sendo a ausência de estímulos específicos para o fortalecimento da musculatura respiratória uma das principais causas dessa fraqueza, impactando negativamente na capacidade funcional e qualidade de vida dos pacientes (Vilaça *et al.*, 2020). Indivíduos com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) são especialmente vulneráveis ao desenvolvimento dessa condição, sendo necessário o uso de dispositivos que promovam o fortalecimento dos músculos respiratórios, como o POWERbreathe Classic[™] (Mortari; Manzano, 2022). No entanto, o alto custo desses dispositivos limita o acesso da população, principalmente em contextos de recursos financeiros restritos (Menzes *et al.*, 2018).

Nesse cenário, a manufatura aditiva por impressão 3D, surge como uma alternativa viável para a produção de dispositivos eficientes, personalizados e de baixo custo (Braga *et al.*, 2023). O uso de PLA[®] como matéria prima para confecção de um protótipo de fortalecedor muscular respiratório se mostrou como sendo uma excelente opção, tendo em vista que vem sendo muito utilizado na manufatura aditiva com foco biomédico devido às suas propriedades físico-químicas e ao seu perfil ambientalmente sustentável, por ser um polímero biodegradável obtido a partir de fontes renováveis, como o amido de milho, por ser biocompatível com o organismo humano e por ser facilmente moldável quando realizada a deposição fundida na impressora 3D (Barcena *et al.*, 2024).

Este trabalho evidencia o processo de manufatura de um protótipo de fortalecedor muscular respiratório utilizando PLA, destacando a possibilidade de reduzir a dependência de cadeias de suprimento complexas e aumentar o acesso da população a dispositivos de fortalecimento respiratório. Portanto, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um protótipo de fortalecimento muscular respiratório, por meio da manufatura aditiva utilizando da impressão 3D e filamento de PLA, como alternativa de baixo custo e fácil acesso.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho descreve o processo de manufatura de um protótipo voltado ao fortalecimento da musculatura respiratória. Na fase de pré-desenvolvimento, foram realizadas coleta de medidas com um paquímetro, ajustes de modelagem e adaptação das peças com base no design do dispositivo POWERbreathe Classic[™], utilizado como referência tridimensional. A modelagem foi realizada no software Fusion 360[®] (Autodesk[®]), uma plataforma integrada

que opera em ambiente CAD/CAM/CAE, permitindo a criação, simulação e otimização do projeto em um fluxo unificado. O modelo original do POWERbreathe Classic[™] possui dois compartimentos principais: superior, com bocal em elastômero termoplástico (TPE), corpo e filtro de silicone; e inferior, contendo parafuso-guia, mola de aço inoxidável e encaixe do dosador. As partes se conectam por encaixe mecânico, com vedação por anel de borracha nitrílica (NBR). Inspirado nessa configuração morfológica o protótipo desenvolvido mantém formato semelhante, com melhorias que facilitam o acoplamento e permitem higienização eficiente, além de possibilitar o uso de bocais descartáveis para compartilhamento seguro e controle sanitário.

A estrutura física do protótipo foi confeccionada com PLA, material biodegradável, renovável e biocompatível, em substituição ao Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), presente no dispositivo original e derivado do petróleo. A confecção foi realizada por FDM, com extrusão do PLA pelo bico aquecido da impressora 3D Creality K2 Combo, operando a 200 °C e com mesa aquecida a 60 °C, garantindo adesão entre camadas e estabilidade dimensional. Foram produzidas quatro peças: câmara superior, câmara inferior, rosca de ajuste e dosador. A mola de aço inoxidável, a borracha de vedação e os bocais descartáveis foram adquiridos de fornecedores externos.

3 RESULTADOS

O processo de manufatura gerou quatro peças físicas: câmara superior, câmara inferior, rosca de ajuste e dosador, que corresponderam ao modelo digital. As peças apresentaram boa qualidade e fidelidade ao projeto, com encaixes funcionais e estrutura compatível. As imagens a seguir mostram as visualizações tridimensionais e as peças finalizadas, destacando a viabilidade do design proposto.

3.1 Câmara superior

Responsável por garantir a passagem vedada do ar, o componente permite que o ar fique comprimido por alguns segundos antes de acionar o mecanismo da câmara inferior, que utiliza a mola para gerar resistência. A Figura 1 apresenta o design tridimensional e a Figura 2, a peça finalizada.

Figura 1 - Modelo 3D da câmara superior.

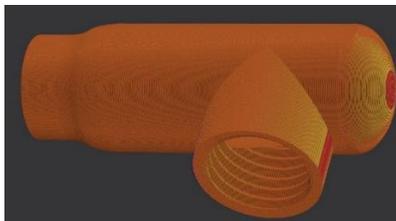


Figura 2 - Modelo impresso da câmara superior.



3.2 Câmara inferior

A câmara inferior abriga a mola e a rosca de ajuste, conectando-se à câmara superior por meio de uma rosca que assegura a vedação e o suporte ao movimento da mola. Conta também com um visor na extremidade inferior que indica o nível de carga. Como mostrado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Modelo 3D da câmara inferior.



Figura 4 - Modelo impresso da câmara inferior.



3.3 Rosca de ajuste

A rosca permite que o dosador se ajuste fazendo com que a compressão interna da mola seja realizada. Os dentes da rosca fazem com que ela não suba e ajudam na compressão da mola, a borracha de vedação que fica na cabeça da rosca faz com que ela não desça como representado nas figuras 5 e 6.

Figura 5 - Modelo 3D da rosca de ajuste.

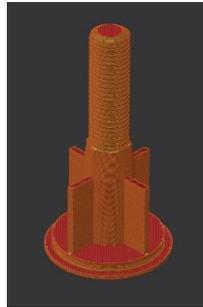


Figura 6 - Modelo impresso da rosca de ajuste.



3.4 Dosador

Essa peça é responsável por ajustar o nível de pressão imposta a mola, ele conta com números gravados em seu corpo (Figuras 7 e 8) que indicam o nível de carga.

Figura 7 - Modelo 3D do dosador.

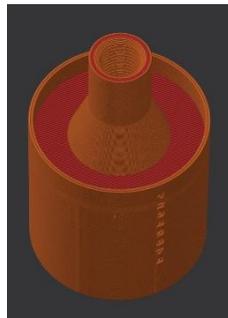


Figura 8 - Modelo impresso do dosador.



3.5 Apresentação final do protótipo

Depois de confeccionadas todas as peças, o protótipo pode ser montado, como mostrado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Modelo finalizado do protótipo.



Figura 10 - Modelo finalizado do protótipo.



4 DISCUSSÃO

A manufatura aditiva por impressão 3D destaca-se na saúde por permitir a produção rápida e personalizada de dispositivos a custos reduzidos, beneficiando populações com acesso limitado (Santos Júnior *et al.*, 2024). Dispositivos comerciais como o POWERbreathe Classic[™] custam entre R\$ 300,00 e R\$ 500,00 no mercado brasileiro atual, valor significativo frente ao salário-mínimo de R\$ 1.518,00 (Brasil, 2025) e ao rendimento domiciliar per capita médio de R\$ 2.069,00 (IBGE, 2024). Nesse contexto, a impressão 3D é uma alternativa viável, sustentável e acessível. Além dos dispositivos respiratórios, essa tecnologia já reduz custos em até 63% na produção de órteses e 50% em próteses, sem comprometer a funcionalidade (Santos Júnior *et al.*, 2024). Sua viabilidade econômica e personalização fazem da impressão 3D uma ferramenta importante para promover saúde, qualidade de vida e equidade no acesso a tratamentos.

5 CONCLUSÃO

A impressão 3D mostra-se uma alternativa viável para o desenvolvimento de dispositivos de fortalecimento respiratório, permitindo a criação de protótipos de baixo custo, funcionais e com potencial para uso compartilhado. A utilização do PLA como material de impressão contribuiu para a sustentabilidade do projeto, considerando suas propriedades biodegradáveis, renováveis e biocompatíveis. Frente aos altos custos de dispositivos similares no mercado, a manufatura aditiva poderá representar uma solução acessível, especialmente em contextos de restrição econômica. No entanto, serão necessários estudos futuros para validar a eficácia, segurança e aplicabilidade clínica do protótipo desenvolvido.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (TO2024TR001823).

REFERÊNCIAS

- BARCENA, A. J. R. *et al.* Emerging Biomedical and Clinical Applications of 3D-Printed Poly (Lactic Acid) -Based Devices and Delivery Systems. **Bioengineering**, Basel, v. 11, n. 7, p. 1-24, jul. 2024.
- BRAGA, E. J. *et al.* **O uso da impressão 3D na medicina**. São Paulo: Editora Científica Digital, 2023.
- BRASIL. Presidente sanciona Orçamento de 2025 com aumento do salário-mínimo para R\$ 1.518. Portal Gov.br, Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2025/04/presidente-sanciona-orcamento-de-2025-com-aumento-do-salario-minimo-para-r-1.518>. Acesso em: 4 maio 2025.
- HUSSAIN, M. *et al.* A review on PLA-based biodegradable materials for biomedical applications. **Materials Today Bio**, v. 24, p. 1-24, 2024.
- IBGE. IBGE divulga rendimento domiciliar per capita 2024 para Brasil e unidades da federação. Agência IBGE Notícias, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42761-ibge-divulga-rendimento-domiciliar-per-capita-2024-para-brasil-e-unidades-da-federacao>. Acesso em: 4 maio 2025.
- MENZES, K. K. P. *et al.* A review on respiratory muscle training devices. **Journal of Pulmonary & Respiratory Medicine**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 1–7, abr. 2018.
- MORTARI, B. R.; MANZANO, R. M. Efetividade de diferentes protocolos e cargas utilizadas no treinamento muscular inspiratório de indivíduos com DPOC: uma revisão sistemática. **Fisioterapia e Pesquisa**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 303–310, fev./ago. 2022.
- SANTOS JÚNIOR, H. C. F. *et al.* Análise da custo-efetividade da órtese biomecânica por tecnologia de impressão 3D na reabilitação pós acidente vascular cerebral isquêmico. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 24, n. 2, p. 1-9, fev. 2024.
- VILAÇA, A. F. *et al.* O efeito do treinamento muscular inspiratório em idosos sobre a qualidade de vida, resposta imune, força muscular inspiratória e de membros inferiores: um ensaio clínico randomizado. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**. Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1–11, fev. 2020.
- WEST, J. B. **Fisiologia respiratória: Princípios Básicos**. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.