ISSN: 2358-8829

TECNOLOGIA ASSISTIVA E ECONOMIA CIRCULAR: PROTÓTIPO DE PRÓTESE MECÂNICA COM PET RECICLADO

Sarah Elisa Delfina Soares da Silva [1]
Luna Alvim Gomes [2]
Max Paulo Giacheto Manhas [3]
Jordana Rangely Almeida Santos de Oliveira [4]
Ricardo Luís Alves de Oliveira Ribeiro [5]

INTRODUÇÃO

Próteses de membro superior devolvem parte da autonomia a pessoas com amputação, mas o custo ainda limita o acesso. Modelos comerciais simples custam alguns milhares de dólares, e os de controle neural podem chegar a dezenas de milhares (Cutipa-Puma; Coaguila-Quispe; Yanyachi, 2023). A impressão 3D surgiu como alternativa: em revisão integrativa, Morimoto *et al.* (2021) encontraram próteses impressas com custo estimado entre US$ 20 e US$ 1.250, embora ainda em estágio inicial de desenvolvimento e sem comprovação de eficácia em grupos amplos de usuários.

O material usado na impressão é outro ponto em aberto. As garrafas de polietileno tereftalato (PET) estão entre os resíduos plásticos mais comuns e podem ser convertidas em filamento para impressoras 3D. Cruz Sanchez *et al.* (2020) chamam esse processo de reciclagem distribuída por manufatura aditiva e o tratam como uma via para a economia circular, mas observam que suas primeiras etapas, a recuperação e a preparação do material, são as menos estudadas. Juntar as duas frentes, prótese de baixo custo e filamento reciclado, é a proposta deste trabalho.

O projeto, desenvolvido no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) do Instituto Federal de Alagoas (IFAL) com estudantes do ensino médio técnico, parte da seguinte pergunta: como viabilizar uma prótese mecânica de membro superior de baixo custo, impressa em 3D com filamento produzido a partir de garrafas PET? O objetivo é desenvolver esse protótipo, com acionamento eletrônico baseado em Arduino. Este texto relata as etapas concluídas e as que permanecem em andamento.

[1] Estudante do ensino médio técnico em Logística do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), sedss1@aluno.ifal.edu.br;
[2] Estudante do ensino médio técnico em Logística do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), lag2@aluno.ifal.edu.br;
[3] Professor Mestre do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), max.manhas@ifal.edu.br;
[4] Professora Doutora do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), jordana.oliveira@ifal.edu.br;
[5] Professor orientador: Mestre, Instituto Federal de Alagoas (IFAL), ricardo.ribeiro@ifal.edu.br.

ISSN: 2358-8829

METODOLOGIA

A pesquisa é aplicada, de desenvolvimento tecnológico e caráter experimental, iniciada em setembro de 2025 e organizada em cinco etapas. A primeira foi uma revisão da literatura sobre tecnologia assistiva, próteses de membro superior, impressão 3D e reciclagem de PET, que identificou 111 artigos e selecionou 35 para o referencial. A segunda definiu o modelo de prótese, escolhido entre projetos abertos pela arquitetura modular, pela facilidade de impressão e pela possibilidade de adaptação. A terceira compreendeu a modelagem em CAD da máquina de filamento e da prótese e a fabricação da base da máquina em MDF cortado a laser.

A quarta etapa tratou da máquina, concebida em quatro módulos: corte da garrafa, filetagem em fita contínua, extrusão do filamento e bobinagem. As garrafas foram preparadas com retirada de rótulos e tampas, limpeza e secagem, e cada módulo foi testado separadamente antes da integração. A quinta etapa correspondeu à prótese: impressão das peças em impressora FDM, montagem, verificação dos encaixes e planejamento do acionamento por Arduino, sensores flexíveis instalados em uma luva, motores e fios de nylon. As atividades foram registradas em diário de bordo e documentação fotográfica.

Os autores utilizaram as ferramentas de inteligência artificial generativa ChatGPT (OpenAI, 2026) e Claude (Anthropic, 2026) como apoio à redação, à organização e à revisão do texto, a partir dos materiais produzidos e das decisões dos próprios autores. As ferramentas Consensus (2026) e Elicit (2026) apoiaram o mapeamento de artigos publicados em periódicos científicos. Todas as referências foram conferidas nas fontes originais, e os autores assumem integral responsabilidade pelo conteúdo do trabalho.

REFERENCIAL TEÓRICO

A tecnologia assistiva reúne recursos e serviços que ampliam a funcionalidade e a participação de pessoas com deficiência, e as próteses de membro superior estão entre seus exemplos mais diretos. A revisão de Morimoto *et al.* (2021), com nove estudos, mostrou que a impressão 3D já melhora a relação entre custo e benefício e permite dispositivos personalizados, em geral feitos em PLA ou ABS. Os mesmos estudos, porém, relatam força de preensão baixa e dificuldade em tarefas motoras finas, e os autores defendem o trabalho de equipes multidisciplinares e ensaios clínicos para avaliar a eficácia.

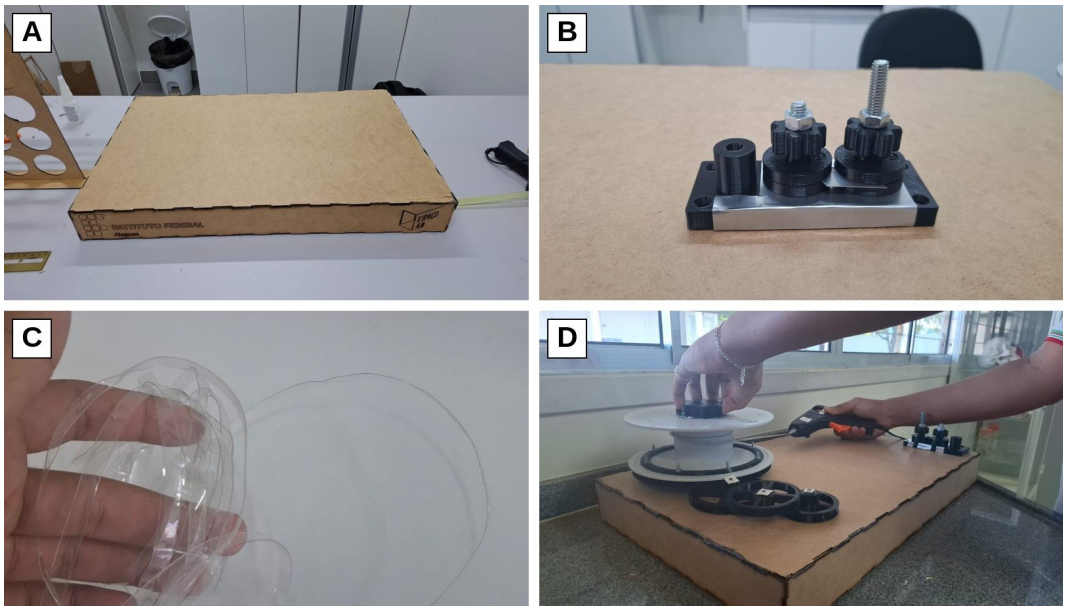
Do lado do material, Cruz Sanchez *et al.* (2020) analisaram 92 trabalhos e organizaram a cadeia de reciclagem para impressão 3D em seis estágios: recuperação, preparação, composição, produção do filamento, impressão e controle de qualidade. Viabilidade técnica, impacto ambiental e viabilidade econômica dos demais estágios já foram bastante estudados, ao

contrário da recuperação e da preparação, e os autores recomendam o desenvolvimento aberto e local dessas etapas. O modelo de prótese adotado neste projeto também vem de um projeto aberto: a mão de Cutipa-Puma, Coaguila-Quispe e Yanyachi (2023), com dedos, palma e antebraço impressos, tendões de nylon, servomotores e custo total estimado em cerca de US$ 600, controlada por sinais de eletroencefalografia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na máquina de filamento, a modelagem em CAD permitiu organizar os módulos e prever interferências antes da montagem. A base em MDF cortado a laser deu precisão e repetibilidade aos encaixes, e peças impressas em 3D completaram a fixação dos componentes. O módulo de corte exigiu três soluções. A primeira, baseada em atrito, não manteve a continuidade do corte. A segunda dependia de uma lâmina circular que não estava disponível. A terceira, com lâmina de estilete, mais simples e barata, produziu as primeiras fitas contínuas de PET, usadas em uma primeira tentativa de formação do filamento. O sistema de bobinagem recebeu suportes e engrenagens impressas, mas ainda está em desenvolvimento, assim como a extrusão (Figura 1).

Figura 1 – Máquina de produção de filamento: (A) base em MDF cortado a laser; (B) cortador com lâmina de estilete; (C) fitas de PET obtidas; (D) sistema de bobinagem



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Esses resultados se concentram justamente na preparação do material, o estágio que Cruz Sanchez *et al.* (2020) apontam como menos investigado. As dificuldades encontradas, como a regularidade do corte, a continuidade da fita e a estabilidade do enrolamento, mostram por que essa etapa é decisiva: a qualidade do filamento depende da uniformidade da fita que entra no extrusor. A troca do cortador também ilustra uma condição de projetos com poucos

recursos, em que a solução adotada é definida tanto pelo desempenho quanto pela disponibilidade de peças.

Na prótese, o modelo de Cutipa-Puma, Coaguila-Quispe e Yanyachi (2023) foi adaptado e impresso. Dedos, palma e antebraço foram produzidos e montados (Figura 2), e a verificação dos encaixes levou a pequenas correções dimensionais e de alinhamento. Nesta fase, as peças foram impressas com filamento PET comercial, e não com o reciclado. A decisão permitiu testar geometria e encaixes sem que defeitos do filamento ainda em desenvolvimento se confundissem com problemas do modelo, mas significa que a estrutura atual ainda não comprova o uso do material reciclado.

Figura 2 – Prótese impressa em PET comercial: (A) peças estruturais; (B) prótese montada, sem o sistema eletrônico



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O acionamento previsto substitui o controle por eletroencefalografia do modelo original por uma luva com sensores flexíveis: o Arduino lê a flexão dos dedos do usuário e comanda motores que tracionam os fios de nylon. A solução é mais barata e mais simples de montar, mas tem uma implicação de uso que precisará ser examinada. Uma luva que capta a flexão dos dedos depende dos movimentos de uma mão, o que, para uma pessoa com amputação unilateral, significaria comandar a prótese com a mão preservada. Os componentes foram definidos e separados, mas sensores e motores ainda estão em aquisição, e a integração eletrônica não foi feita.

Em conjunto, o projeto alcançou a revisão da literatura, a definição do modelo, a estrutura da máquina com corte funcional e a prótese montada em material comercial. Ainda não foram produzidos filamento reciclado utilizável nem uma prótese acionada, e não houve ensaios de resistência ou de movimento. Os limites apontados por Morimoto *et al.* (2021), como a força de preensão e o desempenho em tarefas finas, indicam o que precisará ser medido

quando o protótipo estiver completo, ainda mais por se tratar de material reciclado, cujas propriedades mecânicas variam conforme a origem das garrafas e o processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo foi atendido de forma parcial. Os resultados mostram que é possível construir, com recursos de um campus, a estrutura de uma máquina de reciclagem de PET e uma prótese impressa a partir de um projeto aberto, mas a viabilidade técnica da proposta completa, prótese de filamento reciclado acionada eletronicamente, ainda depende das etapas de extrusão, integração e testes. A experiência também envolveu estudantes do ensino médio técnico em um ciclo real de projeto, com testes, falhas e substituições de soluções.

Os próximos passos são concluir a extrusão e a bobinagem, caracterizar o diâmetro e a resistência do filamento reciclado, imprimir a prótese com esse material, integrar a eletrônica e testar movimento e resistência. A forma de controle também deverá ser reavaliada considerando o perfil dos possíveis usuários.

Palavras-chave: Próteses Mecânicas, Impressão 3D, Reciclagem PET, Tecnologias Assistivas, Sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ANTHROPIC. **Claude**. San Francisco: Anthropic, 2026. Disponível em: https://claude.ai. Acesso em: 29 out. 2026.

CONSENSUS. **Consensus**. [S. l.]: Consensus, 2026. Disponível em: https://consensus.app. Acesso em: 29 out. 2026.

CRUZ SANCHEZ, F. A. *et al.* Plastic recycling in additive manufacturing: a systematic literature review and opportunities for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 264, art. 121602, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121602.

CUTIPA-PUMA, D. R.; COAGUILA-QUISPE, C. G.; YANYACHI, P. R. A low-cost robotic hand prosthesis with apparent haptic sense controlled by electroencephalographic signals. **HardwareX**, [s. l.], v. 14, e00439, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00439.

ELICIT. **Elicit**. [S. l.]: Elicit, 2026. Disponível em: https://elicit.com. Acesso em: 29 out. 2026.

MORIMOTO, S. Y. U. *et al.* Órteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa. **Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional**, São Carlos, v. 29, e2078, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAO2078.

OPENAI. **ChatGPT**. San Francisco: OpenAI, 2026. Disponível em: https://chatgpt.com. Acesso em: 29 out. 2026.