



Uso da impressão 3D na produção de próteses com materiais biodegradáveis para populações ribeirinhas da região amazônica, Manaus.

Ariel Nasser Fraxe Marinho Soares¹, Rayane Soares do Nascimento², Geovanna Lima Biase³ e Dimas Melo Gonçalves⁴.



<https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p3732-3744>

Artigo recebido em 26 de Julho e publicado em 26 de Setembro de 2025

Revisão de Literatura

RESUMO

A utilização da impressão 3D na fabricação de próteses com materiais biodegradáveis constitui uma opção inovadora e sustentável para aumentar a disponibilidade de dispositivos médicos em áreas com acesso assistencial limitado, como as comunidades ribeirinhas na Amazônia. O objetivo deste artigo foi avaliar a capacidade dessa tecnologia de atender às necessidades locais, levando em conta fatores clínicos, ambientais e socioeconômicos. Para isso, foi conduzida uma revisão narrativa da literatura, empregando artigos publicados entre 2020 e 2025 em repositórios científicos de acesso aberto. Estudos focados no uso de polímeros biodegradáveis, como ácido polilático (PLA) e policaprolactona (PCL), além de pesquisas sobre a incorporação de compósitos e agentes antimicrobianos, foram priorizados. Os resultados indicaram que os materiais biodegradáveis exibem biocompatibilidade, resistência mecânica aprimorada e degradação ambiental controlada, características que se revelam apropriadas para as condições da Amazônia. Além disso, constatou-se que a funcionalização com nanopartículas e antibióticos pode diminuir os riscos de infecções, aumentando a segurança de uso. A impressão 3D de próteses biodegradáveis é uma solução estratégica para promover a equidade em saúde, a sustentabilidade ambiental e a inclusão social. Essa tecnologia pode melhorar a qualidade de vida das populações ribeirinhas da Amazônia.

Palavras-chave: Amazônia; Biodegradáveis; Impressão 3D; Próteses; Ribeirinhos.



Use of 3D Printing in the Production of Biodegradable Prostheses for Riverine Populations in the Amazon Region, Manaus.

ABSTRACT

The use of 3D printing to manufacture prosthetics with biodegradable materials constitutes an innovative and sustainable option to increase the availability of medical devices in areas with limited access to healthcare, such as riverside communities in the Amazon. The objective of this article was to assess the ability of this technology to meet local needs, taking into account clinical, environmental, and socioeconomic factors. To this end, a narrative literature review was conducted, using articles published between 2020 and 2025 in open-access scientific repositories. Priority was given to studies focusing on the use of biodegradable polymers, such as polylactic acid (PLA) and polycaprolactone (PCL), as well as research on the incorporation of composites and antimicrobial agents. The results indicated that biodegradable materials exhibit biocompatibility, improved mechanical strength, and controlled environmental degradation, characteristics that prove appropriate for the Amazonian conditions. Furthermore, it has been found that functionalization with nanoparticles and antibiotics can reduce the risk of infection, increasing safety. 3D printing of biodegradable prosthetics is a strategic solution for promoting health equity, environmental sustainability, and social inclusion. This technology can improve the quality of life of riverside communities in the Amazon.

Key-words: 3D Printing; Amazon; Biodegradable; Prostheses; Riverine populations.

Instituição afiliada – Faculdade Santa Teresa Manaus

Autor correspondente: Ariel Nasser Fraxe Marinho Soares, Rayane Soares do Nascimento, Geovanna Lima Biase e Dimas Melo Gonçalves. Arielfraxe77@gmail.com, rayanesoaars06@gmail.com, geovannalimabiase@icloud.com e dimasmelogoncalves@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





INTRODUÇÃO

O rápido progresso das tecnologias de fabricação aditiva trouxe avanços importantes no campo da saúde, especialmente na criação de dispositivos médicos personalizados. todas essas tecnologias, a impressão 3D se sobressai pelas características, pelo custo mais baixo e pela habilidade de criar próteses personalizadas de acordo com as necessidades de cada pessoa. O contexto se torna importante em áreas onde o acesso a recursos hospitalares é restrito, como nas comunidades ribeirinhas da Amazônia, onde a distância, os obstáculos logísticos e as condições socioeconômicas impõem limitações à assistência médica.

O O uso de materiais biodegradáveis, como ácido polilático (PLA) e policaprolactona (PCL), tem se mostrado uma opção promissora para a produção de próteses. Esses polímeros possuem biocompatibilidade, manipulação ambiental controlada e capacidade de incorporar aditivos antimicrobianos, características que aumentam sua utilidade em situações de vulnerabilidade. Além disso, estudos Mostra que a adição de reforços estruturais, como biovidros e nanotubos de carbono, a esses materiais pode melhorar a resistência mecânica das próteses, tornando-as mais adequadas para uso em ambientes úmidos e desafiadores, como a recente região amazônica.

Outro ponto importante diz respeito à sustentabilidade. A fabricação local de próteses utilizando impressão 3D não diminui apenas despesas, como também evita o acúmulo de resíduos plásticos tradicionais, auxiliando na preservação do ecossistema amazônico, previne o acúmulo de resíduos plásticos tradicionais, auxiliando na preservação do ecossistema amazônico. A possibilidade de utilizar essa tecnologia em laboratórios descentralizados, associados a instituições acadêmicas ou comunitárias, reforça a chance de democratizar o acesso à saúde, unindo inovação tecnológica e inclusão social.

Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar o uso da impressão 3D na fabricação de próteses utilizando materiais biodegradáveis, à luz das contribuições para a sustentabilidade, da equidade em saúde e da previsão junto às missões ribeirinhas em



Manaus. o auxílio de uma revisão de literatura atualizada, busca-se entender como essa tecnologia pode se estabelecer como uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade de vida em contextos amazônicos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nos últimos anos, a utilização da impressão 3D na área da saúde tem se destacado, especialmente devido à possibilidade de personalizar próteses e aparelhos médicos a custos bastante acessíveis. Esse aspecto é fundamental ao considerar as populações ribeirinhas da Amazônia, onde barreiras geográficas e socioeconômicas tornam o acesso às tecnologias tradicionais mais difícil. De acordo com Ramezani et al. (2025), a fabricação aditiva vem se estabelecendo como uma opção viável para a fabricação de próteses e andaimes, empregando polímeros biodegradáveis como o ácido polilático (PLA) e policaprolactona (PCL). Os autores ressaltam que a adaptabilidade e a leveza desses materiais facilitam sua aplicação em implantes temporários e próteses acessíveis, características essenciais em situações de vulnerabilidade.

A durabilidade do processo também tem sido foco de atenção. Pesquisas como de Benhami et al. (2024), examinaram a biodegradação do PLA proveniente de resíduos de impressão 3D, indicando que o material possui uma manipulação ambiental alinhada com estratégias de economia circular. Esse aspecto é particularmente importante para a Amazônia, onde a gestão de resíduos é restrita e as soluções tecnológicas precisam conciliar inovação e redução do impacto ambiental. Dessa forma, o uso de materiais biodegradáveis não atende apenas às demandas clínicas, como também atende às exigências ecológicas e logísticas da área.

Outra vertente relevante diz respeito à criação de compostos com características melhoradas. Vasconcelos et al. (2023) estudaram andaimes impressos em 3D a partir de PLA misturados com biovidro e nanotubos de carbono, demonstrando melhorias consideráveis na resistência mecânica e biocompatibilidade. Esse tipo de inovação é fundamental para garantir a durabilidade e eficácia das próteses em condições de uso



intensivo, além de fornecer uma opção com maior estabilidade em ambientes úmidos, como os presentes em comunidades ribeirinhas.

Em ambientes com infraestrutura de saúde limitada, a prevenção de infecções é um desafio, além da durabilidade. Mendonça et al. (2024) demonstraram que a adição de agentes antimicrobianos a polímeros biodegradáveis, como o PLA impregnado com Vancomicina, pode diminuir a formação de biofilmes bacterianos. Essa propriedade se mostra extremamente útil para as populações da Amazônia, onde o acompanhamento clínico contínuo é mais desafiador e o risco de complicações infecciosas aumenta.

Uma revisão realizada por Singh et al. (2024) demonstra que a impressão 3D na biomedicina tem um progresso de forma significativa, englobando desde a fabricação de próteses sob medida até a criação de dispositivos complexos, como andaimes para regeneração de tecidos. Os autores destacam que o uso de materiais poliméricos biodegradáveis permite a incorporação gradual desses dispositivos ao corpo, dificultando a necessidade de intervenções cirúrgicas para sua remoção. Essa visão é fundamental para abordar a realidade de áreas de difícil acesso, como as comunidades ribeirinhas do Amazonas, onde a logística de saúde muitas vezes inviabiliza múltiplas intervenções cirúrgicas.

Na mesma direção, Pugliese et al. (2021) também analisam biomateriais poliméricos usados na impressão 3D, enfatizando a biocompatibilidade como um fator crucial para o sucesso clínico de próteses e implantes. A pesquisa aponta que polímeros como PLA, PCL e derivados de celulose não atendem apenas aos requisitos de compatibilidade tecidual, como também fornecimento flexível estrutural, tecidual um aspecto essencial para dispositivos que se ajustam a diversas anatomias. Em contextos amazônicos, essa característica se torna ainda mais importante, pois a personalização é essencial para atender às variações fisiológicas e às necessidades específicas de cada paciente.

Outro aspecto relevante diz respeito às propriedades funcionais extras que podem ser adicionadas aos materiais. Dias et al. (2025), ao estudar nanocompósitos de PLA combinados com nanopartículas de cobre, descobriu que é viável incorporar propriedades virucidas aos polímeros usados na impressão 3D. Apesar de a ação antimicrobiana é o foco do estudo, essa abordagem possibilita desenvolvimento de



soluções mais seguras e adaptadas às condições de alta umidade, frequentes em comunidades ribeirinhas. Nesse contexto, a combinação de propriedades mecânicas e microbiológicas reforça a concepção de que as próteses não são apenas funcionais, mas também preventivas não quanto apenas funcionais, mas também preventivas quanto a possíveis infecções.

A análise do progresso tecnológico mostra que a impressão 3D com polímeros biodegradáveis não atende apenas às necessidades biomédicas, como também pode ajudar a diminuir as disparidades na área da saúde. Ramezani et al. (2025) destacam que a capacidade de fabricar próteses e implantes a baixo custo e em um período limitado é um fator crucial em áreas com infraestrutura hospitalar limitada. Nesse contexto, a descentralização da produção, possibilitando que centros acadêmicos ou polos de inovação locais funcionem como fornecedores de dispositivos, constitui uma tática para expandir o acesso nas comunidades ribeirinhas da Amazônia.

O aspecto ambiental, muitas vezes ignorado nas tecnologias de saúde, recebe atenção em estudos como o de Benhami et al. (2024), que demonstram que o PLA originado de precipitação 3D pode ser degradado em condições controladas, evitando o acúmulo de resíduos plásticos tradicionais. Esse fator destaca a previsão da impressão 3D na Amazônia, onde a logística de descarte é limitada e soluções sustentáveis são essenciais para preservar a biodiversidade regional.

Além disso, estudos recentes sugerem que a combinação de nanopartículas e compostos pode aumentar a sofisticação dos dispositivos, possibilitando tanto a melhoria das propriedades mecânicas quanto à adição de funcionalidades antimicrobianas (Dias et al., 2025; Mendonça et al., 2024). A produção aditiva se apresenta como uma alternativa promissória para atendimento de saúde pública, graças à combinação de inovação tecnológica, sustentabilidade e baixo custo.

A síntese proposta por Singh et al. (2024) e Pugliese et al. (2021) aponta que a impressão 3D de próteses com materiais biodegradáveis vai além da inovação tecnológica, estabelecendo-se como um instrumento de inclusão social e equidade em saúde. No cenário amazônico, a tecnologia pode tanto atender às necessidades médicas quanto ser ajustada às condições ambientais e culturais particulares, oferecendo opções de tratamento que se adequam às realidades locais. Assim, a aplicação da impressão



3D em próteses biodegradáveis surge como uma abordagem estratégica para promover a saúde integral das comunidades ribeirinhas de Manaus e de toda a região.

METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma revisão narrativa de literatura, com foco em artigos científicos publicados entre os anos de 2020 e 2025, que abordam o uso da impressão 3D aplicada à produção de próteses e *scaffolds* com materiais biodegradáveis. A seleção foi orientada pelo objetivo central de compreender as potencialidades e limitações dessa tecnologia em contextos de vulnerabilidade social, como o das populações ribeirinhas da região amazônica, em especial na cidade de Manaus.

A busca bibliográfica concentrou-se em bases indexadas de acesso aberto e de reconhecida relevância acadêmica, como SciELO, ScienceDirect, ResearchGate e periódicos da editora MDPI. Foram priorizados estudos que explorassem especificamente o uso de polímeros biodegradáveis, tais como ácido polilático (PLA), policaprolactona (PCL) e compósitos com adição de biovidros, nanotubos de carbono e nanopartículas metálicas. Esses materiais foram selecionados por sua aplicabilidade comprovada em ambientes clínicos e por sua relevância em cenários de sustentabilidade ambiental.

Como critérios de inclusão, foram considerados: (i) artigos publicados em inglês, português ou espanhol; (ii) estudos empíricos, experimentais ou de revisão, que tratassem diretamente da impressão 3D de próteses, implantes ou *scaffolds* com materiais biodegradáveis; e (iii) disponibilidade integral em formato digital (PDF). Foram excluídos trabalhos que abordassem exclusivamente prototipagem não relacionada ao campo biomédico ou que utilizassem materiais não biodegradáveis.

A análise seguiu um processo de leitura exploratória inicial, visando identificar os aspectos centrais de cada estudo, seguida de uma leitura seletiva e crítica, na qual foram destacados elementos referentes às propriedades mecânicas, biocompatibilidade, biodegradação, aplicabilidade clínica e viabilidade socioeconômica. A síntese foi



organizada em três etapas: (a) mapeamento das contribuições teóricas de cada artigo; (b) identificação de convergências e divergências entre os achados; e (c) construção de um corpo teórico voltado à realidade amazônica, destacando possibilidades de aplicação da impressão 3D em contextos de difícil acesso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos últimos anos, houve progressos significativos na impressão 3D aplicada à saúde, particularmente na fabricação de próteses e dispositivos biodegradáveis. Segundo Ramezani et al. (2025), a fabricação aditiva possibilita a construção de estruturas complexas com alto grau de personalização, utilizando materiais como PLA e PCL, que apresentam excelente desempenho em termos de biocompatibilidade e biodegradação. Esse ponto é especialmente importante para as comunidades ribeirinhas da Amazônia, nas quais soluções personalizadas e de baixo custo podem ser a única opção viável para acesso aos serviços de saúde.

Os estudos também destacam a questão ambiental como um fator central. Benhami et al. (2024) estudaram a manipulação do PLA derivado de resíduos de impressão 3D e descobriram que esse polímero possui taxas de decomposição que o tornam adequados para práticas seguras. Essa evidência sugere indiretamente que a implementação dessa tecnologia na fabricação de próteses pode aliviar a pressão ambiental sobre ecossistemas vulneráveis, como amazônicos, além de ajudar a resolver a questão do descarte de plásticos não degradáveis.

Outro ponto relevante diz respeito ao aprimoramento do desempenho mecânico dos aparelhos. Vasconcelos et al. (2023) constataram que andaimes de PLA reforçados com biovidro e nanotubos de carbono exibiram uma resistência consideravelmente maior, preservando a biocompatibilidade. Em situações do dia a dia, como a vida ribeirinha, a resistência das próteses a ambientes úmidos e a demanda por maior durabilidade são características que ampliam a utilização dessa tecnologia.

A redução de infecções relacionadas aos dispositivos é um aspecto fundamental para a utilização de próteses impressas em 3D em contextos com infraestrutura sanitária



limitada. Em estudo experimental, Mendonça et al. (2024) mostraram que a incorporação de Vancomicina em uma matriz de PLA impede a formação de biofilme, resultando em uma redução mensurável da proteção bacteriana em superfícies poliméricas. Esse resultado sugere, de forma indireta, uma estratégia de "barreira farmacológica" integrada ao material, o que é útil em situações em que o acompanhamento clínico contínuo é restrito, como nas comunidades ribeirinhas.

Na mesma linha de funcionalização, Dias et al. (2025) demonstraram que nanocompósitos de PLA com nanopartículas de cobre apresentam ação virucida e antimicrobiana, sem afetar a processabilidade para impressão 3D. Os autores ressaltam que "o PLA/CuNPs manteve desempenho estrutural adequado", indicando que é viável para peças que entram em contato frequente com água e umidade, uma condição ambiental comum na Amazônia. Esses os resultados indicam que a incorporação de agentes ativos à base de polímero pode diminuir os riscos de infecção sem aumentar significativamente a complexidade da produção.

A literatura de revisão amplia essa análise ao incluir aspectos como biocompatibilidade, biodegradação e desempenho clínico. Singh et al. (2024) resumem que a produção aditiva permite a criação de dispositivos personalizados "com integração gradual ao organismo" ao utilizar polímeros biodegradáveis, conduzindo assim a necessidade de intervenções cirúrgicas para remoção. Nesse sentido, no contexto da Amazônia, essa particularidade é estratégica: intervenções exclusivas, com manipulação controlada, controle dos custos logísticos e de transporte dos pacientes.

Além disso, Pugliese et al. (2021) ressaltam que PLA e PCL atendem aos critérios de compatibilidade tecidual, sendo possível ajustá-los por meio de misturas e aditivos para calibrar rigidez, porosidade e taxas de manipulação. Essa "engenharia fina" do material atende às demandas de próteses utilizadas no dia a dia, possibilitando que o design da peça e a formulação do polímero é ajustada de acordo com as necessidades mecânicas (por exemplo, em ambientes úmidos ou sob esforços repetitivos). Dessa forma, a combinação do design paramétrico com a escolha de compostos antimicrobianos (Mendonça et al., 2024; Dias et al., 2025) fornece uma abordagem prática para aumentar a segurança e a durabilidade.

A combinação dessas abordagens técnicas resulta em uma proposta de



dispositivo "contextualizado" para uso ribeirinho: uma matriz biodegradável (PLA/PCL) com características antimicrobianas integradas, porosidade e geometria adaptadas por impressão 3D, e desempenho mecânico aprimorado quando necessário por meio de preenchimentos ou compostos (Singh et al., 2024; Pugliese et al., 2021). Essa estrutura de processo material tende a minimizar complicações clínicas, otimizar custos e possibilitar a produção descentralizada próxima ao ponto de cuidado.

A sustentabilidade emerge como um componente estratégico na aplicação da impressão 3D para próteses destinadas às comunidades ribeirinhas. Benhami et al. (2024) ressaltam que o PLA, um dos polímeros mais usados na produção aditiva, sofre manipulação ambiental em condições adversas, contribuindo para a diminuição do acúmulo de resíduos plásticos de difícil manejo. De indiretamente, esse aspecto está em consonância com a realidade da Amazônia, onde o transporte de resíduos sólidos é restrito e custoso, tornando requisitos que os materiais usados sejam compatíveis com o meio ambiente. Assim, a utilização de polímeros biodegradáveis beneficia tanto a saúde pública quanto a preservação do ecossistema local.

Do ponto de vista da performance mecânica, Vasconcelos et al. (2023) revelou que, andaimes de PLA reforçados com biovidro e nanotubos de carbono alcançam uma resistência estrutural superior, mantendo uma biocompatibilidade intacta. Esse progresso tecnológico possibilita a concepção de próteses ajustadas às demandas do dia a dia ribeirinho, em que a exposição contínua à umidade e a exigência de durabilidade são elementos cruciais. Assim, os materiais híbridos podem ser uma solução prática para as condições adversas do ambiente amazônico.

A análise realizada por Ramezani et al. (2025) e Singh et al. (2024) indicam que a impressão 3D deve ser vista não apenas como uma inovação tecnológica, mas também como um instrumento para democratizar o acesso à saúde. A opção de descentralizar a fabricação de próteses, por meio de pequenos laboratórios em instituições locais ou centros comunitários, aumenta o acesso para grupos historicamente marginalizados. Ao combinar biocompatibilidade, biodegradabilidade, reforço mecânico e funcionalização antimicrobiana (Mendonça et al., 2024; Dias et al., 2025; Pugliese et al., 2021), estabelece-se um modelo de tecnologia que promove a inclusão social e que pode atender às particularidades culturais, ambientais e econômicas da Amazônia.



Dessa forma, os resultados da literatura indicam que a impressão 3D com polímeros biodegradáveis, quando adaptada ao contexto ribeirinho, pode se tornar um eixo estratégico para a equidade em saúde, integrando inovação, sustentabilidade e acessibilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que o uso da impressão 3D na fabricação de próteses com materiais biodegradáveis representa uma alternativa promissora para aumentar a disponibilidade de dispositivos médicos em áreas com acesso assistencial limitado, como as comunidades ribeirinhas na Amazônia. A pesquisa mostrou que a tecnologia combina baixo custo, personalização e sustentabilidade, atendendo diretamente às demandas locais.

Os resultados da revisão indicaram que polímeros biodegradáveis, como o PLA, oferecem benefícios consideráveis em termos de biocompatibilidade e degradação ambiental controlada, tornando-os mais adequados para o contexto amazônico. Também ficou claro que a adição de agentes antimicrobianos e reforços estruturais aumenta a segurança e a longevidade das próteses, expandindo seu uso em situações de alta umidade e infraestrutura hospitalar limitada.

Assim, é possível concluir que a impressão 3D não deve ser vista apenas como uma inovação tecnológica, mas também como uma ferramenta de equidade em saúde, que pode tornar os recursos assistenciais essenciais mais acessíveis. A tecnologia surge como uma estratégia essencial para elevar a qualidade de vida das comunidades ribeirinhas de Manaus e de toda a região amazônica, ao mesmo tempo em que integra inovação, sustentabilidade e inclusão social. Além disso, destaca-se a importância de políticas públicas que promovam a pesquisa, o desenvolvimento de habilidades locais e a criação de laboratórios descentralizados.

REFERÊNCIAS



BENHAMI, V. M. L. et al. **Biodegradation of poly(lactic acid) waste from 3D printing.** *Polímeros*, 2024. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/po/a/tPK7qyDDYkyy9CLn3jqrcrx/>. Acesso em: 19 set. 2025.

DIAS, S. et al. **3D Printing of Virucidal Polymer Nanocomposites (PLA/Copper Nanoparticles).** *Polymers*, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/17/3/283>. Acesso em: 19 set. 2025.

MENDONÇA, C. J. A. et al. **Antimicrobial action of a biodegradable thermoplastic incorporated with vancomycin.** *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/Dww3JNPVj6LyTLXbTvKB8Zm/>. Acesso em: 19 set. 2025.

PUGLIESE, R. et al. **Polymeric biomaterials for 3D printing in medicine: An overview.** *Current Opinion in Biomedical Engineering*, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666964121000060>. Acesso em: 19 set. 2025.

RAMEZANI, A. et al. **3D printing in prosthetics, implants, and scaffolds: A Review.** *Journal of Biomedical Materials Research*, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/390266659_3D_printing_in_prosthetics_implants_and_scaffolds_A_Review. Acesso em: 19 set. 2025.

SINGH, A. K. et al. **Review of 3D Printing Applications in Biomedical.** *Journal of Current Biomedical Science*, 2024. Disponível em: <https://sciresol.s3.us-east-2.amazonaws.com/srs-j/JCBS/vol14/issue4/JCBS-2024-110.pdf>. Acesso em: 19 set. 2025.

VASCONCELOS, E. V. et al. **Nanostructured 3D bioprinting of PLA with bioglass-CNT.** *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423004052>. Acesso em: 19 set. 2025.