



Tecnologia de impressão 3D em enxertos e moldes para pacientes com queimaduras: uma revisão dos benefícios e desafios

Ruan Braga Santiago¹, Caroline de Fátima Rulli², Antônio Vinicius Mendes Coelho³, Mariana Nunes Gazolla⁴, Patrycia Pereira da Silva⁵, Mauricio Rodrigues Montini⁶, Astrid Carolina Jaimes Escobar⁷, Norly Juliana Calero Aguirre⁸, Daniela Alexandra Zamudio Muñoz⁹, Bianca Silva Ferreira¹⁰, Maria Clara Visniewski da Cunha¹¹, Bianca Rios Sampaio¹², Aline Vanjura dos Santos¹³



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n12p01-09>

Artigo recebido em 11 de Outubro e publicado em 01 de Dezembro

Revisão de literatura

RESUMO

As queimaduras são consideradas um problema de saúde pública e, nesse contexto, os anexos de pele se destacam como uma técnica promissora para o tratamento. Esse método requer abordagens multidisciplinares e desempenha um papel essencial na recuperação e reabilitação. Destarte, a tecnologia de impressão 3D está mudando o campo da medicina, especialmente no tratamento de pacientes com queimaduras. Ela permite a criação de enxertos de pele personalizados e moldes para reabilitação oferecendo uma abordagem inovadora e eficiente. Dentre os principais benefícios encontram-se a personalização pois permite o desenvolvimento de enxertos e moldes adaptados às necessidades específicas de cada paciente melhorando o encaixe e a eficácia, a capacidade de precisão na reprodução da anatomia do paciente, o que é crucial para áreas complexas, como rosto e articulações, a velocidade e eficiência tendo em vista que reduz o tempo necessário para produzir enxertos e moldes agilizando, assim, o processo de tratamento, a redução de custos a longo prazo pois com a impressão local e sob demanda, há economia em materiais e transporte além da inovação em materiais biocompatíveis que permitem a criação de estruturas que promovem a regeneração da pele e minimizam o risco de destruição. Contudo, alguns desafios ainda permeiam seu uso como: o custo inicial elevado pois os equipamentos e materiais para impressão 3D ainda têm um custo significativo, as limitações nos biomateriais uma vez que nem todos os materiais possuem as propriedades possíveis como elasticidade e biocompatibilidade. Outro fator preponderante é a necessidade de regulamentação e aprovação pois os dispositivos médicos impressos precisam de testes



rigorosos e aprovações regulatórias. Ademais, carecem de treinamento especializado tendo em vista que os profissionais da saúde precisam de capacitação para operar e integrar essa tecnologia nos tratamentos, além da integração com técnicas tradicionais pois ainda é necessário combinar a impressão 3D com métodos convencionais para resultados ótimos. Sendo assim, esta revisão destaca que, apesar dos desafios, a tecnologia de impressão 3D representa uma oportunidade promissora para melhorar a qualidade de vida de pacientes com queimaduras, trazendo soluções mais específicas e eficazes.

Palavras-chave: Impressora 3D; Enxerto de Pele; Tratamento de Queimaduras.

3D printing technology in grafts and molds for burn patients: a review of benefits and challenges

ABSTRACT

Burns are considered a public health problem and, in this context, skin appendages stand out as a promising technique for treatment. This method requires multidisciplinary approaches and plays an essential role in recovery and rehabilitation. Thus, 3D printing technology is changing the field of medicine, especially in the treatment of burn patients. It allows the creation of customized skin grafts and molds for rehabilitation, offering an innovative and efficient approach. Among the main benefits are customization, as it allows the development of grafts and molds adapted to the specific needs of each patient, improving fit and effectiveness; the ability to accurately reproduce the patient's anatomy, which is crucial for complex areas such as the face and joints; speed and efficiency, since it reduces the time needed to produce grafts and molds, thus speeding up the treatment process; long-term cost reduction, since with local and on-demand printing, there are savings in materials and transportation; in addition to innovation in biocompatible materials that allow the creation of structures that promote skin regeneration and minimize the risk of destruction. However, some challenges still permeate its use, such as: the high initial cost, since the equipment and materials for 3D printing still have a significant cost; limitations in biomaterials, since not all materials have the possible properties, such as elasticity and biocompatibility. Another important factor is the need for regulation and approval, since printed medical devices require rigorous testing and regulatory approvals. Furthermore, they lack specialized training, since health professionals need to be trained to operate and integrate this technology into treatments, in addition to integration with traditional techniques, since it is still necessary to combine 3D printing with conventional methods for optimal results. Therefore, this review highlights that, despite the challenges, 3D printing technology represents a promising opportunity to improve the quality of life of burn patients, providing more specific and effective solutions.



Keywords: 3D Printer; Skin Graft; Burn Treatment.

Instituição afiliada –

- 1- Centro Universitário Christus
- 2- Universidade Nove de Julho
- 3- Universidade Nove de Julho
- 4- Universidade Cesumar
- 5- Universidade Municipal de São Caetano do Sul
- 6- Fundação Universidade Regional de Blumenau
- 7- Instituto de Pós Graduação Médica Carlos Chagas
- 8- Instituto de Pós Graduação Médica Carlos Chagas
- 9- Instituto de educação superior Carlos Chagas
- 10- Faculdade de Ciências da Saúde da Santa Casa de São Paulo
- 11- Universidade Salvador
- 12- Centro Universitário de Excelência
- 13- Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS

Autor correspondente: *biancarios_@outlook.com*

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



INTRODUÇÃO

A primeira impressora 3D surgiu em 1984, sendo considerada uma evolução da impressora a jato de tinta, criada em 1976. Seu principal diferencial está na capacidade de fabricar objetos tridimensionais a partir de dados digitais, depositando camadas sucessivas de material (Carreira et al., 2022). Esses objetos são feitos de diversos materiais, como plásticos, resinas, titânio podem, polímeros, metais preciosos e essa tecnologia é amplamente aplicada em diversos setores, como indústrias automotivas, aeronáutica, joalheria, calçados, arquitetura, design de produtos, construção civil, alimentação, educação e medicina. Com a queda dos custos e avanços tecnológicos, a impressão 3D expandiu suas aplicações, destacando-se especialmente na área médica, incluindo as especialidades odontológicas e fisioterápicas (Emerick, 2022).

Na saúde, a impressão 3D é usada para produzir vasos sanguíneos, redes vasculares, ataduras, ossos, orelhas, próteses dentárias, entre outros. Na cirurgia plástica, ela ajuda no planejamento cirúrgico, fornecendo diagnósticos mais precisos e melhor entendimento da anatomia do paciente antes dos procedimentos. Além disso, a tecnologia contribui para pesquisas médicas, permitindo a criação de novos protótipos que ajudam a compreender melhores processos fisiológicos e patologias complexas, oferecendo simulações mais realistas do que as tradicionais dinâmicas (Carreira et al., 2022). Outro aspecto favorável é que os novos protótipos oferecem novas possibilidades para a pesquisa científica, permitindo explorar processos fisiológicos que ainda não foram completamente entendidos e aprofundados o conhecimento sobre patologias complexas. Além disso, simulações in vivo mais realistas e precisas do que aquelas obtidas por meio da dinâmica de fluidos computacionais (Varela et al., 2022).

No entanto, ainda há desafios técnicos a serem superados, como o aprimoramento da infraestrutura física, o acesso a tecnologias digitais e a ampliação dos recursos científicos (Matozinhos et al., 2020). Esses obstáculos precisam ser resolvidos para que essas ferramentas sejam mais acessíveis aos profissionais de saúde e melhor integradas em suas rotinas de trabalho. Apesar disso, o uso da impressão 3D na medicina está em constante expansão. Com o aumento da presença das tecnologias de informação nas práticas médicas, as impressoras 3D se mostram cada vez mais essenciais para melhorar a qualidade de vida dos pacientes, fornecendo soluções avançadas que salvam vidas e também aprimoram significativamente a recuperação desses pacientes (Lacerda et al., 2019).

Destarte, o presente trabalho reuniu um conjunto de estudos discutindo a importância da Tecnologia de impressão 3D em enxertos e moldes para pacientes com queimaduras e os efeitos das novas terapias no manejo dessa condição a fim de fornecer recomendações práticas para a implementação eficaz dessas inovações no contexto clínico, com o objetivo de melhorar os desfechos para os pacientes e promover um manejo mais eficaz. A fim de alcançar uma contribuição efetiva, hodiernamente, esta pesquisa é justificada a partir de seu



conteúdo abrangente quanto à temática, visando, sobretudo, agregar e fortalecer o conhecimento já presente na literatura sobre o tema atual.

METODOLOGIA

O presente estudo utilizou como metodologia a pesquisa bibliográfica, de cunho exploratório, buscando analisar e compilar evidências científicas que estivessem embasadas no uso da tecnologia de impressão 3D em enxertos e moldes em pacientes com queimaduras. Trata-se, então, de uma revisão integrativa que foi delimitada em seis etapas: 1) Identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa para a elaboração da revisão; 2) Estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão de estudos nas bases de dados; 3) Definição das informações a serem extraídas dos trabalhos selecionados; 4) Avaliação dos estudos incluídos nesta revisão; 5) Interpretação dos resultados obtidos com as análises; e 6) Apresentação da revisão do conhecimento. De tal forma que o início se deu através da definição da pergunta norteadora, utilizando a estratégia PICOT. Desse modo, foi criada a seguinte pergunta: “Como a tecnologia de impressão 3D em enxertos e moldes pode ser utilizada no manejo de pacientes com queimaduras? ”.

A pesquisa foi realizada em novembro de 2024, por meio de um amplo levantamento bibliográfico, elaborado a partir de materiais já publicados, que reuniu artigos científicos extraídos de literaturas científicas nacionais e internacionais. Os dados da pesquisa bibliográfica foram obtidos através das bases de dados na Cochrane Library, Scientific Electronic Library Online (Scielo), Up to Date e Google Scholar para busca usando os seguintes descritores: “Tecnologia de impressão 3D”; “enxertos e moldes”, “queimaduras”. Em relação ao operador booleano, o operador lógico de pesquisa utilizado foi “AND”.

Quanto aos critérios de inclusão, integraram esse estudo artigos em língua inglesa e portuguesa publicados no intervalo entre 2020 e 2024. Antes da avaliação crítica, foram selecionados estudos de acordo com seus títulos e resumos em etapas sendo realizada, dessa forma, uma identificação associada à triagem e à elegibilidade. Em que, dois revisores independentes realizaram a extração de dados para garantir a precisão e a consistência da análise. No que condiz aos critérios de exclusão, foram retirados textos em que havia fuga do tema e incompatibilidade com o objetivo, artigos, em duplicidade, fora do intervalo temporal descrito e textos incompletos e/ou inconclusivos. À vista disso, de acordo com os descritores escolhidos foram selecionados um total de 32 estudos e, após análise primária e aplicação dos critérios de elegibilidade, restaram 19 artigos dos quais, após a remoção dos duplicados restaram 13 que foram selecionados como relevantes para posterior triagem e, por fim, após leitura dos títulos e resumos dos artigos 6 atenderam aos critérios e foram considerados válidos para compor o presente estudo. Por conseguinte, os dados obtidos foram extraídos e tabulados em uma planilha do Excel e analisados pelos autores sendo destacados os principais pontos inerentes à pergunta norteadora no presente estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As queimaduras representam um desafio significativo tanto para a saúde pública quanto para as práticas clínicas em dermatologia e cirurgia plástica. Elas causam não apenas dor imediata, mas também podem gerar impactos duradouros na qualidade de vida dos pacientes, exigindo tratamentos complexos e abordagens multidisciplinares. A recuperação de queimaduras graves muitas vezes envolve o uso de enxertos de pele, essenciais para restaurar a integridade da pele, sua função e a estética do paciente (Rós et al., 2024).

O uso de enxertos de pele começou na Índia e, embora tenha sido amplamente aceito, apenas no século XIX evoluiu para uma técnica rotineira, segura e eficaz. O enxerto atua como curativo um oclusivo, modificando a pele danificada e facilitando o processo de cura. A escolha da técnica mais adequada depende de diversos fatores, como a causa da queimadura, localização, profundidade, tecidos adjacentes e condições do paciente, incluindo fatores como tabagismo e aderência ao tratamento.

O desenvolvimento de instrumentos específicos para a realização de exercícios contribuiu para maior controle e consistência nos procedimentos. A invenção de instrumentos elétricos foi uma grande inovação, ampliando a técnica a um maior número de cirurgiões. Além disso, o avanço no desenvolvimento de substitutos biológicos e sintéticos também tem sido crucial (Varela et al., 2022). No entanto, ainda existem desafios, como a colonização microbiana, falhas nos exercícios e limitações nas áreas de doação de pele. Para superar essas dificuldades, surgiram avanços na engenharia de tecidos, incluindo microenxertos, cultivo de pele em laboratório e o uso de células-tronco.

Portanto, é essencial continuar o estudo e avanço das técnicas cirúrgicas de exercício para o tratamento de queimaduras, com destaque para os avanços tecnológicos, que têm mostrado resultados positivos e devem continuar a evoluir. O autoenxerto de espessura total, por exemplo, é considerado o padrão-ouro no tratamento, pois tem um impacto significativo na redução da morbidade e mortalidade dos pacientes (Emerick, 2022; Varela et al., 2022).

Nesse contexto, a tecnologia de impressão 3D tem ganhado destaque no tratamento de pacientes com queimaduras, especialmente na produção de enxertos de pele e moldes personalizados para a reabilitação. Essa abordagem inovadora oferece uma série de benefícios, mas também apresenta desafios que precisam ser superados para sua implementação em larga escala (Lacerda et al., 2019). Sendo assim, hoje, já são consagrados inúmeros benefícios da impressão 3D em queimaduras como a personalização pois a impressão 3D permite a criação de encaixes e moldes adaptados às necessidades específicas de cada paciente. Isso é fundamental, pois cada queimadura é única com variação na localização, profundidade e extensão. A personalização melhora o encaixe dos enxertos e aumenta sua eficácia, o que é crucial para a recuperação do paciente (Signor et al., 2020).

Outro aspecto favorável é a precisão pois a impressão 3D pode reproduzir



com alta precisão a anatomia do paciente, o que é essencial para as superfícies internas de áreas complexas como o rosto e as articulações. Essa precisão contribui para melhores resultados estéticos e funcionais. Além disso, possui rapidez e eficiência ao permitir a criação rápida de enxertos de pele e moldes, acelerando o processo de tratamento. Isso é vital, pois a recuperação após uma queimadura grave pode ser demorada e, muitas vezes, requer intervenções urgentes (Rós et al., 2024). Ademais, a redução de custos a longo prazo pois, embora o custo inicial de implantação da tecnologia seja alto, a impressão 3D pode reduzir os custos a longo prazo permitindo a produção local e sob demanda de encaixes e moldes, o que evita gastos com materiais e transporte. Além dos fatores explicitados, os avanços em biomateriais permitiram criar enxertos que não apenas imitam a pele humana, mas também promovem a regeneração e a cicatrização reduzindo o risco de destruição e complicações pós-cirúrgicas (Signor et al., 2020).

Contudo, existem alguns desafios da impressão 3D em queimaduras como: o custo inicial elevado pois, a tecnologia de impressão 3D, incluindo as impressoras e os materiais necessários, ainda tem um custo específico. Isso pode limitar o acesso à tecnologia, especialmente em sistemas de saúde com orçamento restrito (Carreira et al., 2022). As limitações dos biomateriais também pois, embora os avanços tenham sido avançados, nem todos os materiais utilizados na impressão 3D possuem todas as propriedades possíveis para substituir completamente a pele humana, como qualidade, resistência e biocompatibilidade. A regulamentação e aprovação também é um fator desafiador tendo em vista que o uso de dispositivos médicos impressos exige aprovação dos órgãos reguladores o que pode ser um processo demorado e complexo. Ademais, a falta de uma regulamentação clara pode atrasar a adoção dessa tecnologia. Além da necessidade de treinamento especializado uma vez que para que os profissionais de saúde possam utilizar a impressão 3D de forma eficaz, é necessário treinamento especializado. Isso envolve tanto o uso das impressoras quanto a interpretação de imagens digitais para a criação de enxertos e moldes adequados (Carreira et al., 2022).

Outrossim, a integração com métodos tradicionais também constitui um desafio pois embora a impressão 3D seja uma tecnologia promissora, ela ainda precisa ser combinada com técnicas convencionais de tratamento de queimaduras, como o uso de curativos e terapias físicas para se obter os melhores resultados (Emerick, 2022; Varela et al., 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste contexto, é fundamental a salientar que a impressão 3D já desempenha um papel importante na área da saúde proporcionando diversos benefícios aos pacientes como maior conforto anatômico, melhor qualidade de vida, chances reais de cura e redução de custos, entre outros. Não obstante, para que esses benefícios sejam plenamente aproveitados, é necessário criar um ambiente adequado para que a tecnologia auxilie em diversos tipos de procedimentos médicos desde atendimentos de emergência até cirurgias complexas. As

empresas que fabricam esses moldes também precisam garantir que a impressão seja realizada dentro dos prazos necessários para resolver rapidamente quaisquer problemas médicos. As universidades, por sua vez, têm o papel de capacitar os médicos para que possam utilizar essa tecnologia com domínio. À medida que a impressão 3D se expande e suas vantagens se tornam mais evidentes, espera-se, também, que os custos de produção diminuam, tornando-a acessível a todos e oferecendo uma solução viável para médicos que, até então, eram difíceis de superar.

Logo, a impressão 3D representa uma grande inovação no tratamento de queimaduras, oferecendo soluções mais precisas e personalizadas para os pacientes. Apesar dos desafios, como custos elevados e limitações dos biomateriais, os avanços na tecnologia e na pesquisa de novos materiais tornam essa abordagem cada vez mais viável. Com o tempo, espera-se que a impressão 3D se torne uma ferramenta comum em clínicas e hospitais ajudando a melhorar a recuperação de pacientes queimados e a qualidade de vida dos mesmos. A impressão 3D é a tecnologia perfeita para apoiar a evolução contínua da medicina digital personalizada criando um segmento digital que começa no processo de imagem médica, sobre o planejamento do tratamento, o design do implante, a comunicação do paciente e termina com a fabricação digital de um implante e instrumentação personalizados.

Por ser um tema relativamente novo, ainda há dificuldade em encontrar estudos específicos sobre essa área. No entanto, devido à sua abrangência e às várias vantagens que oferece, as pesquisas sobre impressão 3D são fundamentais. Portanto, é necessário realizar mais investigações sobre o tema, para que essa tecnologia possa realmente contribuir de forma significativa

REFERÊNCIAS

CARREIRA, Ariane da Silva; MANSO, Diego Gonçalves dos Santos; MONTEIRO, Guilherme Granadeiro. A UTILIZAÇÃO E APLICAÇÃO DA IMPRESSORA 3D NA ÁREA DE SAÚDE. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 8, n. 9, p. 340–354, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i9.6896. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6896>. Acesso em: 29 nov. 2024.

CAROLINA SIGNOR, A. .; BASMAJI, P. . Nova estratégia de Bioimpressão Nanoskin 3d no tratamento de feridas: um futuro brilhante pela frente. **REVISTA IBERO-AMERICANA DE PODOLOGIA**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 146, 2020. DOI: 10.36271/iajp.v2i1.26. Disponível em: <https://www.iajp.com.br/index.php/IAJP/article/view/26>. Acesso em: 29 nov. 2024.

EMERICK, Mariane Ferreira Barbosa. Reflexões sobre o acesso de grandes queimados ao transplante de pele na perspectiva Bioética. 2022. 139 f., il. Dissertação (Mestrado em Bioética) — **Universidade de Brasília**, Brasília, 2022.



LACERDA Aline. et al. Aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea. Disponível em <https://www.brazilianjournals.com/index>. > 2019.

MATOZINHOS, Isabela P et al. Impressão 3D: inovações no campo da medicina. **Revista Interdisciplinar Ciências Médicas**, Minas Gerais, vol. 1, 2017. Disponível em: < <https://bit.ly/34css8E> >. Acesso em: abr. 2022

Rós, D. de O., Costa, M. R., Luzzani, B. I., Barbosa, S. G., & Maske, P. V. (2024). REVISÃO DAS TÉCNICAS UTILIZADAS EM DERMATOLOGIA E CIRURGIA PLÁSTICA PARA ENXERTO DE PELE APÓS TRAUMAS POR QUEIMADURAS. **International Journal of Health Management Review**, 10(1), e374. <https://doi.org/10.47172/ijhmreview.v10i1.374>

VARELA, Laura de Almeida. Biomodelo 3D de fraturas ósseas para auxílio no planejamento cirúrgico. 2022. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica), **Departamento de Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, Natal, 2022.

ZAPAROLLI, Domingos. Revista Pesquisa Fapesp. O avanço da impressão 3D. Edição 276, fev. 2019. Disponível em: **Revista Pesquisa Fapesp**. Acesso em março de 2022.