

Uso de Biomodelos Impressos em 3D no Planejamento Cirúrgico de Cabeça e Pescoço: uma Revisão Narrativa da Literatura

Allison da Silva Rodrigues¹, Ana Helena Neris Campos², Emanuel Pontes Araújo Damasceno², Cristiane Marinho Uchôa Lopes³

¹Discente da Universidade Federal do Cariri, Barbalha, Brasil
(allison.rodrigues@aluno.ufca.edu.br)

²Discente da Universidade Federal do Cariri, Barbalha, Brasil

³Docente da Universidade Federal do Cariri, Barbalha, Brasil

Resumo: Objetivo: analisar o uso de biomodelos impressos em 3D no planejamento cirúrgico de cabeça e pescoço. Métodos: revisão narrativa com 20 estudos selecionados. Resultados: os biomodelos reduzem tempo cirúrgico, aumentam a precisão e apoiam o consentimento informado, com aplicações em reconstrução mandibular, trauma, oncologia e cirurgia ortognática. Conclusão: a tecnologia representa avanço relevante, mas exige padronização e maior nível de evidência.

Palavras-chave: impressão 3D; planejamento cirúrgico; cabeça e pescoço; biomodelos; cirurgia maxilofacial

INTRODUÇÃO

A cirurgia de cabeça e pescoço compreende procedimentos de elevada complexidade anatômica, nos quais desvios mínimos de planejamento podem resultar em sequelas funcionais e estéticas significativas. Nesse contexto, o planejamento pré-operatório preciso é condição essencial para o sucesso terapêutico em cirurgias oncológicas, reconstrutivas, traumatológicas e ortognáticas (Bou Zeid *et al.*, 2024; Kopeć *et al.*, 2025).

Historicamente, o planejamento cirúrgico nessa especialidade baseou-se em imagens bidimensionais obtidas por tomografia computadorizada e ressonância magnética. Embora eficazes, essas representações em 2D impõem limitações à compreensão tridimensional da anatomia individual do paciente, especialmente em deformidades complexas ou neoplasias de grandes dimensões (Alhabshi *et al.*, 2023; Ostaş *et al.*, 2022). A necessidade de melhor visualização espacial motivou o desenvolvimento e a incorporação da manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão tridimensional (3D), ao fluxo de trabalho cirúrgico.

A impressão 3D permite converter dados de imagem médica (DICOM) em modelos físicos anatômicos específicos para cada paciente, denominados biomodelos. A partir de técnicas como *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Stereolithography* (SLA) e *PolyJet*, é possível reproduzir com fidelidade estruturas ósseas complexas, relações neurovasculares e alterações patológicas, oferecendo ao cirurgião uma percepção tátil e espacial da

anatomia antes da intervenção (Bou Zeid *et al.*, 2024; Turek *et al.*, 2025). Os modelos podem ser utilizados para simulação cirúrgica, pré-moldagem de placas de reconstrução e fabricação de guias de corte e comunicação com o paciente.

Apesar do crescente interesse científico, ainda existem lacunas quanto à sistematização dos benefícios clínicos dos biomodelos em cirurgia de cabeça e pescoço, particularmente no que se refere a desfechos como tempo operatório, precisão cirúrgica, complicações e custo-benefício. A pergunta norteadora desta revisão é: O uso de biomodelos impressos em 3D melhora o planejamento cirúrgico e os desfechos clínicos em comparação aos métodos convencionais em cirurgias de cabeça e pescoço?

O objetivo deste trabalho é sintetizar as evidências disponíveis sobre a aplicação de biomodelos 3D no planejamento cirúrgico de cabeça e pescoço, identificando suas principais aplicações clínicas, benefícios, limitações e perspectivas futuras.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta revisão narrativa foi conduzida de acordo com os princípios do PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptados à modalidade narrativa. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados LILACS, PubMed/MEDLINE e Web of Science, com restrição de período aos últimos cinco anos (2021 até o presente) e limitação de idioma para português, inglês e espanhol. A estratégia de busca baseou-se na estrutura PICO: População (P) —

pacientes submetidos a planejamento cirúrgico de cabeça e pescoço; Intervenção (I) — uso de biomodelos impressos em 3D; Comparação (C) — planejamento convencional com imagens 2D ou sem biomodelo; Desfechos (O) — tempo cirúrgico, precisão, complicações, custo e desfecho clínico. Os termos utilizados foram combinações dos descritores “3D printing”, “three-dimensional printing”, “additive manufacturing”, “patient-specific model”, “biomodel”, “anatomical model”, “preoperative planning”, “surgical planning”, “head and neck”, “maxillofacial”, “mandible”, “mandibular”, “craniofacial”, utilizando operadores booleanos.

Foram incluídos estudos com aplicação em planejamento cirúrgico de cabeça e pescoço, independentemente do delineamento (relatos de caso, séries de casos, estudos retrospectivos, revisões sistemáticas e revisões narrativas). Foram excluídos: estudos puramente técnicos sem aplicação clínica; publicações sobre impressão 3D sem relação direta com cirurgia; estudos veterinários; e artigos sem disponibilidade de texto completo gratuito.

A busca inicial identificou 64 registros (LILACS: 20; PubMed/MEDLINE: 19; Web of Science: 25). Após remoção de 24 duplicatas, restaram 40 artigos para triagem. Destes, 20 foram excluídos — 10 do LILACS, 8 do PubMed/MEDLINE e 2 da Web of Science — pelos seguintes motivos: texto completo não disponível gratuitamente (11 artigos), estudos puramente técnicos sem aplicação clínica direta (5 artigos), foco em treinamento cirúrgico sem avaliação de desfechos clínicos (2 artigos), estudos de validação de realidade aumentada sem aplicação clínica em pacientes reais (1 artigo) e inquérito sobre barreiras à adoção sem dados clínicos (1 artigo). Ao final, 20 artigos foram incluídos na revisão: 1 do LILACS, 11 do PubMed/MEDLINE e 8 da Web of Science.

O fluxograma de seleção, adaptado do PRISMA 2020, é apresentado na Figura 1.

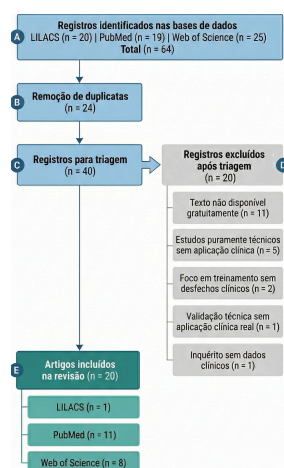


Figura 1. Fluxograma de seleção.

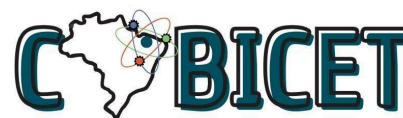
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os vinte estudos incluídos abrangem um espectro amplo de delineamentos e populações: dois estudos retrospectivos comparativos de coorte (Cebrián-Carretero *et al.*, 2026; Chen, Kreh e Lin, 2025), dois estudos retrospectivos descritivos (Tousidonis *et al.*, 2026; Silva *et al.*, 2024), uma série de casos prospectiva (De Geer *et al.*, 2025), três relatos de caso (Lo Giudice *et al.*, 2025; Jardini *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2025), dois estudos de percepção cirúrgica com questionários (Moll *et al.*, 2025), uma série de sete casos clínicos (Moncayo-Matute *et al.*, 2025), um estudo de acurácia de modelos com 14 pacientes (Turek *et al.*, 2021), dois estudos de caso clínico (Kovacs e Kaing, 2022; Silva *et al.*, 2024), além de cinco revisões (Alhabshi *et al.*, 2023; Ostaş *et al.*, 2022; Gernandt *et al.*, 2023; Kopeć, Kukulska e Lewandowska, 2025; Turek *et al.*, 2025; Zeid; Arias; Alkureishi, 2024).

As aplicações clínicas relatadas concentram-se em: reconstrução mandibular após ressecção oncológica ou traumática, tratamento de fraturas faciais complexas, cirurgia ortognática, planejamento de retalhos microvascularizados, manejo de tumores benignos de mandíbula e maxila, cirurgia de glândula parótida e procedimentos craniofaciais. Os países de origem dos estudos incluem Espanha, Países Baixos, Equador, Itália, Brasil, Polônia, França, Arábia Saudita, Romênia, Austrália, Haiti e Estados Unidos.

A diversidade de tecnologias de impressão 3D empregadas nos estudos incluídos ilustra a maturidade crescente da área. As tecnologias mais frequentemente descritas foram a FDM, a SLA e o processamento digital de luz (DLP). O FDM prevalece pela sua relação custo-benefício favorável e pela disponibilidade de equipamentos de baixo custo hospitalar, sendo amplamente empregado para a confecção de modelos anatômicos de planejamento (Tousidonis *et al.*, 2026; Silva *et al.*, 2024). A SLA e a DLP são preferidas quando o dispositivo exige maior resolução ou biocompatibilidade, como no caso das guias cirúrgicas intraoperatórias (Ostaş *et al.*, 2022).

O ácido polilático (PLA) e o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) dominam a produção de modelos não estéreis. Silva *et al.* (2024) observaram que, em 50% dos casos nos quais o ABS foi empregado, houve necessidade de ajustes intraoperatórios no material de osteossíntese, possivelmente em razão da tendência do ABS ao derretimento durante procedimentos de perfuração, o que pode comprometer a referência anatômica das bordas da fratura. As resinas biocompatíveis são indicadas para dispositivos de uso intraoperatório que requerem esterilização (Tousidonis *et al.*, 2026). Implantes de longa permanência são fabricados



predominantemente em titânio por fusão seletiva a laser (SLM), eletrofusão por feixe de elétrons (EBM) ou sinterização direta a metal a laser (DMLS), processos que conferem biocompatibilidade, resistência mecânica e integração óssea superiores (Turek *et al.*, 2025; Jardini *et al.*, 2021).

O PEEK (polietercetona) emerge como alternativa polimérica para implantes estruturais, embora sua aplicação em reconstrução mandibular permaneça escassa na literatura (Turek *et al.*, 2025). A seleção adequada do material em função da indicação clínica (modelo de planejamento, guia cirúrgica ou implante permanente) é considerada um determinante central do sucesso clínico.

A reconstrução mandibular após ressecção oncológica ou traumática representa uma das indicações mais consolidadas para o uso de biomodelos 3D em cirurgia de cabeça e pescoço. A mandíbula é o único osso móvel do complexo craniofacial, e sua reconstrução demanda precisão anatômica para garantir função mastigatória, oclusão, estética e perviedade das vias aéreas (Turek *et al.*, 2021; Turek *et al.*, 2025).

Turek *et al.* (2021) desenvolveram e validaram um procedimento sistematizado de modelagem digital e impressão 3D para 14 pacientes submetidos a ressecção de tumores malignos de assoalho bucal e necrose mandibular. O protocolo incluiu segmentação de imagens DICOM com interpolação Lanczos para aumento de resolução espacial, reconstrução tridimensional por algoritmo Marching Cubes e impressão em PLA com espessura de camada de 0,15 mm. A acurácia dos modelos foi verificada por escaneamento óptico, com desvios mantidos dentro de $\pm 0,15$ mm, inferior ao limite clinicamente aceitável de $\pm 0,25$ mm. Os autores relataram redução de aproximadamente 20% no tempo cirúrgico, menor perda de sangue, menor tempo de isquemia do retalho microvascularizado e recuperação pós-operatória mais rápida, sem especificar análise estatística formal para todos os desfechos.

Turek *et al.* (2025), em revisão de 77 estudos publicados entre 2020 e 2025, confirmaram que as tecnologias de manufatura aditiva mais empregadas na reconstrução mandibular são a PBF (para implantes de titânio), a MEX/FDM (para guias cirúrgicas e modelos anatômicos) e a VPP/SLA (para guias de alta precisão). A pré-moldagem de placas de reconstrução de titânio sobre biomodelos impressos em 3D é referida consistentemente como estratégia que reduz o tempo operatório e melhora o ajuste anatômico, especialmente em casos de grandes defeitos ósseos. A técnica de espelhamento digital — na qual a hemimandíbula saudável é espelhada para substituir o lado comprometido — mostrou-se

particularmente útil quando a anatomia nativa está destruída pela patologia.

Kovacs e Kaing (2022) descreveram a utilização de manufatura aditiva em hospital público australiano para reconstrução mandibular pós-traumática. O modelo mandibular foi impresso em resina por DLP, permitindo a pré-moldagem de duas placas de reconstrução antes da cirurgia e possibilitando abordagem transoral (sem incisão submandibular extraoral) com redução do risco de lesão do nervo facial e de cicatrização visível. Os autores destacam que a disponibilidade de equipamentos *in-house* eliminou o prazo de espera de fabricantes terceirizados, que pode superar sete dias, tornando a tecnologia aplicável inclusive ao contexto traumatológico agudo.

O trauma facial complexo representa um dos cenários em que os biomodelos 3D demonstram maior potencial de impacto, dada a necessidade de redução precisa de fraturas cominutivas e a dificuldade de pré-modelar placas sem referência física do contorno ósseo original.

Chen, Kreh e Lin (2025) conduziram revisão retrospectiva de 24 pacientes tratados com planejamento cirúrgico virtual e modelos 3D *in-house* ao longo de sete anos (2017–2023). A maioria dos casos envolvia fraturas cominutivas (79,2%) com comprometimento de múltiplas estruturas de sustentação facial (70,8%). A taxa de contorno facial satisfatório foi de 95,8%, com taxa de complicação maior de apenas 6,25%. Os autores ressaltam que o laboratório *in-house* permitiu tempo de processamento mínimo de três dias entre a obtenção da tomografia e a cirurgia, viabilizando o uso de CAD/CAM em contexto de trauma agudo onde fornecedores comerciais não conseguem atender. O tempo cirúrgico médio foi de 268 minutos, porém a ausência de grupo controle impede conclusões sobre a magnitude da redução associada ao uso dos modelos.

Silva *et al.* (2024) avaliaram prospectivamente 8 pacientes tratados no Brasil com biomodelos para pré-moldagem de placas e malhas titanizadas em traumatologia oromaxilofacial aguda. O tempo cirúrgico médio foi de $91,25 \pm 28,00$ minutos, valor consideravelmente inferior ao reportado na literatura para casos similares sem biomodelos (150 minutos em estudo citado pelos autores). Não houve aumento no tempo de internação hospitalar associado ao tempo de aquisição do modelo (média de $4,75 \pm 1,39$ dias), sugerindo que a espera pelo biomodel coincide, em geral, com o período necessário para estabilização clínica do paciente antes de cirurgia eletiva.

No relato de Reis *et al.* (2025), um paciente pediátrico de 15 anos com fratura do osso frontal foi



submetido a abordagem videoassistida com planejamento virtual e impressão de biomodelo para pré-moldagem da malha de reconstrução. A utilização do biomodelo permitiu compensar as limitações de visibilidade inerentes à abordagem minimamente invasiva, com resultado estético satisfatório e cicatriz mínima oculta sob a sobrançelha.

Vimawala, Gao e Curry (2020) descreveram a primeira experiência documentada de uso de biomodelos 3D em ambiente de missão cirúrgica em Haiti, um cenário de extrema limitação de recursos. Dois modelos mandibulares foram produzidos com custo de US\$ 5 a US\$ 15 por modelo, utilizando impressora FDM de mesa, software de código aberto e PLA. Os modelos foram empregados para pré-moldagem de placas de osteossíntese em dois casos de ameloblastoma mandibular extenso com necessidade de reconstrução por retalho livre de fíbula. O tempo de moldagem das placas foi de 7 e 9 minutos, respectivamente, e o tempo total de isquemia manteve-se abaixo de 3 horas em ambos os casos — um resultado relevante para minimizar complicações como infecção do sítio cirúrgico e perda parcial do retalho. Adicionalmente, os modelos foram utilizados para facilitar o consentimento informado em um contexto de barreiras linguísticas e baixo conhecimento em saúde. O relato evidencia que a tecnologia, quando implementada com fluxo de trabalho eficiente e equipamentos acessíveis, pode ser transposta para ambientes com recursos escassos, com potencial impacto transformador.

De Geer *et al.* (2025) apresentaram um fluxo de trabalho inovador que combina angiorressonância magnética (ARM) pré-operatória com modelagem 3D e impressão de guias de mapeamento de perfurantes específicos para cada paciente, aplicado em reconstrução de cabeça e pescoço por retalhos livres. O estudo prospectivo incluiu 10 pacientes submetidos a retalho livre de fíbula (FFF), retalho anterolateral de coxa (ALT) ou retalho perfurante da artéria sural medial (MSAP). Nos casos de FFF e ALT, 100% dos perfurantes utilizados intraoperatoriamente foram identificados nos modelos de ARM, com diferença média absoluta de comprimento de pedículo entre o modelo e o intraoperatório de apenas 1,0 cm (DP 0,9 cm). A pontuação média de usabilidade pelos cirurgiões foi de 4,2 em 5,0. Para os retalhos MSAP, com perfurantes de menor calibre, a visualização foi menos consistente, sendo identificados em apenas 30% dos casos. A combinação de ARM com modelagem 3D e guias impressas para mapeamento de perfurantes, oferece alternativa livre de radiação ionizante à angiografia por tomografia computadorizada (ATC), relevante especialmente

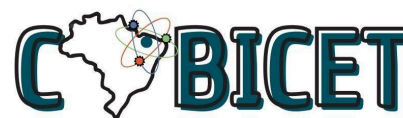
para pacientes já submetidos à carga de radiação acumulada pelo tratamento oncológico.

Turek *et al.* (2021) também descreveram o uso de modelos impressos para estimar o volume de ressecção e orientar a coleta do retalho fibular, permitindo planejar o número e o ângulo dos segmentos ósseos necessários para recriar a curvatura mandibular com maior fidelidade antes do início da isquemia.

Alhabshi *et al.* (2023) conduziram revisão sistemática incluindo 71 estudos (2010–2023) sobre o uso de impressão 3D no planejamento de cirurgia ortognática. Os resultados indicam que o planejamento cirúrgico virtual (VSP), combinado com modelos e guias 3D, supera o planejamento convencional bidimensional em precisão de reposicionamento maxilo-mandibular, especialmente em tecidos moles e em regiões como a porção anterior da maxila. Estudos incluídos na revisão demonstraram redução média de 83 minutos no tempo cirúrgico e economia de US\$ 60 por procedimento quando se utilizam guias pré-fabricadas em comparação ao planejamento tradicional. O uso de modelos 3D permite ainda a fabricação de splints oclusais com ajuste mais preciso, reduzindo erros de transferência do plano cirúrgico para o campo operatório. Os autores observam, contudo, que estudos puramente técnicos e revisões simples representam parte significativa da literatura, sendo necessários ensaios clínicos prospectivos para conclusões mais robustas.

Gernandt *et al.* (2023) realizaram revisão sistemática de 13 estudos (74 pacientes) sobre o emprego de impressão 3D no manejo cirúrgico de lesões ósseas benignas de mandíbula e maxila (cistos odontogênicos, ameloblastomas, odontomas, mesiodens e dentes supranumerários). Dois tipos principais de aplicação foram identificados: modelos anatômicos para simulação pré-operatória e guias de osteotomia ou perfuração intraoperatória. As guias reduziram de forma significativa o tempo cirúrgico ($23,35 \pm 5,39$ vs. $29,60 \pm 9,76$ minutos, $p = 0,019$) e o número de osteotomias adicionais necessárias (5/20 com guia vs. 15/20 sem guia no mesmo estudo). A redução da dor e do edema pós-operatório também foi observada com o uso de guias, bem como maior satisfação do paciente. Os autores concluem que a impressão 3D resulta em procedimentos menos invasivos, com osteotomias mais precisas e menor risco de lesão a estruturas adjacentes — nervo alveolar inferior, raízes dentárias e germes de dentes permanentes em pacientes pediátricos.

Cebrián-Carretero *et al.* (2026) conduziram um estudo retrospectivo observacional comparando 110 casos de cirurgia oral e maxilofacial gerenciados com a plataforma digital B-Onic a 72 controles históricos



tratados por métodos convencionais. A plataforma integra processamento de imagens médicas, planejamento cirúrgico virtual, validação e manufatura aditiva *in-house* em um ecossistema digital regulamentado. Os resultados demonstraram redução média de 29% no tempo de planejamento pré-operatório, redução de 21% no tempo cirúrgico (média de 224 ± 71 vs. 177 ± 58 minutos; $p < 0,001$) e diminuição da taxa de complicações pós-operatórias de 17,6% para 11,2% (redução relativa de 36%; $p = 0,028$). A taxa de reospitalização em 30 dias caiu de 8,8% para 4,6% ($p = 0,021$). A necessidade de modificação intraoperatória do plano cirúrgico foi reduzida em 70% (de 13,5% para 4,1%; $p = 0,006$). Os benefícios foram mais pronunciados nos subgrupos de cirurgias oncológicas e craniofaciais de alta complexidade, enquanto procedimentos mais padronizados, como a cirurgia ortognática, apresentaram ganhos mais modestos, possivelmente em razão de desfechos de base já otimizados. Embora o delineamento retrospectivo e o uso de controles históricos introduzam potencial viés temporal, os resultados são consistentes com os relatados na literatura sobre planejamento cirúrgico digital.

Tousidonis *et al.* (2026) descreveram a experiência de oito anos (2017–2025) do Hospital Universitario Gregorio Marañón, responsável pela produção de 442 dispositivos médicos impressos em 3D para cirurgia maxilofacial. Os biomodelos representaram a categoria mais frequente ($\approx 68\%$), seguidos de guias cirúrgicas ($\approx 20\%$) e implantes paciente-específicos (7%). Trauma e oncologia responderam por 45% e 33% dos casos, respectivamente. O desenvolvimento temporal do programa revelou uma transição progressiva: nos anos iniciais, os modelos eram usados predominantemente para comunicação com pacientes e ensino; a partir de 2023, passaram a ser dedicados quase exclusivamente ao planejamento pré-operatório e ao uso intraoperatório.

Moll *et al.* (2025) avaliaram a percepção de 15 cirurgiões (otorrinolaringologistas, maxilofaciais e de cabeça e pescoço) diante de três modalidades de visualização 3D — modelo em tela 2D, modelo impresso em 3D e holograma de realidade aumentada (RA) — no contexto de cirurgia de tumor de parótida com envolvimento do nervo facial. Os hologramas de RA obtiveram as pontuações mais elevadas para visibilidade tumoral, enquanto todas as modalidades apresentaram pontuação mediana equivalente para visibilidade dos marcos anatômicos. O modelo impresso em 3D foi consistentemente avaliado com pontuações inferiores de usabilidade percebida (mediana 4 em 7) e facilidade de uso (mediana 5 em 7) em comparação ao modelo em tela 2D e ao holograma (ambos com mediana 6 em 7). Os cirurgiões apontaram limitações práticas do modelo

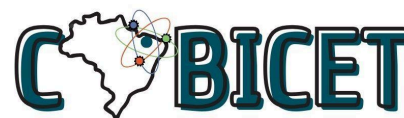
físico, como fragilidade, aparência pouco profissional e representação anatômica do nervo facial a partir de uma perspectiva medial que não reflete a visão cirúrgica real. Não obstante, alguns participantes destacaram o valor do modelo impresso para a comunicação com o paciente. Os autores concluem que as modalidades digitais são preferidas para planejamento e educação, mas que os modelos físicos preservam papel complementar, sobretudo na consulta pré-operatória com o paciente.

Lo Giudice *et al.* (2025) descreveram o fluxo de trabalho digital completo aplicado a uma paciente de 76 anos com fratura patológica de mandíbula associada à osteonecrose relacionada a medicamentos estágio III. A partir de imagens de TC em corte fino, foi realizada cirurgia virtual no software 3D Slicer com sequestrectomia e redução digital da fratura; o modelo mandibular resultante foi impresso em PLA a custo de €0,30–0,40, utilizado para a pré-moldagem da placa de reconstrução de titânio. O resultado intraoperatório e o acompanhamento de seis meses demonstraram boa acurácia do modelo em relação à dinâmica mandibular pós-operatória e à posição côndilo-fossa, com cicatrização satisfatória. Aos dois anos, a TC confirmou regeneração óssea na margem mandibular inferior dentro do *gap* cirúrgico. Os autores destacam que o fluxo digital representou uma alternativa custo-efetiva às placas personalizadas industriais, cujo custo e tempo de produção são substancialmente maiores.

Moncayo-Matute *et al.* (2025) apresentaram uma série de sete casos no Equador, aplicando a metodologia de manufatura aditiva para o planejamento de cirurgias craniofaciais e torácicas com deformidades congênicas e adquiridas. As cirurgias, que incluíram reconstruções cranianas, ressecções tumorais e craniossínostose, tiveram duração média de 1 a 2 horas, sem complicações intraoperatórias ou pós-operatórias significativas. A redução estimada no tempo cirúrgico associada ao uso de guias e modelos foi de aproximadamente 30%, com benefício econômico direto projetado pela economia em tempo de sala operatória.

Jardini *et al.* (2021) relataram a reconstrução craniomaxilofacial em paciente jovem com trauma grave, utilizando implantes personalizados de titânio fabricados por PBF com biomodelo de poliamida para planejamento. A precisão dimensional dos implantes permitiu ajuste perfeito ao defeito, com resultados estéticos e funcionais satisfatórios e sem infecção. O estudo ilustra a aplicabilidade da cadeia completa — da imagem à impressão — para casos de alta complexidade.

Cho *et al.* (2021) descreveram uma experiência pioneira no uso combinado de modelos 3D multicoloridos por PolyJet e holograma de realidade



mista (HoloLens) para o planejamento e execução de transplante de face, uma das formas mais complexas de reconstrução craniofacial. Os hologramas demonstraram vantagens de tempo (preparação em 5 horas para o doador vs. 13,8 horas para impressão 3D) e custo (hardware de US\$ 3.000 para HoloLens vs. US\$ 300.000 para impressora PolyJet), além de possibilitarem simulação cirúrgica virtual ilimitada. Os modelos físicos preservaram valor pela tangibilidade e por facilitar discussões coletivas entre membros da equipe. O estudo sugere que abordagens híbridas — combinando realidade mista com modelos físicos — podem ser complementares em procedimentos de alta complexidade e sensibilidade temporal.

Ostaş *et al.* (2022), em revisão narrativa de 63 artigos sobre planejamento cirúrgico virtual e impressão 3D em cirurgia oral e craniomaxilofacial, identificaram que os modelos anatômicos e as guias de corte são as aplicações mais frequentes. O tempo médio de planejamento reportado foi de 4,44 horas, e a maioria dos estudos relatou redução do tempo cirúrgico, embora apenas 6 dos 63 estudos sustentassem essa afirmação com comparações numéricas e estatísticas. Os autores destacam a heterogeneidade das métricas de desfecho como principal limitação da literatura e chamam atenção para a necessidade de padronização na coleta e reporte de dados.

Kopeć, Kukulska e Lewandowska (2025) revisaram as aplicações correntes e emergentes da impressão 3D em diversas especialidades cirúrgicas, reforçando que a tecnologia está em transição de ferramenta auxiliar para componente padrão da prática cirúrgica moderna. Os autores destacam o potencial da integração com inteligência artificial para automação da segmentação de imagens, aceleração do planejamento e personalização dos dispositivos.

Zeid, Arias e Alkureishi (2024) apresentaram uma revisão abrangente das aplicações de impressão 3D em cirurgia plástica e reconstrutiva craniofacial, cobrindo modelos anatômicos, guias de osteotomia, implantes e moldes para próteses. A análise de custo-benefício indica que a impressão 3D está associada à redução de tempo cirúrgico, custos de sala operatória e morbidade, mas que a generalização é limitada pela falta de estudos controlados de qualidade e pela variabilidade dos custos reportados entre diferentes centros e países.

Um benefício consistentemente relatado nos estudos incluídos é o papel dos biomodelos na facilitação do consentimento informado e na comunicação com o paciente. Vimawala, Gao e Curry (2020) descreveram como modelos físicos mandibulares foram utilizados para explicar o procedimento a pacientes haitianos em contexto de baixa literacia em saúde. Moll *et al.* (2025) observaram que os modelos

impressos em 3D receberam avaliações favoráveis especificamente para consulta pré-operatória, com alguns cirurgiões destacando sua utilidade superior para comunicar com o paciente em comparação ao modelo digital em tela. Alhabshi *et al.* (2023) relatam, na literatura sobre cirurgia ortognática, que modelos 3D melhoram significativamente a compreensão do paciente sobre sua patologia e o procedimento proposto, com impacto positivo na satisfação geral.

No âmbito educacional, os modelos também têm sido utilizados para treinamento de residentes e cirurgiões em formação, permitindo a simulação de procedimentos complexos em ambiente controlado, sem risco ao paciente (Kopeć, Kukulska e Lewandowska, 2025; Gernandt *et al.*, 2023).

Apesar dos resultados promissores, importantes limitações devem ser reconhecidas. A maioria dos estudos incluídos é de baixo nível de evidência — relatos de caso, séries de casos e revisões retrospectivas —, com escassez de ensaios clínicos randomizados e estudos prospectivos controlados. A heterogeneidade das métricas de desfecho e a ausência de grupos controle em muitos trabalhos dificultam comparações diretas e meta-análises (Ostaş *et al.*, 2022; Gernandt *et al.*, 2023).

O custo de implantação e manutenção de laboratórios de manufatura aditiva *in-house* permanece uma barreira relevante, especialmente em sistemas de saúde com recursos limitados (Silva *et al.*, 2024; Kovacs e Kaing, 2022). A necessidade de pessoal treinado, tanto engenheiros biomédicos quanto cirurgiões com domínio de software de segmentação, representa outro entrave à disseminação.

Do ponto de vista regulatório, a produção *in-house* de dispositivos médicos personalizados está sujeita a marcos normativos distintos em cada país: no Brasil, a ANVISA publicou norma específica em 2019; na Europa, o EU MDR 2017/745 e o Decreto Real 192/2023 espanhol regulamentam o processo. A conformidade com esses requisitos eleva os custos e a complexidade administrativa, mas é indispensável para garantir rastreabilidade e segurança dos dispositivos (Tousidonis *et al.*, 2026; Cebrián-Carretero *et al.*, 2026).

A acurácia geométrica dos modelos, embora satisfatória na maioria dos estudos (desvios inferiores a 1 mm para FDM/SLA), pode ser comprometida por artefatos de imagem, erros de segmentação e parâmetros de impressão inadequados (Turek *et al.*, 2021; Turek *et al.*, 2025). A ausência de análises sistemáticas comparando o planejamento virtual ao resultado cirúrgico real é uma lacuna importante apontada por Cebrián-Carretero *et al.* (2026).

CONCLUSÃO

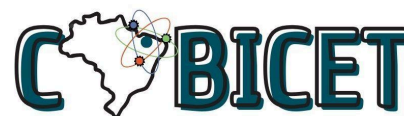
A presente revisão demonstrou que o uso de biomodelos impressos em 3D no planejamento cirúrgico de cabeça e pescoço está associado a benefícios clinicamente relevantes, incluindo redução do tempo cirúrgico, maior precisão das osteotomias, menor necessidade de ajustes intraoperatórios, menor taxa de complicações em procedimentos de alta complexidade e facilitação do consentimento informado. As aplicações mais consolidadas pela literatura envolvem reconstrução mandibular oncológica e traumática, tratamento de fraturas faciais complexas, planejamento de retalhos microvascularizados e cirurgia ortognática.

A tecnologia já demonstrou viabilidade mesmo em contextos de recursos escassos, como evidenciado pelo trabalho em missão cirúrgica no Haiti, desde que implementada com fluxo de trabalho eficiente e materiais acessíveis. A transição para modelos de manufatura aditiva, com produção *in-house* integrada ao fluxo clínico e sujeita a sistemas de gestão de qualidade certificados, representa o caminho mais promissor para ampliar o acesso, reduzir custos e garantir rastreabilidade dos dispositivos.

No entanto, persistem limitações importantes: predominância de estudos de baixo nível de evidência, ausência de ensaios clínicos randomizados, heterogeneidade metodológica, barreiras regulatórias e de custo, e carência de análises de custo-efetividade formais. Estudos prospectivos multicêntricos com métricas padronizadas de desfecho cirúrgico e avaliação econômica são necessários para consolidar a evidência e orientar a incorporação da tecnologia como componente de rotina na cirurgia contemporânea de cabeça e pescoço.

REFERÊNCIAS

- ALHABSHI, Manaf O. *et al.* Role of Three-Dimensional Printing in Treatment Planning for Orthognathic Surgery: A Systematic Review. **Cureus**, v. 15, n. 10, p. e47979, 2023. DOI: 10.7759/cureus.47979.
- BOU ZEID, Naji; ARIAS, Eduardo; ALKUREISHI, Lee W. T. 3D Printing in Craniofacial Surgery. **Plastic and Aesthetic Research**, v. 11, n. 34, 2024. DOI: 10.20517/2347-9264.2024.41.
- CEBRIÁN-CARRETERO, José Luis *et al.* B-Onic Platform for Point-of-Care 3D Printing in Oral and Maxillofacial Surgery: Clinical Implementation and Surgical Impact. **Medicina**, v. 62, n. 2, p. 319, 2026. DOI: 10.3390/medicina62020319.
- CHEN, Kevin; KREH, Caroline C.; LIN, Alexander Y. In-House 3D Printing for Craniofacial Trauma: 7-Year Review. **Annals of Plastic Surgery**, v. 94, n. 5S, p. S435-S440, 2025. DOI: 10.1097/SAP.0000000000004281.
- CHO, Ki-Hyun *et al.* Mixed Reality and 3D Printed Models for Planning and Execution of Face Transplantation. **Annals of Surgery**, v. 274, n. 6, p. e1238-e1246, 2021. DOI: 10.1097/SLA.00000000000003794.
- DE GEER, A. F. *et al.* Perforator mapping for head and neck reconstructive surgery: a novel personalized approach using magnetic resonance angiography based 3D models and 3D-printing. **Frontiers in Oncology**, v. 15, p. 1655904, 2025. DOI: 10.3389/fonc.2025.1655904.
- GERNANDT, Steven *et al.* Contribution of 3D printing for the surgical management of jaws cysts and benign tumors: A systematic review of the literature. **Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 124, n. 4, p. 101433, 2023. DOI: 10.1016/j.jormas.2023.101433.
- JARDINI, André Luiz *et al.* Bone reconstruction surgery of complex craniomaxillofacial deformities using additive manufacturing customized implants: a case report. **Rapid Prototyping Journal**, v. 27, n. 5, p. 872-878, 2021. DOI: 10.1108/RPJ-07-2020-0169.
- KOPEĆ, Jakub; KUKULSKA, Justyna; LEWANDOWSKA, Magdalena. 3D-Printed Models Are an Innovation Becoming Standard in Surgical Practice — Review. **Surgical Technology & Development**, v. 14, n. 3, p. 33, 2025. DOI: 10.3390/std14030033.
- KOVACS, Aaron C.; KAING, Tran-Lee. Point-of-care computer-assisted design and manufacturing technology and its utility in post-traumatic mandibular reconstruction: An Australian public hospital experience. **SAGE Open Medical Case Reports**, v. 10, p. 2050313X221103733, 2022. DOI: 10.1177/2050313X221103733.



LO GIUDICE, Giorgio *et al.* Case Report: Virtual surgery and 3D printing in a medication-related osteonecrosis of the jaws (MRONJ) pathological mandibular fracture. **Frontiers in Oral Health**, v. 6, p. 1520195, 2025. DOI: 10.3389/froh.2025.1520195.

MOLL, Manon C. M. *et al.* Surgeon's perceptions on 3D visualization methods in parotid gland tumor surgery. **European Archives of Oto-Rhino-Laryngology**, 2025. DOI: 10.1007/s00405-025-09420-z.

MONCAYO-MATUTE, Freddy Patricio *et al.* 3D Printing and Virtual Surgical Planning in Craniofacial and Thoracic Surgery: Applications to Personalised Medicine. **Applied Sciences**, v. 15, 2025. DOI: 10.3390/app15179228.

OSTAŞ, Daniel *et al.* Point-of-Care Virtual Surgical Planning and 3D Printing in Oral and Cranio-Maxillofacial Surgery: A Narrative Review. **Journal of Clinical Medicine**, v. 11, n. 22, p. 6625, 2022. DOI: 10.3390/jcm11226625.

QUINTA REIS, Bruno Alvarez *et al.* Video-assisted Frontal Bone Reconstruction: Advances in Minimally Traumatic Maxillofacial Surgery. **European Journal of Therapeutics**, v. 31, n. 4, p. 266-271, 2025. DOI: 10.58600/eurjther2707.

SILVA, Joana de Ângelis Alves *et al.* The Use of 3D Model Printing for Acute Planning in Oral and Maxillofacial Traumatology. **The Open Dentistry Journal**, v. 18, 2024. DOI: 10.2174/0118742106326414240910111024.

TOUSIDONIS, Manuel *et al.* Academic Point-of-Care Manufacturing in Oral and Maxillofacial Surgery: A Retrospective Review at Gregorio Marañón University Hospital. **Medicina**, v. 62, n. 1, p. 234, 2026. DOI: 10.3390/medicina62010234.

TUREK, Paweł *et al.* Procedure Increasing the Accuracy of Modelling and the Manufacturing of Surgical Templates with the Use of 3D Printing Techniques, Applied in Planning the Procedures of Reconstruction of the Mandible. **Journal of Clinical Medicine**, v. 10, n. 23, p. 5525, 2021. DOI: 10.3390/jcm10235525.

TUREK, Paweł *et al.* A Review of the Most Commonly Used Additive Manufacturing Techniques for Improving Mandibular Resection and Reconstruction Procedures. **Applied Sciences**, v. 15, n. 17, p. 9228, 2025. DOI: 10.3390/app15179228.

VIMAWALA, Swar; GAO, Terry; CURRY, Joseph M. Initial Experience Using 3-Dimensional Printed Models for Head and Neck Reconstruction in Haiti. **Ear, Nose & Throat Journal**, v. 101, n. 3, 2020. DOI: 10.1177/0145561320938920.