Revista Eletrônica
Acervo Saúde
Electronic Journal Collection Health ISSN 2178-2091

Custo-efetividade de guias cirúrgicos impressos em 3D na cirurgia ortognática

Cost-effectiveness of 3D-printed surgical guides in orthognathic surgery

Costo-efectividad de guías quirúrgicas impresas en 3D en cirugía ortognática

Josfran da Silva Ferreira Filho[1], Eduardo Ribeiro Sampaio[2], José Lourenço Barbosa da Silva[1], Marina Sophia Rodrigues Rocha[1], Davi Barbosa Portela[1], Radamés Bezerra Melo[1], Renato Yassutaka Faria Yaedu[3], Cláudio Santili[4].

RESUMO

Objetivo: Analisar a precisão técnica e a relação custo-benefício das tecnologias de impressão 3D Digital Light Processing (DLP) e Fused Deposition Modeling (FDM) na cirurgia ortognática. **Métodos:** Realizou-se uma revisão integrativa com busca nas bases PubMed, Scopus e Cochrane Library, selecionando ensaios clínicos e estudos experimentais comparativos. Os parâmetros avaliados incluíram precisão dimensional, redução do tempo operatório e viabilidade econômica de insumos. **Resultados:** O planejamento virtual associado à impressão 3D reduziu o tempo cirúrgico entre 40 e 83 minutos, apresentando erros lineares médios inferiores a 1,1 mm, o que satisfaz plenamente os requisitos clínicos. Enquanto a tecnologia DLP oferece ajuste clínico superior para splints oclusais devido à alta resolução, a técnica FDM com filamento PLA demonstrou ser a alternativa mais viável para produção interna hospitalar, reduzindo custos de insumos. **Considerações finais:** De modo geral, a tecnologia FDM demonstra potencial para democratizar o acesso à cirurgia de alta precisão devido à sua excepcional custo-efetividade. O estudo limita-se pela escassez de ensaios clínicos randomizados de longo prazo comparando diretamente ambas as tecnologias no desfecho de tecidos moles.

Palavras-chave: Cirurgia ortognática, Fabricação assistida por computador, Impressão tridimensional, Análise de custo-efetividade.

ABSTRACT

Objective: To analyze the technical accuracy and cost-effectiveness of Digital Light Processing (DLP) and Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing technologies in orthognathic surgery. **Methods:** An integrative review was conducted through searches in the PubMed, Scopus, and Cochrane Library databases, selecting clinical trials and comparative experimental studies. The evaluated parameters included dimensional accuracy,

[1] Faculdade Paulo Picanço (FACPP), Fortaleza - CE
[2] Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - CE
[3] Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo (FOB - USP), Bauru – SP.
[4] Faculdade de Ciências Médicas - Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo (FCMSC - SP), São Paulo – SP.

SUBMETIDO EM: 3/2026 | **ACEITO EM: 4/2026** | **PUBLICADO EM: 7/2026**

reduction in operative time, and the economic feasibility of materials and supplies. **Results:** Virtual surgical planning associated with 3D printing reduced operative time by 40 to 83 minutes and demonstrated FDM using PLA filament proved to be the most mean linear errors below 1.1 mm, fully meeting clinical requirements. While DLP technology provides superior clinical fit for occlusal splints due to its high resolution, it is a viable option for in-house hospital production by significantly reducing material costs. **Conclusion:** Overall, FDM technology shows potential to democratize access to high-precision surgery due to its exceptional cost-effectiveness. The study is limited by the scarcity of long-term randomized clinical trials directly comparing both technologies regarding soft tissue outcomes.

Keywords: Orthognathic surgery, Computer-aided design, Printing, Three-dimensional, Cost-effectiveness analysis.

RESUMEN

Objetivo: Analizar la precisión técnica y la relación costo-beneficio de las tecnologías de impresión 3D Digital Light Processing (DLP) y Fused Deposition Modeling (FDM) en la cirugía ortognática. **Métodos:** Se realizó una revisión integrativa mediante búsquedas en las bases de datos PubMed, Scopus y Cochrane Library, seleccionando ensayos clínicos y estudios experimentales comparativos. Los parámetros evaluados incluyeron la precisión dimensional, la reducción del tiempo quirúrgico y la viabilidad económica de los insumos. **Resultados:** La planificación quirúrgica virtual asociada a la impresión 3D redujo el tiempo operatorio entre 40 y 83 minutos y presentó errores lineales medios inferiores a 1,1 mm, cumpliendo plenamente los requisitos clínicos. Mientras que la tecnología DLP ofrece un ajuste clínico superior para los splints oclusales debido a su alta resolución, la técnica FDM con filamento PLA demostró ser la alternativa más viable para la producción hospitalaria interna, al reducir significativamente los costos de los insumos. **Conclusión:** En términos generales, la tecnología FDM demuestra potencial para democratizar el acceso a la cirugía de alta precisión debido a su excepcional relación costo-efectividad. El estudio se limita por la escasez de ensayos clínicos aleatorizados a largo plazo que comparen directamente ambas tecnologías en el desenlace de tejidos blandos.

Palabras clave: Cirugía ortognática, Diseño asistido por computadora, Impresión tridimensional, Análisis de costo-efectividad.

INTRODUÇÃO

A cirurgia ortognática vivenciou uma trajetória evolutiva paradigmática desde as intervenções pioneiras de Simon P. Hullihen em 1849, consolidando-se como o procedimento padrão-ouro para a correção de deformidades dentofaciais esqueléticas (SEO HJ, et al., 2021). A transição da correção puramente oclusal para uma abordagem integrada e multidisciplinar culminou na atual era digital, onde o planejamento cirúrgico virtual (VSP) se estabeleceu como o padrão estratégico fundamental (ALHABSHI MO, et al., 2023). Esta tecnologia permite que o cirurgião transcenda as limitações da simulação analógica, otimizando desfechos estéticos e funcionais por meio de uma previsibilidade rigorosa e personalizada, restaurando funções vitais como a mastigação e a harmonia facial (SEO HJ, et al., 2021). O advento do planejamento digital, associado à manufatura aditiva, transformou significativamente o fluxo de trabalho, promovendo maior segurança e redução do tempo operatório. (ALHABSHI MO, et al., 2023)

A aplicação primordial desta cirurgia reside na correção de deformidades complexas e no tratamento da Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS) (NGUYEN VA, et al., 2025). Através do reposicionamento tridimensional da maxila, mandíbula e mento, a cirurgia ortognática busca restabelecer a estabilidade oclusal e promover a expansão das vias aéreas superiores (SEO HJ, et al., 2021). Em pacientes com SAOS, o avanço maxillomandibular (MMA) apresenta-se como uma das intervenções mais resolutivas, evidenciando o impacto direto da precisão cirúrgica na saúde sistêmica e na qualidade de vida do indivíduo (ALHABSHI MO, et al., 2023). O sucesso desses resultados depende da capacidade de transferir fielmente o plano virtual para o

campo operatório, garantindo que os movimentos ósseos alcancem as metas funcionais estabelecidas durante o diagnóstico. (NGUYEN VA, et al., 2025).

Historicamente, o planejamento convencional ancorava-se em modelos de gesso, cefalometria bidimensional e no uso de articuladores semi-ajustáveis. (ELNAGAR MH, et al., 2020). Contudo, tais métodos possuem limitações intrínsecas graves, como erros na transferência do arco facial, a incapacidade de representar fidedignamente assimetrias complexas e a alta variabilidade na manipulação física dos modelos (ABOUL-HOSN CENTENERO S, et al., 2012). A ausência de uma visualização volumétrica das interações entre tecidos duros e moles limitava a detecção de interferências esqueléticas durante o planejamento, o que frequentemente comprometia a fidelidade entre o plano teórico e a execução clínica real.. A dependência de técnicas manuais tornava o processo laboratorial moroso e propenso a falhas acumuladas em cada etapa do fluxo analógico (ELNAGAR MH, et al., 2020; SCHNEIDER D, et al., 2019).

O advento da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e dos escaneamentos intraorais propiciou a criação de um "crânio virtual aumentado", integrando dados esqueléticos e dentários com precisão submilimétrica (ELNAGAR MH, et al., 2020). A integração de arquivos DICOM e STL permite a visualização detalhada de estruturas críticas, como raízes dentárias e feixes neurovasculares, em um ambiente tridimensional de alta fidelidade. Essa base de dados digital é fundamental para a transição de um planejamento baseado em suposições para uma prática fundamentada em métricas exatas, reduzindo drasticamente as incertezas diagnósticas e operatórias. Através desta tecnologia, o cirurgião pode prever com maior exatidão a resposta dos tecidos moles às movimentações ósseas, aumentando a satisfação estética do paciente (SUN Y, et al., 2013; ABOUL-HOSN CENTENERO S, et al., 2012).

Neste contexto, o fluxo de trabalho Surgery-First (cirurgia primeiro) emergiu como uma abordagem disruptiva, reduzindo o tempo total de tratamento e promovendo benefícios estéticos imediatos aos pacientes (SEO HJ, et al., 2021). A tese central da ortognática moderna sustenta que a impressão 3D de guias e splints é o elo indispensável para a transferência da precisão virtual ao campo operatório (NGUYEN VA, et al., 2025). A redução da variabilidade intraoperatória e o alcance de uma execução rigorosa são os pilares que garantem a estabilidade esquelética a longo prazo e a satisfação do paciente (ALHABSHI MO, et al., 2023). O uso de templates digitais e guias de posicionamento ósseo oferece uma acurácia superior em comparação aos splints oclusais tradicionais, especialmente no controle de inclinações complexas (SCHNEIDER D, et al., 2019).

Os guias cirúrgicos produzidos por impressão tridimensional tornaram-se elementos centrais nesse processo, possibilitando a execução precisa das osteotomias planejadas virtualmente (Conley RS, et al., 2019). Entretanto, a diversidade de tecnologias de impressão disponíveis no mercado impõe ao cirurgião a necessidade de escolhas que envolvem não apenas a precisão técnica, mas também o custo operacional e a viabilidade institucional (HOANG D et al., 2016). Atualmente, as tecnologias baseadas na fotopolimerização, como a DLP (Digital Light Processing), são amplamente utilizadas por apresentarem alta resolução e acabamento refinado (PILLAI S, et al., (2021). Todavia, esses sistemas implicam elevado custo de aquisição e manutenção, o que pode restringir sua aplicação em serviços com orçamentos mais limitados (JUNEJA M, et al., 2018).

Em contrapartida, as impressoras baseadas em modelagem por deposição fundida (FDM), utilizando filamentos como o PLA, apresentam um custo substancialmente inferior e alta disponibilidade. Apesar dessa vantagem econômica, ainda persiste na literatura uma percepção histórica de que a tecnologia de filamento seria inferior em termos de precisão anatômica para a cirurgia ortognática. No entanto, o uso interno (in-house) de modelos em PLA tem sido defendido como uma forma eficaz de reduzir custos hospitalares e o tempo de espera, mantendo uma previsibilidade clínica satisfatória para a maioria dos casos cirúrgicos. A capacidade de produzir esses dispositivos rapidamente permite ajustes de última hora no planejamento, algo inviável ao depender de fornecedores externos (MCALLISTER, et al., 2018).

Nesse cenário, a comparação entre diferentes tecnologias de manufatura aditiva torna-se particularmente relevante, uma vez que a escolha do método de impressão impacta diretamente não apenas a precisão dos dispositivos, mas também a viabilidade de sua implementação na rotina clínica (JUNEJA M et al., 2018). A tecnologia DLP, embora conhecida pela elevada resolução e acabamento superficial, está associada a maiores custos e dependência de materiais específicos. Por um outro lado, a tecnologia FDM apresenta maior acessibilidade e menor custo de aquisição, possibilitando produção interna em ambiente hospitalar. Assim, a

análise integrada entre desempenho técnico, custo e aplicabilidade institucional é fundamental para orientar decisões clínicas e estratégicas na incorporação dessas tecnologias (ALHABSHI MO et al., 2023).

Dessa forma, há uma lacuna científica relevante quanto à avaliação clínica e econômica comparativa direta entre guias produzidos por tecnologias DLP e FDM (PLA). Este trabalho objetiva revisar a literatura com relação a custo-efetividade de guias cirúrgicos impressos em 3D na cirurgia ortognática.

MÉTODOS

Uma pesquisa eletrônica foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus e Cochrane Library no mesmo dia. O PubMed foi inicialmente utilizado para identificar termos indexados na plataforma MeSH (Medical Subject Headings) e criar o seguinte algoritmo de busca com descritores truncados e combinados: ("orthognathic surgical procedures"[MeSH Terms] OR ("orthognathic"[All Fields] AND "surgical"[All Fields] AND "procedures"[All Fields]) OR "orthognathic surgical procedures"[All Fields] OR ("orthognathic"[All Fields] AND "surgery"[All Fields]) OR "orthognathic surgery"[All Fields] OR "orthognathic surgery"[MeSH Terms]) AND ("printing, three dimensional"[MeSH Terms] OR ("printing"[All Fields] AND "three dimensional"[All Fields]) OR "three dimensional printing"[All Fields] OR ("printing"[All Fields] AND "three"[All Fields] AND "dimensional"[All Fields]) OR "printing three dimensional"[All Fields])".

Ao todo, foram encontrados 326 resultados no PubMed, 101 resultados no Scopus e 11 resultados na plataforma Cochrane, somando 438 resultados totais. Apenas artigos publicados nos últimos 15 anos foram considerados, sem aplicação de restrições de idioma.

Os estudos foram inicialmente avaliados com o software Rayyan® utilizando a ferramenta de encontrar duplicatas para eliminá-las manualmente. Em seguida, títulos e resumos foram avaliados e ranqueados com as ferramentas de inclusão e exclusão.

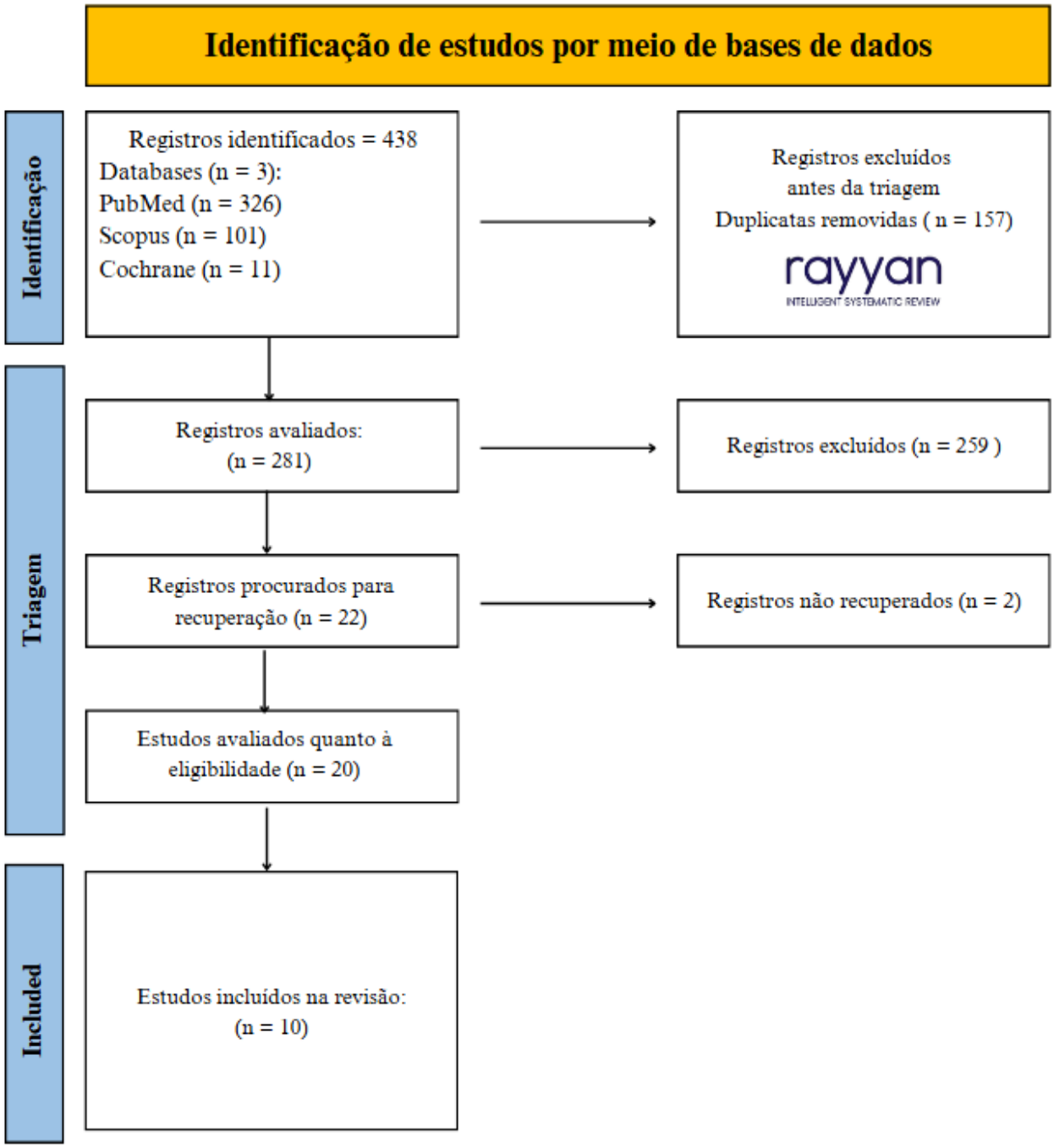
Os seguintes critérios de inclusão foram aplicados: estudos realizados em pacientes adultos com diagnóstico de deformidades dentofaciais esqueléticas submetidos a procedimentos de cirurgia ortognática; e estudos que utilizaram o planejamento cirúrgico virtual associado à confecção de guias, splints oclusais ou templates produzidos por impressão tridimensional para a execução das osteotomias e reposicionamento ósseo.

Para exclusão, os seguintes critérios foram aplicados: estudos considerados inadequados (cartas ao editor, capítulos de livro, relatos de experiência, revisões de literatura); estudos que não abordavam cirurgia ortognática ; estudos com foco apenas em planejamento virtual; estudos não realizados em humanos e estudos em pacientes acometidos por patologias.

Os seguintes parâmetros foram avaliados: ano de publicação; país no qual a pesquisa foi realizada; tamanho da amostra; número de cirurgias ortognáticas analisadas; idade média dos pacientes no momento da cirurgia; tipo de discrepância esquelética inicial; tecnologia de impressão 3D empregada na confecção dos guias cirúrgicos (DLP ou FDM utilizando PLA); métricas de acurácia e precisão na transferência do planejamento cirúrgico virtual; necessidade de ajustes intraoperatórios; tempo de produção dos guias; tempo cirúrgico total; custos diretos relacionados a equipamentos e insumos; custos indiretos associados à manutenção e mão de obra; e análise de custo-efetividade correlacionando desempenho clínico e viabilidade econômica. Desta forma, após a análise integral dos artigos recuperados, foram incluídos 10 estudos para compor esta revisão.

Os estudos selecionados foram organizados de forma comparativa, considerando simultaneamente os desfechos técnicos e econômicos. A análise dos dados foi conduzida de maneira descritiva e interpretativa, priorizando a identificação de padrões consistentes entre acurácia cirúrgica, redução do tempo operatório e custos associados. Para a avaliação da custo-efetividade, os resultados foram correlacionados com a viabilidade de implementação clínica, especialmente em cenários de produção interna. Dessa forma, buscou-se integrar evidências quantitativas e qualitativas da literatura, permitindo uma análise crítica mais abrangente sobre o desempenho e a aplicabilidade das tecnologias DLP e FDM na cirurgia ortognática.

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos para revisão integrativa.



Fonte: Ferreira Filho JS, et al., 2026.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um total de 178 pacientes portadores de deformidades dentofaciais primárias, todos com discrepâncias esqueléticas clinicamente relevantes e indicação formal para cirurgia ortognática, foram avaliados nos estudos. A maloclusão de Classe III esquelética foi a condição predominante, correspondendo a 68,5% da amostra, seguida pelos casos de Classe II, que representaram 31,5%.

Esse achado é consistente com a literatura contemporânea, que aponta a Classe III como o padrão esquelético mais frequentemente associado à necessidade de planejamento tridimensional complexo, especialmente no controle do avanço maxilar e das inclinações no plano sagital e vertical (KIM SH, et al., 2023; LIU S, et al., 2021).

Independentemente da classificação, todos os pacientes apresentavam desarmonia facial e/ou comprometimento funcional, reforçando que os casos analisados exigiam elevado grau de precisão cirúrgica.

A idade média global no momento da cirurgia foi de 24,3 anos, com variação entre 18 e 52 anos, demonstrando que a aplicação das tecnologias digitais ocorreu predominantemente em pacientes adultos após a conclusão da maturidade esquelética. Esse perfil etário homogêneo é metodologicamente relevante, pois exclui vieses relacionados ao crescimento residual da face, permitindo que os desvios observados entre o planejamento virtual e o resultado pós-operatório sejam atribuídos de forma mais confiável ao desempenho das ferramentas digitais empregadas destacando que a maturidade esquelética é condição essencial para validar métricas de acurácia, sobretudo quando se avaliam variações cefalométricas finas, como SNA, SNB e ANB (SCHNEIDER D, et al., 2019; ALHABSHI MO, et al., 2023).

Quanto ao tipo de procedimento cirúrgico, observou-se clara predominância da cirurgia ortognática bimaxilar, presente em 94,4% dos casos analisados, refletindo a complexidade tridimensional dos casos incluídos e reforçando a necessidade de dispositivos que permitam a transferência precisa do planejamento virtual, sobretudo em situações nas quais a maxila deve ser reposicionada sem uma referência mandibular estável. Nesses cenários, guias cirúrgicos suportados pelo osso e placas customizadas apresentam vantagens significativas sobre splints oclusais convencionais, uma vez que reduzem a dependência da posição condilar e minimizam deslocamentos indesejados durante a fixação (CHEN, et al., 2021).

A precisão do reposicionamento maxilar emergiu como um dos principais desfechos quantitativos avaliados. A mensuração desse parâmetro por meio do erro linear médio entre o planejamento virtual e o resultado pós-operatório, utilizando diferentes marcos anatômicos, como cúspides de caninos e molares, centroide maxilar, plano de Frankfurt e referências cefalométricas tridimensionais. De forma consistente, foi observada precisão submilimétrica nos grupos que utilizaram templates digitais ou placas customizadas, o que confirma a elevada fidelidade da transferência do plano virtual para o campo operatório (SUN Y, et al., 2013; LEE CKJ, et al., 2025).

A média global de erro linear observada nos estudos que empregaram tecnologias digitais foi de 0,76 mm, com valores variando entre 0,48 mm e 1,17 mm, todos amplamente inferiores ao limiar clínico de aceitabilidade de 2,0 mm. Esses resultados superaram sistematicamente os métodos analógicos convencionais, corroborando a hipótese de que a eliminação do articulador manual e das múltiplas etapas laboratoriais reduz a ocorrência de erros cumulativos, especialmente em movimentos tridimensionais complexos, como rotações no eixo transversal e correções de cantos oclusais (SCHNEIDER D, et al., 2019; KIM SH, et al., 2023).

Na comparação entre tecnologias de manufatura, observou-se maior estabilidade dimensional nos dispositivos confeccionados por fotopolimerização em resina (DLP) e por fresagem, conforme indicado pelas métricas de raiz média quadrada (RMS). Os guias produzidos por DLP apresentaram desvios médios de 0,14 mm, enquanto os dispositivos fresados atingiram 0,11 mm, demonstrando excelente fidelidade geométrica ao arquivo digital (LEE CKJ, et al., 2025).

No entanto, estudos experimentais ressaltam que a localização do erro pode ser clinicamente mais relevante do que a magnitude absoluta da imprecisão (JUNEJA M, et al., 2018). Apesar da resolução inferior, os guias confeccionados por FDM utilizando PLA demonstraram desempenho clínico satisfatório, sem impacto negativo significativo nos desfechos cirúrgicos avaliados.

A literatura indica que a acurácia clínica desses dispositivos está fortemente relacionada à qualidade do escaneamento inicial, ao rigor do planejamento virtual e à estabilidade mecânica do guia durante a cirurgia, e não exclusivamente à micro-resolução da impressão (MCALLISTER P, et al., 2018). Dessa forma, quando corretamente integrados ao fluxo digital, os guias em PLA mostraram-se adequados para a maioria das aplicações clínicas, reforçando seu papel como alternativa custo-efetiva.

No que se refere à eficiência temporal, a adoção do fluxo digital resultou em uma redução média do tempo operatório de 54,6 minutos, com intervalos relatados entre 40 e 83 minutos. Esse ganho foi atribuído à eliminação de ajustes intraoperatórios manuais, à redução da necessidade de dobra de placas de titânio e à

maior rapidez na confirmação do posicionamento planejado. A redução do tempo cirúrgico não apenas diminui custos hospitalares, mas também impacta positivamente a segurança do paciente, ao reduzir o tempo sob anestesia geral. (KIM SH, et al., 2023; SCHNEIDER D, et al., 2019; HOANG, et al., 2016). Assim, minimizando a exposição da ferida cirúrgica a patógenos externos e, do ponto de vista da rotina hospitalar, permitindo maior rotatividade das salas operatórias.

A análise econômica revelou clara vantagem da manufatura interna (in-house) por FDM/PLA, com custos de insumos estimados em aproximadamente £10 por caso, em contraste com valores superiores a £1500 para guias terceirizados confeccionados em resina ou metal (MCALLISTER P, et al., 2018).

Essa diferença expressiva evidencia que a tecnologia FDM representa o principal vetor de democratização do planejamento virtual, sobretudo em serviços públicos e clínicas de médio porte, onde a sustentabilidade financeira é um fator determinante para a adoção de novas tecnologias.

Além do impacto econômico direto, a taxa de ajustes intraoperatórios foi nula ou mínima nos grupos digitais, enquanto métodos convencionais apresentaram índices de até 58,3%, sugerindo que a prototipagem rápida é capaz de neutralizar interferências ósseas e discrepâncias geométricas antes do ato cirúrgico. Essa previsibilidade contribui para maior estabilidade pós-operatória e menor taxa de recidiva em acompanhamentos de médio prazo, especialmente em pacientes com discrepâncias sagitais acentuadas (KIM SH, et al., 2023).

Desse modo, a integração da tecnologia FDM/PLA em contextos de produção interna permite a internalização do fluxo digital com baixo investimento inicial, removendo barreiras financeiras para o planejamento digital e permitindo uma rotina de prototipagem ágil e personalizada.

Outro aspecto relevante discutido na literatura é a melhoria da estabilidade esquelética e a redução de complicações associadas ao uso de guias e placas customizadas. O planejamento prévio da posição dos orifícios de fixação em áreas de maior densidade óssea reduz o risco de lesão neurovascular e de danos radiculares, além de favorecer a adaptação funcional da articulação temporomandibular, particularmente em pacientes Classe II. A precisão não é apenas um dado geométrico, mas um fator clínico determinante. (LIU S, et al., 2021; QU Z, et al., 2018).

Contudo, esta revisão identifica limitações importantes que devem ser consideradas. Muitos dos estudos analisados possuem amostras limitadas devido à dificuldade de aquisição de espécimes cadavéricos ou ao caráter retrospectivo das coortes clínicas (MA C, et al., 2025; LEE CKJ, et al., 2025). Além disso, a predição absoluta das alterações de tecidos moles ainda representa um desafio tecnológico, uma vez que a variabilidade da resposta biológica e do tônus muscular individual não é totalmente capturada pelos algoritmos atuais (ABOUL-HOSN CENTENERO S, et al., 2012).

A necessidade de hardware de alto custo para tecnologias DLP e FDM, somada à curva de aprendizado para o manuseio de softwares complexos, ainda atua como uma barreira para a implementação universal em cenários com escassez de recursos (ALHABSHI MO, et al., 2023).

Embora o FDM/PLA seja promissor para o planejamento, a falta de estudos clínicos de longo prazo comparando sua durabilidade e resistência aos métodos tradicionais ou de resina exige cautela. As pesquisas futuras devem focar em ensaios clínicos randomizados de longo prazo que comparem diretamente os desfechos funcionais entre guias de PLA e resina em pacientes vivos para consolidar o PLA como padrão custo-efetivo.

Tabela 1 - Síntese dos principais achados sobre o custo-efetividade dos guias cirúrgicos utilizados em cirurgia ortognática

Autor e ano	País	Amostra (n)	Nº de cirurgias	Procedimento	Idade média	Discrepância Esquelética	Tecnologia 3D	Métricas de acurácia	Ajustes intraoperatórios	Tempo de produção	Tempo cirúrgico
Ma et al., 2025	China	18	18	Osteotomia Le Fort I	21,8 anos	Hipoplasia Maxilar	NI	Desvio médio: 0,73 mm (MR); 1,04 mm (PSP)	8,22 ± 2,44 (MR); 10,78 ± 2,36 (PSP)	NI	105,02 ± 14,99 min (MR); 95,78 ± 6,29 min (PSP)
Aboul-Hosn Centenero et al., 2012	Espanha	16	16	Cirurgia Ortognática Bimaxilar / Osteotomia Mandibular	NI	Classe II e Classe III	CAD/CAM (Estereolitografia)	Alta concordância (<1 mm) em 9/16 casos	NI	5 dias	NI
Qu et al., 2018	China	8	8	Osteotomia Le Fort I	25,6 anos	Hipoplasia Maxilar	NI	Erro médio máximo: 1,35 mm	NI	1–2 horas (impressão)	NI
Dumrongwongsiri et al., 2019	Taiwan	12	12	Le Fort I e BSSO	18–19 anos	Assimetria Facial	Arco biomaxilar (MED610)	Melhora significativa na simetria (p<0,009)	Redução média de 20 min na fixação	1h simulação + 30 min design + 1h impressão	NI
Lee et al., 2024	Singapura	8	8	Bimaxilar	NI	Deformidade dentofacial	LP e SLA	Erro RMS: SM (0,11), SLA (0,16), DLP (0,14)	NI	NI	NI
McAlister et al., 2017	Reino Unido	NI	NI	Bimaxilar	NI	NI	FDM (PLA)	Maior acurácia cirúrgica	Ajustes oclusais menores	< 24h impressão	Reduzido
Chen et al., 2021	China	61	61	Bimaxilar	23 anos	Deficiência maxilar / excesso mandibular	PolyJet	DT: 1,17 ± 0,66 mm; CROS: 2,55 ± 0,95 mm; DOS: 2,15 ± 1,12 mm	NI	NI	DT: 60,0 min; CROS: 41,7 min; DOS: 39,1 min
Liu et al., 2021	China	50	50	BSSRO	21,88 anos	Classe II	Impressão 3D	Desvio proximal: 1,5 mm (Grupo A) vs >2 mm (Grupo B)	NI	NI	Levemente maior no grupo com guias
Nguyen et al., 2025	Vietnã	3	3	Le Fort I e BSSO	25,3 anos	Classe II	DLP	Acurácia clinicamente aceitável	Reduzidos	NI	Reduzido
Schneider et al., 2019	Alemanha	21	21	Bimaxilar	31,1 anos	Classe II (Retrognatismo)	Impressão 3D (Acryl)	Desvio SNA: VSP (0,6°) vs CSP (1,8°)	CSP (58,3%) necessitou ajustes	NI	VSP: 162 min; CSP: 202 min
Sun et al., 2013	Bélgica/Suíça	15	15	Bimaxilar	NI	NI	Impressão 3D (Alaris)	Desvio sagital: 0,50 mm; vertical: 0,57 mm; horizontal: 0,63 mm	Mínimos	~2 horas impressão	NI

Fonte: Ferreira Filho JS, et al., 2026.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão demonstra que o planejamento cirúrgico virtual associado à manufatura aditiva desempenha papel central na evolução da cirurgia ortognática, ao permitir a análise tridimensional precisa das discrepâncias dentoesqueléticas e a transferência fiel do planejamento para o campo operatório, com impacto direto na previsibilidade, na segurança e na eficiência do procedimento. Embora a tecnologia DLP apresente vantagens relacionadas ao ajuste clínico e à fidelidade superficial dos splints oclusais, a tecnologia FDM utilizando filamento PLA destaca-se como a alternativa mais custo-efetiva, sobretudo pela viabilidade da produção interna, pela expressiva redução de custos e pela manutenção de acurácia clínica compatível com as exigências da prática cirúrgica. Dessa forma, a adoção racional do fluxo digital, aliada à capacitação das equipes e ao investimento institucional em impressão 3D in-house, configura uma estratégia sustentável para ampliar o acesso à cirurgia ortognática de alta precisão, conciliando excelência funcional e estética com responsabilidade econômica nos diferentes cenários assistenciais.

REFERÊNCIAS

1. ABOUL-HOSN CENTENERO S, HERNÁNDEZ-ALFARO F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results - our experience in 16 cases. Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery, 2012; 40(2): 162–168.
2. ALHABSHI MO, et al. Role of three-dimensional printing in treatment planning for orthognathic surgery: A systematic review. Cureus, 2023; 15(10): e47979.
3. CHEN H, et al. Comparison of three different types of splints and templates for maxilla repositioning in bimaxillary orthognathic surgery: a randomized controlled trial. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2021; 50(5): 635–642.
4. CONLEY RS, EDWARDS SP. Three-dimensional treatment planning for maxillary and mandibular segmental surgery for an adult Class III: Where old meets new. The Angle Orthodontist, 2019; 89(1): 138–148.
5. DUMRONGWONGSIRI S, et al. Customized three-dimensional printing spacers for bone positioning in orthognathic surgery for correction and prevention of facial asymmetry. Plastic and Reconstructive Surgery, 2019; 144(2): 246e–251e.
6. ELNAGAR MH, et al. Digital workflow for Combined orthodontics and orthognathic surgery. Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America, 2020; 32(1): 1–14.
7. FARRELL BB. Evolving management of dentofacial deformities with digital planning and patient-specific fixation. Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America, 2020; 28(2): 59–71.
8. HOANG D, et al. Surgical applications of three-dimensional printing: a review of the current literature & how to get started. Annals of Translational Medicine, 2016; 4(23): 456.
9. JUNEJA M, et al. Accuracy in dental surgical guide fabrication using different 3-D printing techniques. Additive Manufacturing, 2018; 22: 243–255.
10. KIM SH, et al. Effectiveness of individualized 3D titanium-printed Orthognathic osteotomy guides and custom plates. BMC Oral Health, 2023; 23(1): 255.
11. LEE CKJ, et al. Accuracy and clinical fit of milled versus rapid prototyped orthognathic surgical splints. Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery, 2025; 126(2): 102069.
12. LIU S, et al. Effect of computer-assisted design and manufacturing cutting and drilling guides accompanied with pre-bent titanium plates on the correction of skeletal class II malocclusion: a randomized controlled trial. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2021; 50(10): 1320–1328.
13. MA C, et al. Accuracy of maxillary repositioning in le fort I osteotomy using a mixed reality based navigation system versus CAD/CAM splints and patient-specific surgical plates: A preclinical study. Journal of Dentistry, 2025; 162: 106032.
14. MCALLISTER P, et al. A cost-effective, in-house, positioning and cutting guide system for orthognathic surgery. Journal of Maxillofacial and Oral Surgery, 2018; 17(1): 112–114.
15. NGUYEN VA, NGUYEN TM. Digitally planned bimaxillary orthognathic surgery with 3D-printed splints for skeletal class III malocclusion: A case series. Medicine, 2025; 104(39): e44726.
16. PILLAI S, et al. Dental 3D-printing: Transferring art from the laboratories to the clinics. Polymers, 2021; 13(1): 157.
17. SCHNEIDER D, et al. Customized virtual surgical planning in bimaxillary orthognathic surgery: a prospective randomized trial. Clinical Oral Investigations, 2019; 23(7): 3115–3122.
18. SEO HJ, CHOI YK. Current trends in orthognathic surgery. Archives of Craniofacial Surgery, 2021; 22(6): 287–295.
19. SUN Y, et al. Accuracy of upper jaw positioning with intermediate splint fabrication after virtual planning in bimaxillary orthognathic surgery. The Journal of Craniofacial Surgery, 2013; 24(6): 1871–1876.
20. ZHENYU Q, et al. Application of bone-support guide by three-dimensional printing technique in maxillary Lefort osteotomy. West China Journal of Stomatology, 2018; 36(1): 60–65.