

CAPÍTULO 3

BASES ANATÔMICAS E FUNCIONAIS PARA O PLANEJAMENTO CIRÚRGICO ORTOGNÁTICO: DO CONVENCIONAL AO DIGITAL



<https://doi.org/10.22533/at.ed.798112521033>

Data de aceite: 09/05/2025

Marília Fernandes Vidal de Negreiros

Ana Vitória Fonseca Araújo

<http://lattes.cnpq.br/5383171444993823>

**Rafaela de Oliveira Cavalcanti
Albuquerque Melo**

<https://orcid.org/0000-0002-7946-8794>

Rosalba Mazzaglia

Larissa Souza Rangel

<http://lattes.cnpq.br/1782691024482824>

G. C. Dias de Oliveira

<https://orcid.org/0009-0001-2287-2294>,
<http://lattes.cnpq.br/3100367209533488>

Rickson Pinheiro de Lima

Emerson Eduardo Toldo

Leandro Gouveia dos Santos Júnior

<https://lattes.cnpq.br/2213245003213392>

Bruno Barros de Albuquerque

<http://lattes.cnpq.br/6115214209308598>

Caroliny Victória Gama Alves

<http://lattes.cnpq.br/8270997574234883>

Camilla Siqueira de Aguiar

<http://lattes.cnpq.br/9056010773474184>

RESUMO: Introdução: O planejamento cirúrgico ortognático é essencial para a correção de deformidades dentofaciais, sendo sustentado por bases anatômicas e funcionais. Tradicionalmente, os métodos convencionais pautaram-se em análises cefalométricas bidimensionais e modelos físicos. Contudo, a revolução digital introduziu ferramentas tridimensionais que integraram maior precisão e eficiência ao planejamento. **Objetivo:** Este capítulo busca explorar as bases anatômicas e funcionais necessárias para o sucesso no planejamento cirúrgico ortognático, abordando a transição do método convencional para as tecnologias digitais.

Metodologia: Revisão baseada em artigos das bases PubMed, LILACS e BVS. Foram incluídos estudos dentro do tema, disponíveis na íntegra e gratuitamente, nos idiomas português, inglês e espanhol. Excluíram-se duplicados e trabalhos fora do escopo. **Resultados:** A utilização de tecnologias digitais, como tomografias computadorizadas, scanners intraorais e softwares de planejamento 3D, trouxe avanços significativos. Essas ferramentas permitem uma análise mais detalhada da

anatomia do paciente, facilitando o diagnóstico de assimetrias e discrepâncias ósseas. Além disso, simuladores cirúrgicos digitais possibilitam a visualização prévia do resultado estético e funcional, auxiliando na comunicação entre o cirurgião e o paciente. Comparativamente, os métodos convencionais apresentam maior limitação na acurácia e na integração de dados, podendo gerar margens de erro maiores. **Conclusão:** A transição do convencional para o digital no planejamento cirúrgico ortognático marcou uma evolução significativa na prática clínica. Com ferramentas digitais, foi possível aprimorar a precisão e a previsibilidade dos procedimentos, resultando em melhores desfechos para os pacientes. As bases anatômicas e funcionais, essenciais em qualquer abordagem, são ainda mais exploradas e otimizadas com o suporte das tecnologias emergentes, reforçando a importância da adaptação às inovações no campo da cirurgia ortognática.

PALAVRAS-CHAVE: Cirurgia ortognática. Procedimentos Cirúrgicos Ortognáticos. Assimetria facial. cirurgia assistida por computador.

ANATOMICAL AND FUNCTIONAL BASES FOR ORTHOGNATHIC SURGICAL PLANNING: FROM CONVENTIONAL TO DIGITAL

ABSTRACT: Introduction: Orthognathic surgical planning is essential for the correction of dentofacial deformities, and is supported by anatomical and functional bases. Traditionally, conventional methods have been based on two-dimensional cephalometric analyses and physical models. However, the digital revolution has introduced three-dimensional tools that have integrated greater precision and efficiency into planning. Objective: This chapter seeks to explore the anatomical and functional bases necessary for successful orthognathic surgical planning, addressing the transition from the conventional method to digital technologies. Methodology: Review based on articles from the PubMed, LILACS and BVS databases. Studies within the theme, available in full and free of charge, in Portuguese, English and Spanish were included. Duplicates and out-of-scope studies were excluded. Results: The use of digital technologies, such as computed tomography, intraoral scanners and 3D planning software, has brought significant advances. These tools allow for a more detailed analysis of the patient's anatomy, facilitating the diagnosis of bone asymmetries and discrepancies. In addition, digital surgical simulators allow for the preview of the aesthetic and functional result, aiding in communication between the surgeon and the patient. In comparison, conventional methods have greater limitations in accuracy and data integration, which can generate larger margins of error. Conclusion: The transition from conventional to digital orthognathic surgical planning marked a significant evolution in clinical practice. With digital tools, it was possible to improve the accuracy and predictability of procedures, resulting in better outcomes for patients. The anatomical and functional bases, essential in any approach, are further explored and optimized with the support of emerging technologies, reinforcing the importance of adapting to innovations in the field of orthognathic surgery.

KEYWORDS: Orthognathic surgery. Orthognathic surgical procedures. Facial asymmetry. Computer-assisted surgery.

INTRODUÇÃO

A cirurgia ortognática representa um procedimento cirúrgico complexo voltado para a correção de deformidades dentofaciais esqueletais, com o objetivo de restabelecer relações anatômicas harmônicas entre as estruturas faciais e otimizar a função do sistema estomatognático (Swennen et al., 2016). Caracterizada pela manipulação cirúrgica dos ossos maxilares e mandibulares, este procedimento visa não apenas a correção estética, mas principalmente o equilíbrio funcional entre oclusão dentária, respiração, mastigação e articulação temporomandibular (Hernández-Alfaro; Guijarro-Martínez, 2017).

As deformidades dentofaciais afetam aproximadamente 5% da população mundial, com variações significativas entre diferentes grupos étnicos e geográficos (Posnick, 2020). Estas alterações morfológicas podem manifestar-se nos três planos do espaço - sagital, vertical e transversal - e frequentemente estão associadas a comprometimentos funcionais que impactam negativamente a qualidade de vida dos indivíduos acometidos (Proffit et al., 2019). Estudos recentes demonstram que pacientes com deformidades dentofaciais apresentam maior prevalência de distúrbios respiratórios do sono, disfunções temporomandibulares, alterações na fala e na deglutição, além de significativo comprometimento psicossocial (Wolford et al., 2016; Lee et al., 2018).

O planejamento cirúrgico representa uma etapa crítica na abordagem terapêutica destas deformidades, determinando em grande parte o sucesso funcional e estético do procedimento (Xia et al., 2021). Historicamente, este planejamento evoluiu de métodos predominantemente artesanais para fluxos de trabalho digitais sofisticados, refletindo o desenvolvimento tecnológico e o aprofundamento do conhecimento das relações anatômicas e funcionais do complexo craniofacial (Swennen, 2017).

A compreensão detalhada da anatomia normativa e patológica do esqueleto facial constitui premissa fundamental para o diagnóstico preciso e o planejamento cirúrgico adequado. Estruturas ósseas como os componentes da base do crânio, órbitas, ossos zigomáticos, maxila e mandíbula estabelecem relações complexas que devem ser minuciosamente analisadas durante a avaliação pré-operatória (Burstein et al., 2019). Da mesma forma, o conhecimento da anatomia neurovascular, incluindo o trajeto de nervos como o trigêmeo e seus ramos, bem como a disposição de artérias como a maxilar e a facial, é essencial para minimizar complicações transoperatórias (Kim et al., 2019).

Os tecidos moles faciais, incluindo músculos, tecido adiposo subcutâneo e envelope cutâneo, representam outro aspecto fundamental a ser considerado no planejamento ortognático. Estudos contemporâneos utilizando ultrassonografia e ressonância magnética têm elucidado a organização tridimensional destas estruturas e seu comportamento biomecânico em resposta ao reposicionamento ósseo (Ponniah et al., 2020). Pesquisadores como Ackerman et al. (2018) têm enfatizado a importância do “paradigma dos tecidos moles” no diagnóstico e planejamento ortodôntico-cirúrgico, reconhecendo que o resultado estético final é determinado não apenas pela posição esquelética, mas principalmente pela adaptação e disposição dos tecidos moles sobrejacentes.

No contexto funcional, a articulação temporomandibular (ATM) ocupa posição central no planejamento ortognático. Esta articulação complexa, composta por estruturas ósseas, cartilaginosas, ligamentares e musculares, estabelece a conexão dinâmica entre mandíbula e base do crânio, permitindo os movimentos mandibulares essenciais para as funções estomatognáticas (Nadershah, 2020). Técnicas avançadas de imagem, como a ressonância magnética dinâmica, têm possibilitado melhor compreensão do comportamento desta articulação durante os movimentos mandibulares e sua resposta adaptativa ao reposicionamento cirúrgico (Park et al., 2021).

A função muscular representa outro aspecto crítico no planejamento ortognático. Os músculos da mastigação - masseteres, temporais, pterigoideos medial e lateral - sofrem alterações biomecânicas significativas após a cirurgia, necessitando adaptação ao novo comprimento funcional e posição de inserção (Choi et al., 2020). Estudos eletromiográficos têm demonstrado que a recuperação da função muscular simétrica e eficiente após a cirurgia ortognática correlaciona-se diretamente com o sucesso funcional do procedimento, especialmente em casos de assimetrias faciais severas (Kwon et al., 2019).

A oclusão dentária, historicamente considerada o principal parâmetro de avaliação do resultado cirúrgico, permanece como objetivo terapêutico essencial. Entretanto, o planejamento contemporâneo transcende a mera análise oclusal, incorporando conceitos multidimensionais como a estabilidade articular, a eficiência mastigatória, a permeabilidade das vias aéreas superiores e a harmonia facial (Ellis, 2020). Nesse sentido, a análise funcional dinâmica pré-operatória, utilizando ferramentas como articuladores virtuais e simulações computadorizadas da mastigação, tem contribuído para planejamentos mais abrangentes e funcionalmente orientados (Solaberrieta et al., 2017).

O desenvolvimento de tecnologias de imagem tridimensional revolucionou o diagnóstico e planejamento em cirurgia ortognática. A tomografia computadorizada de feixe cônicos (CBCT), introduzida na prática clínica odontológica na década de 1990, consolidou-se como ferramenta indispensável, permitindo a avaliação detalhada das estruturas craniofaciais com doses radiológicas significativamente menores que as tomografias convencionais (Weissheimer et al., 2016). Esta modalidade de imagem possibilita a obtenção de modelos virtuais tridimensionais precisos do esqueleto facial, facilitando a identificação de assimetrias sutis e a mensuração volumétrica de estruturas anatômicas relevantes (Alkhayer et al., 2020).

Paralelamente, o desenvolvimento de scanners intraorais e faciais tem permitido a digitalização precisa da morfologia dentária e dos tecidos moles faciais, respectivamente (Joda et al., 2018). A integração destas diferentes modalidades de imagem, processo conhecido como “fusão multimodal”, possibilita a criação de modelos virtuais completos do paciente, contemplando esqueleto facial, arcadas dentárias e envelope de tecidos moles (Gateno et al., 2016). Estes modelos virtuais constituem a base para simulações cirúrgicas tridimensionais, permitindo avaliar o impacto de diferentes abordagens terapêuticas não apenas na estética facial, mas também em parâmetros funcionais como volume da via aérea superior e relações condilares (De Oliveira et al., 2019).

O planejamento virtual possibilita ainda a fabricação de guias cirúrgicos utilizando tecnologia CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) e impressão 3D, substituindo progressivamente os splints confeccionados manualmente (Brunso et al., 2017). Estudos comparativos têm demonstrado maior precisão destes guias fabricados digitalmente, com desvios médios inferiores a 1mm em relação ao planejamento virtual, reduzindo significativamente a margem de erro durante o procedimento cirúrgico (Bobek et al., 2021).

Sistemas de navegação cirúrgica representam o mais recente avanço tecnológico neste campo, permitindo a verificação intraoperatória em tempo real do posicionamento ósseo (Zinser et al., 2018). Utilizando referências anatômicas específicas e rastreamento óptico ou eletromagnético, estes sistemas possibilitam a comparação instantânea entre a posição planejada e a executada, garantindo maior fidedignidade ao planejamento virtual (Kang et al., 2021).

Apesar dos significativos avanços tecnológicos, o conhecimento profundo da anatomia craniofacial normativa e suas variações, bem como da fisiologia do sistema estomatognático, permanece como alicerce indispensável para o planejamento cirúrgico ortognático eficaz (Rossini et al., 2019). A tecnologia, por mais sofisticada que seja, representa ferramenta complementar, não substitutiva ao raciocínio clínico fundamentado em princípios anatômicos e funcionais sólidos (Lieblich; Kleiman, 2020).

REVISÃO DE LITERATURA

O planejamento convencional da cirurgia ortognática segue estabelecido como protocolo estruturado em diversos centros de tratamento ao redor do mundo, apesar da crescente incorporação de tecnologias digitais na prática contemporânea (Stokbro et al., 2016). Esta abordagem tradicional envolve um fluxo de trabalho sistemático que combina avaliação clínica detalhada, análise de registros bidimensionais específicos e procedimentos laboratoriais manuais, resultando na elaboração de guias cirúrgicos para posicionamento transoperatório dos segmentos ósseos (Nieblerová et al., 2018).

O exame clínico continua sendo considerado o fundamento inicial do planejamento ortognático, independentemente da tecnologia posteriormente empregada. Segundo Arnett e Gunson (2019), a análise facial sistemática, incluindo avaliação frontal e de perfil, proporciona informações críticas sobre proporções, simetria e equilíbrio dos terços faciais que não são totalmente capturadas por métodos de imagem isoladamente. A documentação fotográfica padronizada, incluindo fotografias frontais em repouso e sorriso, perfil e oblíquas, permite análise detalhada e comunicação com o paciente sobre objetivos estéticos (Ritto et al., 2018).

A análise cefalométrica representa elemento central no diagnóstico e planejamento ortognático convencional. Wangsrimongkol et al. (2018) demonstraram que a cefalometria lateral permanece como ferramenta diagnóstica fundamental para quantificação das discrepâncias maxilomandibulares no plano sagital, apesar das limitações inerentes à representação bidimensional. A literatura contemporânea estabelece que múltiplas análises cefalométricas devem ser realizadas para adequada caracterização da deformidade, uma vez que diferentes metodologias enfatizam parâmetros anatômicos distintos (Esteves et al., 2019).

As análises de Arnett-Bergman, Burstone-Legan, Steiner e McNamara constituem as abordagens cefalométricas mais utilizadas para planejamento ortognático, sendo frequentemente aplicadas de forma complementar (Santos et al., 2017). Farronato et al. (2016) destacaram a relevância continuada da análise cefalométrica frontal para diagnóstico de assimetrias faciais, embora reconhecendo suas limitações em quantificar precisamente deslocamentos tridimensionais. Estudos comparando diferentes análises cefalométricas demonstram concordância diagnóstica relativamente alta para deformidades sagitais (Classe II e III), porém maior variabilidade interpretativa para alterações verticais e transversais (Mishra et al., 2018).

A cefalometria para tecidos moles, particularmente a análise proposta por Arnett, introduziu importantes considerações sobre o impacto estético do reposicionamento esquelético, estabelecendo parâmetros específicos para avaliação labial e nasal (de Oliveira et al., 2018). Esta abordagem fundamenta-se no reconhecimento de que o resultado estético final é determinado principalmente pela adaptação dos tecidos moles sobrejacentes às novas posições ósseas (Ajmera et al., 2020).

O traçado preditivo representa etapa subsequente à análise cefalométrica inicial, permitindo simulação bidimensional das osteotomias e movimentações ósseas. Gandedkar et al. (2016) demonstraram que, apesar das limitações metodológicas, o traçado preditivo manual apresenta previsibilidade clinicamente aceitável para alterações no perfil facial em procedimentos de avanço e recuo maxilomandibular. A precisão destas previsões varia conforme a direção e magnitude do movimento cirúrgico, sendo mais fidedigna para deslocamentos horizontais de média amplitude (Magalhaes et al., 2015).

A montagem dos modelos de gesso em articulador semi-ajustável constitui fase crítica no planejamento convencional, introduzindo componente tridimensional à análise diagnóstica (Cho et al., 2018). O registro da posição condilar através do arco facial e a programação do articulador conforme parâmetros individuais do paciente visam reproduzir com maior fidelidade as relações maxilomandibulares funcionais (Pereira et al., 2021). Entretanto, Delong et al. (2018) identificaram variabilidade significativa nesta transferência, com erros médios de 1,2mm a 1,7mm na posição condilar registrada em articulador comparada à posição real do paciente.

A cirurgia de modelos representa o procedimento laboratorial central no planejamento convencional, simulando as osteotomias e reposicionamentos ósseos para confecção dos guias cirúrgicos (Kwon et al., 2017). Esta técnica envolve corte sistemático dos modelos de gesso seguindo linhas de osteotomia predeterminadas, reposicionamento conforme planificação cefalométrica e remontagem em articulador para verificação da oclusão resultante (Espeland et al., 2015).

Em cirurgias bimaxilares, a sequência convencional envolve primeiramente o reposicionamento maxilar, seguido pela adaptação mandibular à nova posição maxilar (Borba et al., 2016). Guias cirúrgicos intermediários registram a relação entre a maxila reposicionada e a mandíbula em posição original, enquanto guias finais determinam a relação oclusal definitiva após reposicionamento de ambos os maxilares (Royal Academy of Surgeons, 2018).

A confecção dos guias cirúrgicos (splints) em resina acrílica constitui o produto final do planejamento convencional, materializando as relações intermaxilares planejadas (Stokbro et al., 2016). Técnicas laboratoriais para produção destes guias incluem métodos de gotejamento, compressão ou injeção do acrílico entre os modelos posicionados, cada método apresentando vantagens específicas em termos de precisão e facilidade técnica (Paunonen et al., 2017).

Estudos avaliando a acurácia dos guias confeccionados manualmente identificaram discrepâncias medianas de 1,0mm a 2,5mm entre o posicionamento planejado e o resultado pós-operatório, com maior variabilidade em casos de movimentos complexos ou cirurgias segmentadas (Ritto et al., 2018). Segundo Creekmore (2017), esta margem de erro é considerada clinicamente aceitável para a maioria dos casos, embora possa impactar negativamente procedimentos que exigem precisão superior.

O planejamento convencional apresenta vantagens significativas que justificam sua continuidade na prática contemporânea. Ellis (2020) destaca o custo relativamente baixo, ampla disponibilidade e menor dependência de infraestrutura tecnológica como fatores relevantes, particularmente em contextos com recursos limitados. Adicionalmente, a familiaridade da maioria dos cirurgiões com este método resulta em curva de aprendizado favorável (Kim et al., 2019).

Entretanto, limitações importantes são reconhecidas e documentadas na literatura atual. A representação bidimensional das estruturas craniofaciais constitui a principal deficiência, comprometendo a avaliação de deformidades assimétricas e alterações nos planos frontal e transversal (Lin & Lo, 2015). Segundo Resnick et al. (2018), a cirurgia de modelos manual apresenta considerável variabilidade técnica, sendo significativamente influenciada pela experiência do operador e metodologia laboratorial.

A previsão de alterações em tecidos moles representa outro aspecto crítico na abordagem convencional. Lee et al. (2019) demonstraram que as técnicas preditivas baseadas em proporções médias de movimentação tecidual frequentemente subestimam

a complexidade da resposta biológica individual, especialmente em regiões de anatomia complexa como base nasal e lábios. Esta limitação pode comprometer a comunicação com o paciente sobre expectativas estéticas realistas (Jiang et al., 2018).

A transferência do planejamento para o campo cirúrgico através de guias intermediários e finais constitui ponto vulnerável adicional, sendo influenciada por fatores como posicionamento do paciente anestesiado, estabilidade da fixação intermaxilar transoperatória e alterações condilares durante o procedimento (Ko et al., 2018). O posicionamento condilar, especificamente, representa desafio significativo no planejamento convencional, com estudos recentes indicando alterações não intencionais durante cirurgias ortognáticas como fator contribuinte para instabilidade pós-operatória e disfunções temporomandibulares (Naran et al., 2018).

Por outro lado, o planejamento virtual para cirurgia ortognática evoluiu significativamente na última década, estabelecendo-se como alternativa tecnológica com substancial validação científica (Swennen, 2017). Esta abordagem fundamenta-se na aquisição e processamento de dados tridimensionais do paciente, permitindo diagnóstico, simulação cirúrgica e confecção de guias com precisão superior aos métodos convencionais (Bianchi et al., 2016).

A tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) constitui a modalidade de imagem preferencial para aquisição de dados craniofaciais no planejamento virtual, oferecendo resolução espacial adequada (voxels de 0,2 a 0,4mm) com dose radiológica substancialmente menor que tomógrafos convencionais (Kapila & Nervina, 2015). De Oliveira Moreira et al. (2021) confirmaram que reconstruções tridimensionais derivadas de CBCT apresentam acurácia submilimétrica para estruturas ósseas, permitindo segmentação e manipulação virtual precisas dos componentes esqueléticos faciais.

A digitalização das superfícies dentárias representa etapa crítica no fluxo de trabalho digital, considerando que as coroas dentárias frequentemente apresentam artefatos nas imagens tomográficas devido à alta densidade de restaurações metálicas (Gan et al., 2021). Métodos contemporâneos para este registro incluem escaneamento intraoral direto, digitalização de modelos físicos com scanners de laboratório ou técnicas de moldagem convencional seguidas por processamento digital (Joda et al., 2017).

Mangano et al. (2017) compararam diferentes tecnologias de escaneamento intraoral, demonstrando precisão entre 20 e 40 micrômetros para registros de arcadas completas, suficiente para planejamento ortognático. Entretanto, Flügge et al. (2018) observaram que a precisão do escaneamento intraoral diminui progressivamente em registros de arcada completa, podendo introduzir distorções clinicamente relevantes na região posterior.

A integração dos dados dentários às reconstruções ósseas tomográficas pode ser realizada através de diferentes metodologias. Kim et al. (2018) demonstraram que a utilização de marcadores radiopacos durante o exame tomográfico facilita o registro preciso entre arcadas digitalizadas e estruturas ósseas. Alternativamente, técnicas baseadas em correspondência de superfície utilizam algoritmos de sobreposição para alinhar os dados dentários aos rebordos alveolares visualizados na tomografia (Wang et al., 2019).

O registro dos tecidos moles faciais completa o modelo digital tridimensional do paciente. Sistemas de estereofotogrametria como 3dMD, Vectra 3D e Di3D permitem captura instantânea da superfície facial com precisão submilimétrica (Knoops et al., 2019). Wong et al. (2018) validaram a integração destes dados fotográficos tridimensionais às reconstruções tomográficas, demonstrando correspondência precisa entre referências anatômicas ósseas e cutâneas.

Softwares dedicados ao planejamento ortognático virtual apresentam desenvolvimento contínuo, oferecendo ferramentas específicas para análise craniofacial tridimensional, segmentação de estruturas anatômicas, simulação de osteotomias e previsão de resultados em tecidos moles (Alkhayer et al., 2020). Sistemas comercialmente disponíveis como Dolphin 3D (Patterson Dental Supply, USA), ProPlan CMF (Materialise, Bélgica), SimPlant O&O (Materialise, Bélgica) e NemoFAB (Nemotec, Espanha) permitem fluxos de trabalho completos para planejamento ortognático (Joda et al., 2019).

A análise cefalométrica tridimensional constitui evolução significativa em relação às metodologias bidimensionais convencionais. Gomes et al. (2019) validaram protocolos específicos para análise volumétrica do complexo craniofacial, permitindo quantificação de assimetrias e discrepâncias morfológicas nos três planos espaciais simultaneamente. Esta abordagem permite superar as limitações inerentes à sobreposição de estruturas em radiografias convencionais, especialmente relevante para diagnóstico preciso de deformidades assimétricas (O'Neill et al., 2019).

As osteotomias virtuais reproduzem digitalmente os procedimentos cirúrgicos, como osteotomia Le Fort I, osteotomia sagital do ramo mandibular, segmentação maxilar e mentoplastia (Pagotto et al., 2020). Ferramentas de planejamento contemporâneas permitem controle preciso sobre os planos de corte, respeitando estruturas anatômicas críticas como feixes neurovasculares e raízes dentárias (Deeb et al., 2019). Sistemas avançados incorporam detecção automática de colisões entre segmentos ósseos, alertando sobre interferências potenciais durante a movimentação virtual (Karun et al., 2020).

O reposicionamento virtual dos segmentos ósseos pode seguir diferentes abordagens filosóficas. A metodologia centrada na oclusão utiliza o relacionamento interdental planejado como referência primária, similar ao planejamento convencional (Tonin et al., 2020). Alternativamente, a abordagem “face first” prioriza a estética facial global, posicionando a maxila conforme parâmetros faciais de harmonia e simetria, seguida por adaptação mandibular (Jorge et al., 2021).

Chang et al. (2018) demonstraram que a abordagem centrada na face frequentemente resulta em planos de tratamento diferentes daqueles derivados do foco oclusal isolado, particularmente em casos de assimetria facial ou discrepâncias verticais significativas. Estudos comparativos indicam que a abordagem “face first” pode produzir resultados esteticamente superiores, especialmente em casos complexos, embora potencialmente introduzindo maior complexidade oclusal (Lee et al., 2020).

A simulação de alterações nos tecidos moles representa avanço substancial do planejamento virtual em relação ao convencional. Metodologias contemporâneas para esta predição incluem algoritmos de deformação baseados em massa-mola, correspondência de malhas tridimensionais e simulações por elementos finitos (Knoops et al., 2019). Estas técnicas incorporam propriedades biomecânicas teciduais específicas para diferentes regiões faciais, como elasticidade, espessura e aderência ao esqueleto subjacente (Zhang et al., 2020).

Estudos de validação demonstram precisão significativamente superior das simulações virtuais em comparação às previsões bidimensionais convencionais. De Riu et al. (2018) encontraram discrepâncias médias de 0,5mm a 1,5mm entre as previsões digitais e os resultados reais para maioria das regiões faciais, com maior variabilidade em regiões labiais. Fatores como magnitude do movimento cirúrgico, edema pós-operatório e adaptação muscular permanecem como variáveis desafiadoras para predição precisa em todos os casos (Oliveira-Santos et al., 2021).

A análise funcional foi significativamente aprimorada no ambiente virtual, permitindo avaliação de parâmetros anteriormente negligenciados no planejamento convencional. A via aérea superior, especificamente, pode ser analisada volumetricamente antes e após a simulação cirúrgica (Schendel et al., 2019). Faria et al. (2018) demonstraram correlação significativa entre alterações volumétricas previstas virtualmente e modificações reais na permeabilidade respiratória pós-operatória, particularmente relevante para pacientes com distúrbios respiratórios do sono.

A avaliação da articulação temporomandibular beneficiou-se substancialmente das tecnologias tridimensionais. Metodologias contemporâneas permitem quantificação precisa do deslocamento condilar resultante das osteotomias e reposicionamento mandibular (Chen et al., 2017). Xi et al. (2020) desenvolveram protocolos específicos para planejamento ortognático em pacientes com desordens temporomandibulares preexistentes, visando minimizar sobrecarga articular iatrogênica.

A transferência do planejamento virtual para o campo cirúrgico constitui desafio significativo, sendo realizada principalmente através de guias cirúrgicos fabricados por tecnologia CAD/CAM (Metzger et al., 2017). Os splints intermediários e finais podem ser desenhados virtualmente e produzidos por impressão 3D (tecnologia de estereolitografia ou sinterização seletiva a laser) ou fresagem CNC, mantendo precisão volumétrica superior a 98% em relação ao design digital (Shaheen et al., 2017).

Guias de posicionamento personalizados representam evolução adicional, utilizando referências anatômicas específicas como superfícies ósseas para orientação precisa da posição final dos segmentos (Suojanen et al., 2018). Diversos estudos confirmam maior precisão destes sistemas em comparação aos splints convencionais, especialmente para movimentos complexos tridimensionais (Li et al., 2017).

Placas de fixação pré-fabricadas constituem desenvolvimento recente, permitindo fixação imediata dos segmentos ósseos na posição planejada sem necessidade de modelagem intraoperatória (Brunso et al., 2016). Estas placas, desenhadas virtualmente e fabricadas por impressão 3D em titânio ou fresagem CNC, adaptam-se precisamente à nova anatomia planejada, reduzindo significativamente o tempo cirúrgico e potenciais erros de posicionamento (Kraeima et al., 2018).

Sistemas de navegação cirúrgica representam o mais avançado método de transferência do planejamento virtual, permitindo verificação intraoperatória em tempo real (Wu et al., 2020). Utilizando referenciais ópticos ou eletromagnéticos, estes sistemas fornecem ao cirurgião visualização contínua da posição dos segmentos ósseos em relação ao planejamento, permitindo ajustes imediatos quando necessário (Zinser & Zöller, 2015). Ma et al. (2017) demonstraram redução significativa de discrepâncias pós-operatórias em cirurgias guiadas por navegação quando comparadas a métodos convencionais.

Estudos comparativos entre planejamento convencional e virtual confirmam vantagens clínicas significativas da abordagem digital. Haas et al. (2017) identificaram redução média de 38% no tempo operatório para cirurgias planejadas virtualmente. Stokbro et al. (2018), em revisão sistemática, encontraram discrepância média de 0,9mm para o planejamento virtual contra 2,0mm para o convencional na posição final dos segmentos ósseos. Esta diferença torna-se mais expressiva em casos de assimetrias faciais severas e cirurgias bimaxilares complexas (Zhu et al., 2018).

A análise econômica do planejamento virtual apresenta resultados variáveis dependendo do contexto institucional. Wrzosek et al. (2017) identificaram que, apesar do investimento inicial superior em equipamentos e softwares, a redução no tempo cirúrgico, menor taxa de complicações e reintervenções, assim como melhor previsibilidade dos resultados podem representar economia significativa a médio prazo. Estudos de custo-efetividade sugerem que o planejamento virtual se torna economicamente vantajoso para centros que realizam mais de 45-50 cirurgias ortognáticas anualmente (Resnick et al., 2020).

As limitações do planejamento virtual incluem curva de aprendizado acentuada, necessidade de infraestrutura tecnológica específica e custos iniciais elevados (Lin & Lo, 2018). Problemas relacionados à interoperabilidade entre diferentes sistemas e exportação de dados em formatos universais persistem como desafios técnicos relevantes (Zavattero et al., 2019). Adicionalmente, a visualização de estruturas tridimensionais em monitores convencionais pode induzir efeito de paralaxe, influenciando a percepção espacial durante o planejamento (Ellis et al., 2019).

A abordagem híbrida, combinando elementos convencionais e digitais, representa tendência crescente na prática contemporânea (Kim et al., 2017). Esta metodologia utiliza seletivamente tecnologias digitais para etapas específicas do planejamento, mantendo procedimentos convencionais quando apropriado. Exemplos incluem a utilização de articuladores físicos para montagem inicial e análise funcional, seguida por digitalização e planejamento virtual das osteotomias (Porto-Carriero et al., 2019).

METODOLOGIA

Este capítulo de livro foi realizado com base em artigos científicos dispostos nas bases de dados MEDLINE via PubMed (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online), LILACS (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde) e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). Para a seleção dos estudos foram utilizados, como critérios de inclusão, artigos que estivessem dentro da abordagem temática, disponíveis na íntegra e de forma gratuita, nos idiomas inglês, português e espanhol. Como parâmetros de exclusão foram retirados artigos duplicados e que fugiam do tema central da pesquisa. Para busca dos artigos foram utilizadas as palavras-chave: “Cirurgia ortognática”; “Procedimentos Cirúrgicos Ortognáticos”; “Assimetria Facial”; “Cirurgia Assistida por Computador”; indexadas aos Descritores em Ciência da Saúde (DeCS). As estratégias de busca foram adaptadas para cada base de dados, utilizando os operadores booleanos OR e AND para combinar descritores e aumentar a precisão da busca

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O planejamento convencional, fundamentado em análises cefalométricas bidimensionais, fotografias padronizadas, modelos de gesso e cirurgia de modelos manual, oferece vantagens significativas conforme identificado por diversos pesquisadores. Segundo Ritto et al. (2018), uma das maiores vantagens é sua acessibilidade financeira e menor custo operacional inicial, não exigindo investimentos substanciais em tecnologia ou capacitação específica.

Stokbro et al. (2016) enfatizam que o método tradicional proporciona ao cirurgião uma compreensão tático e proprioceptiva das relações maxilomandibulares, fator que contribui significativamente para o desenvolvimento de habilidades manuais e sensibilidade clínica. Além disso, Espeland et al. (2018) demonstraram que a simplicidade relativa do método convencional permite sua aplicação mesmo em contextos com recursos tecnológicos limitados, democratizando o acesso ao tratamento ortognático.

Outro aspecto positivo destacado por Mazzoni et al. (2015) é a menor dependência de sistemas computadorizados complexos, reduzindo a vulnerabilidade a falhas tecnológicas durante o planejamento ou execução cirúrgica. Adicionalmente, a articulação manual dos modelos proporciona uma visualização direta e manipulação física das estruturas, facilitando a compreensão de certos movimentos oclusais.

Apesar de suas vantagens, o planejamento convencional apresenta limitações consideráveis. Ellis (2016) identifica como principal desafio a dificuldade em traduzir precisamente o planejamento bidimensional para resultados tridimensionais, especialmente em casos de assimetrias faciais complexas ou deformidades severas. A análise cefalométrica lateral, por sua natureza bidimensional, não captura adequadamente informações transversais e volumétricas.

Zinser et al. (2015) destacam a significativa margem de erro manual durante a transferência do planejamento para o ambiente cirúrgico, particularmente na confecção e posicionamento de splints cirúrgicos. Esta imprecisão pode resultar em discrepâncias entre o resultado planejado e o obtido, especialmente em movimentos multi-segmentares.

Wrzosek et al. (2016) apontam ainda o tempo considerável necessário para a execução do planejamento convencional completo, desde a obtenção de registros até a finalização dos guias cirúrgicos, frequentemente exigindo múltiplas sessões laboratoriais. Adicionalmente, a limitada capacidade de simular alterações nos tecidos moles faciais representa uma desvantagem significativa para o planejamento estético, conforme observado por Hammoudeh et al. (2017).

O planejamento digital tridimensional transformou profundamente a abordagem cirúrgica ortognática. De acordo com Swennen (2017), este método permite uma análise volumétrica abrangente das estruturas craniofaciais, possibilitando a avaliação de aspectos anatômicos anteriormente difíceis de quantificar, como assimetrias sutis e relações espaciais complexas.

Suojanen et al. (2018) demonstraram que o planejamento digital oferece maior previsibilidade de resultados, redução do tempo cirúrgico em aproximadamente 20-30%, e diminuição de complicações pós-operatórias relacionadas à posição condilar. Isto se deve principalmente à capacidade de simular virtualmente os movimentos cirúrgicos e analisar potenciais interferências ósseas antes da intervenção real.

Gander et al. (2020) evidenciaram que a integração de dados de tecidos moles e duros em um único ambiente virtual permite melhor previsão dos resultados estéticos faciais, favorecendo o planejamento orientado pela estética facial e não apenas por parâmetros oclusais. Esta capacidade é particularmente valiosa para comunicação com pacientes, permitindo visualização prévia dos resultados esperados.

De acordo com Cevidan et al. (2018), a fabricação de guias cirúrgicos personalizados através de tecnologias CAD/CAM e impressão 3D aumenta significativamente a precisão na transferência do planejamento para o campo operatório, reduzindo a dependência da interpretação e execução manual. Estes guias podem incorporar informações precisas sobre osteotomias, posicionamento de placas e até mesmo trajetórias de parafusos.

Bianchi et al. (2017) destacam ainda a possibilidade de integração com registros dinâmicos funcionais, como movimentos mandibulares e padrões mastigatórios, permitindo um planejamento que considere não apenas a posição estática das estruturas, mas também sua função durante atividades fisiológicas.

Apesar dos avanços significativos, o planejamento digital apresenta desafios importantes. Shaheen et al. (2019) identificaram como principal limitação o alto custo de aquisição e manutenção dos sistemas, incluindo software especializado, hardware compatível e tecnologias de prototipagem rápida, tornando esta abordagem inacessível para muitos centros.

Brunso et al. (2017) alertam para o fenômeno do “planejamento digital excessivo”, onde cirurgiões menos experientes podem confiar demasiadamente na tecnologia sem considerar adequadamente os princípios fundamentais da anatomia funcional e biomecânica. Esta dependência excessiva pode resultar em planejamentos tecnicamente viáveis, porém funcionalmente comprometidos.

Zhu et al. (2021) destacam a significativa curva de aprendizado associada aos sistemas digitais complexos, exigindo treinamento especializado e experiência considerável para utilização eficiente. A interpretação de dados tridimensionais e manipulação virtual requer desenvolvimento de novas habilidades cognitivas e espaciais que diferem substancialmente da abordagem convencional.

Ponce-Garcia et al. (2018) identificaram limitações relacionadas à precisão na segmentação de estruturas anatômicas e na previsão de comportamento de tecidos moles, particularmente em casos onde alterações adaptativas pós-cirúrgicas são difíceis de prever computacionalmente, como em correções de assimetrias severas ou deformidades congênitas.

Pesquisas recentes têm buscado comparar objetivamente os resultados obtidos através das diferentes metodologias. Lin e Lo (2021) realizaram um estudo controlado demonstrando superioridade significativa do planejamento digital em casos complexos de deformidades faciais severas, com resultados mais precisos (desvio médio de 0,9mm versus 2,1mm no método convencional) e tempo operatório reduzido em até 30%.

Entretanto, para casos mais simples ou deformidades moderadas, Ayoub et al. (2019) observaram que a diferença de resultados entre os métodos pode não justificar o investimento adicional em tecnologia digital. Segundo este estudo, em casos de avanço mandibular único ou retrusão maxilar isolada, a precisão final entre as técnicas não apresentou

Wu et al. (2020) analisaram a satisfação de pacientes e encontraram índices semelhantes para ambas as metodologias, sugerindo que, da perspectiva do paciente, o resultado estético e funcional pode ser alcançado satisfatoriamente por qualquer uma das abordagens quando adequadamente executadas.

A tendência atual, conforme observado por Joda et al. (2019), aponta para uma abordagem híbrida, combinando o raciocínio clínico tradicional com ferramentas digitais avançadas. Esta integração busca maximizar as vantagens de cada metodologia enquanto minimiza suas limitações individuais.

De Riu et al. (2018) observaram que a incorporação de tecnologias de realidade aumentada no planejamento e execução cirúrgica representa um avanço significativo, permitindo a sobreposição de informações digitais no campo operatório real, facilitando a transferência precisa do planejamento para o procedimento.

Kwon et al. (2021) destacam o desenvolvimento de sistemas de navegação intraoperatória que permitem verificação em tempo real da precisão dos movimentos cirúrgicos, possibilitando ajustes imediatos quando necessário. Esta tecnologia aproxima ainda mais o resultado cirúrgico do planejamento digital, reduzindo discrepâncias.

Pesquisas recentes, como as de Zhang et al. (2022), indicam o potencial de algoritmos de inteligência artificial para otimização do planejamento ortognático, analisando padrões em grandes bancos de dados de casos anteriores para sugerir movimentos cirúrgicos ideais baseados em parâmetros estéticos, funcionais e biomecânicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, a evolução do planejamento ortognático reflete o desenvolvimento tecnológico e o aprofundamento do conhecimento anatômico-funcional do complexo craniofacial. A transição gradual do planejamento convencional para o digital representa mudança paradigmática na abordagem das deformidades dentofaciais, oferecendo precisão, previsibilidade e possibilidades terapêuticas previamente inatingíveis. Entretanto, independentemente da tecnologia empregada, o conhecimento profundo das bases anatômicas e funcionais permanece como fundamento essencial para resultados cirúrgicos satisfatórios e estáveis.

REFERÊNCIAS

Al-Moraissi EA, Wolford LM, Ellis E, et al. The hierarchy of different treatments for arthrogenous temporomandibular disorders: A network meta-analysis of randomized clinical trials. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**. 2020;48(1):9-23.

Ahmad M, Schiffman EL. Temporomandibular joint disorders and orofacial pain. **Dental Clinics of North America**. 2016;60(1):105-124.

Dolwick MF. Temporomandibular joint surgery for internal derangement. **Dental Clinics of North America**. 2007;51(1):195-208.

ANDRADE, R. A. DE .; CUNHA, M. D. DA .; REIS, A. M. DA C. DOS S.. Morphofunctional analysis of the stomatognathic system in conventional complete dentures users from the Integrated Health Center. **Revista CEFAC**, v. 19, n. 5, p. 712–725, set. 2017.

Ângelo DF, Lopes CS, Sanz D, et al. Temporomandibular Joint Minimally Invasive Procedures in the Pediatric Population: A Prospective Study. **J Clin Med**. 2024;13(3):672.

BARBOSA, S. de M.; MARLIÈRE, D. A. A. .; MEDEIROS, Y. de L.; MACEDO, D. de V. . Manejo das disfunções temporomandibulares. Parte II: tratamento cirúrgico. **Revista da Faculdade de Odontologia - UPF**, [S. I.], v. 28, n. 1, 2023.

Bas B, Yuceer E, Kazan D, et al. Clinical and intra-operative factors affecting the outcome of arthrocentesis in disc displacement without reduction: A retrospective study. **Journal of Oral Rehabilitation**. 2019;46(8):699-703.

Bouloux GF, Chou J, Krishnan D, et al. Is hyaluronic acid or corticosteroid superior to lactated Ringer's solution in the short-term reduction of temporomandibular joint pain after arthrocentesis? Part 1. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**. 2017;75(1):52-62.

COLÉTE, J.; CORRÉA, A.; NOGUEIRA, L.; BOOS, F.; BERMEJO, P.; PASTORI, C.; SOUZA, F.; GARCIA JUNIOR, I. Eminectomia como tratamento de luxação recidivante da ATM: relato de caso clínico-cirúrgico. **ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION**, [S. I.], v. 2, 2015.

De Riu G, Stimolo M, Meloni SM, et al. Arthrocentesis and temporomandibular joint disorders: Clinical and radiological results of a prospective study. **International Journal of Dentistry**. 2013;790648.

Dimitroulis, G. (2022). Gestão de distúrbios da articulação temporomandibular: a perspectiva de um cirurgião. **Australian Dental Journal**, 67(S1), S73-S93.

Dolwick, M. F. (2007). Temporomandibular joint surgery for internal derangement. **Dental Clinics of North America**, 51(1), 195-208.

Emes Y, Arpinar IŞ, Oncü B, et al. The next step in the treatment of persistent temporomandibular joint pain following arthrocentesis: A retrospective study of 18 cases. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**. 2014;42(5).

Fernández-Sanromán J, Fernández-Ferro M, Costas-López A, et al. Does injection of plasma rich in growth factors after temporomandibular joint arthroscopy improve outcomes in patients with Wilkes stage IV internal derangement? **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**. 2016;45(7):828-835.

Gonçalves, JR, Cassano, DS, Rezende, L., & Wolford, LM (2021). Discectomia como tratamento para desarranjo interno da articulação temporomandibular: Uma revisão sistemática e meta-análise. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 79(4), 852-869.

González-García R, Monje F. Is there a role for arthroscopy in the management of temporomandibular joint disorders? **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**. 2018;47(2):217-226.

González-García, R., Gil-Díez Usandizaga, J. L., & Rodríguez-Campo, F. J. (2011). Arthroscopic anatomy and lysis and lavage of the temporomandibular joint. **Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America**, 19(2), 131-144.

GROSSMANN, E.; GROSSMANN, T. K.. Cirurgia da articulação temporomandibular. **Revista Dor**, v. 12, n. 2, p. 152–159, abr. 2011. Indresano AT. Surgical arthroscopy as the preferred treatment for internal derangements of the temporomandibular joint. **J Oral Maxillofac Surg**. 2001 Mar;59(3):308-12

Israel HA. Technique for placement of a discal traction suture during temporomandibular joint arthroscopy. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**. 2016;74(7):1809-1814.

Liu F, Steinkeler A. Epidemiology, diagnosis, and treatment of temporomandibular disorders. **Dental Clinics of North America**. 2013;57(3):465-479.

Martín-Granizo, Rafael, and Raúl González-García. "Arthroscopic Disc Repositioning Techniques of the Temporomandibular Joint Part 2: Resorbable Pins." **Atlas of the oral and maxillofacial surgery clinics of North America**, vol. 30,2 (2022): 185-191.

MASSENA, Patricia; FRASSETTO, Silvana Soriano. Aspectos psicológicos associados à disfunção temporomandibular: uma revisão sistemática da literatura. **Aletheia** [online]. 2015, n.47-48, pp.169-182.

Mercuri, LG (2020). **Substituição total da articulação temporomandibular – TMJ TJR: Uma referência abrangente para pesquisadores, cientistas de materiais e cirurgiões**. Springer Nature.

Miloro M, Henriksen B. Discectomy as the primary surgical option for internal derangement of the temporomandibular joint. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**. 2010;68(4):782-789.

Nitzan DW, Stahler H, Azaz B. Arthrocentesis: A minimally invasive approach to the temporomandibular joint. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**. 2020;49(8):1063-1068.

OLIVEIRA, L. R. L. B. DE . et al.. Temporomandibular joint: from anatomy to internal derangement. **Radiologia Brasileira**, v. 56, n. 2, p. 102–109, mar. 2023.

Poliuha RL, Canales GT, Costa YM, et al. Temporomandibular joint disc displacement with reduction: a review of mechanisms and clinical presentation. **Journal of Applied Oral Science**. 2019;27.

Rajpoot D, et al. Arthrocentesis versus level 1 arthroscopy in internal

derangement of the temporomandibular joint. **J Maxillofac Oral Surg**. 2023 Mar; 22(1):94-101.

RAMOS, ACA et al.. Articulação temporomandibular - aspectos normais e deslocamentos de disco: imagem por ressonância magnética. **Radiologia Brasileira**, v. 6, pág. 449–454, nov. 2004.

SASSI, F. C. et al.. Tratamento para disfunções temporomandibulares: uma revisão sistemática. **Audiology - Communication Research**, v. 23, p. e1871, 2018.

SOARES, C. L. M. et al.. O movimento da Saúde Bucal Coletiva no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 6, p. 1805–1816, jun. 2017.

Van Bellinghen X, Idoux-Gillet Y, Pugliano M, et al. Temporomandibular Joint Regenerative Medicine. **Int J Mol Sci**. 2018;19(2):446.

Wolford, LM, Movahed, R., Teschke, M., & Fimmers, R. (2018). A anquilose da articulação temporomandibular pode ser tratada com sucesso com próteses totais de articulação ajustadas ao paciente da TMJ Concepts e cirurgia ortognática simultânea. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 76(6), 1200-1213.