

# Aplicações da Tomografia Computadorizada em Ortodontia: “O Estado da Arte”

**José Rino Neto\***, **Mauricio Adriano de Olivério Accorsi\*\***, **João Batista de Paiva\***,  
**Beatriz Ueti Lombardi de Farias\*\*\***, **Marcelo Gusmão Paraíso Cavalcanti\*\*\*\***

## RESUMO

O objetivo deste artigo é informar, ao ortodontista e ao pesquisador, sobre o atual estágio de desenvolvimento tecnológico das imagens craniofaciais geradas por Tomografia Computadorizada Helicoidal Multislice (TC Multislice) e por Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC), bem como suas aplicações em Ortodontia, Ortopedia Facial e Cirurgia Ortognática. Pretende-se apresentar as múltiplas aplicações clínicas e potenciais para pesquisas científicas das

imagens tridimensionais (3D-TC) em Ortodontia. Como as modalidades atuais de tratamento ortodôntico estão se tornando mais sofisticadas, a necessidade de registros tridimensionais (3D) precisos dos pacientes se torna cada vez mais crítica, e a adoção da TCFC em conjunto com a TC Multislice levará os ortodontistas a uma mudança de paradigma com relação aos meios de diagnóstico por imagem, inclusive com potenciais alterações nos planejamentos dos tratamentos ortodônticos e ortodôntico-cirúrgicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tomografia Computadorizada Multislice. Tomografia Computadorizada por Feixe Cônico. Imagens craniofaciais 3D. Diagnóstico em Ortodontia.

\* Professores associados da Disciplina de Ortodontia do Departamento de Odontopediatria e Ortodontia da FOUSP.

\*\* Mestre em Ortodontia pela FOUSP.

\*\*\* Estagiária na Disciplina de Ortodontia do Departamento de Odontopediatria e Ortodontia da FOUSP.

\*\*\*\* Professor associado da Disciplina de Radiologia do Departamento de Estomatologia da FOUSP.

## INTRODUÇÃO

Os ortodontistas estão familiarizados com o processo de diagnóstico convencional bidimensional, em que há uma segmentação da região maxilofacial nas várias modalidades de exames disponíveis, como as radiografias panorâmicas e telerradiografias<sup>3</sup> e as fotografias. Entretanto, as telerradiografias convencionais são derivadas de uma técnica conhecida como projeção em perspectiva; o resultado geométrico é uma magnificação da imagem, dependendo da distância da estrutura ao filme. Por exemplo, as diferenças entre os lados direito e esquerdo do corpo mandibular podem resultar em uma imagem dupla da borda inferior da mandíbula, vista comumente nas radiografias convencionais. Mesmo que os condutos auditivos externos direito e esquerdo estejam perfeitamente alinhados e a cabeça do paciente perfeitamente posicionada, é difícil determinar se a imagem dupla foi causada por assimetria esquelética verdadeira ou por um artefato de técnica<sup>26</sup>. Seguindo esse mesmo raciocínio, as deformidades no terço médio da face nem sempre podem ser detectadas.

A Tomografia Computadorizada (TC) é um método radiológico que permite a reprodução de uma seção do corpo humano com finalidade diagnóstica. Imagens reconstruídas tridimensionalmente podem ser obtidas a partir dos dados originais da TC, os quais possibilitam reconstruções indiretas em qualquer plano desejado.

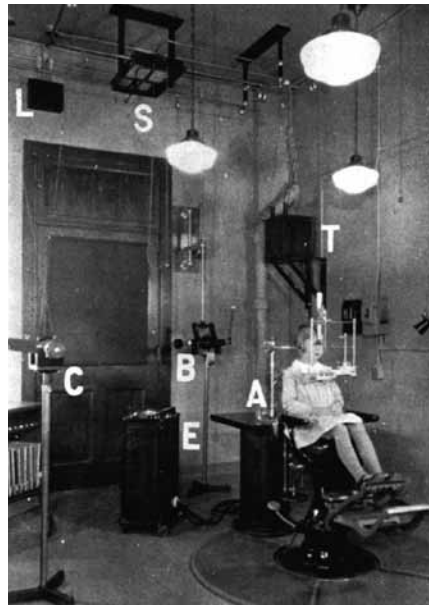
A TC sempre esteve mais associada com o diagnóstico médico e, conseqüentemente, a maioria dos aparelhos de TC está localizada nos centros de imagens – na maioria das vezes, associados aos grandes hospitais. Recentemente, estabeleceu-se no mercado odontológico uma nova categoria de exames tomográficos com aplicações clínicas e científicas dedicadas também à região maxilofacial, podendo-se citar: o planejamento de implantes; diagnóstico de patologias e traumas; avaliação das ATMs; Odontologia Legal; e, especialmente em Ortodontia e Cirurgia Ortognática, na avaliação tridimensional da morfologia craniofacial, do crescimento e da oclusão dentária, assim como para o planejamento terapêutico.

Nos Estados Unidos, o mercado de imagens médicas – incluindo os equipamentos de geração de imagem e os produtos relacionados – cresce a uma razão de aproximadamente 4% ao ano, devendo chegar a 10 bilhões de dólares em 2009. Dessa forma, parece que estamos no limiar de uma grande modificação na Ortodontia, aonde a utilização das técnicas de avaliação tridimensional (3D-TC) irá efetivamente se tornar um método de diagnóstico e levar a Ortodontia a um plano superior de excelência mais rápido do que imaginamos<sup>5,22,23,24,26,29,34</sup>.

Neste artigo, será abordado o emprego clínico e científico da TC em Ortodontia e descrito, detalhadamente, todo o universo tecnológico dos dois tipos de técnicas tomográficas com aplicações em



**FIGURA 1** - Telerradiografia em norma lateral de crânio humano, onde se pode observar claramente os artefatos de técnica, como a fissura pterigopalatina e a "key ridge".



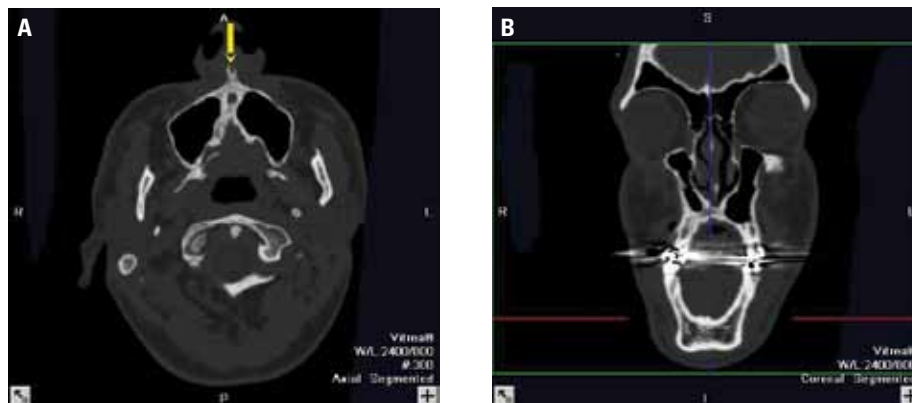
**FIGURA 2** - Sala "Bolton", na Case Western Reserve University, e o equipamento com duas fontes de raios X, utilizados por Broadbent<sup>3</sup> para a obtenção das telerradiografias em normas lateral e frontal.



**FIGURA 3** - Dr. Godfrey N. Housfield, "Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979" ([www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine)).



**FIGURA 4** - Vista 3D da oclusão dentária e dos alvéolos, e de como ela se relaciona com as outras estruturas maxilofaciais. Imagem obtida por meio de TCFC utilizando o aparelho i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, EUA).



**FIGURA 5** - Cortes tomográficas axial (A) e coronal (B). Imagens de TC Multislice (Aquilion 64®) obtida no Labi-3D / FOUSP ([www.fo.usp.br/labi3d](http://www.fo.usp.br/labi3d)), em parceria com o Instituto do Coração – INCOR/FMUSP.

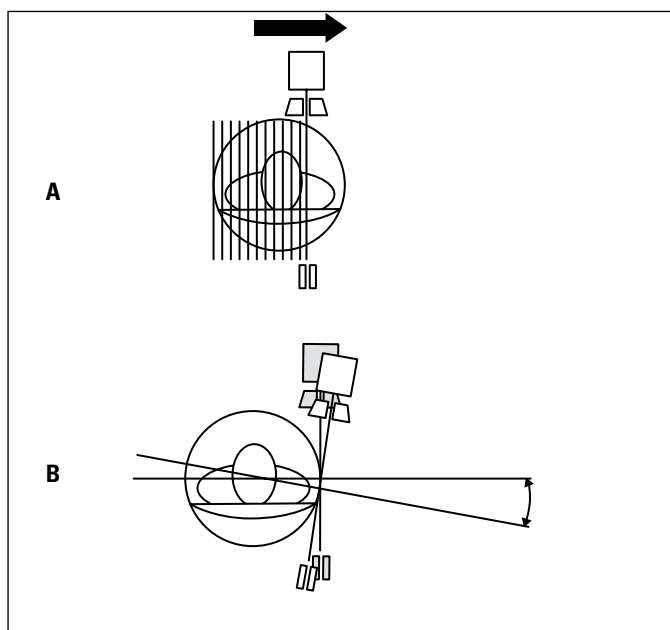
Ortodontia – a Tomografia Computadorizada Multislice e a Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico –, passando pela utilização dos *softwares* que permitem a reconstrução tridimensional das imagens maxilofaciais (3D-TC).

### TÉCNICA TOMOGRÁFICA

Para Cavalcanti<sup>4</sup>, os tomógrafos computadorizados são classificados através de suas diretrizes técnicas em: técnica convencional, técnica espiral (helicoidal), *single slice* e *multislice*, e por feixe cônico. A imagem original obtida pode ser axial (Fig. 5A), coronal (Fig. 5B) ou por projeção geométrica.

### TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA CONVENCIONAL

Numa tomografia computadorizada convencional<sup>4,5,7,16</sup>, o volume anatômico (paciente) é escaneado por sucessivos cortes simples. O intervalo entre consecutivos cortes é usualmente o do movimento do paciente na mesa para o próximo corte anatômico (Fig. 6). Portanto, a cada exposição de um ponto anatômico, a mesa (paciente) se movimenta e para. Assim sendo, aguarda-se uma nova exposição para uma nova movimentação, até se chegar ao final da exposição radiográfica. Apesar de a tomografia computadorizada convencional ser um método bem estabelecido e aceito, existem certas limitações, como o tempo total em que o paciente é submetido ao exame tomográfico – que por muitas vezes é considerado bastante longo –, sendo atualmente já substituída por uma tecnologia melhor.

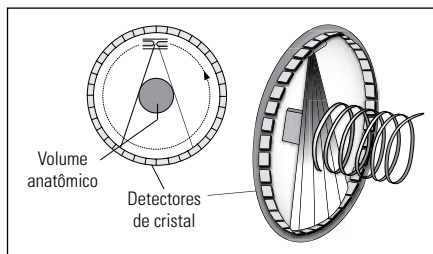


**FIGURA 6** - Esquema demonstrativo das técnicas tomográficas convencionais A) de primeira e B) de segunda geração (Fonte: Valdez<sup>33</sup>).

### TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA ESPIRAL OU HELICOIDAL

A TC espiral foi inicialmente introduzida, em 1989, com o objetivo de diminuir a exposição do paciente à radiação (com menor

tempo de aquisição das imagens) e eliminar os possíveis artefatos que a TC convencional causava, os quais dificultavam a interpretação das imagens. Em relação à técnica da tomografia computadorizada em espiral, o paciente é movimentado juntamente com a mesa, em direção à fonte de raios X, durante a contínua aquisição da imagem, simultaneamente – resultando num padrão espiral (helicoidal) do foco de raios X em relação ao paciente (Fig. 7). A espessura do corte pode ser livremente escolhida, independentemente do movimento da mesa e do intervalo de reconstrução, os quais são acionados simultaneamente. Por exemplo, pode-se escolher um corte de 2mm de espessura com um incremento da mesa de 2mm, ou seja, a cada 2mm de corte na região de interesse, a mesa (consequentemente o paciente) movimenta-se 2mm, simultaneamente. A imagem pode ser reconstruída ao mesmo tempo em 1mm, num intervalo de apenas 1s, possibilitando a obtenção de uma grande melhoria na qualidade das reconstruções multiplanares (reconstruções nos planos coronal e sagital), assim como na reconstrução em terceira dimensão (3D-TC). Consequentemente, quanto menor for a espessura do intervalo de reconstrução, melhor será a qualidade da reconstrução no pós-processamento, reduzindo sensivelmente o tempo de trabalho se comparada com a tomografia computadorizada convencional<sup>14,17</sup>.



**FIGURA 7** - Esquema demonstrativo<sup>29</sup> da técnica tomográfica helicoidal Multislice, onde há uma movimentação constante da mesa (paciente).

No final de 1998, foi introduzida a Tomografia Computadorizada Multislice, que emprega um tomógrafo com múltiplos anéis detectores, permitindo um escaneamento rápido e uma reconstrução de imagem em alta resolução, facilitando a interpretação radiográfica. A tomografia computadorizada denominada Multislice representa o que há de mais moderno na tomografia computadorizada espiral, e permite realizar múltiplos cortes simultaneamente. Os atuais sistemas obtêm 4, 8, 16, 32, 64 ou até 256 cortes simultâneos em uma única aquisição de 0,5/0,4 segundos (Fig. 8). Esses equipamentos utilizam cortes de 0,5mm de espessura, com intervalos de reconstrução de até 0,25mm. As imagens podem ser monitoradas em tempo real, ou seja, as reconstruções são obtidas ao mesmo tempo em que o paciente é escaneado. Com isso, é possível obter uma melhora considerável na qualidade da imagem nas reconstruções multiplanares – reconstruções nos planos coronal e sagital (Fig. 9) –, assim como nas reconstruções em 3D (Fig. 10).

### RECONSTRUÇÃO DA IMAGEM EM TERCEIRA DIMENSÃO (3D)

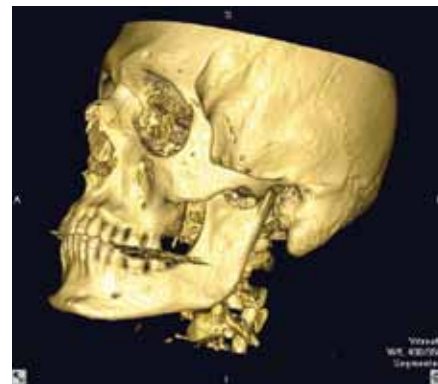
Existem dois métodos de visualização, análise e compreensão da reconstrução em terceira dimensão (3D). A técnica de superfície



**FIGURA 8** - Tomógrafo multislice Aquilion 64®, de última geração (Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japão).



**FIGURA 9** - Reconstrução no plano sagital. Imagem de TC Multislice (Aquilion 64®) obtida no Labi-3D / FOUSP ([www.fo.usp.br/labi3d](http://www.fo.usp.br/labi3d)), em parceria com o Instituto do Coração – INCOR/FMUSP.



**FIGURA 10** - Reconstrução 3D de crânio, pela técnica de volume em TC multislice (Aquilion 64®) obtida no Labi-3D / FOUSP ([www.fo.usp.br/labi3d](http://www.fo.usp.br/labi3d)), em parceria com o Instituto do Coração – INCOR/FMUSP.

(*surface rendering*) e a técnica de volume (*volume rendering*). Na técnica de superfície, nem todos os *voxels* que foram obtidos na imagem original escaneada contribuem para a formação da imagem em 3D. A desvantagem desse processo é que este erro na segmentação irá influenciar na visualização da reconstrução em 3D por *surface rendering*. Ao contrário da técnica de superfície, na técnica de volume todos os *voxels* dos dados originais provenientes da tomografia computadorizada são preservados, permitindo a visualização da anatomia através da translucidez da imagem, na qual diferentes estruturas (tecidos ósseos e moles) podem ser dispostas com variação de cores e transparências, o que facilita sobremaneira a localização dos pontos cefalométricos (Fig. 11).

### WORKSTATIONS, SOFTWARES E COMPUTAÇÃO GRÁFICA

Em computação gráfica, é importante conhecer os formatos das imagens digitais. Em tomografia computadorizada, o tipo de arquivo utilizado é o chamado DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine* – <http://medical.nema.org>). O emprego de *softwares* de computação gráfica em associação com *workstations* tem proporcionado um grande avanço na área da Radiologia. A utilização de uma *workstation* independente, com uma conexão via *network* junto ao tomógrafo computadorizado, tem possibilitado rapidez e versatilidade na obtenção de imagens de melhor qualidade, permitindo um reprocessamento dessas imagens para a realização do diagnóstico e

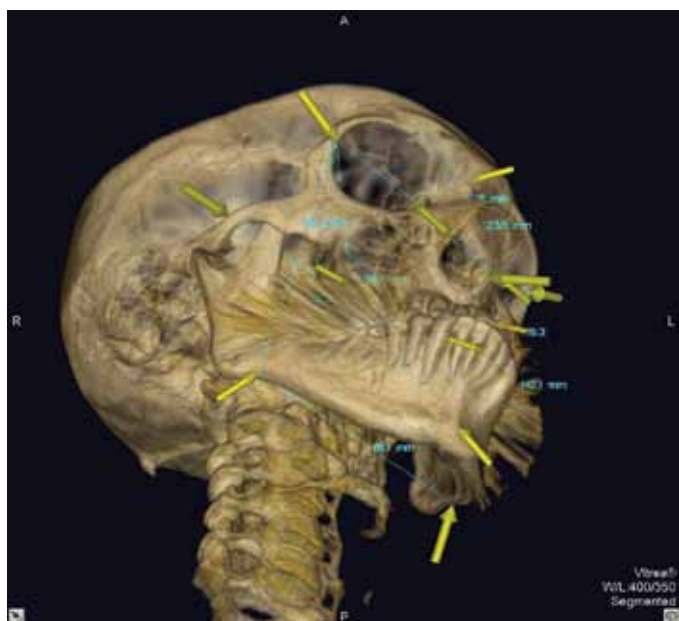


FIGURA 11 - Variação de transparência na reconstrução 3D, para a obtenção de medidas cefalométricas – Programa Vitrea® (Vital Images Inc., Plymouth, EUA).

planejamento de tratamento com maior precisão. Apesar de ainda serem de custo elevado, existem alguns *softwares* que permitem a utilização de computação gráfica por meio da reconstrução em 3D pela técnica de volume, como: Analyse (Analyse® Mayo Clinic Foundation, MN, EUA), Mvox (Mvox®, Anamedic Inc., Odense / Dinamarca), Voxblast (Voxblast®, Image Analysis Facility, University of Iowa, Iowa City, IA, EUA), Vitrea® (Vital Images Inc., Plymouth, Mn, EUA) e Advantage Windows® (General Electric, Millwaukee, WI, EUA). O laboratório de imagens 3D da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo (LABI-3D FOUASP) ([www.fo.usp.br/labi3d](http://www.fo.usp.br/labi3d)) sediado no departamento de Estomatologia, disciplina de Radiologia, conta em sua estação de trabalho com o *software* de última geração Vitrea® (Fig. 12). Em parceria com os outros departamentos da FOUASP e da escola de Medicina da USP (FMUSP/INCOR), tem acesso ao tomógrafo de última geração Aquilion 64® (Toshiba Medical Systems Tokyo, Japão), e é pioneiro na realização de pesquisas do complexo craniofacial por meio da 3D-TC.

### TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA POR FEIXE CÔNICO (TCFC)

A lei de Moore prediz o aumento na complexidade de elementos de informática, tais como o número dos transistores por *microchip* do microprocessador<sup>34</sup>. Os mesmos argumentos podem ser aplicados aos aparelhos de TC: em 1974, somente dois detectores eram usados



FIGURA 12 - Obtenção das medidas craniofaciais em reconstruções 3D pela técnica de volume, utilizando o programa Vitrea® (Vital Images Inc., Plymouth, EUA).

e, atualmente, é comum na TC Multislice a utilização de 30.000 detectores. De acordo com Gordon Moore, se a indústria de automóveis tivesse avançado tão rapidamente quanto a indústria dos semicondutores, um automóvel Rolls Royce andaria 200 mil km com um litro de gasolina. A recente introdução da tomografia computadorizada por feixe cônico (TCFC), muito conhecida no Brasil pelo seu nome em inglês (Cone Beam Computed Tomography – CBCT), dedicada à região craniofacial, tem muitas características da tecnologia disruptiva de Christensen. Particularmente, esses instrumentos desafiam as suposições feitas pelos fabricantes dos tomógrafos médicos. Os aparelhos de TCFC são de custo baixo e instrumentação relativamente simples, e com baixa dose de radiação. Porém, apesar da evolução rápida pela qual estão passando, ainda produzem imagem com ruídos e definição espacial inferior às imagens produzidas por tomógrafos helicoidais *multislice*. Entretanto, são aparelhos relativamente compactos, podendo ser instalados no consultório do profissional, onde espaço, pessoal, medidas de proteção radiológicas e os custos de manutenção são uma fração pequena daquela incorrida pelos tomógrafos médicos. Conceitualmente, as imagens produzidas são interpretadas dentro da mesma clínica que presta a assistência odontológica.

O conceito fundamental da imagem 3D é que ela resulta de um volume que pode ser reformatado, provendo infinitas perspectivas, ou pontos de vista<sup>26</sup>. A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) é baseada na obtenção volumétrica dos dados, utilizando uma estrutura bidimensional digital de detectores. Isso é combinado com um feixe cônico tridimensional de raios X (Fig. 13). A técnica do feixe cônico envolve uma rotação única de 360° da fonte de raios X, onde há um movimento sincronizado da fonte de raios X e da estrutura de detectores – que se movimentam em torno da cabeça do paciente, que está estabilizada em uma estrutura parecida com um cefalostato (Fig. 14). Em certos intervalos de tempo, projeções simples de imagens, conhecidas como "imagens base", são obtidas. Isso é similar à radiografia cefalométrica lateral, cada uma com a angulação levemente diferente da outra. Essas séries de projeções de "imagens base" são referidas como dados de projeção. *Softwares* que incorporam sofisticados algoritmos, incluindo retroprojeção filtrada (*back-filtered projection*), são aplicados a essas imagens para gerar dados volumétricos 3D, os quais são utilizados para promover uma reconstrução primária das imagens nos três planos ortogonais (axial, sagital e coronal). Apesar dos princípios da TCFC estarem em uso por quase duas décadas, apenas recentemente – com o desenvolvimento de tubos de raios X mais baratos, sistemas de detectores de alta qualidade e computadores pessoais potentes – os sistemas começaram a se tornar econômica e comercialmente viáveis. Como exemplos, o NewTom 9000 QR DVT (Quantitative Radiology s.r.l., Verona, Itália), introduzido em abril de 2001; sua versão intermediária, o NewTom

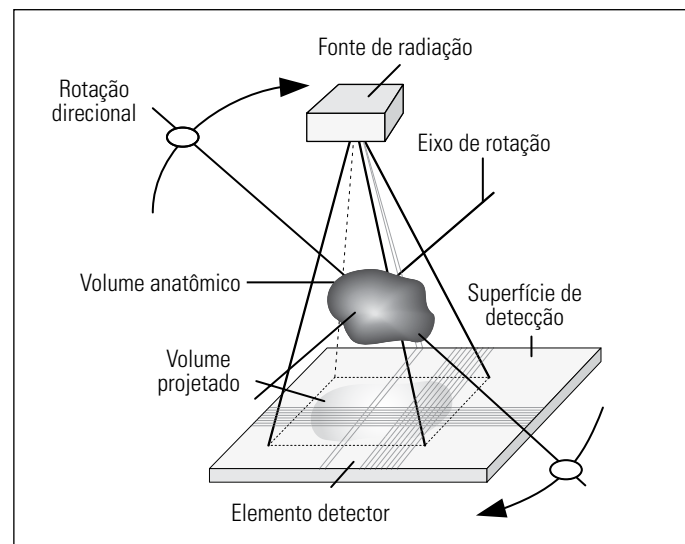


FIGURA 13 - Princípios técnicos da técnica CBCT (modificado de Thiel e Hassfeld<sup>32</sup>).



FIGURA 14 - Tomógrafo computadorizado de feixe cônico i-CAT Next Generation (Imaging Sciences International - Hatfield, EUA).

3G QR DVT; e a versão atual, em que o paciente é posicionado de forma ereta, o NewTom VG QR DVT. Podemos citar também, entre outros, os sistemas que utilizam essa tecnologia, como o MercurRay (Hitachi Medical Corp., Kashiwa-shi, Chiba-ken, Japão), o 3D Accuitomo – XYZ Slice View Tomograph (J. Morita Mfg Corp., Kyoto, Japão) e o i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, EUA) (Fig. 14). Essas unidades podem ser categorizadas de acordo com o seu sistema de detecção de raios X. A maioria das unidades de TCFC dedicada à região craniofacial utiliza um tubo intensificador de imagens IIT-CCD (*image intensifier tube-charge-coupled device*). Porém, está se tornando mais comum o emprego de um sistema mais moderno, que utiliza um detector do tipo *flat panel imager* (FPI). O FPI consiste de um cintilador de césio-iodado aplicado a um fino filme de semicondutor, feito de sílica amorfa. As imagens produzidas com o IIT geralmente resultam em mais ruído do que as imagens geradas pelo FPI, e também necessitam ser pré-processadas para reduzir a distorção geométrica inerente à configuração do detector<sup>9</sup>.

### VANTAGENS

A técnica TCFC é adequada para a obtenção de imagens da região craniofacial<sup>8,9,14,15,20-24,26-29</sup>, fornecendo imagens nítidas de estruturas altamente contrastadas. É extremamente útil para avaliar os tecidos duros e, embora existam limitações atualmente no uso dessa tecnologia para as imagens dos tecidos moles, esforços estão sendo dirigidos para o desenvolvimento de técnicas e algoritmos do *software* para melhorar a relação sinal-ruído e aumentar o contraste. O uso da tecnologia de TCFC na prática clínica fornece um número de vantagens potenciais para a imagem da região maxilofacial, quando comparada com a TC médica:

- Limitação do feixe de raios X: a redução do tamanho da área irradiada pela colimação do feixe primário de raios X à área de interesse minimiza a dose da radiação. A maioria das unidades TCFC pode ser ajustada para fazer a varredura de regiões pequenas, para tarefas diagnósticas específicas. Outras são capazes de fazer a varredura do complexo craniofacial inteiro quando necessário<sup>14,15</sup>.
- Exatidão da imagem: a série de dados volumétricos compreende um bloco 3D de estruturas cuboides menores, conhecidas como *voxels* (Fig. 15), cada uma representando um grau específico de atenuação dos raios X. O tamanho desses *voxels* determina a definição da imagem. Em TC convencional, os *voxels* são anisotrópicos – cubos retangulares onde a dimensão mais longa do *voxel* é a espessura axial da fatia e é determinada em função do movimento do *gantry* (estrutura do aparelho de TC onde se encontram localizados a fonte de raios X e os detectores). Embora as superfícies do *voxel* da TC possam ser tão pequenas como 80µm, sua profundidade está geralmente na ordem de 0,2 a 0,3mm. Todas as unidades de TCFC

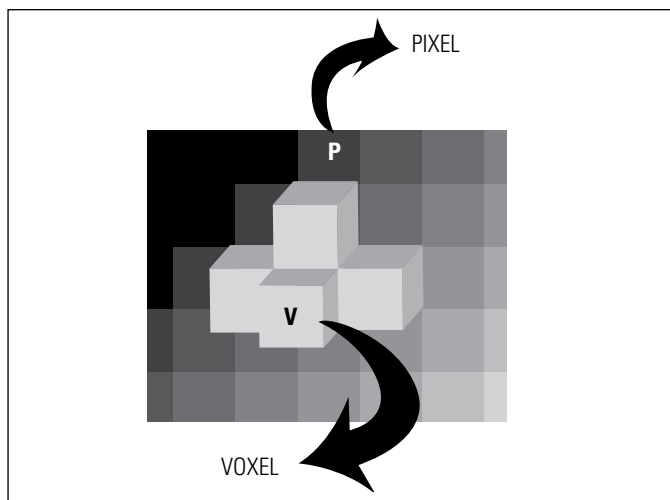
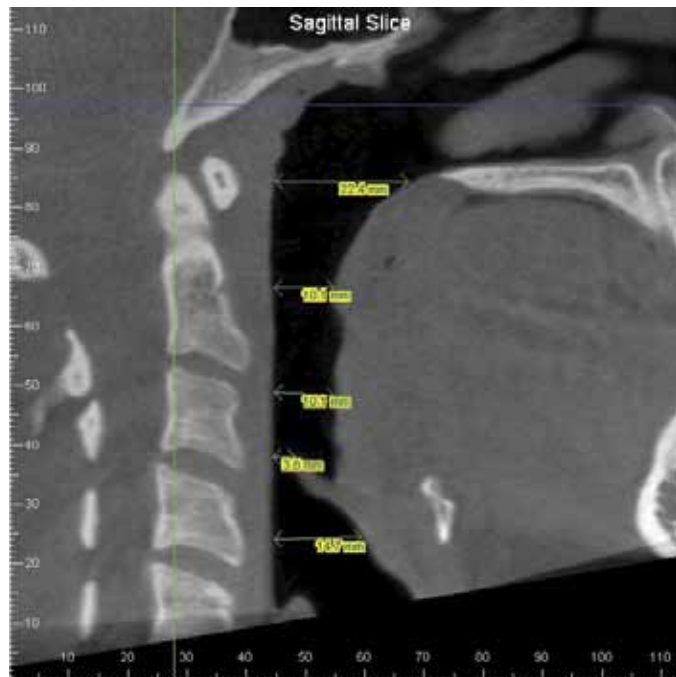


FIGURA 15 - Elementos formadores da imagem tomográfica (Fonte: Cavalcanti<sup>6</sup>).

forneem definições do *voxel* que são isotrópicas – igual em todas as três dimensões. Isso produz uma definição submilimétrica que varia de 80µm a 0,4mm (Accuitomo<sup>®</sup>)<sup>15</sup>.

- Tempo de varredura acelerado: as unidades TCFC adquirem todas as "imagens base" em uma única rotação; os tempos da varredura são pequenos (5-70 segundos) e comparáveis com os de sistemas médicos espirais. Ainda que o tempo de varredura reduzido signifique geralmente uma quantidade menor de "imagens base" que servirão para reconstruir a série de dados volumétricos, os artefatos de técnica, em função da movimentação do paciente, são reduzidos<sup>22,23</sup>.
- Redução da dose: os relatórios publicados indicam que a dose eficaz de radiação (escala média variando de 36,9 a 50,3 microsievets – µSv) é significativamente reduzida em até 98%, comparada com a de sistemas de TC médica (escala média para a mandíbula de 1.320 a 3.324µSv; escala média para a maxila de 1.031 a 1.420µSv), reduzindo a dose efetiva ao paciente a aproximadamente aquela de um levantamento radiográfico periapical (13-100µSv) ou de 4 a 15 vezes a dose de radiografia panorâmica (2,9-11µSv)<sup>15</sup>.
- Modalidade de exposição original para a imagem da região maxilofacial: o acesso e a interação com dados médicos da TC Multislice não são possíveis, porque estações de trabalho são requeridas. Embora tais dados possam ser "convertidos" e importados em programas para o uso em computadores pessoais, esses processos são caros e requerem um estágio intermediário que pode estender a fase de diagnóstico. As reconstruções de dados de TCFC são executadas por um computador pessoal. Além disso, o *software* pode estar disponível ao usuário, e não apenas ao radiologista, através de uma compra direta ou por licenciamento de uso. Isso possibilita a oportunidade de expor a imagem ao lado da cadeira odontológica,

fazer uma análise em tempo real e usar modalidades de reconstruções multiplanares para uma tarefa específica. Em função da série de dados volumétricos de TCFC ser isotrópica, o volume inteiro pode ser reorientado de modo que as características anatômicas do paciente sejam realinhadas. Além disso, algoritmos permitem que o clínico faça uma avaliação dimensional em tempo real, por meio do cursor. Um exemplo de *software* com grande utilidade na Ortodontia é o Dolphin® (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, EUA), que permite importar uma variedade de arquivos 3D, com imagens em alta resolução, para uma detalhada avaliação multiplanar e volumétrica, permitindo a observação de dentes impactados e das vias aéreas superiores (Fig. 16), além de criar imagens de radiografias panorâmicas e cefalométricas em proporção 1:1, sem sobreposições (Fig. 17). Alguns *softwares* que têm se mostrado extremamente úteis no processo de diagnóstico e planejamento virtual em Ortodontia e Cirurgia Ortognática são o Maxilim (Medicim - Medical Image Computing, Mechelen/Bélgica) e o InVivoDental (Anatomage, San Jose, EUA). Uma fotografia facial convencional é uma representação bidimensional simples que não apresenta nenhuma correlação com o esqueleto de suporte. O volume 3D pode proporcionar vistas frontais, laterais ou qualquer outra vista facial que o usuário escolha. Pela alteração da transparência da imagem, pode-se determinar uma relação específica entre o tegumento e o esqueleto, com implicações significativas no

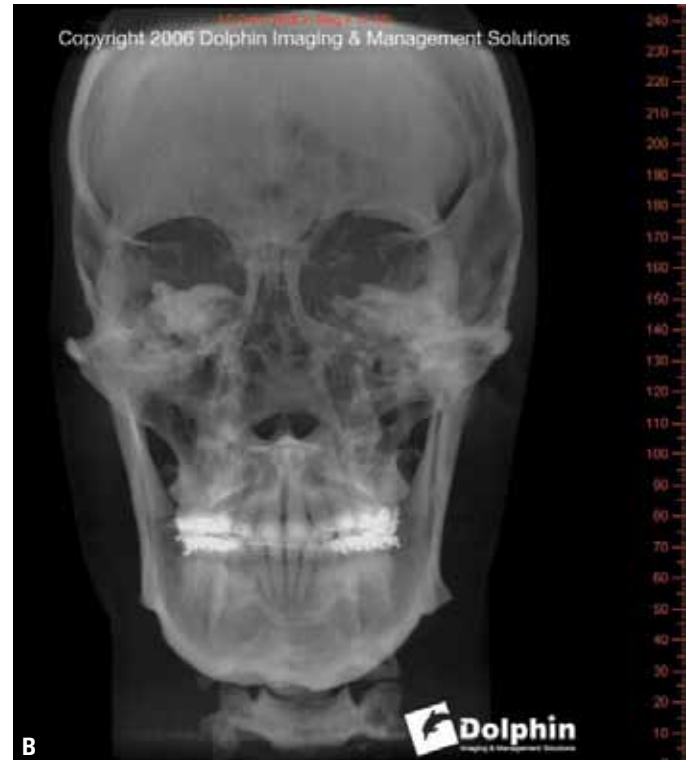


**FIGURA 16** - Mensurações das vias aéreas realizadas em reconstrução sagital obtida pela técnica TCFC (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, EUA).

planejamento do tratamento ortodôntico da cirurgia ortognática e outras terapias que podem alterar a aparência facial (Fig. 18, 19).

- Artefatos de imagem reduzidos: com o uso de algoritmos de supressão de artefatos e aumentando-se o número de projeções<sup>9,29,31</sup>, a experiência clínica demonstrou que, com a TCFC, as imagens podem resultar em um nível baixo de artefatos metálicos, particularmente nas reconstruções secundárias designadas para a visualização dos dentes e dos maxilares.

A apresentação das imagens pode ser feita de várias maneiras por meio da utilização de *softwares* específicos, que incluem as reformatações oblíquas para a visualização das ATMs ou de um molar incluso; reformatações curvas, semelhantes às imagens geradas na radiografia panorâmica (Fig. 17A), que podem abranger as estruturas



**FIGURA 17** - A) Vista panorâmica. B) Vista frontal (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, EUA).





**FIGURA 18** - Visualização dos tecidos duros e moles por transparência (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, EUA).



**FIGURA 19 - A)** Scanner de face Di3D® (câmera 3D). **B)** Imagem de face em 3D (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, EUA).

de escolha do profissional; reformatações seriais transaxiais ou ortorrádiais, que podem gerar informações importantes no planejamento de implantes, onde é possível acompanhar, por exemplo, o trajeto do canal mandibular; reformatações volumétricas 3D, que podem servir para a obtenção de medidas cefalométricas sem distorções ou para a obtenção de imagens planares laterais, que podem ser exportadas e analisadas em *softwares* específicos de cefalometria. Outra técnica de apresentação das imagens é a Maximum Intensity Projection (MIP), na qual a imagem pode adquirir variações de transparências conforme a necessidade do profissional, em função dos valores dos *voxels* (Fig. 20).

Com a TCFC, a magnificação projetional é computacionalmente corrigida durante a reconstrução primária, criando uma imagem ortogonal. Quando um padrão conhecido é posicionado no campo de visão do TCFC, os cefalogramas laterais podem ser calibrados para uma relação real de 1:1 das estruturas que estão sendo escaneadas. Uma grande vantagem da imagem frontal gerada pela TCFC é a de existirem *softwares* capazes de extrair porções não-pertinentes, como a coluna cervical e o osso occipital, evitando dessa forma as sobreposições de tais estruturas irregulares. As imagens frontais geradas por TCFC permitem a visualização precisa da imagem pertinente às estruturas maxilofaciais e as suas inter-relações (Fig. 20).

### APLICAÇÕES CLÍNICAS

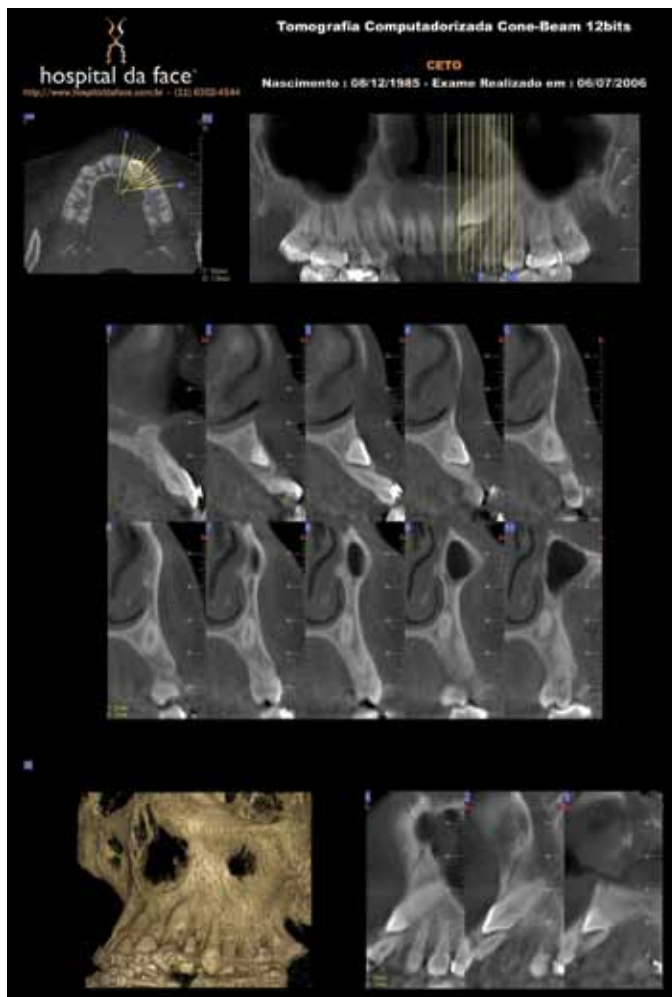
- Avaliação esquelética: a visualização volumétrica 3D do esqueleto é uma nova maneira de avaliar as inter-relações entre as estruturas maxilomandibulares e a base do crânio<sup>11,14,15,26-29</sup>. Essas imagens permitem a inspeção da morfologia óssea dos maxilares. A altura do osso alveolar é particularmente importante em adultos e em pacientes comprometidos periodontalmente. Irregularidades na superfície óssea devidas a dentes ectópicos (Fig. 21), deiscências



**FIGURA 20** - Imagem frontal por MIP (James Mah, University of Southern California, Los Angeles, EUA).

ósseas, invaginações da glândula salivar e outras anormalidades podem ser observadas nas imagens 3D. Uma vez que essas irregularidades, em alguns casos, se estendem nos alvéolos entre as raízes, sua identificação precisa traz grande benefício ao ortodontista durante o planejamento do tratamento. Uma fonte inteiramente nova de avaliação oclusal é a vista lingual – como se o clínico estivesse observando de dentro da cavidade bucal para fora. Essa alternativa somente recentemente tem sido possível, devido aos melhoramentos da avaliação de tecidos moles em TCFC<sup>27,28</sup>.

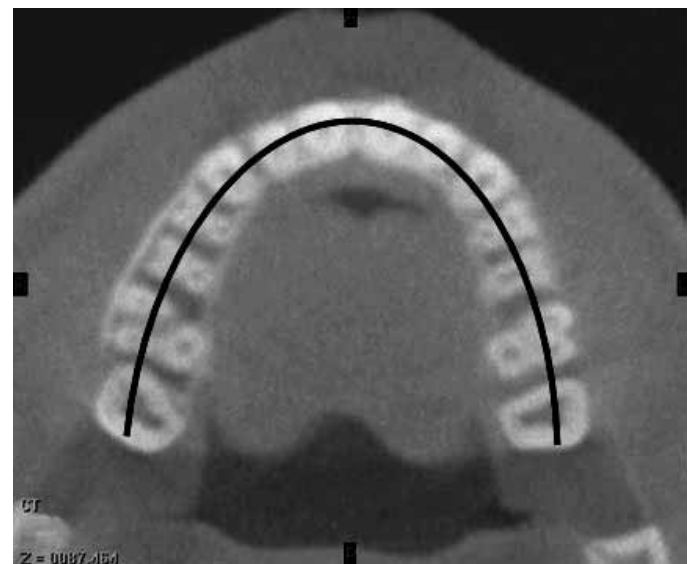
- Alvéolo dentário: a vista frontal das arcadas dentárias habilita o clínico a acessar as dimensões transversais e verticais e o volume, e avaliar as discrepâncias interarcos e os limites verticais do movimento dentário. A vista frontal pode ser correlacionada com as vistas das ATMs e sua inter-relação com as posições cuspídeas.



**FIGURA 21** - Relatório de uma paciente em tratamento no ambulatório de Cirurgia Ortognática do departamento de Ortodontia e Odontopediatria da FOU SP, onde se pode localizar perfeitamente a posição, em 3D, do canino superior direito incluído (imagem obtida por TCFC – NewTom 3G QR DVT do Hospital da Face em São Paulo – [www.hospitaldaface.com.br](http://www.hospitaldaface.com.br)).

As vistas oclusais das arcadas dentárias revelam a posição dos dentes e a forma do osso de suporte. Traçados com as formas de arcos são tipicamente feitos na altura do alvéolo, mas podem variar de acordo com a preferência do usuário. As formas de arcos podem, então, ser sobrepostas para revelar discrepâncias ou compatibilidade. Elas podem também ser impressas para a fabricação de arcos ortodônticos (Fig. 22). No futuro, essas imagens proporcionarão medições para a realização de análises oclusais<sup>14</sup>.

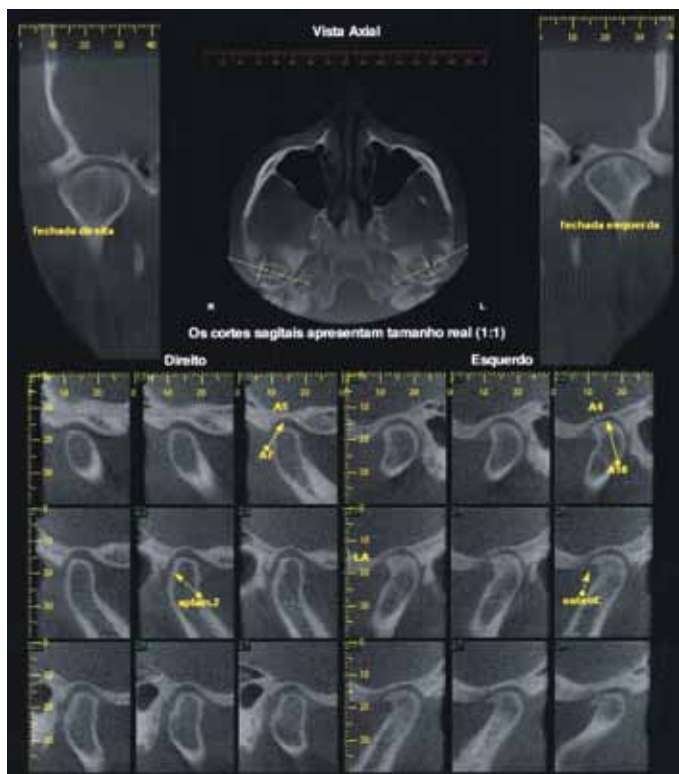
- Avaliação 3D da oclusão: a vista panorâmica pode ser similar à da tradicional radiografia panorâmica, porém é consideravelmente melhor, porque não há sobreposição da coluna cervical e do lado contralateral (Fig. 23). Além disso, não há projeção de artefatos e a espessura do corte e a localização são de escolha do usuário. Alguns pacientes apresentam osso alveolar delgado em torno das raízes.



**FIGURA 22** - Forma do arco superior confeccionada sobre reconstrução axial por TCFC (James Mah, – University of Southern California, Los Angeles, EUA).



**FIGURA 23** - Vista 3D da oclusão dentária e dos alvéolos, e como ela se relaciona com as outras estruturas maxilofaciais (Imaging Sciences International, Hatfield, EUA).

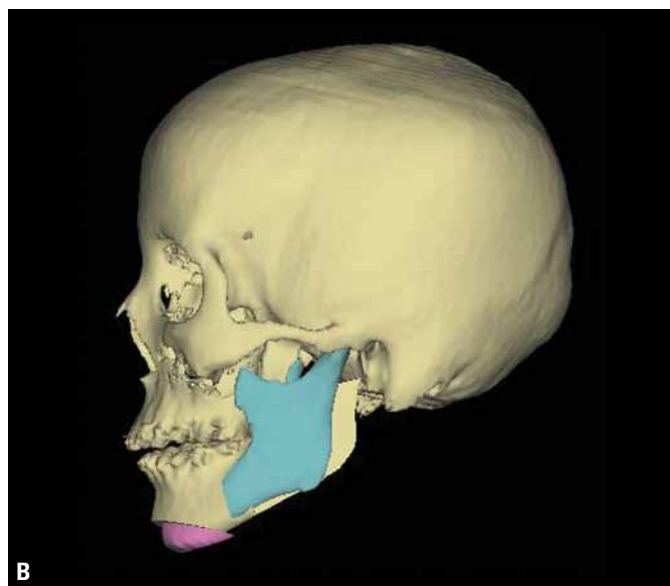
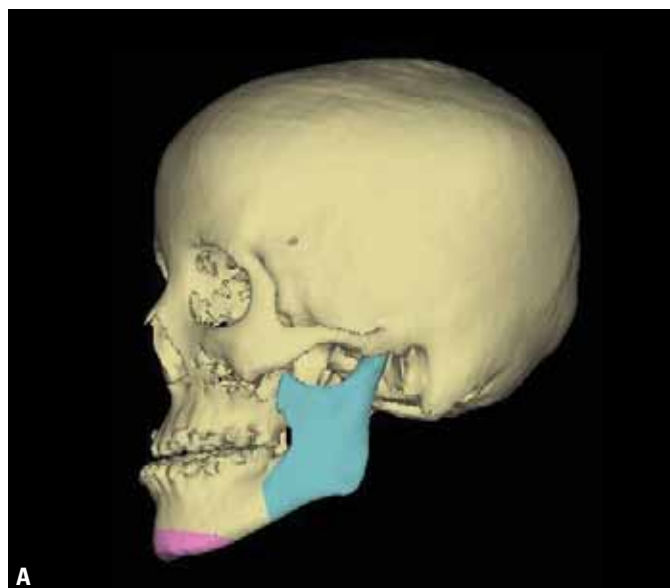


**FIGURA 24** - Paciente do gênero feminino, 49 anos de idade, com sinais e sintomas de disfunção temporomandibular. Observa-se a presença de imagem compatível com osteófito e aplainamento da vertente posterior da cabeça da mandíbula (imagem obtida por meio de TCFC com o aparelho i-CAT).

A identificação em tempo hábil dessa condição pode permitir ao ortodontista ficar alerta e, eventualmente, procurar o auxílio de outras especialidades. Na dentadura mista, essas projeções poderão efetivamente ilustrar todo o processo de desenvolvimento da oclusão e desenvolvimento dos dentes, suas posições relativas e a formação das raízes. Dessa forma, essa avaliação habilita o clínico a gerenciar o processo eruptivo dos dentes e realizar intervenções em tempo hábil, quando os problemas aparecerem<sup>22,23,26,27,28</sup>.

- Articulação temporomandibular: secções coronais e sagittais das ATMs estão incluídas na análise ortodôntica 3D. Esses cortes das ATMs podem ser correlacionados às vistas oclusais, porque todo o volume é produzido de uma só vez (Fig. 24).

- Seios maxilares e vias aéreas: uma análise coronal, sagittal e oblíqua dos seios maxilares e das vias aéreas pode ser realizada. Essa informação é particularmente relevante ao ortodontista, uma vez que a obstrução das vias aéreas e a consequente respiração bucal podem ser consideradas fator etiológico primário de má oclusão<sup>22,27</sup>. A obtenção de novos valores de referência de forma volumétrica será útil no diagnóstico diferencial para os casos ortodôntico-cirúrgicos.



**FIGURA 25** - Planejamento cirúrgico de recuo mandibular e mentoplastia antes (A) e depois da cirurgia (B) (Cybermed - Seoul, Korea).

- Procedimentos cirúrgicos: como as modalidades atuais de tratamento ortodôntico estão se tornando mais sofisticadas, a necessidade de registros precisos em 3D do paciente se torna cada vez mais crítica. Por exemplo, durante a distração osteogênica, um dos aspectos mais significativos é movimentar e posicionar o segmento numa simetria 3D, com harmonia oclusal e funcional. Dessa forma, o planejamento e a execução desses procedimentos poderão ser simulados e monitorados, com grande aplicabilidade nas cirurgias ortognáticas (Fig. 25)<sup>13,30</sup>.

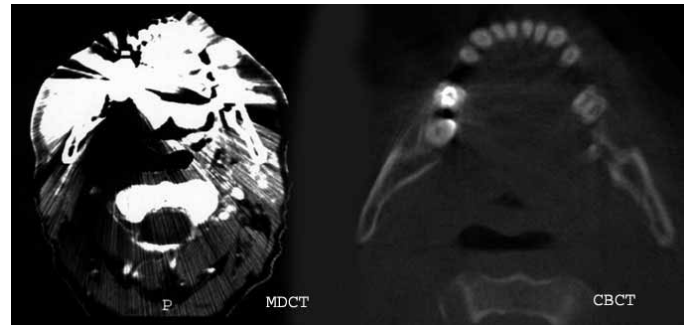
## DESVANTAGENS

As principais desvantagens das técnicas tomográficas, levando-se em conta o seu estágio atual de desenvolvimento, são: o custo – pois essa modalidade de exame ainda não se tornou popular – e o acesso aos tomógrafos, que hoje se encontram localizados, em sua maioria, nos grandes centros; e, finalmente, o acesso aos protocolos de avaliação e aos *softwares* para o pós-processamento das imagens, que pode ser realizado no consultório do ortodontista, após a avaliação feita pelo radiologista e, principalmente – no que diz respeito à informação científica – à falta de valores de referência para uma avaliação cefalométrica 3D.

## COMPARATIVO ENTRE AS TÉCNICAS TCFC E TC MULTISLICE

A TCFC deverá ser o método de escolha, em Odontologia, para a avaliação do complexo maxilomandibular, e para a obtenção de estudos cefalométricos tridimensionais, em Ortodontia e Cirurgia Ortognática, além do planejamento de implantes – em função das suas características técnicas, como a dose de radiação empregada, e a posição do paciente durante a aquisição do exame. Dentes inclusos e retidos, além de reabsorções e fraturas, também podem ser avaliados por TCFC. Outras aplicações da TCFC estão relacionadas com a investigação de alterações nas ATMs e avaliação das vias aéreas. Outra vantagem da TCFC, em relação à TC Multislice, refere-se à quantidade substancialmente menor de artefatos metálicos<sup>15</sup> (Fig. 26). Por outro lado, a TC Multislice deve ser preferida se houver necessidade de áreas estreitas, tais como o espaço do ligamento periodontal, serem escaneadas para diagnosticar anquiloses e reabsorções radiculares, porque a qualidade da imagem dessas estruturas gerada por TCFC ainda não é satisfatória.

A cefalometria a partir da TC Multislice é uma poderosa ferramenta de diagnóstico, com diversas vantagens<sup>1,2,4,5,7,10,18,19,25,30</sup>: (1) avaliação verdadeiramente 3D volumétrica dos tecidos duros e moles da cabeça, em tamanho real (escala 1:1); (2) análise cefalométrica 3D em tempo real, (3) nenhuma sobreposição de estruturas anatômicas; e (4) exatidão e confiabilidade elevada. Embora a cefalometria 3D a partir da TC Multislice seja um grande avanço em relação à cefalometria convencional, a aquisição de dados apresenta ainda alguns inconvenientes: (1) a posição horizontal do paciente durante o registro impossibilita uma correta avaliação dos tecidos moles; (2) falta de uma oclusão detalhada devida aos artefatos metálicos; (3) limitação de acesso para o paciente comum por causa de um custo mais elevado, e (4) exposição de radiação maior do que em outros sistemas da aquisição de imagens craniofaciais por raios X. A cefalometria 3D a partir da TCFC apresenta algumas vantagens, trazendo boas perspectivas para o futuro: (1) exposição



**FIGURA 26** - Comparação entre as técnicas, onde se pode notar uma quantidade consideravelmente menor de artefatos metálicos com a técnica TCFC (Fonte: Hashimoto<sup>12</sup>).

reduzida à radiação; (2) avaliação adequada dos tecidos moles, por causa do procedimento de obtenção das imagens na posição vertical (i-CAT®, CB Mercuray®); (3) artefatos reduzidos no nível da oclusão; (4) acesso aumentado para o paciente comum, por conta da possibilidade de obtenção e avaliação das imagens no próprio consultório de Ortodontia, e (5) custos reduzidos.

## CONCLUSÕES

- Como as modalidades atuais de tratamento ortodôntico estão se tornando mais sofisticadas, a necessidade de registros tridimensionais precisos dos pacientes se torna cada vez mais crítica em função da possibilidade de visualização interativa por meio dos múltiplos *softwares* disponíveis no mercado.

- A adoção da TCFC em conjunto com a TC Multislice provavelmente levará os ortodontistas a uma mudança de paradigma com relação aos meios de diagnóstico por imagem, pela possibilidade de visualização tridimensional detalhada da anatomia craniofacial como, por exemplo, da inserção radicular, das articulações temporomandibulares e das vias aéreas.

- Tanto a TCFC como a tomografia Multislice poderão trazer benefícios no diagnóstico, planejamento e simulação de tratamentos, desenvolvimento de tecnologias futuras e novas abordagens de pesquisa. Porém, por uma questão de custo e logística, a TCFC tem demonstrado um potencial maior para sua utilização como ferramenta de diagnóstico em Ortodontia.

- Aspectos éticos e legais deverão ser levados em consideração no que diz respeito à utilização dessas novas tecnologias digitais, principalmente naqueles casos em que a visualização 3D das estruturas anatômicas e a possibilidade de planejamento virtual podem alterar o plano de tratamento, quando em comparação com o diagnóstico obtido com a documentação convencional bidimensional.

# Computed Tomography applications in Orthodontics: "The State of the Art"

## Abstract

The purpose of this paper is to enlighten the orthodontist and the researcher about the current stage of technological development of craniofacial imaging generated by Multislice Computed Tomography (MSCT) and Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and its applications in Orthodontics, Facial Orthopedics and Orthognathic Surgery. It is intended to provide the multiple scientific and clinical applications of three-dimensional images (3D-CT) in Orthodontics.

As the current orthodontic treatment methods are becoming more sophisticated, the need for accurate tridimensional (3D) evaluation of the patient becomes increasingly critical, and adoption of CBCT together with MSCT is likely to lead the orthodontists in a switch of paradigm for diagnosis by means of image. In addition, potential treatment planning modifications are expected in orthodontic treatments and for orthodontic surgical cases.

**KEYWORDS:** Multi-slice computed tomography. Cone-beam computed tomography. Three-dimensional craniofacial imaging. Orthodontic diagnosis.

## REFERÊNCIAS

- Baumrind S, Carlson S, Beers A, Curry S, Norris K, Boyd RL. Using the three-dimensional imaging to assess treatment outcomes in Orthodontics: a progress report from the University of the Pacific. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:132-42.
- Baumrind S. Integrated three-dimensional craniofacial mapping: background, principles and perspectives. *Semin Orthod.* 2001 Dec;7(4):223-32.
- Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to Orthodontia. *Angle Orthod.* 1931 Apr;1(2):45-66.
- Cavalcanti M. Tomografia computadorizada: reconstrução em 2D e em 3D. In: Freitas A. *Radiologia odontológica.* 6ª ed. São Paulo: Artes Médicas; 2004, p. 705-52.
- Cavalcanti MG, Rocha SS, Vannier MW. Craniofacial measurements based on 3D-CT volume rendering: implications for clinical applications. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004 May;33(3):170-6.
- Cavalcanti, MGP. Tomografia computadorizada por feixe cônico ao alcance do cirurgião-odontista. 1ª ed. São Paulo: Ed. Santos; 2009. 256 p.
- Cavalcanti MGP, Vannier MW. Qualitative analysis of spiral computed tomography for craniofacial clinical applications. *Dentomaxillofac Radiol.* 1998 Nov;27(6):344-50.
- Enciso R, Memon A, Mah J. Three-dimensional visualization of the craniofacial patient: volume segmentation, data integration and animation. *Orthod Craniofac Res.* 2003; 6 Suppl 1:66-71.
- Farman AG. Fundamentals of image acquisition and processing in the digital era. *Orthod Craniofacial Res.* 2003;6(1):17-22.
- Grayson BH, LaBatto FA, Kolber AB, McCarthy JG. Basilar multiplane cephalometric analysis. *Am J Orthod.* 1985 Dec;88(6):503-16.
- Hans MG, Palomo JM, Dean D, Cakirer B, Kyoung-June Min, Han S, Broadbent BH. Three-dimensional imaging: The case Western Reserve University method. *Semin Orthod.* 2001 Dec;7(4):233-43.
- Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003 Mar;95(3):371-7.
- Hatcher DC, Dial C, Mayorga C. Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. *J Calif Dent Assoc.* 2003 Nov;31(11):825-33.
- Hatcher DC, Aboudara CL. Diagnosis goes digital. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Apr;125(4):512-15.
- Holberg C, Steinhäuser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone Beam Computed Tomography in Orthodontics: benefits and limitations *J Orofac Orthop.* 2005 Nov;66(6):434-44.
- Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system. *Br J Radiol.* 1973 Dec;46(552):1016-22.
- Kim DO, Kim HJ, Jung H, Jeong HK, Hong SI, Kim KD. Quantitative evaluation of acquisition parameters in three-dimensional imaging with multidetector computed tomography using human skull phantom. *J Digit Imaging.* 2002 Dec;15 Suppl 1:254-7.
- Lascalea CA, Panella J, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (TCFC-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol.* 2004 Sep;33(5):291-4.
- Lopes PML. Validação de medidas ósseas crânio-faciais por meio da tomografia computadorizada multislice em 3D. [Tese] São Paulo: Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo; 2006.
- Mah J, Hatcher D. Current status and future needs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofacial Res.* 2003;6(1):10-6.
- Mah J, Bumann A. Technology to create the three-dimensional patient record. *Semin Orthod.* 2001 Dec; 7(4):251-7.
- Mah J, Hatcher D. Three-dimensional craniofacial imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Sep;126(3):308-9.
- Miller AJ, Maki K, Hatcher DC. New diagnostic tools in Orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Oct;126(4):395-6.
- Park SH, Yu HS, Kim KD, Lee KJ, Baik HS. A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006 May;129(5):600.e23-34.
- Preston CB, Lampasso JD, Tobias PV. Cephalometric evaluation and measurement of the upper airway. *Semin Orthod.* 2004 Jun;10(2):3-15.
- Redmond R. The cutting edge. *J Clin Orthod.* 2008 Aug;42(8):457-60.
- Ribeiro-Rota RJ. Técnicas tomográficas aplicadas à Ortodontia: a evolução do diagnóstico por imagens. *Rev Dental Press Ortod Ortop Facial.* 2004 set-out;9(5):102-56.
- Rizzato SMD, Thiesen G, Rego MVNN do, Marchioto EM, Menezes LM de, Hoefel JR, et al. Avaliando o procedimento da expansão rápida da maxila através da tomografia computadorizada helicoidal. *Rev Clin Ortod Dental Press.* 2004 jul-ago;3(4):76-87.
- Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc.* 2006 Feb;72(1):75-80.
- Swennen GR, Schutyser F. Three-dimensional cephalometry: spiral multi-slice VS cone beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006 Sep;130(3):410-6.
- Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:31-6; discussion 179-82.
- Thiel HJ, Hassfeld S. *Schnittbilddiagnostik in MKG-Chirurgie und Zahnmedizin.* 1st ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2001.
- Valdez JCA. Tomografia computadorizada (TC) no diagnóstico de controle do tratamento das disfunções da articulação temporomandibular. *JBA: J Bras Oclusão, ATM Dor Orofac.* 2001;1(4):316-23.
- Vannier MW. Craniofacial computed tomography scanning: technology, applications and future trends. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:23-30.



### Endereço para correspondência

**Mauricio Accorsi**

Av. Cândido de Abreu, 526 – Cj. 903-B – Curitiba / PR – CEP: 80.530-000

E-mail: accorsi@usp.br