

Denisa Gouveia\*, Fernando Guerra\*\*, Marcolino Gomes\*\*\*

\* Aluna do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

\*\* Professor Doutor pela Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

\*\*\* Mestre pela Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

## Resumo

Os ortodontistas tratam rotinamente maloclusões dos doentes através da aplicação de forças nos três planos do espaço. Durante anos, estes movimentos tridimensionais (3D) foram diagnosticados e o tratamento planeado com base em imagens bidimensionais (2D).<sup>(1)</sup>

A introdução da tomografia computadorizada de feixe cónico (TCFC) especificamente dedicada à imagem da região maxilofacial anuncia uma verdadeira mudança de uma abordagem 2D para 3D, para aquisição de dados e de reconstrução de imagem.<sup>(2)</sup>

A literatura é rica em aplicações clínicas para a TCFC para a medicina dentária e em particular para a ortodontia. No entanto tendo em conta a dose de radiação, o uso de TCFC na ortodontia é recomendado principalmente em casos seleccionados em que a radiografia convencional não pode fornecer informações de diagnóstico satisfatório, incluindo pacientes portadoras de fissura palatina, avaliação da posição de dente incluso, dentes supranumerários, identificação de reabsorção radicular causada por dentes inclusos e planeamento de cirurgia ortognática.

Os modelos digitais têm demonstrado ser um substituto aceitável para modelos de gesso.<sup>(3)</sup> Alguns estudos têm mostrado não haver diferença estatística entre as medições feitas em modelos digitais e modelos de gesso<sup>(4, 5)</sup>, enquanto outros estudos têm encontrado algumas diferenças estatisticamente significativas, mas que não são clinicamente significantes.<sup>(6, 7)</sup>

O objectivo deste trabalho foi uma revisão bibliográfica de soluções digitais 3D disponíveis actualmente ao Ortodontista a nível de diagnóstico, planificação e reabilitação. Com destaque para a TCFC, uma tecnologia recente e inovadora, pretendendo-se promover o conhecimento do equipamento, técnicas de utilização, sua fidelidade e acurácia no âmbito da ortodontia. Focar também aspectos técnicos e de aplicações dos modelos digitais em Ortodontia.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada de Feixe Cónico, TCFC, Ortodontia, Modelos digitais (As mesmas palavras na língua Inglesa).

## Introdução

A imagem é um importante complemento de diagnóstico para a avaliação clínica do doente dentário. A introdução da radiografia panorâmica na década de 1960 e a sua adoção generalizada ao longo dos anos 1970 e 1980 anunciava um importante progresso na radiologia dentária, proporcionando aos clínicos uma imagem única dos maxilares e estruturas maxilofaciais.<sup>(2)</sup>

As radiografias intra-orais incluindo periapicais, *bitewings* e projecções oclusais, são as técnicas de imagem básicas necessárias para a maior parte das patologias dentárias. As películas planas e radiografias panorâmicas fornecem informações sobre os dentes, maxilar superior e inferior, seios e outros tecidos duros da cabeça e pescoço. No entanto estas técnicas sofrem de sobreposição de todas as estruturas que se encontram no trajecto entre a fonte de raios x e o filme ou o detector.<sup>(8)</sup>

Os ortodontistas tratam rotinamente maloclusões dos doentes através da aplicação de forças nos três planos do espaço. Durante anos, estes movimentos tridimensionais (3D) foram diagnosticados e o tratamento planeado com base em imagens bidimensionais (2D).<sup>(1)</sup>

As imagens bidimensionais de diagnóstico, incluindo radiografias tradicionais, traçados cefalométricos, fotografias e imagens de vídeo têm feito parte do registo do doente ortodôntico durante décadas. As limitações destas modalidades de imagem são bem conhecidas e incluem ampliação, distorção geométrica, sobreposição de estruturas, deslocações projectivas (o que pode alongar ou encurtar as dimensões percebidas de um objecto), erros rotacionais e transformação projectiva linear. Em contraste, as imagens tridimensionais (3D) permitem a avaliação e análise da "verdadeira anatomia".<sup>(9)</sup>

A introdução da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), especificamente dedicada à imagem da região maxilofacial, anuncia uma verdadeira mudança de uma abordagem 2D para 3D, para a aquisição de dados e de reconstrução de imagem. O interesse na TCFC por parte de todos os campos da medicina dentária é sem precedentes, porque criou uma revolução na imagem maxilofacial, facilitando a transição de diagnóstico odontológico de imagens 2D para 3D e expandindo o papel da imagem de diagnóstico até a imagens de orientação em procedimentos cirúrgicos.<sup>(2)</sup>

A TCFC craniofacial foi concebida para combater algumas das limitações das gerações anteriores de dispositivos de tomografia computadorizada (TC) e para tornar a tecnologia tridimensional prática para a medicina dentária.<sup>(10)</sup>

Quando comparada com a geração anterior de TC, a TCFC é mais sensível e mais precisa, requer menos radiação, capta a maxila e mandíbula em uma única rotação da fonte de raios-x, e tem uma relação custo-benefício melhor para o paciente.<sup>(10)</sup>

Embora o princípio da TCFC tenha sido usado por quase duas décadas, apenas recentemente - com o desenvolvimento de tubos de raios X de baixo custo, sistemas de detecção de alta qualidade e poderosos computadores pessoais - sistemas acessíveis tornaram-se comercialmente disponíveis.<sup>(11)</sup>

A literatura é rica em aplicações clínicas para a TCFC. Em ortodontia permite a visualização de dentes inclusos, detecção de reabsorções radiculares, anquiloses e fracturas dento-alveolares, avaliação da altura e volume ósseo, investigação da articulação temporomandibular e vias aéreas superiores, determinação precisa das discrepâncias osso-dente em dentes não erupcionados e no diagnóstico de patologias.<sup>(12)</sup>

As imagens tridimensionais foram submetidas a avanços significativos nos últimos anos, aumentando a possibilidade de desenvolvimento do "doente virtual ortodôntico", onde, o tecido mole, ossos e dentes podem ser recriados em três dimensões. A panaceia da conversão tridimensional digital completa foi solicitada, em especial, com o advento da TCFC e do aperfeiçoamento de imagens tridimensionais faciais. A engrenagem adicional neste processo é o advento da digitalização de modelos de estudo.<sup>(13)</sup>

O objectivo deste trabalho foi uma revisão bibliográfica de soluções digitais 3D disponíveis actualmente ao Ortodontista, a nível de diagnóstico, planificação e reabilitação. Com destaque para TCFC, uma tecnologia recente e inovadora, pretendendo-se promover o conhecimento do equipamento, técnicas de utilização, sua fidelidade e acurácia no âmbito da ortodontia. Focar também aspectos técnicos e de aplicações dos modelos digitais em Ortodontia.

## Material e Métodos

O material consultado para fazer esta revisão, foi obtido a partir de uma pesquisa nas bases de dados Medline, EBSCO e B-On. Foram pesquisados artigos publicados na língua inglesa e portuguesa, sem limite temporal devido à actualidade do tema. Os títulos e resumos dos artigos foram analisados e obtidos assim 94 artigos dos quais 57 foram seleccionados, de acordo com o critério de pertinência do tema.

## Desenvolvimento

A introdução dos raios-x em 1895 revolucionou a ortodontia, permitindo a visualização da anatomia oculta. Na década de 1960 e 1970, um número de investigadores procurou implementar a utilização de métodos estereofotogramétricos, para medir o crânio e outros sistemas anatómicos. De destaque entre estes investigadores estavam Rune, Sarnas, e Sevik. No final dos anos 1970, a tomografia axial computadorizada (primeiro referida como TAC e mais tarde como TC) tornou-se disponível. Por um breve período, pensou-se que a TC e a modalidade de ressonância magnética que se seguiu logo depois (primeiro referida como RMN e mais tarde como MRI) iriam substituir a radiologia de projeção convencional. Embora ambas as tecnologias tenham um papel muito importante na medicina, elas não se revelaram úteis para o diagnóstico de rotina e planeamento do tratamento em ortodontia.<sup>(14)</sup>

Um *scanner* de TCFC foi construído para a angiografia na Clínica Mayo, em 1982. Vários outros sistemas iniciais foram desenvolvidos especificamente para angiografia. Embora os equipamentos de TCFC já existam há um quarto de século, somente na última década é que se tornou possível a produção de sistemas clínicos baratos e pequenos o suficiente para serem usados no consultório do ortodontista. Vários factores convergiram para tornar isto possível:

1. Desenvolvimento de detectores de tela plana compactos, relativamente baratos, de boa qualidade e grandes;
2. A disponibilidade de computadores de baixo custo com poder de processamento suficiente para reconstrução de imagem de feixe cónico;
3. A fabricação de tubos de radiografia altamente eficientes, capazes de múltiplas exposições necessárias para digitalização de feixe cónico a preços mais baixos do que os actualmente utilizados para CT convencional;
4. Digitalização de volume limitado (por exemplo, cabeça e pescoço).<sup>(15)</sup>

### **Tomografia Computadorizada de Feixe Cónico (TCFC)**

A TCFC é uma tecnologia recente. A imagem é realizada usando um pórtico rotativo ao qual uma fonte de raios-x e um detector são fixados. Uma fonte divergente piramidal ou em forma de cone de radiação ionizante é direcionada, através do meio da área de interesse, para um detector de raios-x no lado oposto. A fonte de raios-x e o detector giram em torno de um fulcro de rotação fixo no centro da região de interesse. Durante a rotação, múltiplas (de 150 a mais de 600) projecções de imagens planares sequenciais do campo de visão (CDV) são adquiridas num arco completo ou às vezes parcial.<sup>(2)</sup> Programas de *software*, que incorporam algoritmos sofisticados,

são aplicados a estes dados de imagem para gerar um conjunto de dados 3D volumétricos, que podem ser usados para fornecer imagens de reconstrução primária em planos ortogonais (axial, sagital e coronal).<sup>(1)</sup> Este procedimento difere da TC tradicional, que utiliza uma feixe de raios-x em forma de leque em uma progressão helicoidal para adquirir fatias de imagem individuais do CDV e, em seguida, pilha as fatias para obter uma representação 3D. Cada fatia requer uma digitalização separada e reconstrução 2D separada. Dado que a exposição da TCFC incorpora o CDV inteiro, apenas uma sequência de rotação do pórtico é necessário para a aquisição de dados suficientes para a reconstrução da imagem (Fig. 1).<sup>(2)</sup>

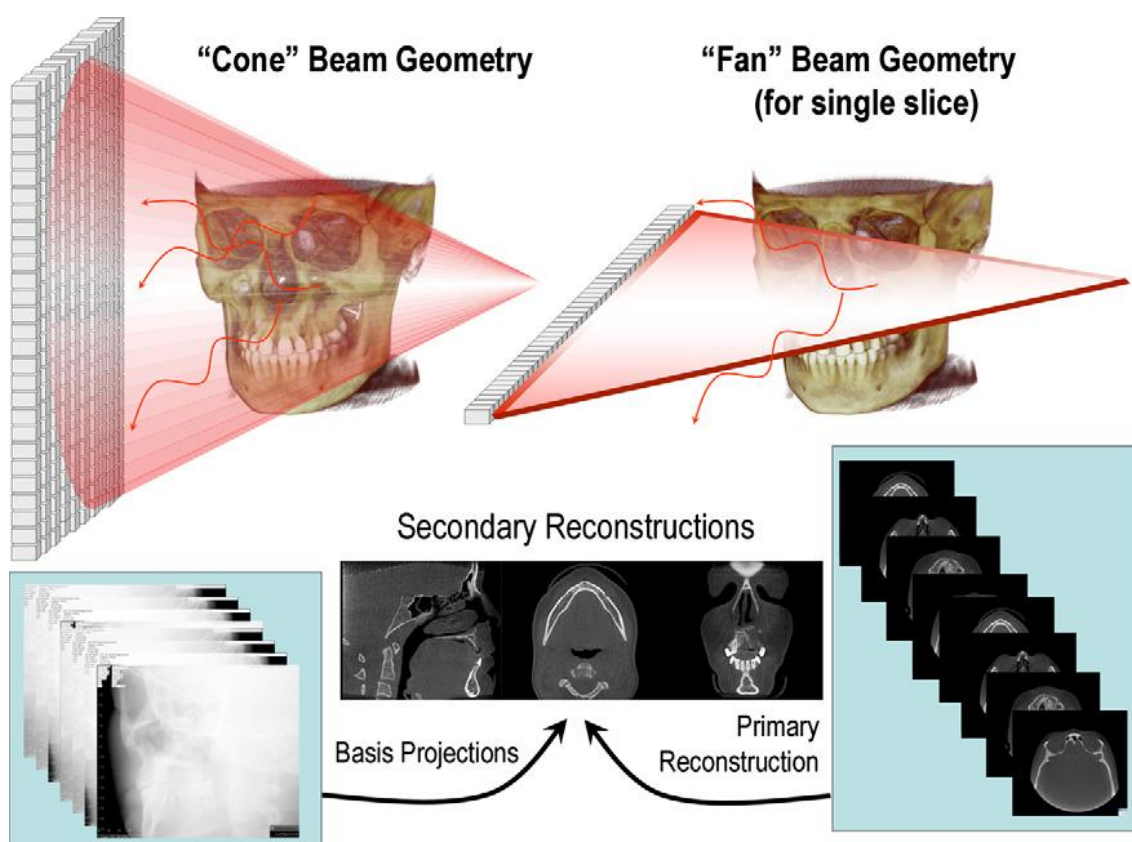


Figura 1 – Técnica de projecção do feixe de raio-x comparando a geometria de aquisição do feixe convencional ou em forma de leque (direita) e do feixe cônico (esquerda) e imagem resultante produzida. (Scarfe WC. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? The Dental Clinics of North America. 2008;52:24.)

Porque a TCFC também fornece imagens de estruturas altamente contrastantes, é adequada para a avaliação de estruturas calcificadas, tais como ossos e dentes. Associado à limitação do CDV, a TCFC é quase perfeitamente posicionada para a medicina dentária em geral e avaliação ortodôntica em

particular.<sup>(15)</sup> A utilização da TCFC na prática clínica, fornece um número de vantagens em comparação com TC convencional. Estas são como se segue:

#### Limitação do feixe de raios-X

A redução do tamanho da área irradiada, por colimação do feixe de raios-x primário para a área de interesse, minimiza a dose de radiação. A maioria das unidades de TCFC pode ser ajustada para fazer o varrimento de pequenas regiões para tarefas específicas de diagnóstico ou digitalizar todo o complexo craniofacial quando necessário. Um CDV óptimo pode ser seleccionado para cada doente com base na apresentação da doença e na região designada para ser trabalhada. Enquanto um ortodontista provavelmente deseja ver a imagem total do complexo maxilofacial, digitalizações regionais de alta resolução podem ser apropriadas para tarefas como avaliar a posição dos dentes impactados.<sup>(11)</sup>

Portanto, um óptimo campo de visão pode ser seleccionado para cada paciente, com base na apresentação da doença suspeita e da região de interesse. Embora não disponível em todos os sistemas TCFC, esta função é altamente desejável porque proporciona uma economia de dose, limitando o campo irradiado ao CDV.<sup>(2)</sup>

#### Precisão da Imagem

O conjunto de dados volumétricos compreende um bloco 3D de pequenas estruturas cuboides, conhecido como *voxels*, cada uma representando um grau específico de absorção de raios-x. O tamanho destes *voxels* determina a resolução da imagem. Em TC convencional, os *voxels* são anisotrópicos – em vez de cubos são paralelepípedos onde a maior dimensão do *voxel* é a espessura de corte axial. Embora as superfícies do *voxel* da TC possam ser tão pequenas como um quadrado de 0,625mm, a sua profundidade é geralmente na ordem dos 1-2mm. Todas as unidades de TCFC oferecem resoluções de *voxels* isotrópicos – que são iguais em todas as três dimensões. Isto produz resolução submilimétrica, variando de 0,4 mm, a tão reduzido como, 0,125 milímetro (fig. 2).<sup>(11)</sup>

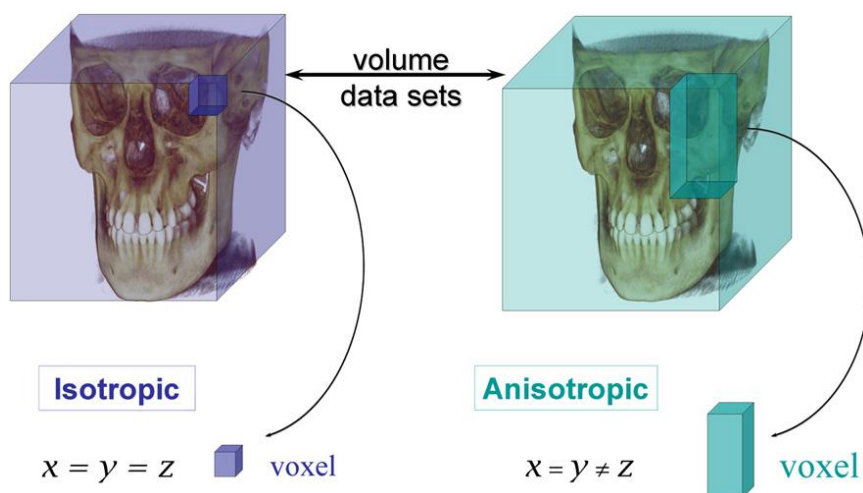


Figura 2 – Comparação de conjuntos dados de volume obtidos isotropicamente (esquerda) e anisotropicamente (direita). (Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. J Can Dent Assoc. 2006;72(1):75-80. Epub 2006/02/17)

#### Tempo de digitalização rápido

Porque a TCFC adquire todas as imagens de base em uma única rotação, o tempo de digitalização é rápido (10-70 segundos). Embora o tempo de digitalização mais rápido, geralmente signifique menos imagens base a partir das quais se reconstrói o conjunto de dados volumétricos, os artefactos de movimento devido aos movimentos do doente são reduzidos.<sup>(1)</sup> O tempo de computador para a reconstrução do conjunto de dados é, no entanto, substancialmente mais longo e varia dependendo do CDV, do número de imagens de base adquiridas, da resolução e do algoritmo de reconstrução, e pode variar desde cerca de 1 a 20 minutos.<sup>(2)</sup>

#### Dose de radiação

Relatórios publicados indicam que a dose efectiva<sup>(16)</sup> varia para diferentes dispositivos de TCFC, variando de 29-477 mSv, dependendo do tipo e modelo do equipamento de TCFC e do CDV selecionado. Comparando estas doses com múltiplos de uma dose única panorâmica ou equivalente dose de radiação de fundo, a TCFC fornece uma dose de radiação ao paciente equivalente de 5 a 74 vezes maior do que uma única radiografia panorâmica ou 3 a 48 dias de radiação de fundo. Modificações na posição do paciente (inclinação do queixo) e uso de proteção pessoal adicional (colar da tireoide) podem reduzir substancialmente a dose em até 40%. Comparando com a dose relatada para pacientes sujeitos a imagem maxilofacial por TC convencional, cerca de 2000 mSv, verifica-se que a TCFC proporciona reduções substanciais de dose de radiação de entre 98,5% e 76,2%.<sup>(2)</sup>

No entanto, quando comparamos o nível de radiação da TCFC a um protocolo ortodôntico que inclua uma radiografia panorâmica, telerradiografia, oclusais e *status* radiográfico em todos ou quase todos os pacientes, dependendo do sistema de feixe cônico, o nível de radiação pode ser maior (Tabela 1). Para alguns a questão da radiação não é um problema, para outros continua a ser um problema. Presentemente é uma área controversa.<sup>(17)</sup>

Tabela 1 – Interpretação de dosagens relativas (Scholz RP. The Radiology Decision. Seminars in Orthodontics. 2011;17:5)

<b>Exame</b>	<b>Dose Radiação Efectiva, <math>\mu\text{Sv}</math></b>	<b>Equivalente Radiação de Fundo Natural</b>
Panorâmica	3-11	Meio a um dia
Telerradiografia	5-7	Meio a um dia
Oclusal	5	Meio dia
<i>Bitewing</i>	1-4	Meio dia
<i>Status</i>	30-170	4-21 dias
TCFC	40-135	4-17 dias
Raio-X tórax	100	10-12 dias
Mamografia	700	88 dias
TC Médica	8000	1000 dias

#### Redução de artefactos da imagem

Com algoritmos de supressão de artefactos e um número cada vez maior de projecções, a experiência clínica mostrou que as imagens de TCFC podem resultar num baixo nível de artefactos de metal, particularmente em reconstruções secundárias concebidas para visualizar os dentes e os maxilares.<sup>(11)</sup>

Enquanto as aplicações clínicas da TCFC se têm expandido, a tecnologia actual da TCFC tem limitações relacionadas com a geometria de projecção de feixe cônico, sensibilidade do detector e resolução de contraste, que produz imagens que não têm a clareza e a utilidade das imagens de TC convencional. A clareza das imagens de TCFC é afectada por artefactos, ruído e contraste pobre de tecidos moles.

Uma vez que os artefactos podem interferir com o processo de diagnóstico realizado em conjuntos de dados tomográficos, cada utilizador deve estar ciente da sua presença.

Um artefacto é qualquer distorção ou erro na imagem que não tem relação com o assunto a ser estudado.<sup>(2)</sup>



Na literatura científica, os artefactos relevantes são:

#### Ruído

Apesar do ruído não ser comumente tratado como um artefacto, é um factor de deterioração da imagem. As máquinas de TCFC, por razões de redução de dose, são operadas em miliamperes, que são aproximadamente uma ordem de magnitude inferiores às das máquinas de TC convencionais. Assim, a relação sinal-ruído é muito mais baixa do que em CT convencionais. Em outras palavras, um alto nível de ruído é de esperar em imagens TCFC.<sup>(18)</sup>

#### Dispersão

O conceito básico por detrás do processo da imagem radiográfica, é que apenas os fotões que viajam directamente a partir da fonte para o detector são medidos. A dispersão, por outro lado, é causada por fotões que são difractados do seu caminho original após interacção com a matéria. A dispersão provoca artefactos em estrias. A dispersão é conhecida por reduzir ainda mais o contraste dos tecidos moles e também afectar os valores de densidade de todos os outros tecidos.<sup>(18)</sup>

#### Endurecimento do Feixe

Este artefacto resulta da natureza intrínseca policromática da projecção do feixe de raios-x, que resulta no que é conhecido como feixe de endurecimento, isto é, a sua energia média aumenta porque os fotões de menor energia são absorvidos em detrimento de fotões de energia mais altos. Este endurecimento do feixe resulta em dois tipos de artefacto: (1) distorção de estruturas metálicas devido à absorção diferencial, (2) estrias e faixas escuras que podem aparecer entre dois objetos densos. Porque o feixe de raios-x da TCFC é heterocromático e tem menor média de energia (pico) quilovolts comparado com a TC convencional, este artefacto é mais pronunciado em imagens TCFC. Na prática clínica, é aconselhável reduzir o campo de visão para evitar a digitalização de regiões sensíveis ao feixe de endurecimento (por exemplo, restaurações metálicas, implantes dentários), que pode ser alcançado através de colimação, modificação da posição do paciente, ou a separação dos arcos dentários.<sup>(18)</sup>

#### Artefactos Relacionados Com o Paciente

A movimentação do paciente pode causar erros de registo de dados, que aparece como falta de nitidez na imagem reconstruída. Esta falta de nitidez pode ser minimizada através de um apoio de cabeça e com um espaço de tempo de

digitalização tão curto quanto possível. A presença de restaurações dentárias no campo de visão pode levar a severos artefactos em estrias. Estes ocorrem devido ao extremo endurecimento do feixe ou escassez de fótons, devido à insuficiência de fótons que atingem o detector, resultando em riscas horizontais na imagem e reconstruções de projecção ruidosas. Este problema pode ser reduzido através da remoção de objectos metálicos, tais como jóias, antes da digitalização.<sup>(2)</sup>

#### Artefactos De Anel

Os Artefactos de anel são visíveis como anéis concêntricos centrados em torno da localização do eixo de rotação. Eles são mais proeminentes quando meios homogêneos são digitalizados. Aparentemente, são causados por defeitos ou não calibração de elementos do detector.<sup>(18)</sup>

#### Amostra Pequena

Este artefacto pode ocorrer quando são fornecidas para a reconstrução muito poucas projecções base. A amostra de dados reduzida leva a registo incorrecto, margens acentuadas e imagens ruidosas, onde finas estrias aparecem na imagem. Este efeito pode não degradar a imagem severamente, no entanto, quando a resolução de pormenor fino é importante, estes artefactos precisam de ser evitados tanto quanto possível, mantendo o número de imagens de projecção de base.<sup>(2)</sup>

#### Efeito Feixe Cônico

O efeito de feixe cônico é uma fonte potencial de artefactos, especialmente nas porções periféricas do volume de digitalização. Por causa da divergência do feixe de raios-x, uma vez que este gira em torno do paciente num plano horizontal, os dados de projecção são recolhidos por cada pixel do detector. A quantidade de dados corresponde à quantidade total de atenuação registada ao longo de um ângulo específico do feixe de projecção, enquanto o *scanner* completa um arco. A quantidade total de informações para as estruturas periféricas é reduzida porque os *pixels* do detector de linhas exteriores regista menos atenuação, enquanto mais informação é gravada para objetos projetados sobre os pixels do detector mais centrais, o que resulta em distorção da imagem, estrias e maior ruído periférico.<sup>(2)</sup>

#### Contraste Pobre de Tecidos Moles

Três factores limitam a resolução de contraste da TCFC. Embora a radiação dispersa contribua para o aumento do ruído de imagem, é também um factor significativo na redução do contraste do sistema de feixe cônico. Além disso, a

divergência do feixe de raios-x ao longo da área do detector provoca um Efeito *Heel* pronunciado. Este efeito produz uma grande variação, ou não uniformidade, do feixe incidente de raios-X no paciente e resultante não uniformidade da absorção, com uma maior relação sinal-ruído no lado do cátodo da imagem em relação ao lado do ânodo. Finalmente, numerosos artefactos inerentes ao detector plano afetam a sua linearidade ou a resposta à radiação x. Embora estas condições limitem a aplicação da imagem TCFC actual para a avaliação das estruturas ósseas, diversas técnicas e dispositivos estão sendo investigados para suprimir este efeito.<sup>(2)</sup>

O âmbito do potencial de aplicações clínicas para a imagiologia de feixe cónico é vasto e actualmente tem sido demonstrado ser particularmente útil nas seguintes áreas dentárias e maxilofaciais:

- Investigação de patologias da mandíbula incluindo quistos, tumores e lesões fibro-ósseas;
- Investigação dos seios paranasais;
- Investigação dos componentes ósseos da ATM;
- Avaliação pré e pós-implante;
- Avaliação Ortodôntica, tanto o desenvolvimento dental como relações de base esquelética;
- Avaliação dos dentes do siso, em particular sua relação com o canal dentário inferior;
- Avaliação de trauma facial.<sup>(19)</sup>

### **Aplicações clínicas de interesse ortodôntico**

Com a tecnologia da TCFC todas as radiografias possíveis podem ser tomadas em menos de 1 minuto. O ortodontista tem agora a qualidade do diagnóstico de radiografias periapicais, panorâmicas, cefalométricas e oclusais e da ATM à sua disposição, juntamente com vistas que não podem ser produzidas por máquinas radiográficas normais, tais como axiais e imagens cefalométricas distintas para os lados direito e esquerdo.<sup>(20)</sup>

### Dentes Inclusos

A incidência maxilar de caninos ectópicos ocorre em aproximadamente 3% da população. A distribuição e localização têm sido relatadas em 80% palatino e 20% vestibular. O método do deslocamento do tubo (também conhecido como Técnica de Paralaxe) tem sido o método tradicional de localização desses caninos e fornece uma

posição arbitrária e aproximação do nível de dificuldade para a gestão desse canino. Esta técnica de investigação utiliza duas radiografias convencionais e a localização do dente é identificada pelo movimento dos objectos, respectivamente à forma como a radiografia foi tirada. Além disso, a extensão da patologia causada pelo dente ectópico e as suas estruturas envolventes são também avaliadas por estas radiografias.<sup>(21)</sup> No entanto, os relatórios clínicos utilizando imagens tridimensionais tomográficas convencionais mostram que a incidência de reabsorção radicular dos dentes adjacentes é maior do que se pensava anteriormente.<sup>(22)</sup> Mah et al concluíram que o uso da tecnologia TCFC pode adicionar valor para o tratamento de pacientes com tais anomalias.<sup>(23)</sup> Os autores utilizaram a tecnologia para localizar precisamente os caninos ectópicos e conceber estratégias de tratamento que permitiram cirurgia minimamente invasiva e a elaboração de estratégias ortodônticas eficazes.

A imagiologia TCFC é exata para determinar não só a relação vestibular / lingual, mas também uma angulação mais exata do canino impactado. Estas imagens 3D são benéficas para determinar a proximidade ao incisivo adjacente e a raízes pré-molares, que pode ser inestimável para determinar a melhor abordagem cirúrgica na exposição coronária e colagem do auxiliar ortodôntico de tracção e do vector de força que deve ser usado, para mover o dente dentro do arco com uma possibilidade menor de reabsorção radicular adjacente.

Uma radiografia padrão periapical de um canino impactado maxilar esquerdo (dente 23) é mostrada na fig. 3A. Este filme simples dá informações limitadas sobre a posição do canino ou possível reabsorção radicular adjacente. A localização palatina do canino é óbvia na visão axial do exame de TCFC usando Dolphin 3D (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, Califórnia), na fig. 3B. Uma vista da proximidade do canino ao incisivo central (dente 21) é observada na imagem sagital de TCFC, com os tecidos duros transparentes (fig. 3C). Os dois dentes não estão em contacto um com o outro e nenhuma reabsorção é evidente no incisivo central. Um tipo diferente de imagem utilizando o mesmo *software* Dolphin 3D e o conjunto de dados de TCFC é observado na fig. 3D. Esta visão mostra o relacionamento muito mais próximo do mesmo canino com o incisivo lateral adjacente (dente 22). Nenhuma reabsorção radicular é evidente nas imagens. A exposição coronária, colagem dos elementos auxiliares ortodônticos, e a direção do vector de força para o dente 23 é melhorada significativamente pelo conhecimento fornecido ao cirurgião oral e ao ortodontista.<sup>(23)</sup>

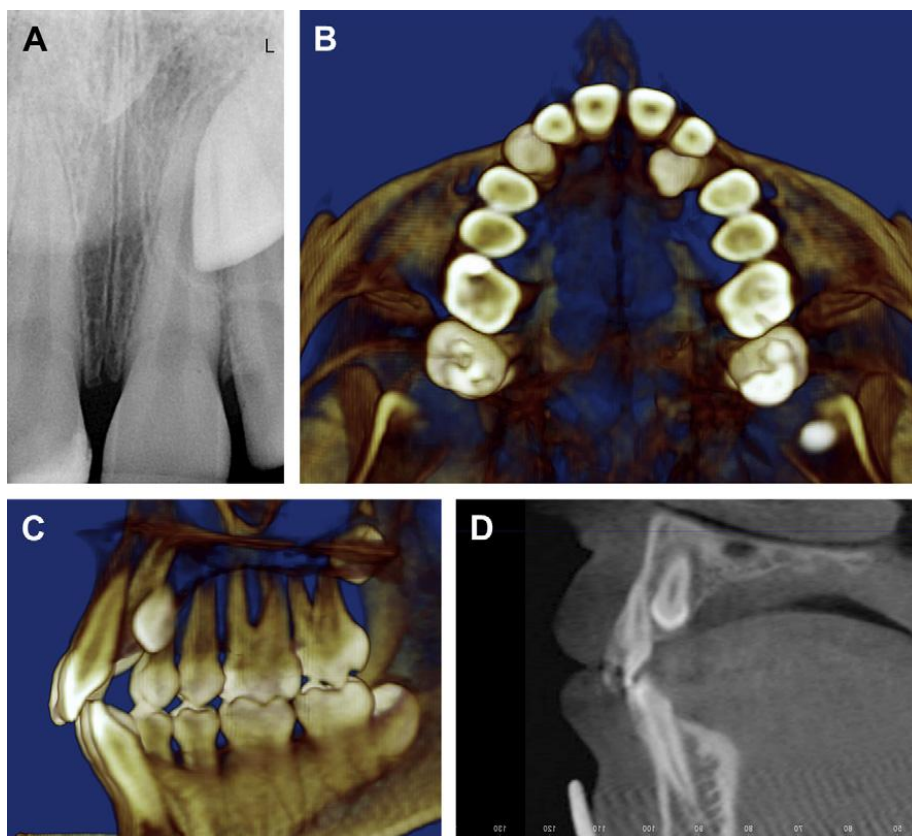


Figura 3 – (A) Radiografia periapical mostrando um dente 23 impactado. (B) Imagem axial de TCFC mostrando a posição palatina do dente 23. (C) Imagem de TCFC da relação entre os dentes 21 e 23. (D) Imagem de TCFC sagital demonstrando a proximidade do dente 21 à raiz do 22. (Hechler SL. Cone-beam CT: applications in orthodontics. Dental clinics of North America. 2008;52(4):809-23, vii. Epub 2008/09/23)

### Outros Dentes Impactados

Vários outros dentes ficam impactados com menos frequência do que os caninos, mas ainda representam um desafio ortodôntico significativo. Incisivos centrais superiores podem estar impactados e deslocados subseqüente à presença de um mesiodente. A Fig.4 mostra uma imagem de TCFC de um dente 21 impactado subseqüente a um mesiodente. Nunca antes fomos capazes de determinar uma posição tão exata destes incisivos centrais deslocadas e impactados. A posição destes dentes e a morfologia da raiz e da coroa podem ser avaliadas. Esse conhecimento pode ajudar a determinar a conveniência de manter e colocar tração nestes dentes impactados ou indicar a necessidade de extração, por dilaceração corono-radicular que inviabilize uma colocação correcta do dente na arcada. Muitas vezes, o ortodontista é o primeiro a reconhecer a presença de dentes supranumerários ou odontomas no jovem doente. Radiografias bidimensionais, especialmente panorâmicas, podem tornar difícil o diagnóstico definitivo de um dente supranumerário

em início de formação. A imagem de TCFC permite uma visão mais rigorosa para ajudar a determinar a presença e a posição destas surpresas indesejadas.



Fig. 4 – Imagem de TCFC mostrando um mesiodens (seta), que se desviou do incisivo central superior esquerdo para a posição horizontal. . (Hechler SL. Cone-beam CT: applications in orthodontics. Dental clinics of North America. 2008;52(4):809-23, vii. Epub 2008/09/23)

Segundos molares, podem também tornar-se impactados e mal posicionados, o que pode ser causado por terceiros molares adjacentes ectopicamente posicionados ou por folículos de segundos molares que estão inexplicavelmente inclinados em uma orientação oblíqua ou horizontal. Se estes terceiros molares que estão a interferir não são diagnosticados e devidamente extraídos, pode promover demora temporária ou permanente na erupção dos segundos molares. O diagnóstico precoce destas situações pode ser a chave para uma metodologia terapêutica eficaz, que permite o melhor prognóstico no trajecto de erupção dos segundos molares.

Por vezes, o ortodontista deseja reposicionar os dentes anteriores superiores ligeiramente em uma primeira fase de tratamento. Na visão dos registos, um mesiodente pode ser um achado inesperado. Se o cirurgião oral quer deixar este mesiodente e adiar a sua remoção até uma data posterior, a posição do mesiodente pode ser importante. Adiar o movimento do dente deve ser considerado se o mesiodente está em estreita proximidade com as raízes dos incisivos. O ortodontista pode exercer movimento limitado sem medo significativo de complicações se o mesiodente em questão está a alguma distância das raízes. Usando estas imagens, o ortodontista e o cirurgião oral, podem combinar os seus conhecimentos para estabelecer um plano de tratamento que direcciona a atenção ao momento da remoção do mesiodente.<sup>(24)</sup>

### Reabsorção Radicular

A maioria das reabsorções radiculares envolvidas no tratamento ortodôntico podem ser facilmente visualizados em radiografias periapicais. No entanto, as reabsorções que ocorrem do lado vestibular ou lingual do dente, são difíceis de determinar e quantificar com imagem 2D. A digitalização com TCFC permite uma melhor visualização da reabsorção em qualquer uma destas superfícies. No entanto, a relação mais importante da imagem de TCFC com a reabsorção radicular pode ser a de determinar a posição de erupção do canino na maxila e a sua relação possível com futuras reabsorções espontâneas dos incisivos central e lateral adjacentes. A remoção do canino decíduo adjacente ao canino permanente impactado foi demonstrado ser eficaz se for efectuada precocemente.<sup>(24)</sup>

### Fratura de Raiz

Fraturas de raízes dos dentes geralmente ocorrem a partir de uma lesão traumática. O grau de mobilidade da coroa relaciona-se com o nível da fractura: quanto mais perto a fractura está do ápice, mais estável está o dente. Na maioria dos casos, fracturas radiculares podem ser detectadas em radiografias periapicais com ângulos de projeção variados. A fractura da raiz está geralmente associada a uma perda temporária de sensibilidade. Durante o movimento ortodôntico do dente, mobilidade dentária pode ser exibida e o doente pode sentir dor. Portanto, os sinais e sintomas de uma fractura da raiz podem ser mal interpretados como uma consequência natural do movimento dentário ortodôntico.<sup>(25)</sup>

As radiografias periapicais podem ser difíceis de tirar imediatamente após o trauma por causa do inchaço, sangramento e desconforto experimentado por estes doentes. Pelo contrário, as digitalizações com TCFC podem ser adquiridas de forma rápida e os dentes de interesse podem ser vistos de diferentes ângulos. A capacidade de visualizar o corte de um único dente de interesse nos três planos do espaço torna a determinação de presença ou não de fractura muito mais fácil. A imagem de TCFC de um jovem, que se pensava inicialmente ter sofrido fratura só do dente 11, ao visualizar a radiografia periapical pós-traumática apresentada na fig. 5. Uma nova revisão da imagem de TCFC também indicou uma fratura oblíqua do dente 21. Não só a presença de fraturas radiculares, mas também o grau de deslocamento podem ser prontamente avaliados. A tentativa de movimento de dentes com fraturas radiculares pós-traumáticas, não diagnosticadas, pode complicar muito o sucesso do ortodontista em lidar com estes casos. Mover as coroas, deixando para trás as raízes nunca é o resultado desejado do tratamento ortodôntico.<sup>(24)</sup>

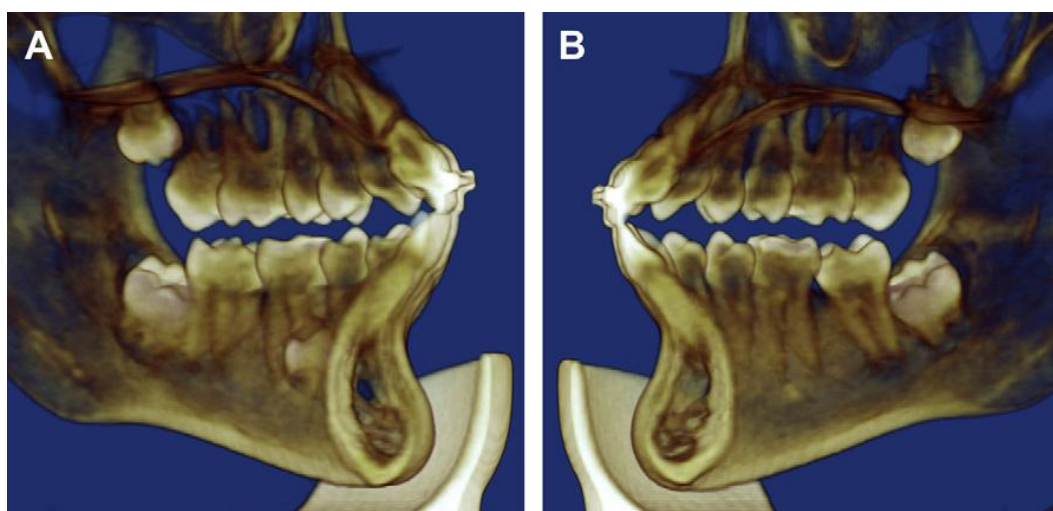


Fig. 5 – (A) Imagem sagital TCFC mostrando uma fractura radicular horizontal do incisivo central superior direito (dente 11). (B) Imagem do dente 21, que mostra uma fractura oblíqua da raiz. (Kau CH, Richmond S, Palomo JM, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. Journal of orthodontics. 2005;32(4):282-93. Epub 2005/12/08)

#### Avaliação da Assimetria

Pode ser difícil avaliar a assimetria óssea de pacientes de ortodontia, utilizando radiografias cefalométricas e panorâmicas. A sobreposição de estruturas, posicionamento do paciente e distorção podem ser frustrantes e pouco confiáveis. Por exemplo, a comparação do côndilo e comprimentos do ramo podem ser importantes para a oclusão de um paciente ortodôntico. Medições directas dessas estruturas podem ser feitas com imagem de TCFC, comparando os lados direito e esquerdo. A avaliação da assimetria mandibular, por meio de imagiologia de TCFC elimina os problemas de posicionamento. A imagiologia de TCFC pode fornecer medições da anatomia mandibular através reconstruções panorâmicas 2D ou todo o pacote de dados 3D.<sup>(26)</sup> As empresas de *software* estão a adicionar a capacidade de extrair a mandíbula ou maxila a partir da imagem de TCFC e avaliar o osso independente das outras estruturas. Além disso, a natureza unilateral de mordida cruzada posterior pode ser diagnosticada mais especificamente. A determinação da presença de uma verdadeira mordida cruzada unilateral contra uma subsequente a um deslocamento da mandíbula em oclusão centrica pode ser melhorada. A determinação de uma maxila ou mandíbula assimétrica pode ser conseguida mais facilmente visualizando e medindo os ossos em 3D. O ortodontista pode ver estas estruturas em angulações



diferentes, utilizando os dados obtidos em apenas um varrimento em vez de usar vários imagens 2D radiográficas.<sup>(24)</sup>

### Fenda Labial e Palatina (FLP)

Estimativas das dimensões de defeitos ósseos e a relação espacial do defeito a outras importantes estruturas anatómicas, são difíceis de obter em imagens 2D. A TCFC pode fornecer as relações anatómicas exatas da fissura e espessura óssea ao redor dos dentes existentes na proximidade da fissura ou fissuras. Esta informação é valiosa para os procedimentos de enxerto planejados e para o movimento de dentes possível na dentadura existente.<sup>(24)</sup>

A TCFC oferece muitas vantagens únicas para imagens de pacientes com FLP. O tempo de aquisição rápido variando de 5,7 a 40 segundos é uma enorme vantagem para os doentes jovens e para doentes que têm dificuldade em permanecer parados. A dose de radiação muito menor para o doente é favorável para as sessões de imagem subsequentes, o que diminui a dose de radiação total acumulada em comparação com digitalizações em série da TC médica. A TC médica tem sido utilizada para visualização de fendas palatinas e outras anomalias mas há uma preocupação com a exposição única e cumulativa para os doentes jovens. A recente melhoria nas funcionalidades de resolução da TCFC, contraste de tecidos moles e algoritmos de reconstrução especializados para a região da cabeça e do pescoço, juntamente com uma exposição à radiação significativamente reduzida, torna-a uma modalidade de imagem de escolha preferencial para doentes FLP. Além disso, a qualidade da imagem é geralmente superior à do CT médico permitindo a visualização detalhada da região da fenda. Doentes com FLP muitas vezes têm dentes supranumerários e dentes malformados na maxila anterior. Esta região é muito difícil de visualizar com os tradicionais filmes dentários.<sup>(27)</sup>

### Vias Aéreas

Utilizando telerradiografias laterais, o ortodontista pode avaliar as vias respiratórias de uma forma 2D. Muitos estudos têm sido realizados e várias análises estabelecida desta forma. Todas estas avaliações, no entanto, são limitadas pelo facto de que estamos a olhar para uma projeção plana vista num plano sagital ou coronal. A visualização em 3D das vias aéreas pode estar prontamente disponível com imagem de TCFC. Usando imagens de TCFC filtradas para mostrar as vias aéreas, é possível quantificar o volume da via aérea e seios. A localização mais constringida da via aérea pode ser encontrada, e a vista axial desta região pode ser quantificada (Fig. 6).

Ortodontistas que estão particularmente interessados em estudar as vias aéreas do doente, certamente irão continuar a reforçar as análises que estão disponíveis usando as informações em 3D.<sup>(24)</sup>

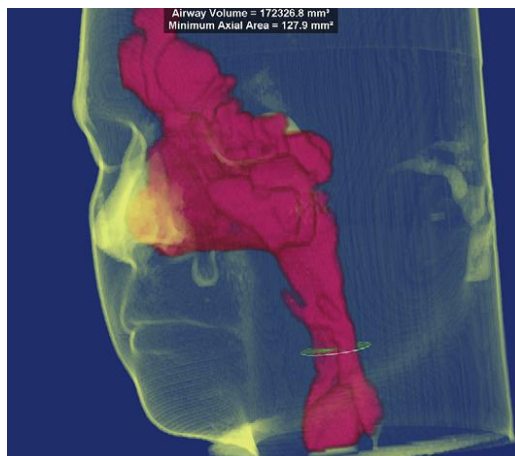


Fig. 6 - Visualização TCFC das vias aéreas exibindo o volume da via aérea e seios. A região mais constringida foi localizada e a área axial mínima calculada. (Kau CH, Richmond S, Palomo JM, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *Journal of orthodontics*. 2005;32(4):282-93. Epub 2005/12/08)

A relação causal entre os transtornos das vias aéreas e presença de maloclusão foi descrito já em 1935. Essa relação é uma causa comum de má oclusão e leva ao aparecimento clássico de fácies adenóide. Talvez como resultado da falta de instrumentos de diagnóstico nesta área, o foco na avaliação das vias aéreas do doente parece ter diminuído até à chegada da TCFC que ajudou na avaliação das vias aéreas. Os resultados de um estudo retrospectivo de 500 pacientes ortodônticos mostraram que 18,2 % dos pacientes tinham problemas relacionados com as vias aéreas.<sup>(28)</sup> As telerradiografias têm sido utilizadas para analisar as vias aéreas. Apesar do número de estudos nesta área, a força geral desses estudos é fraca, devido ao pequeno tamanho das amostras, a falta de controlo dos participantes, posições de cabeça inconsistentes e desenhos de estudo pobres. Como resultado, não existem medidas eficazes anatómicas de telerradiografias de perfil que estejam correlacionadas com apneia do sono. Em contraste, o uso de imagem 3D (ressonância magnética [MRI]) revelou achados anatômicos mais específicos em pacientes com apneia.<sup>(29)</sup>

No âmbito dos dados de TCFC, existe distinção entre o tecido mole da faringe e o espaço aéreo. Esta distinção permite a segmentação relativamente simples das vias respiratórias na execução de análise volumétrica.<sup>(29)</sup>

Os doentes adultos que se apresentam para tratamento ortodôntico podem sofrer de ronco e apneia do sono. A avaliação da permeabilidade ou obstrução das vias aéreas é muitas vezes um factor para decidir entre terapia ortodôntica e ortognática. As anomalias mais comuns ósseas em doentes com apneia obstrutiva do sono de acordo com a Schwab<sup>(30)</sup> são (1) deficiência mandibular e maxilar, (2) dimensão reduzida do espaço aéreo posterior (medida na base da língua), (3) língua alargada, (4) palato mole alargado, e osso hioide (5) caudalmente deslocado. A TCFC permite ao médico obter visualização ântero-posterior e lateral desses parâmetros, abrangendo as vias aéreas superiores, palato mole, língua e estruturas anatômicas da hipofaringe.<sup>(27)</sup>

#### Alterações Degenerativas da Articulação Temporomandibular

A radiografia panorâmica é um instrumento inicial aceitável para a avaliação das estruturas ósseas da articulação temporomandibular (ATM). Mas por causa das conhecidas limitações da radiografia panorâmica, a ausência de achados radiográficos num paciente sintomático não exclui as alterações ósseas não visíveis, e para além disso, os achados radiológicos, se presentes, podem não ser revelados na íntegra.<sup>(24)</sup>

A tomografia convencional tem sido amplamente utilizada para a avaliação dos tecidos duros da ATM, no entanto, a sensibilidade da técnica e a duração dos exames tornou-a uma ferramenta menos atraente de diagnóstico para o médico dentista. As imagens de TCFC não só podem ser tomadas no consultório, mas também vistas de muitos ângulos diferentes e de um número quase infinito de fatias. As imagens de TCFC da ATM têm demonstrado fornecer uma maior fiabilidade e precisão do que tomográfica ou vistas panorâmicas na detecção de erosões condilares.<sup>(31)</sup> Com a disfunção temporomandibular continuando a ser uma patologia que assombra alguns casos ortodônticos, é importante visualizar a anatomia das articulações desses doentes cuidadosamente antes, durante e após o tratamento ortodôntico. O *follow-up* de imagens de TCFC feitas ao longo de um período de tempo prolongado pode ser importante para o ortodontista avaliar o processo de quaisquer alterações degenerativas de que possa suspeitar. Soluções de *software* actuais permitem a visualização de elementos ósseos da ATM isolados (segmentado) de outras estruturas vizinhas.<sup>(24)</sup>

#### Dispositivo de Ancoragem Temporária

O dispositivo de ancoragem temporária (DAT) ganhou popularidade nos últimos tempos para uso no tratamento ortodôntico. Muitos movimentos dentários que eram

mecanicamente difíceis de realizar, no passado, tornaram-se possíveis com a utilização destes dispositivos, nomeadamente os mini-implantes. A colocação de DATs pelo ortodontista é cada vez mais comum, embora os DATs continuem a ser colocados pelo cirurgião oral. Em qualquer caso, o conhecimento do posicionamento da raiz pode aumentar consideravelmente a possibilidade para a colocação correcta e sucesso de DATs.<sup>(32)</sup> As Imagens de TCFC permitem visões mais precisas e confiáveis das relações inter-radulares do que as radiografias panorâmicas.<sup>(33)</sup> Estas imagens permitem não só a colocação mais bem sucedida, mas também um melhor planeamento de onde estes DATs devem ser colocados de modo a que os vectores de força adequados possam ser usados durante o tratamento ortodôntico. Dados de TCFC podem ser usados para construir guias de colocação para o posicionamento dos mini-implantes entre as raízes de dentes adjacentes em sítios anatomicamente difíceis.<sup>(34)</sup>

A qualidade do osso nos locais de colocação propostos pode ser avaliada antes da inserção dos mini-implantes. Quantificar a espessura do osso palatino pode auxiliar na determinação do tamanho e localização de eventuais DATs para o palato. Imagens de TCFC têm-se mostrado uma maneira precisa de avaliar o volume de osso presente no local proposto.<sup>(35)</sup>

### Desenvolvimento Dentário

O desenvolvimento da dentição primária e permanente é um dos processos mais complicados no desenvolvimento humano. A avaliação global deste processo 3D apresenta um desafio para os clínicos que utilizam imagem convencional, particularmente se houver desvios no número de dentes, formas, sequência e posições. A complexidade do desenvolvimento dentário e as suas variações são na sua maioria perdidos num registo 2D. A TCFC oferece uma visão não distorcida da dentição, que mostra os detalhes de morfologia dentária individual, incluindo características intrincadas das raízes dos dentes, dentes ausente, supranumerários e dentes anómalos, bem como a orientação 3D espacial dos dentes e raízes. A imagem TCFC coloca o médico dentista em uma posição muito melhor do que com métodos convencionais de imagem, para avaliar os padrões de erupção e suas variações. As informações apresentadas podem ajudar os médicos dentistas a estudar o processo de desenvolvimento dentário e planeamento individualizado para orientação da erupção, extrações seletivas e abordagens biomecânicas personalizadas.<sup>(29)</sup>

### Limites da Movimentação Dentária

A natureza multidimensional da imagem volumétrica permite a visualização global da dentição e reconhecimento de alguns dos limites dos movimentos dos dentes. Muitas situações não podem ser visualizadas por meio de registos ortodônticos tradicionais. Enostose, osteíte condensante, ilha óssea densa e osteopetrose apical focal são lesões radiopacas observadas perto dos ápices dos dentes, e estas parecem não ter factores causais. Uma elevada percentagem (88 a 100 por cento) dessas lesões ocorrem na mandíbula, e as posições mais comuns extra orais são a pélvis e ossos longos. Estas lesões não podem ser visualizadas facilmente em radiografias, e elas podem impedir o movimento dos dentes. Nestas situações, o estabelecimento de um torque adequado para contornar estas lesões pode não ser totalmente previsto e o movimento dentário adjacente à lesão densa pode resultar em reabsorção radicular externa.<sup>(29)</sup>

### Análise Facial

Uma fotografia convencional facial é uma representação simples 2D que não está correlacionada com o esqueleto de suporte. Novos recursos de *software* permitem que fotos faciais sejam transformadas em um conjunto de dados DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) usando algoritmos de mapeamento nodais, e o volume 3D pode gerar uma projeção simulada 3D do rosto em qualquer vista, frontal, lateral, ou definido pelo usuário. Ao alterar a translucidez de imagem, pode-se determinar a relação específica dos tecidos moles com o esqueleto (Fig.7). Isto tem implicações significativas no planeamento de movimentos dentários, cirurgia ortognátia, ou outras terapias craniofaciais que podem alterar a aparência facial.

A este respeito, deve-se estar ciente de que a aparência de tecidos moles pode variar um pouco dependendo da arquitetura do dispositivo TCFC (isto é, a captura de imagem do paciente em posição supina em comparação com as unidades que possuem o paciente sentado ou em pé). Além disso, o uso de certos dispositivos de estabilização da cabeça pode distorcer os tecidos moles da face. Encostos de cabeça profundos embutidos e cintas circunferenciais da cabeça parecem funcionar bem em ortodontia.<sup>(27)</sup>

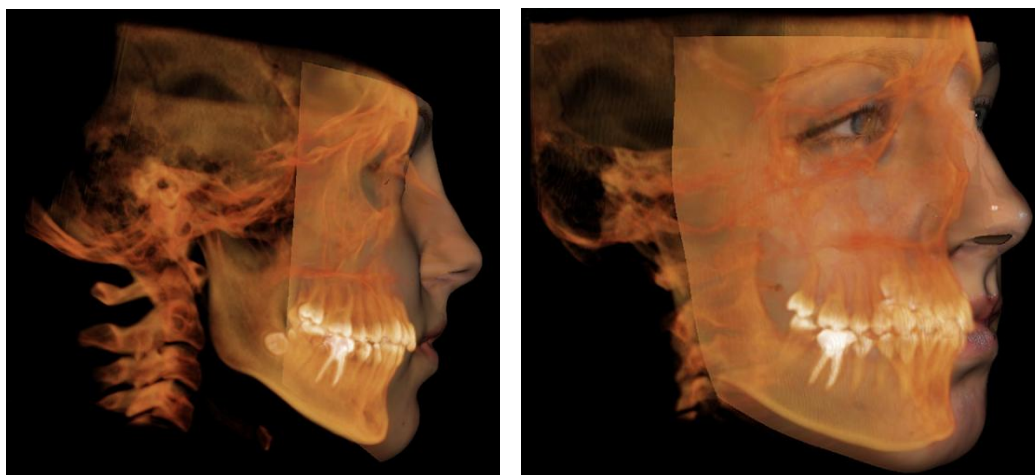


Fig. 7 - Fotos faciais sobrepostas sobre uma renderização volumétrica 3D do esqueleto. Mapeamento nodal e estereofotogrametria permitem que as fotos sejam visualizadas e manipuladas em 3D. (Mah J, Enciso R, Jorgensen M. Management of impacted cuspids using 3-D volumetric imaging. Journal of the California Dental Association. 2003;31(11):835-41. Epub 2003/12/31.)

#### Localização das Estruturas Anatômicas

Estruturas anatômicas, como o nervo alveolar inferior, seio maxilar, *foramen* do mento, e raízes adjacentes são facilmente visíveis através de TCFC.<sup>(36)</sup> A imagem TCFC também permite a medição precisa da distância, área e volume. Usando estes recursos, os médicos podem sentir-se confiantes no plano de tratamento para extracções, elevação do seio, elevação das cristas alveolares com enxerto ósseo, e colocações de implantes.<sup>(10)</sup>

#### TCFC vs Ortopantomografia Convencional

A ortopantomografia convencional (OPT) é afetada por erros de distorção e ampliação, que são causados pela distância do objecto a ser examinado (isto é, os dentes e as estruturas esqueléticas) à película e à fonte de raios-x. Portanto, os erros irão variar de acordo com o tamanho e forma na mandíbula e também irão ser influenciados por assimetrias nos arcos dentários e da mandíbula. As ortopantomografias geradas por TCFC são produzidas, traçando os contornos em imagens axiais. As imagens geradas não apresentam erros de distorção ou ampliação. Uma vantagem adicional é que elas não apresentam sobreposição do lado contralateral ou coluna vertebral. Além disso, é possível gerar múltiplas ortopantomografias a partir de conjuntos de dados de TCFC que, por exemplo, pode ser relevante em casos de grande *overjet* ou assimetrias entre os arcos maxilar e mandibular. É possível gerar duas ortopantomografias, uma para cada arco. A partir

de ortopantomografias convencionais, pode ser difícil ou mesmo impossível determinar patologias relacionadas com os côndilos. Portanto, se há suspeita de patologia na área condilar, exames radiológicos (tomografias) extra podem ser pedidos. Nesse caso, a dose de radiação seria aumentada, mesmo superior à de uma digitalização TCFC, este último permitindo uma análise mais detalhada.<sup>(37)</sup>

### Cefalometria

Com o advento das primeiras telerradiografias padronizadas obtidas com o auxílio do cefalostato, desenvolvido pela Broadbent e Hofrath a partir de 1931, tornou-se possível identificar pontos de referência anteriormente inacessíveis nos seres vivos e crânio seco. Desde então, o exame cefalométrico tornou-se essencial para os ortodontistas, que agora podem contar com um guia mais confiável para diagnosticar, planejar e prever casos de má oclusão.<sup>(38)</sup>

A análise cefalométrica é uma das principais ferramentas na realização de um diagnóstico preciso em ortodontia, mesmo que ela apresente uma série de limitações, dado que ela reduz a duas dimensões um objeto tridimensional (3D), projetando todas as estruturas em um plano único, criando assim dificuldades quando se trata de compreender e realizar uma análise adequada. Além disso, a análise cefalométrica tem outras limitações técnicas, como as imagens obtidas poderem ser distorcidas devido a erros associados com o aparelho de raios-X ou erros no posicionamento da cabeça do paciente.<sup>(39)</sup>

Por conseguinte, as telerradiografias têm limitações inerentes como resultado da distorção e ampliação diferencial do complexo craniofacial. Isso pode levar a erros de identificação e reduzida precisão das medições.<sup>(40)</sup>

Apesar desses erros potenciais, radiografias cefalométricas ainda estão em uso generalizado.<sup>(38)</sup>

A TCFC adquire a cabeça do paciente como um volume 3D, o que pode ser usado para criar diferentes reconstruções 2D e 3D. A precisão geométrica da TCFC está bem estabelecida na literatura. Reconstruções virtuais de telerradiografias laterais 2D a partir de TCFC foram observadas comparáveis em qualidade de imagem a telerradiografias convencionais 2D.<sup>(41)</sup>

Dan Grauer et al<sup>(42)</sup> num estudo in vivo concluíram que, não há erro sistemático quando comparamos coordenadas médias de pontos de referência homólogos em telerradiografias convencionais digitais e telerradiografias geradas por TCFC. Zamora et al<sup>(39)</sup> avaliaram se os valores das diferentes medidas tomadas em reconstruções tridimensionais (3D) de TCFC são comparáveis com as tomadas de imagens

bidimensionais (2D) de telerradiografias laterais convencionais. Não encontraram diferenças estatisticamente significativas entre as medidas angulares e lineares tiradas com telerradiografias laterais convencionais e as tiradas com TCFC. Vlijmen et al<sup>(43)</sup> avaliaram se as medições em radiografias cefalométricas convencionais são comparáveis a medidas de tomografia TCFC construídas, tomadas a partir de crânios humanos. Concluíram que medições em telerradiografias construídas de TCFC são comparáveis às telerradiografias convencionais, e são, portanto, adequado para a investigação longitudinal.

Telerradiografias geradas por TCFC podem ser usadas com sucesso para realizar análises cefalométricas.<sup>(44)</sup>

Kumar et al<sup>(40)</sup> compararam as medidas de telerradiografias laterais obtidas por TCFC usando projecções ortogonais e em perspectiva com as de telerradiografias convencionais. Concluíram que ambos os tipos de projecções são semelhantes às telerradiografias convencionais. Nos casos em que pontos de referência, tais como Pórrion são visualmente ambíguos e é necessário o uso de pontos de referência, tais como as hastes da orelha, as imagens TCFC cefalométricas podem fornecer uma delimitação mais exacta do ponto de referência, resultando em medições diferentes das obtidas a partir de telerradiografias convencionais.

A reconstrução da imagem cefalométrica de TCFC pode ser recomendada como uma alternativa para telerradiografias convencionais quando um volume de TCFC já está disponível, reduzindo assim a necessidade de exposição de raios-X e despesa de exame adicionais.<sup>(40)</sup>

Para a análise cefalométrica em 3D, a precisão das medidas lineares realizadas por TCFC em modelos de superfície 3D baseados em amostras de crânios secos foi recentemente relatado que está entre 0,5-2 mm, quando nenhum marcador de referência foi utilizado.<sup>(45, 46)</sup> Quando marcadores de referência metálicos foram adicionados, a precisão foi relatada ser inferior a 0,5 milímetros.<sup>(47)</sup> No entanto, utilizando marcadores metálicos em grande parte invalida o procedimento de medição uma vez que não simula a situação clínica in vivo e a posição dos pontos de referência é, sem dúvida facilmente identificável nas radiografias.





Fig. 8 – (A) Telerradiografia de perfil. (B) Imagem obtida através de TCFC, em norma lateral, em 2D. (C) Imagem obtida através de TCFC em norma lateral, em 3D. (Couceiro CP. 2D / 3D Cone-Beam CT images or conventional radiography: Which is more reliable? Dental Press J Orthod. 2010;15(5):8)

### **Quando devemos requisitar uma tomografia computadorizada de feixe cônico em Ortodontia?**

Crítérios para solicitação de TCFC estão ainda a ser estabelecidos. Diretrizes da Sociedade Britânica de Ortodontia<sup>(48)</sup> e da Academia Europeia de Odontologia e Radiologia Maxilofacial<sup>(49)</sup> recomendam que a TCFC deve ser usada com cautela, sem repetição ou rotina, mas como uma ferramenta complementar para os exames convencionais.

As últimas *guidelines* recomendam o uso de TCFC em casos selecionados em que a radiografia convencional não pode fornecer informações de diagnóstico satisfatório. Estes casos incluem pacientes com fenda palatina, avaliação da posição de dente incluso, identificação de reabsorção radicular causada por dentes inclusos e planeamento de cirurgia ortognática.<sup>(48)</sup> Além disso, a Associação Americana de Ortodontistas aprovou recentemente uma resolução afirmando que, enquanto a organização reconhece que "pode haver situações clínicas onde uma radiografia TCFC pode ser de valor, o uso de tal tecnologia não é rotineiramente necessário para radiografia ortodôntica" (Associação Americana de Ortodontistas resolução 26-10H, 2010). Este sentimento é suportado pelo estado actual dos conhecimentos científicos citados neste manuscrito, que recomenda imagem TCFC de casos específicos em que o seu uso seja justificado para melhorar o diagnóstico e planeamento de tratamento e no qual os benefícios ultrapassem os riscos.<sup>(9)</sup>

### **Implicações médico-legais**

A incidência de achados ocasionais em imagens TCFC não relacionados com o propósito original da digitalização foi relatada ser tão elevada quanto 25% em um grupo de 500 consecutivas digitalizações individuais.<sup>(28)</sup> Estes incluem achados das vias aéreas, anormalidades da ATM e lesões endodônticas. Uma questão adicional que requer um estudo mais aprofundado, é a capacidade de o ortodontista para identificar achados relevantes não ortodônticos e fazer encaminhamentos adequados quando necessário. Falta de reconhecimento de lesões acessórias pode ter importantes implicações médico-legais. Em contraste, o potencial para o diagnóstico inadvertido de falsos positivos pelo olho não treinado, tem o potencial de adicionar custos desnecessários aos cuidados de saúde, bem como causar ansiedade desnecessária para o doente e para a sua família. Num estudo recente, foi mostrado que ortodontistas e residentes ortodônticos percam aproximadamente 67% das lesões e têm uma taxa de 50% de falsos-positivos em imagens de TCFC. Após uma sessão de treino 3 h por um radiologista oro-maxilofacial, a taxa de erro nestas duas medidas caiu para 33% e 30%, respectivamente. Esta taxa de erro é relativamente elevada em comparação com dados na detecção de lesões por especialistas de radiologia treinados. Estes achados sugerem que as TCFC tomadas para fins ortodônticos, devem ser lidas por um radiologista oro-maxilofacial, e que o treino em visualizar a anatomia normal e anormal em imagens de TCFC proporcionaria um mecanismo adicional valioso para os ortodontistas em identificar os componentes mais importantes para o seu diagnóstico.<sup>(9)</sup>

### **Evidência Científica**

van Vlijmen et al<sup>(50)</sup> realizaram uma revisão sistemática sobre a aplicação de Tomografia Computadorizada de Feixe cônico em Ortodontia e avaliaram o nível de evidência para determinar se o uso de TCFC é justificado em ortodontia.

Os autores não encontraram nenhuma evidência de elevada qualidade sobre os benefícios do uso CBCT em ortodontia. Evidência limitada mostra que a TCFC oferece maior potencial de diagnóstico, leva a um melhor planeamento de tratamento, ou conduz a melhor resultado de tratamento do que os métodos de imagem convencionais. Apenas os resultados de estudos sobre diagnóstico das vias aéreas, fornecem dados científicos que sugerem que o uso TCFC tem um valor acrescentado. A exposição à radiação adicional deve ser ponderada contra os possíveis benefícios da TCFC, que não foram apoiados na literatura.

## Modelos Digitais

Existem muitas vantagens de usar modelos digitais no lugar de os modelos de gesso. Uma delas é a facilidade da portabilidade. De fato, um modelo digital pode ser enviado imediatamente via *e-mail*, o que pode ser muito útil quando a colaborar com outros profissionais. A replicação física do modelo não é necessária, portanto, economia de tempo e materiais. Além disso, os modelos de gesso necessitam de uma quantidade relativamente grande de espaço de armazenamento físico, enquanto modelos digitais oferecem uma substituição digital aceitável de arquivamento do modelo. A durabilidade é outro fator. Através do uso e do exame, um modelo de gesso pode ser danificado ou partido. A durabilidade não é um problema com os modelos digitais. Os modelos digitais também podem ser manipulados virtualmente sem serem permanentemente alterados.<sup>(51)</sup>

O método predominante para a obtenção de modelos digitais é tomar uma impressão. Alguns exemplos de modelos criados a partir de impressões são OrthoCAD (Cadent, Inc, Carlstadt, NJ) e e-Models (Geodigm, Inc, Chanhassen, MN). As impressões são tomadas no consultório do ortodontista com um alginato de alta qualidade ou material de polivinil siloxano e enviadas para a empresa. As impressões são, então, vertidas para produzir um equivalente de gesso, que é digitalizado com uma câmara ou laser para um computador. O modelo digital resultante é depois disponibilizado para *download* ao ortodontista a partir do *Website* da empresa. Cada empresa fornece ao ortodontista o *software* para visualização e avaliação dos modelos.<sup>(52)</sup>

Outro método mais directo é usando um laser *scanner* intra-oral (Orametrix Inc., Richardson, Texas, EUA). Este método torna supérflua a impressão, mas o tempo de cadeira clínica pode ser aumentado. Modelos digitais virtuais também podem ser produzidos por uma técnica de digitalização do interior de uma impressão, no entanto este método pode encontrar dificuldade em relação às retenções e ao espaço limitado dentro da impressão.<sup>(53)</sup>

Os modelos digitais têm demonstrado ser um substituto aceitável para modelos de gesso.<sup>(3)</sup> Alguns estudos têm mostrado não haver diferença estatística entre as medições feitas em modelos digitais e modelos de gesso,<sup>(4, 5)</sup> enquanto outros estudos têm encontrado algumas diferenças estatisticamente significativas, mas que não são clinicamente significantes<sup>(6, 7)</sup>. É importante ressaltar que as decisões de diagnóstico e tratamento não são estatisticamente diferentes quando se utiliza modelos digitais ao invés de modelos de gesso.<sup>(54, 55)</sup>

Algumas comparações, de modelos em gesso e suas digitalizações, encontraram diferenças pequenas, mas significativas entre as medidas quando se utilizam certos critérios de medição mas ainda assim permitem medições clinicamente aceitáveis. A confiabilidade das medições realizadas em modelos digitais a partir de impressões provou ser tão bom quanto ou melhor do que as medidas tomadas em gesso.<sup>(56)</sup>

No entanto, estes modelos digitais ainda envolvem o processo efectivo de tomar impressões e digitalização posterior dessas impressões, o que pode levar até 10 dias para ser concluído.<sup>(56)</sup>

Recentemente, avanços na tecnologia têm conduzido a modelos digitais criados a partir de tomografia computadorizada com feixe cônico. Na maioria dos casos, o ortodontista *uploads* o arquivo TCFC através do *Website* da empresa. Técnicos em seguida, geram o modelo digital com o seu *software* e colocam o arquivo do modelo para *download*. O ortodontista pode analisar os modelos com *software* de visualização. Com esta tecnologia todas as estruturas anatômicas capturadas durante a varredura são visíveis, por exemplo, as raízes dos dentes, as articulações temporomandibulares, alturas de ossos e dentes impactados. O ortodontista também pode examinar apenas os dentes sem as outras estruturas e avaliá-los com ou sem base de modelo.<sup>(57)</sup>

Kau et al<sup>(56)</sup> concluíram que os modelos TCFC digitais são tão precisos como modelos digitais OrthoCAD na tomada de medidas lineares de *overjet*, *overbite* e medições de apinhamento. Os resultados desse estudo mostraram pequena diferença entre as medições feitas a partir de modelos OrthoCAD (cadente, Inc, Carlstadt, NJ) e modelos gerados por TCFC. Além disso, o estudo mostrou que os modelos digitais gerados a partir de imagens de TCFC não só oferece informações de diagnóstico, mas outras informações, tais como níveis de osso, posições de raiz, e status da articulação temporomandibular também são capturados. Estes não estão presentes nos modelos OrthoCAD.

Creed et al<sup>(52)</sup> afirmaram que as medidas lineares obtidas a partir de modelos digitais de TCFC indicaram um nível similar de precisão quando comparado com os modelos OrthoCAD e a precisão era suficientemente adequada para o diagnóstico inicial e planeamento do tratamento na clínica ortodôntica.

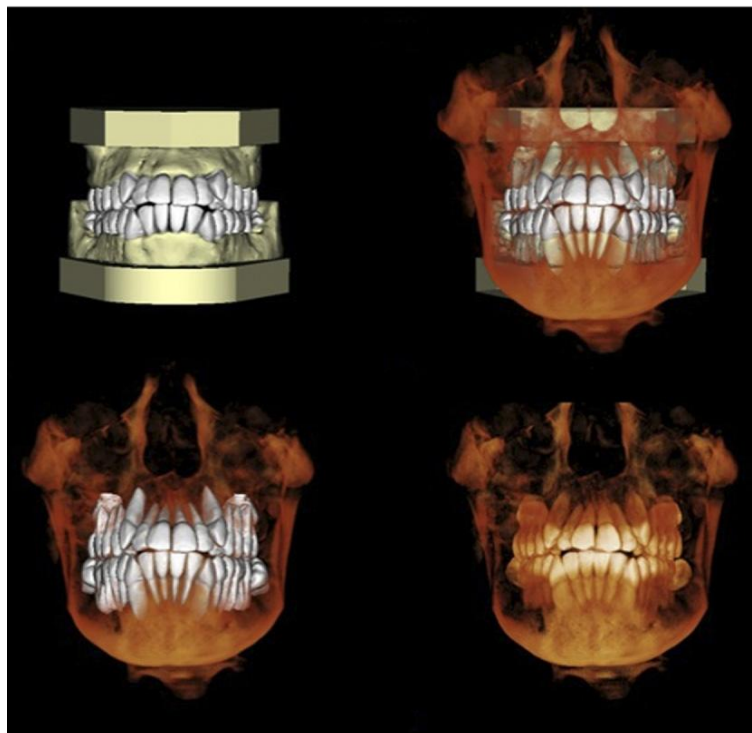


Fig. 9 - Uma série de imagens que mostram a aquisição de modelos de estudo directamente a partir de imagens de TCFC. (Kau CH, Olim S, Nguyen JT. Te future of orthodontic diagnostic records. Semin Orthod. 2011; 17:39-45)

### Conclusão

As imagens tridimensionais são importantes na medida em que podem identificar lesões mascaradas pelas limitações de exames convencionais bidimensionais e assim redirecionar o plano de tratamento. A TCFC proporciona uma visualização precisa da anatomia craniofacial e das relações anatómicas, para além de características individuais de cada doente. Estas qualidades fazem dela uma ferramenta muito útil no diagnóstico, plano de tratamento e prognóstico.

.A utilização de rotina de TCFC não é recomendada em procedimentos ortodônticos, porque as imagens convencionais proporcionam doses mais baixas para os pacientes. Assim, deve ser utilizada como uma ferramenta complementar quando surgem dúvidas após exame clínico e / ou radiografia convencional. No entanto, quando uma imagem 3D é exigida na prática ortodôntica, a TCFC deve ser preferida à TC convencional. Em ortodontia o uso de TCFC é recomendado principalmente em casos seleccionados em que a radiografia convencional não pode fornecer informações de diagnóstico satisfatório, incluindo pacientes portadoras de fissura palatina, avaliação da posição de dente incluso, dentes supranumerários, identificação de reabsorção radicular causada por dentes inclusos e planeamento de cirurgia ortognática.

As telerradiografias geradas por TCFC podem ser usadas com sucesso para realizar análises cefalométricas.

Os modelos digitais demonstraram ser um substituto aceitável para modelos de gesso, uma vez que as diferenças observadas não são clinicamente significantes. Isto aliado às vantagens de armazenamento, portabilidade, durabilidade e facilidade de partilha fazem deste tipo de modelos uma boa opção.

#### Bibliografia

1. Hatcher DC. Operational principles for cone-beam computed tomography. *J Am Dent Assoc.* 2010;141 Suppl 3:3S-6S. Epub 2010/10/15.
2. Scarfe WC. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? *The Dental Clinics of North America.* 2008;52:24.
3. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod.* 2004;74(3):298-303. Epub 2004/07/22.
4. Bell A, Ayoub AF, Siebert P. Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *Journal of orthodontics.* 2003;30(3):219-23. Epub 2003/10/08.
5. Gracco A, Buranello M, Cozzani M, Siciliani G. Digital and plaster models: a comparison of measurements and times. *Progress in orthodontics.* 2007;8(2):252-9. Epub 2007/11/22.
6. Zilberman O, Huggare JA, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle Orthod.* 2003;73(3):301-6. Epub 2003/06/28.
7. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(3):346-52. Epub 2007/09/11.
8. Caglayan F, Tozoglu U. Incidental findings in the maxillofacial region detected by cone beam CT. *Diagn Interv Radiol.* 2012;18(2):159-63. Epub 2011/10/01.
9. Kapila S, Conley RS, Harrell WE, Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40(1):24-34. Epub 2010/12/17.
10. Palomo JM, Kau CH, Palomo LB, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in dentistry. *Dentistry today.* 2006;25(11):130, 2-5. Epub 2006/11/30.
11. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc.* 2006;72(1):75-80. Epub 2006/02/17.
12. Castro IA. Orthodontic treatment plan changed by 3D images. *Dental Press J Orthod.* 2011;16(1):7.
13. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthodontics & craniofacial research.* 2011;14(1):1-16. Epub 2011/01/06.
14. Shetty M. Three Dimensional Imaging: an impact in orthodontics - A Review. *Annals and Essences of Dentistry.* 2011;3(3):5.
15. Farman AG. The Basics of Maxillofacial Cone Beam Computed Tomography. *Seminars in Orthodontics.* 2009;15(1):12.
16. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006;35(4):219-26. Epub 2006/06/27.

17. Scholz RP. The Radiology Decision. *Seminars in Orthodontics*. 2011;17:5.
18. Schulze R, Heil U, Gross D, Bruellmann DD, Dranischnikow E, Schwanecke U, et al. Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol*. 2011;40(5):265-73. Epub 2011/06/24.
19. Macleod I. Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) in Dental Practice. *Dental and Maxillofacial Radiology*. 2008;35:8.
20. Kau CH, Richmond S, Palomo JM, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *Journal of orthodontics*. 2005;32(4):282-93. Epub 2005/12/08.
21. Chaushu S, Chaushu G, Becker A. The role of digital volume tomography in the imaging of impacted teeth. *World journal of orthodontics*. 2004;5(2):120-32. Epub 2004/12/24.
22. Ericson S, Kurol PJ. Resorption of incisors after ectopic eruption of maxillary canines: a CT study. *Angle Orthod*. 2000;70(6):415-23. Epub 2001/01/04.
23. Mah J, Enciso R, Jorgensen M. Management of impacted cuspids using 3-D volumetric imaging. *Journal of the California Dental Association*. 2003;31(11):835-41. Epub 2003/12/31.
24. Hechler SL. Cone-beam CT: applications in orthodontics. *Dental clinics of North America*. 2008;52(4):809-23, vii. Epub 2008/09/23.
25. Kang BC. The Use of Cone Beam Computed Tomography for the Evaluation of Pathology, Developmental Anomalies and Traumatic Injuries Relevant to Orthodontics. *Seminars in Orthodontics*. 2011;17(1):14.
26. Ludlow JB, Laster WS, See M, Bailey LJ, Hershey HG. Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007;103(4):534-42. Epub 2007/03/31.
27. Mah J. Advanced Applications of Cone Beam computed Tomography in Orthodontics. *Seminars in Orthodontics*. 2011;17(1):15.
28. Cha JY, Mah J, Sinclair P. Incidental findings in the maxillofacial area with 3-dimensional cone-beam imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(1):7-14. Epub 2007/07/14.
29. Mah JK, Huang JC, Choo H. Practical applications of cone-beam computed tomography in orthodontics. *J Am Dent Assoc*. 2010;141 Suppl 3:7S-13S. Epub 2010/10/15.
30. Schwab RJ. Upper airway imaging. *Clinics in chest medicine*. 1998;19(1):33-54. Epub 1998/04/29.
31. Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(4):429-38. Epub 2007/10/09.
32. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;131(4 Suppl):S68-73. Epub 2007/04/24.
33. Peck JL, Sameshima GT, Miller A, Worth P, Hatcher DC. Mesiodistal root angulation using panoramic and cone beam CT. *Angle Orthod*. 2007;77(2):206-13. Epub 2007/02/27.
34. Kim SH, Choi YS, Hwang EH, Chung KR, Kook YA, Nelson G. Surgical positioning of orthodontic mini-implants with guides fabricated on models replicated with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;131(4 Suppl):S82-9. Epub 2007/04/24.
35. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: a computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(6):783-8. Epub 2007/12/11.

36. Ganz SD. Conventional CT and cone beam CT for improved dental diagnostics and implant planning. *Dental implantology update*. 2005;16(12):89-95. Epub 2006/01/21.
37. Cattaneo PM, Melsen B. The use of cone-beam computed tomography in an orthodontic department in between research and daily clinic. *World journal of orthodontics*. 2008;9(3):269-82. Epub 2008/10/07.
38. Couceiro CP. 2D / 3D Cone-Beam CT images or conventional radiography: Which is more reliable? *Dental Press J Orthod*. 2010;15(5):8.
39. Zamora N, Llamas JM, Cibrian R, Gandia JL, Paredes V. Cephalometric measurements from 3D reconstructed images compared with conventional 2D images. *Angle Orthod*. 2011;81(5):856-64. Epub 2011/04/08.
40. Kumar V, Ludlow J, Soares Cevidanes LH, Mol A. In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Angle Orthod*. 2008;78(5):873-9. Epub 2008/02/27.
41. Hassan B, Nijkamp P, Verheij H, Tairie J, Vink C, Stelt PV, et al. Precision of identifying cephalometric landmarks with cone beam computed tomography in vivo. *European journal of orthodontics*. 2011. Epub 2011/03/31.
42. Grauer D, Cevidanes LS, Styner MA, Heulfe I, Harmon ET, Zhu H, et al. Accuracy and landmark error calculation using cone-beam computed tomography-generated cephalograms. *Angle Orthod*. 2010;80(2):286-94. Epub 2009/11/13.
43. van Vlijmen OJ, Berge SJ, Swennen GR, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. Comparison of cephalometric radiographs obtained from cone-beam computed tomography scans and conventional radiographs. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. 2009;67(1):92-7. Epub 2008/12/17.
44. Cattaneo P. Comparison between conventional and cone-beam computed tomography-generated cephalograms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;134:5.
45. Hassan B, van der Stelt P, Sanderink G. Accuracy of three-dimensional measurements obtained from cone beam computed tomography surface-rendered images for cephalometric analysis: influence of patient scanning position. *European journal of orthodontics*. 2009;31(2):129-34. Epub 2008/12/25.
46. Periago DR, Scarfe WC, Moshiri M, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG. Linear accuracy and reliability of cone beam CT derived 3-dimensional images constructed using an orthodontic volumetric rendering program. *Angle Orthod*. 2008;78(3):387-95. Epub 2008/04/18.
47. Berco M, Rigali PH, Jr., Miner RM, DeLuca S, Anderson NK, Will LA. Accuracy and reliability of linear cephalometric measurements from cone-beam computed tomography scans of a dry human skull. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;136(1):17 e1-9; discussion -8. Epub 2009/07/07.
48. Issacson KG. *Orthodontic radiographs guidelines*. 3rd ed. British Orthodontic Society. 2008.
49. Horner K, Islam M, Flygare L, Tsiklakis K, Whaites E. Basic principles for use of dental cone beam computed tomography: consensus guidelines of the European Academy of Dental and Maxillofacial Radiology. *Dentomaxillofac Radiol*. 2009;38(4):187-95. Epub 2009/04/18.
50. van Vlijmen OJ, Kuijpers MA, Berge SJ, Schols JG, Maal TJ, Breuning H, et al. Evidence supporting the use of cone-beam computed tomography in orthodontics. *J Am Dent Assoc*. 2012;143(3):241-52. Epub 2012/03/03.
51. Horton HM, Miller JR, Gaillard PR, Larson BE. Technique comparison for efficient orthodontic tooth measurements using digital models. *Angle Orthod*. 2010;80(2):254-61. Epub 2009/11/13.
52. Creed Bea. A Comparison of the Accuracy of Linear Measurements Obtained from Cone Beam Computerized Tomography Images and Digital Models. *Seminars in Orthodontics*. 2011;17(1):8.



53. Dalstra M, Melsen B. From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *Journal of orthodontics*. 2009;36(1):36-41; discussion 14. Epub 2009/03/17.
54. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW. Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;129(6):794-803. Epub 2006/06/14.
55. Whetten JL, Williamson PC, Heo G, Varnhagen C, Major PW. Variations in orthodontic treatment planning decisions of Class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;130(4):485-91. Epub 2006/10/19.
56. Kau CH, Littlefield J, Rainy N, Nguyen JT, Creed B. Evaluation of CBCT digital models and traditional models using the Little's Index. *Angle Orthod*. 2010;80(3):435-9. Epub 2010/01/07.
57. Mah J. The evolution of digital study models. *Journal of clinical orthodontics : JCO*. 2007;41(9):557-61; quiz 424. Epub 2007/10/09.