

Modelos digitais em Ortodontia: novas perspectivas, métodos de confeção, precisão e confiabilidade

Resumo / Introdução / A introdução dos modelos digitais em Ortodontia, além de proporcionar diversas vantagens ao clínico, possibilitou o desenvolvimento de novos recursos como a confecção de alinhadores termoplásticos, customização de braquetes e o auxílio no planejamento digital em cirurgia ortognática. **/ Objetivos /** Esse trabalho objetiva, por meio de uma revisão da literatura, apresentar os diversos métodos de aquisição de modelos digitais disponíveis e discutir sua precisão e confiabilidade. **/ Palavras-chave /** Ortodontia. Modelos anatômicos. Conversão análogo-digital.

Leonardo Tavares **Camardella**

Mestre em Ortodontia pela Faculdade de Odontologia de Bauru / USP.

Oswaldo de Vasconcellos **Vilella**

Professor Associado Universidade Federal Fluminense.

Como citar este artigo: Camardella LT, Vilella OV. Modelos digitais em Ortodontia: novas perspectivas, métodos de confecção, precisão e confiabilidade. Rev Clin Ortod Dental Press. 2015 abr-maio;14(2):76-84.

Enviado em: 27/11/2014 - **Revisado e aceito:** 22/02/2015

Endereço de correspondência: Leonardo Tavares Camardella
Rua Mário Santos Braga, 30, 2º andar, sala 214 - Niterói/RJ - CEP: 24020-140
E-mail: leocamardella@globo.com

Os autores declaram não ter interesses associativos, comerciais, de propriedade ou financeiros que representem conflito de interesse nos produtos e companhias descritos nesse artigo.

INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

A tecnologia digital, cada vez mais, imprime mudanças na Ortodontia. As radiografias e fotografias digitais estão substituindo os métodos tradicionais, e a tomografia computadorizada por feixe cônico (TCFC) está sendo bem mais empregada no consultório. Seguindo esse raciocínio, os modelos digitais estão sendo cada vez mais utilizados, em virtude de suas grandes vantagens em relação aos modelos em gesso.

As principais vantagens dos modelos digitais são: precisão e rapidez na obtenção de dados para o diagnóstico; facilidade de armazenamento¹⁻⁴; possibilidade de transferência de informações através dos meios de comunicação virtual^{2,3,4}; maior facilidade de realização de análises ortodônticas e confecção de *set-ups* virtuais.

Algumas desvantagens, para os ortodontistas, quanto ao uso de modelos digitais seriam o maior custo de confecção, falta de familiarização na análise de modelos ortodônticos digitais^{5,6,7} e impossibilidade de tato⁵.

No ano de 2014, 35% dos programas de pós-graduação em Ortodontia dos Estados Unidos e Canadá utilizavam modelos de estudo digitais na maioria dos casos tratados, com tendência de aumento da sua utilização no futuro⁵, principalmente com a popularização dos alinhadores estéticos por CAD/CAM⁸ e o desenvolvimento de outros recursos, como a customização de braquetes para o tratamento ortodôntico⁹ e o planejamento orto-cirúrgico virtual com a confecção de guias cirúrgicas digitais¹⁰.

Assim, o objetivo do presente artigo é apresentar uma nova perspectiva de diagnóstico e planejamento ortodôntico com o uso dos modelos digitais, discutindo seus diversos métodos de aquisição, bem como sua precisão e confiabilidade.

MÉTODOS DE CONFECÇÃO

O modelo digital pode ser adquirido por diversas maneiras, que podem ser didaticamente divididas em dois tipos: métodos indireto e direto¹¹. O método indireto pode ser realizado pelo escaneamento de modelos de gesso e moldagens, enquanto, no método direto, o modelo digital pode ser adquirido pelo escaneamento intrabucal ou pela TCFC do paciente.

Método indireto

O escaneamento dos modelos de gesso é um dos métodos mais empregados para a confecção dos modelos digitais, em virtude da facilidade de obtenção e uso amplamente difundido dos modelos de gesso em Ortodontia. O modelo de gesso pode não representar as medições reais dos dentes, em virtude de possíveis alterações dimensionais nos materiais de moldagem e modelagem durante sua preparação^{3,12}; no entanto, ainda é considerado como padrão de referência em diversos estudos^{3,13}.

Para a realização do escaneamento de modelos de gesso, esses não devem apresentar bolhas positivas ou negativas, além de possuir um correto registro interoclusal — embora os programas de manipulação de modelos digitais apresentem ferramentas que corrigem possíveis bolhas e/ou desajustes interarcadas.

Existem diversas tecnologias aplicadas no processo de escaneamento dos modelos de gesso, como a por varredura a *laser* ou por luz estruturada. Em geral, o *scanner* possui uma plataforma que move o modelo para que o *laser* o atinja em vários ângulos. O *laser* é projetado sobre o modelo, e as câmeras capturam sua reflexão. A sequência de escaneamento de modelos de gesso frequentemente consiste em escanear o modelo superior, o modelo inferior e, posteriormente, os modelos ocluídos, para obter a relação interarcadas dos modelos digitais (Fig. 1). Ao final, é realizado o ajuste sagital, vertical e transversal da intercuspidação, acabamento (remoção de bolhas e irregularidades) e criação das bases virtuais, superior e inferior. O escaneamento de modelos de gesso já foi bastante estudado na literatura¹³⁻¹⁶.

O escaneamento de moldagens para confecção de modelos digitais também se encontra em uma demanda crescente, principalmente com a popularização dos alinhadores estéticos⁸. As moldagens utilizadas para o escaneamento por uma determinada empresa geralmente são enviadas via correio, acondicionadas em embalagens plásticas^{4,12,17,18,19}. Entre os diversos programas de manipulação de modelos utilizados pelas empresas, pode-se citar o OrthoCad® (Cadent, Carlstadt, Nova Jersey, EUA)^{14,17,18} e o DigiModel® (OrthoProof, Albuquerque, Novo México, EUA)^{4,19}.

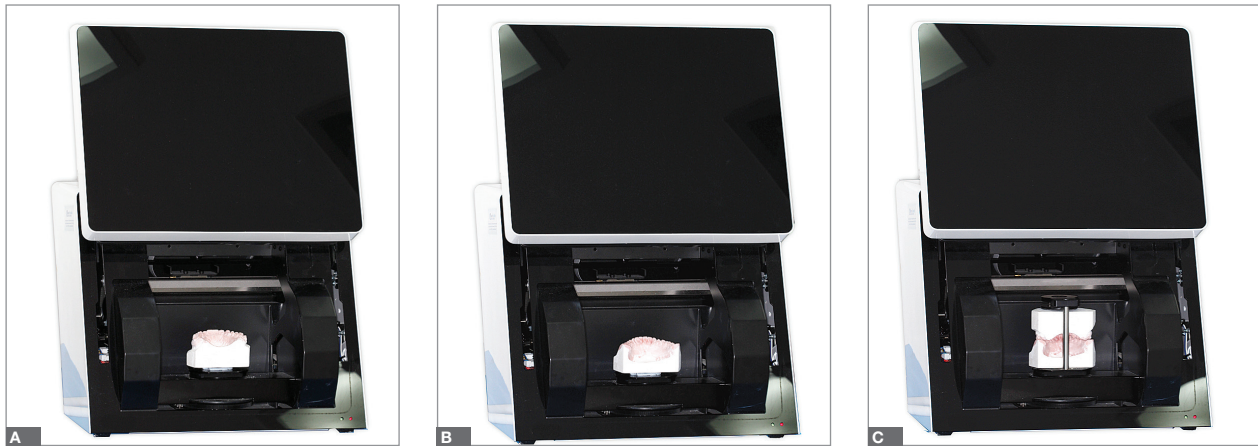


Figura 1: Sequência de escaneamento de modelos de gesso: **A)** escaneamento do modelo superior, **B)** escaneamento do modelo inferior, **C)** escaneamento dos modelos em oclusão.



Figura 2: Sequência de escaneamento de moldagens em silicone de adição: **A)** escaneamento do molde superior, **B)** escaneamento do molde inferior, **C)** escaneamento do registro de mordida.

Ao realizar o escaneamento de modelos ou o escaneamento intrabucal, o registro da oclusão é facilitado pela intercuspidação proporcionada pelo método. Para se obter o registro da oclusão pelo método de escaneamento de moldagens, é necessário o escaneamento do registro de mordida^{4,19} (Fig. 2).

A precisão dos modelos digitais depende, inicialmente, da precisão da moldagem. Usualmente, o alginato é o material de moldagem mais utilizado para diagnóstico ortodôntico, por apresentar menor custo, ser fácil de usar e possuir relativa precisão. A moldagem, quando escaneada, deve ter, além da precisão; estabilidade

dimensional, em virtude do intervalo de tempo entre o ato da moldagem e o escaneamento propriamente dito. O alginato, entretanto, não possui grande estabilidade dimensional, embora, no mercado, existam alginatos que mantêm a estabilidade dimensional por até 100 horas — como o Kromopan 100 (Kromopan USA, Morton Grove, Illinois, EUA)¹⁹. Walker et al.²⁰ comprovaram a maior estabilidade dimensional do alginato Kromopan 100, que apresentou mínimas mudanças após 100 horas de armazenamento pós-moldagem, enquanto o alginato convencional — Jeltrate Plus (Dentsply Caulk, Milford, Delaware, EUA) — foi preciso, após o armazenamento, por apenas 30 minutos.

A Associação Americana de Odontologia especifica que materiais de moldagem elastoméricos devem ter uma alteração dimensional menor que 1,5% em até 24 horas²¹. Existem dúvidas quanto às variações dimensionais que podem ocorrer com o alginato durante seu armazenamento, quando submetido a temperaturas extremamente quentes ou frias, durante o trânsito entre o consultório ortodôntico e o laboratório de escaneamento de moldagens. Caso o ortodontista envie uma moldagem para ser escaneada por um centro de documentação, é mais prudente utilizar o silicone de adição do que o alginato, em virtude de sua maior estabilidade dimensional²¹, principalmente se o período de armazenamento exceder 100 horas.

O silicone de adição é um excelente material para moldagens intrabucais, em virtude de sua grande estabilidade dimensional, reprodução de detalhes e precisão¹⁹. As desvantagens que têm impedido o uso mais rotineiro do silicone de adição em Ortodontia podem ser atribuídas ao custo mais elevado, em comparação com o alginato¹²; e à maior dificuldade de utilização com aparelhos fixos, em virtude de sua maior retenção aos acessórios¹⁹.

O escaneamento de moldagens foi utilizado em diversos trabalhos^{4,12,14,17,18,19,22}, utilizando tanto o alginato^{4,12,17,19,22} quanto o silicone de adição^{14,18,19}; a partir de moldagens em voluntários^{4,14,17,22} ou em modelos predefinidos^{12,18,19}. A maior dificuldade apontada nos trabalhos, em relação ao escaneamento de moldagens, é o possível desajuste interarcadas dos modelos digitais, em virtude de falhas no escaneamento do registro de mordida e/ou intercuspidação dos modelos digitais^{4,19}. Ao escanear os modelos de gesso, esse inconveniente é minimizado pelo registro dos modelos em oclusão, durante seu escaneamento.

Método direto

A aquisição de modelos digitais pela TCFC do paciente e pelo escaneamento intrabucal são dois exemplos de métodos diretos.

A TCFC fornece diversas informações não contidas nos modelos digitais, tais como: a posição de dentes impactados, anatomia radicular, espessura e nível ósseo e avaliação da articulação temporomandibular.

No entanto, a obtenção de modelos digitais a partir da TCFC expõe o paciente a uma grande dose de radiação²², além da morfologia dentária não ser tão precisa com essa técnica, em virtude da presença de artefatos — como restaurações metálicas ou braquetes. Não é razoável expor um paciente a uma radiação desnecessária, com a TCFC, com a única finalidade de se obter um modelo digital²³. Nesse caso, o escaneamento intrabucal se apresenta como uma excelente alternativa para obtenção do modelo digital pelo método direto, inclusive com um melhor detalhamento da anatomia dentária²³.

O escaneamento intrabucal se apresenta como uma ferramenta vantajosa para o ortodontista, pela rápida aquisição do modelo digital, se comparado ao método indireto, onde é necessário moldar o paciente, evitando, assim, qualquer distorção presente tanto no ato da moldagem quanto no de modelagem em gesso. Não há necessidade de registro de oclusão em cera; portanto, não haverá material colocado entre os dentes superiores e inferiores, o que pode reduzir o risco de se obter uma relação interoclusal inadequada^{4,19}. Os sistemas de escaneamento intrabucal eliminam algumas etapas, tais como: seleção de moldadeiras, preparação e uso de materiais de moldagem, desinfecção do molde, vazamento em gesso, recorte de modelo, duplicação de modelo e envio ao laboratório, tendo como vantagem a redução do tempo de atendimento. Além disso, o escaneamento intrabucal poderia superar a possibilidade de erro da moldagem tradicional²⁴, em virtude de evitar a presença de bolhas, ruptura dos materiais de moldagem ou a distorção tanto do material de moldagem e modelagem quanto a resultante de procedimentos de desinfecção.

O *scanner* intrabucal captura os elementos presentes na cavidade bucal do paciente de forma direta e envia os dados para um computador. A sequência de escaneamento consiste em: (1) escanear a arcada superior, posicionando o *scanner* sobre os dentes, em suas faces oclusal, vestibular e lingual, da região posterior para a anterior; (2) escanear a arcada inferior na mesma sequência; e (3) escanear a oclusão em máxima intercuspidação, com o *scanner* posicionado por vestibular, em ambos os lados. O próprio programa do *scanner* une as arcadas em oclusão, automaticamente (Fig. 3).



Figura 3: Scanner intrabucal.

Apesar de todas as vantagens, os *scanners* intrabu-
cais apresentam algumas dificuldades, como o esca-
neamento de dentes posteriores, principalmente em
pacientes com limitação de abertura de boca, e o es-
caneamento do fundo de vestibulo. Além disso, a ne-
cessidade de um treinamento prévio para sua utiliza-
ção e o alto custo do equipamento ainda restringem o
seu uso para a maioria dos ortodontistas.

PRECISÃO E CONFIABILIDADE

Diversos estudos verificaram a acurácia e a confiabi-
lidade de modelos digitais, a partir de variados mé-
todos de aquisição, como: escaneamento a *laser*
de modelos de gesso¹³⁻¹⁶; escaneamento a *laser*
de moldagens^{14,17,18}; escaneamento de moldagens com
scanners por tomografia^{4,12,19}, por escaneamento intra-
bucal^{4,11,25,26} e pela TCFC do paciente^{15,22,27,28}. A gran-
de maioria dos trabalhos não identificou diferenças
cl clinicamente significativas nas medidas dos modelos
digitais, com exceção de poucos estudos^{12,19}.

Embora não haja padrões universais para definir a
precisão de um modelo em Ortodontia, vários estu-
dos comparando modelos de gesso com modelos
digitais atestaram que uma diferença de medição
inferior a 0,20mm é clinicamente aceitável, por ser

praticamente idêntica à confiabilidade determinada
por medições manuais^{1,3}. Para medidas transver-
sais, como distâncias intercaninos ou intermolares,
diferenças de até 0,4mm foram consideradas com
pouca relevância clínica¹³. Outros autores^{7,26} consi-
deraram diferenças de até 0,5mm como clinicamen-
te insignificantes.

Alguns estudos que verificaram diferenças estatís-
ticamente significativas concluíram que as medidas
avaliadas nos modelos digitais foram maiores^{2,3,7,26},
enquanto outros estudos verificaram valores menores
nas medidas dos modelos digitais^{1,16}.

A partir da TCFC, pode-se avaliar as superfícies den-
tárias do paciente como um modelo digital. Um fator
que poderia influenciar a acurácia desse modelo é a
resolução dos *voxels*. Cada *voxel* é um valor (brilho
ou escala de cinza) que representa a densidade de
radiação da estrutura correspondente. Ao reduzir a
resolução do *voxel*, pode-se obter uma imagem de
qualidade mais baixa, com mais artefatos, e informa-
ção menos detalhada. Um estudo de Damstra et al.²⁹,
utilizando 10 mandíbulas secas, concluiu que as me-
dições de estruturas craniofaciais obtidas por TCFC
com resolução de 0,25 a 0,40 *voxels* são precisas,
em comparação com as medições realizadas direta-
mente por um paquímetro. Seguindo esse raciocínio,
o trabalho de Lighthouse et al.³⁰ concluiu que as ima-
gens dentárias obtidas pela TCFC são precisas, ao
compará-las com modelos digitais por escaneamento
de moldagem. Nesse estudo, foi utilizado o tomógrafo
Galileos Comfort X-ray unit (Sirona Dental Systems,
Bensheim, Alemanha), que possui uma resolução en-
tre 0,15 e 0,30 *voxels* — considerada aceitável, de
acordo com a margem sugerida²⁹. Uma diminuição
em tamanho do *voxel* pode melhorar a qualidade dos
cortes, aumentar a precisão e resultar em melhor cor-
relação da imagem da TCFC com a dos modelos digi-
tais. No entanto, quanto menor o *voxel*, maior a dose
de radiação absorvida pelo paciente³⁰.

Além disso, a dificuldade em identificar, de forma preci-
sa, áreas de contato proximal entre dentes adjacentes,
devido à sobreposição de estruturas e a falta de familia-
rização dos dentistas com a avaliação de modelos ob-
tidos por TCFC, dificulta seu uso mais rotineiro⁶ (Fig. 4).

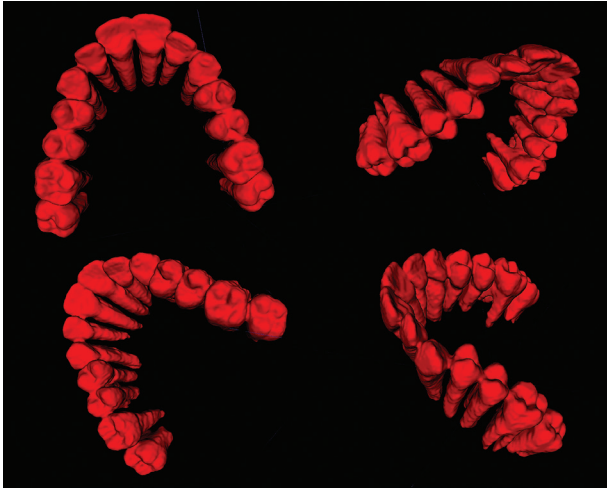


Figura 4: Modelo digital a partir da TCFC.

Creed et al.²⁸ observaram que os dentes anteriores derivados de modelos digitais obtidos a partir da TCFC apresentam anatomia melhor definida do que os dentes posteriores. Uma justificativa provável é a de que há menos sobreposição oclusal na região anterior do que na região posterior, onde os dentes estão ocluídos, distorcendo principalmente a face oclusal. Além disso, os modelos digitais gerados pela TCFC não registram a gengiva, somente a altura do osso alveolar, o que pode limitar a medição da altura das coroas dentárias. Esse mesmo estudo verificou que as medidas lineares obtidas a partir de modelos digitais por TCFC indicaram um nível semelhante de precisão, quando comparado com os modelos digitais por escaneamento de modelos. Kim et al.¹⁵ compararam modelos de gesso com modelos digitais por escaneamento de modelo de gesso e por TCFC, e concluíram que o modelo digital por escaneamento do modelo de gesso possui mais precisão do que os modelos por TCFC. No entanto, as diferenças foram consideradas clinicamente insignificantes.

No mundo todo, existem diversas empresas que disponibilizam modelos digitais, com diversos modelos de *scanners* e programas de visualização. Os estudos que verificaram o grau de acurácia e confiabilidade de medidas de modelos digitais por escaneamento do modelo de gesso, em sua grande maioria, avaliaram modelos digitais produzidos com *scanners* de empresas como a Cadent® (Carlstadt, Nova Jersey, EUA)^{14,26,28}, GeoDigm Corporation Inc.® (Chanhasen,

Minnesota, EUA)^{1,3}, 3Shape® (Copenhaga, Dinamarca)^{2,16}, OraMetrix® (Dallas, Texas, EUA)²⁷ e Ortho Proof® (Albuquerque, Novo México, EUA)^{4,19,22}, e quase todos os métodos foram considerados clinicamente confiáveis e precisos.

Diversos estudos que compararam os modelos de gesso com modelos digitais concluíram que podem ser obtidas medições confiáveis para as distâncias intermolar e intercanino^{7,14-16}, diâmetro mesiodistal^{7,14,15,26,27}, altura da coroa¹⁶, *overjet*^{3,7,14,16}, *overbite*^{3,14,16} e comprimento da arcada^{7,15,16}. Esses estudos concluíram que os modelos digitais são clinicamente aceitáveis, apesar da ocorrência de algumas diferenças estatisticamente significativas. Especula-se que possíveis causas da variabilidade de resultados entre os diferentes estudos podem ser devidas a erros de técnica do examinador¹³, propriedade dos materiais¹³ e as inevitáveis diferenças entre os programas utilizados³ (Fig. 5).

A acurácia e a confiabilidade de modelos digitais por escaneamento de moldagens também foi avaliada utilizando tanto o alginato^{4,12,17,19} quanto o silicone de adição^{14,18,19}. Segundo um estudo²¹, o silicone de adição não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os valores das medidas estudadas, independentemente da temperatura de armazenamento ou o tempo de até 100 horas. Todas as amostras de silicone de adição tiveram uma alteração dimensional inferior a 0,30%. Em relação ao alginato, não foram encontradas diferenças significativas entre qualquer uma das marcas estudadas (Jeltrate, Kromatica, Kromopan e Triphasix), quando medidos 10 minutos após o início da moldagem. Porém, quando a medição foi realizada em 24 e 100 horas, todas as amostras apresentaram alterações dimensionais significativas, sendo que o frio foi o agente que determinou a maior instabilidade. Segundo essa pesquisa, o Kromopan foi o alginato que obteve a maior estabilidade dimensional.

Modelos digitais por escaneamento de moldagens apresentam acurácia clinicamente satisfatória para serem utilizados como ferramenta diagnóstica em Ortodontia^{4,12,14,17,18,19}. Poucos estudos relataram resultados diferentes^{12,19}. A necessidade de realização de um registro de mordida pode ter influenciado negativamente na acurácia dos modelos digitais por

escaneamento de moldagens, em virtude de possíveis distorções do registro ou falha no ajuste interarcadas dos modelos digitais em um programa específico^{4,19}.

Hoje em dia, diversos *scanners* intrabucais para a Odontologia estão disponíveis em todo o mundo. Um trabalho de van der Meer et al.²⁴ comparou os *scanners* intrabucais iTero, CEREC e Lava C.O.S., e concluiu que o Lava C.O.S. com protocolo de escaneamento de alta precisão apresentou os menores erros para as medidas estudadas nos modelos digitais.

Diversos trabalhos avaliaram a acurácia de modelos digitais por *scanners* intrabucais^{4,11,23-26}, seja por escaneamento de modelos ou crânios secos^{11,23-25}, ou por escaneamento de voluntários^{4,25,26}. Verificou-se que a acurácia do modelo digital ao escanear um modelo foi maior do que pelo escaneamento intrabucal, possivelmente em virtude da movimentação do voluntário, espaço intrabucal limitado, e presença de umidade e saliva²⁵. Mesmo assim, o escaneamento intrabucal apresentou acurácia e confiabilidade satisfatórias, podendo substituir os modelos de gesso^{4,11,23-26} (Fig. 6).

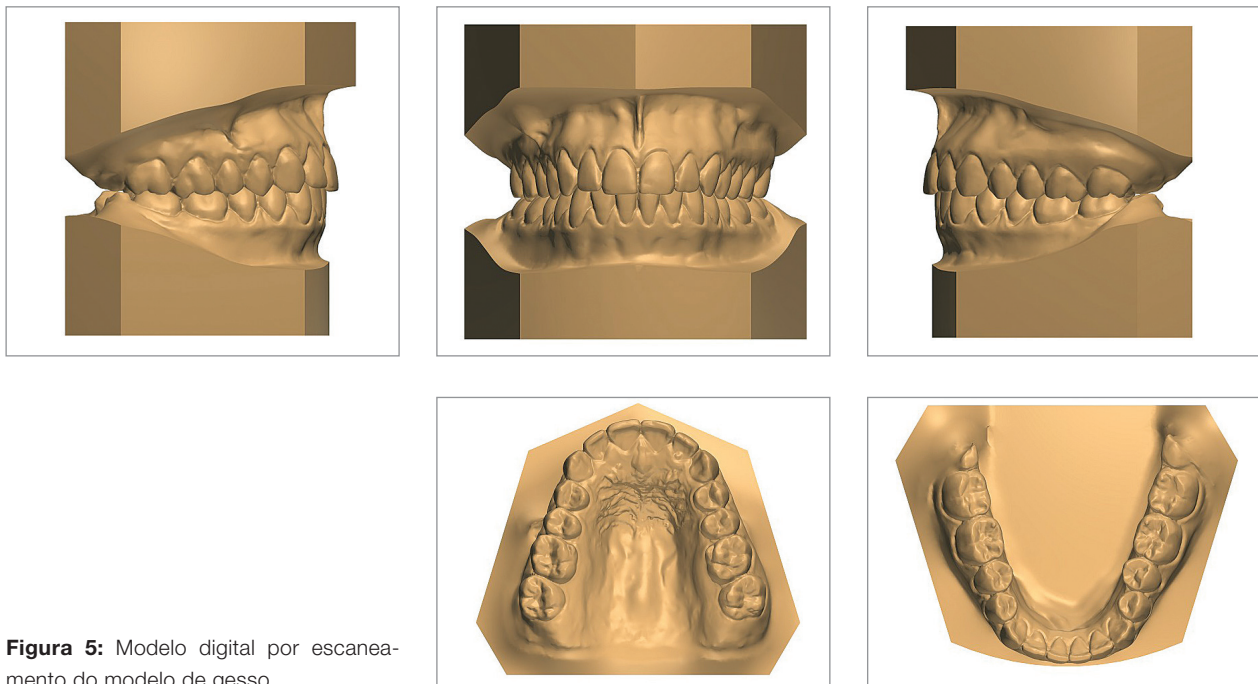


Figura 5: Modelo digital por escaneamento do modelo de gesso.

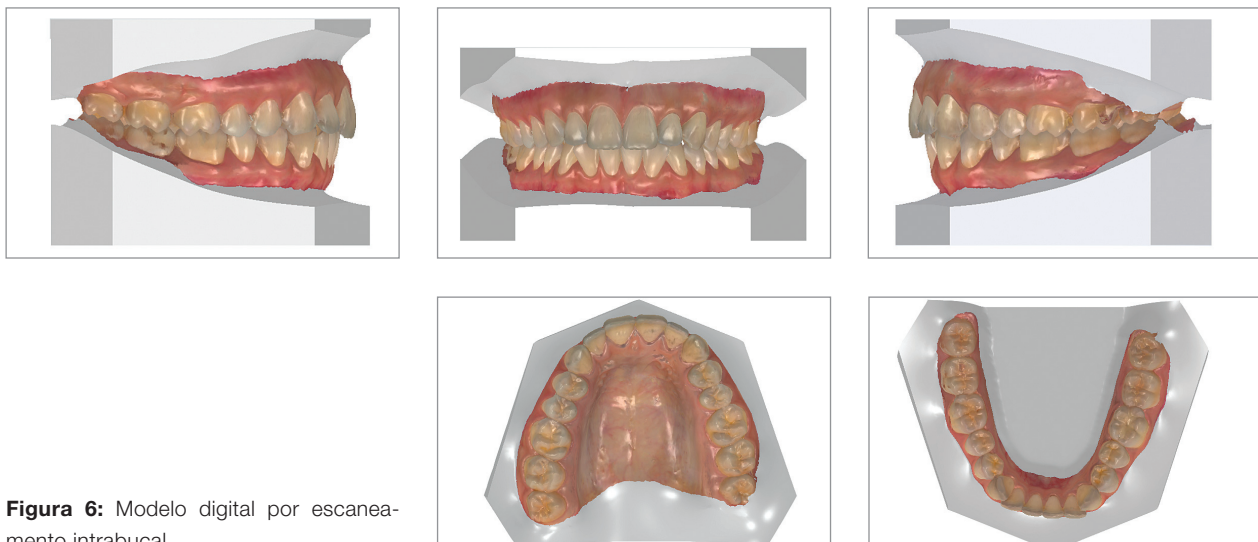


Figura 6: Modelo digital por escaneamento intrabucal.

DISCUSSÃO

A introdução dos modelos digitais na Odontologia e, em especial, na Ortodontia proporcionou diversas vantagens ao profissional. Em um mundo globalizado, com a comunicação facilitada pelo avanço da internet, a utilização da documentação digital é extremamente desejada, em virtude, principalmente, da facilidade de estoque e transmissão de dados.

A substituição dos modelos de gesso pelos modelos digitais é o último passo para a criação de um prontuário digital completo para o ortodontista, visto que outros componentes da documentação ortodôntica, como as fotografias, radiografias e tomografias, são utilizados, de rotina, na forma digital. No entanto, a transição dos modelos de gesso para os digitais pode ser considerada menos facilitada devido à necessidade da utilização de programas específicos para a manipulação de modelos digitais, o que demanda uma curva de aprendizado para sua compreensão, além do investimento financeiro na aquisição dos programas. Embora existam versões gratuitas dos visualizadores de modelos digitais, a restrição de funções, como a impossibilidade de confecção de *set-ups* virtuais, limita os recursos disponíveis para o ortodontista.

Com a evolução tecnológica, espera-se que a Ortodontia abrace uma documentação digital completa em pouco tempo. As novas possibilidades proporcionadas pelos modelos digitais — como a confecção de alinhadores, braquetes customizados, sistemas de tratamento ortodôntico digital e a integração de outras ferramentas digitais, como as tomografias computadorizadas e fotografias 3D — sinalizam para uma nova era no diagnóstico e planejamento em Ortodontia e Cirurgia Ortognática.

No entanto, para serem utilizados com segurança na rotina clínica, os modelos digitais devem apresentar, no mínimo, uma acurácia clinicamente aceitável para substituir os modelos de gesso. De acordo com a literatura, a aquisição de modelos digitais pelos diversos métodos de escaneamento disponíveis é considerada um recurso confiável para ser usado na clínica ortodôntica, cabendo ao ortodontista selecionar o método que melhor lhe atenda, em relação ao custo-benefício. Embora tenham sido verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os modelos de gesso e os

digitais, a maioria foi avaliada como não significativa clinicamente. Os modelos digitais utilizados no diagnóstico e no planejamento ortodôntico são ferramentas com grande acurácia e confiabilidade^{14,11,14-19,25,26}.

CONCLUSÃO

Os modelos ortodônticos digitais — por escaneamento de modelos de gesso, moldagens em silicone de adição, ou escaneamento intrabucal — possuem a acurácia e a confiabilidade necessárias para substituir os modelos de gesso e, possivelmente, poderão se tornar um novo padrão de referência para o diagnóstico e planejamento na clínica ortodôntica.

ABSTRACT

Digital models in orthodontics: New perspectives, manufacture methods, precision and reliability

/ Introduction / The introduction of digital dental models, besides providing several advantages to the clinician, allowed the development of new resources such as the manufacturing of thermoplastic aligners, brackets customization, and the aid in digital planning for orthognathic surgery. **/ Objectives /** This work aims, by means of a literature review, at presenting the several available methods for acquiring digital models, and to discuss its accuracy and reliability. **/ Keywords /** Orthodontics. Dental models. Analog-digital conversion.

Referências:

1. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with e-models and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(3):346-52.
2. Sousa MV, Vasconcelos EC, Janson G, Garib D, Pinzan A. Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142(2):269-73.
3. 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.
4. Wiranto MG, Engelbrecht WP, Nolthenius HET, van der Meer WJ, Rend Y. Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models obtained from intraoral and cone-beam computed tomography scans of alginate impressions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143(1):140-7.
5. Shastry S, Park JH. Evaluation of the use of digital study models in postgraduate orthodontic programs in the United States and Canada. *Angle Orthod.* 2014;84(1):62-7.
6. El-Zanaty HM, El-Beialy AR, Abou El-Ezz AM, Attia KH, El-Bialy AR, Mostafa YA. Three-dimensional dental measurements: an alternative to plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(2):259-65.
7. Asquith J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod.* 2007;29(5):517-22.
8. Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123(5):578-81.
9. Grauer D, Proffit WR. Accuracy in tooth positioning with a fully customized lingual orthodontic appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(3):433-43.
10. Hernandez-Alfaro F, Guijarro-Martinez R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2013;42(12):1547-56.
11. Cuperus AM, Harms MC, Rangel FA, Bronkhorst EM, Schols JG, Breuning KH. Dental models made with an intraoral scanner: a validation study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142(3):308-13.
12. Torassian G, Kau CH, English JD, Powers J, Bussa HI, Marie Salas-Lopez A, et al. Digital models vs plaster models using alginate and alginate substitute materials. *Angle Orthod.* 2010;80(4):474-81.
13. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res.* 2011;14(1):1-16.
14. Bootvong K, Liu Z, McGrath C, Hagg U, Wong RW, Bendus M, et al. Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *Eur J Orthod.* 2010;32(5):589-95.
15. Kim J, Heo G, Lagraverre MO. Accuracy of laser-scanned models compared to plaster models and cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2014;84(3):443-50.
16. Abizadeh N, Moles DR, O'Neill J, Noar JH. Digital versus plaster study models: how accurate and reproducible are they? *J Orthod.* 2012;39(3):151-9.
17. 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.
18. 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.
19. White AJ, Fallis DW, Vandewalle KS. Analysis of intra-arch and interarch measurements from digital models with 2 impression materials and a modeling process based on cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(4):456.e1-9; discussion 456-7.
20. Walker MP, Burckhard J, Mitts DA, Williams KB. Dimensional change over time of extended-storage alginate impression materials. *Angle Orthod.* 2010;80(6):1110-5.
21. Todd JA, Oesterle LJ, Newman SM, Shellhart WC. Dimensional changes of extended-pour alginate impression materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143(4 Suppl):S55-63.
22. de Waard O, Rangel FA, Fudalej PS, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Breuning KH. Reproducibility and accuracy of linear measurements on dental models derived from cone-beam computed tomography compared with digital dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(3):328-36.
23. Akyalcin S, Cozad BE, English JD, Colville CD, Laman S. Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(6):916-22.
24. van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of Implantology. *PLoS One.* 2012;7(8):e43312.
25. Flugge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(3):471-8.
26. Naidu D, Freer TJ. Validity, reliability, and reproducibility of the iOC intraoral scanner: a comparison of tooth widths and Bolton ratios. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(2):304-10.
27. Grunheid T, Patel N, De Felipe NL, Wey A, Gaillard PR, Larson BE. Accuracy, reproducibility, and time efficiency of dental measurements using different technologies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(2):157-64.
28. Creed B, Kau CH, English JD, Xia JJ, Lee RP. A comparison of the accuracy of linear measurements obtained from cone beam computerized tomography images and digital models. *Semin Orthod.* 2011;17(1):49-56.
29. Damstra J, Fourie Z, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Accuracy of linear measurements from cone-beam computed tomography-derived surface models of different voxel sizes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(1):16 e1-6; discussion 16-7.
30. Lighthart KG, English JD, Kau CH, Akyalcin S, Bussa HI Jr, McGrory KR, et al. Surface analysis of study models generated from OrthoCAD and cone-beam computed tomography imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141(6):686-93.