



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Faculdade de Odontologia

Ana Beatriz Neves Pereira

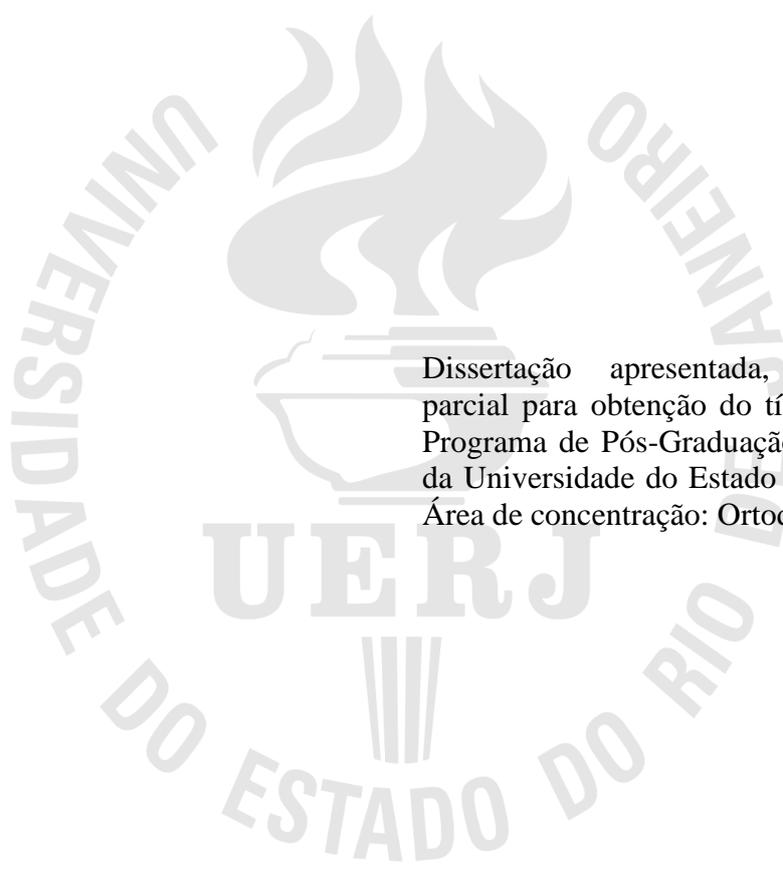
Custo-benefício de diferentes impressoras 3D na Ortodontia

Rio de Janeiro

2020

Ana Beatriz Neves Pereira

Custo-benefício de diferentes impressoras 3D na Ortodontia



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ortodontia.

Orientadores: Prof.^a Dra. Cátia Cardoso Abdo Quintão
Prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CBB

P436 Pereira, Ana Beatriz Neves.
Custo-benefício de diferentes impressoras 3D na Ortodontia / Ana
Beatriz Neves Pereira. – 2020.
64 f.

Orientadores: Cátia Cardoso Abdo Quintão, Felipe de Assis Ribeiro
Carvalho.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Faculdade de Odontologia.

1. Impressão tridimensional. 2. Estereolitografia. 3. Ortodontia. 4.
Análise custo-benefício. I. Quintão, Cátia Cardoso Abdo. II. Carvalho,
Felipe de Assis Ribeiro. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Faculdade de Odontologia. IV. Título.

CDU
616.314

Kárin Cardoso CRB/7 6287

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Ana Beatriz Neves Pereira

Custo-benefício de diferentes impressoras 3D na Ortodontia

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ortodontia.

Aprovada em 19 de fevereiro de 2020.

Orientadores:

Prof.^a Dra. Cátia Cardoso Abdo Quintão
Faculdade de Odontologia – UERJ

Prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho
Faculdade de Odontologia – UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jonas Capelli Júnior
Faculdade de Odontologia – UERJ

Prof.^a Dra. Rhita Cristina Cunha Almeida
Faculdade de Odontologia – UERJ

Prof. Dr. Lincoln Issamu Nojima
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Sergio e Regina Lucia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente aos meus pais, Regina Lucia e Sergio, por tudo o que me proporcionaram até hoje. Nenhuma palavra poderia transmitir minha gratidão.

Ao Pedro, por todo amor e compreensão em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigada por se fazer presente, mesmo que muitas vezes separados por uma ponte aérea.

Ao professor e querido orientador Felipe, por todo incentivo e paciência ao longo da Especialização e Mestrado. Ao longo desses anos vejo o quanto evolui, e tenho certeza que não chegaria neste ponto sem o seu apoio. Obrigada por ser mais do que um orientador, mas um mestre e amigo.

À professora Cátia, pela orientação e competência ao ajudar neste árduo percurso acadêmico.

Aos professores Jonas, Lincoln e Rhita, membros da banca de defesa de Mestrado, pelas sugestões, conselhos e interesse em contribuir para o desenvolvimento deste trabalho.

Às colegas de Mestrado Tatiana Ettore, Larissa Moda e, em especial, à amiga Mariana Sobral, por ser minha ouvinte e conselheira ao longo do meu percurso na UERJ. Obrigada a todas pelo companheirismo e amizade construída ao longo desses anos.

A todos os professores da Disciplina de Ortodontia de Universidade do Estado do Rio de Janeiro pela oportunidade de conviver e aprender com vocês. Meus sinceros agradecimentos pelos ensinamentos transmitidos desde a Especialização.

Ao meu professor da graduação e amigo, Alfredo Soares Veiga, pessoa a qual devo minha escolha pela área. Obrigada por ter sido o primeiro a acreditar em mim.

À amiga e ortodontista querida Daniela Schroeder, pelas inspirações e conselhos que vão além da Ortodontia.

Ao colega Carlo Marassi, por todo suporte ao longo deste trabalho e oportunidade de estar sempre aprendendo mais sobre a Ortodontia digital.

Ao colega Mário, pela disponibilização de parte do material utilizado na pesquisa.

Aos colegas de Doutorado e Especialização pelo agradável convívio ao longo desses dois anos.

Aos alunos de graduação, que me permitiram viver um novo mundo ao dar aula e dividir meus conhecimentos de Ortodontia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Noventa por cento do sucesso se baseia simplesmente em insistir.

Woody Allen

RESUMO

PEREIRA, Ana Beatriz Neves. *Custo-benefício de diferentes impressoras 3D na Ortodontia*. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Ao escolher uma impressora 3D para modelos odontológicos, a relação custo-benefício deve ser avaliada. Os modelos impressos devem ser acurados, precisos e eficientes quanto ao tempo, assim como financeiramente acessíveis. O objetivo deste estudo é comparar a acurácia, precisão, custo e tempo necessário para a preparação e impressão de modelos usando diferentes tecnologias: duas impressoras DLP (*Digital Light Processing*) e uma FFF (*Fused Filament Fabrication*) comparadas ao padrão-ouro (PolyJet). Para realização deste estudo, foram selecionados 10 escaneamentos de 5 pacientes, contendo a arcada superior e inferior. Todos os 10 modelos foram impressos usando a seguinte combinação de tecnologias: (1) DLP Moonray (MR), (2) DLP Anycubic (AC) (3) DLP Moonray com utilização de resina da Anycubic (MRA), (4) filamento UpMini 2 (FFF) e (5) PolyJet Eden 500 da Objet (PJ). Um dos modelos virtuais foi impresso adicionalmente quatro vezes consecutivas em cada impressora, de forma a permitir a avaliação da precisão destas. O arquivo .STL original de cada modelo foi superposto com o escaneamento do seu respectivo modelo impresso, gerando mapas de cores que permitiram o cálculo de RMS (média quadrática) para a comparação de ambos. Além deste método, foram realizadas medidas lineares através de um paquímetro digital em 8 variáveis diferentes: distância inter-caninos (DIC), distância inter-molares (DIM), plano ântero-posterior bilateralmente (PAP-D e PAP-E), plano vertical bilateralmente (PV-D e PV-E) e plano misto bilateralmente (PM-D e PM-E). O teste Shapiro-Wilk mostrou que os dados não eram normalmente distribuídos. O teste de Friedman com o post hoc de Bonferroni foi utilizado para verificar se havia diferenças entre os valores obtidos para as variáveis avaliadas. Uma diferença acima de 0,4 mm foi considerada clinicamente significativa para as medidas lineares. Observou-se diferenças clínicas e estatisticamente significantes ($p < 0,05$) para as seguintes comparações: PV-D e PV-E entre MR e MRA ($p=0,00$), PV-D entre FFF e MR ($p=0,01$), e PV-E entre FFF e MR ($p=0,00$). Já para o RMS, ocorreram diferenças estatisticamente significantes entre: AC e MR ($p=0,00$); AC e MRA ($p=0,00$); FFF e MR ($p=0,01$) e PJ e MR ($p=0,01$). Para as diferenças no RMS, nenhum valor esteve acima do considerado clinicamente significativo (0,25 mm). Quando avaliada a precisão dos modelos pelas medidas lineares, observou-se diferença estatisticamente significativa apenas na variável PV-D entre FFF e AC ($p=0,00$). A mesma diferença foi vista para os valores de RMS em: AC e MR ($p=0,02$) e AC e MRA ($p=0,04$). As impressoras produziram resultados de qualidade similares, embora a Moonray com a resina da Anycubic tenha mostrado perda de acurácia e a Anycubic tenha problema de consistência no plano vertical. Dentre elas, a impressão em PolyJet foi considerada o método mais rápido, porém com o custo muito elevado. A impressão em FFF apresenta um custo baixo da impressora e dos insumos, no entanto com o tempo de impressão consideravelmente mais elevado. Em ambas as impressoras DLP houve um equilíbrio, resultando em um bom custo-benefício.

Palavras-chave: Impressão tridimensional. Estereolitografia. Ortodontia.

ABSTRACT

PEREIRA, Ana Beatriz Neves. *Cost-benefit of different 3d printers in orthodontics*. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

When choosing a 3D printer for dental models, cost-benefit should be evaluated. Printed models should be accurate, precise and time efficient, as well as financially accessible. The aim of this study is to compare the accuracy, precision, cost and time required for preparation and printing using different technologies: two DLP (Digital Light Processing) printers, and one FFF (Fused Filament Fabrication) compared to the gold standard (PolyJet). For this study, it was selected 10 intraoral scans of 5 patients. All 10 models were printed as follows: (1) DLP printer Moonray (MR), (2) DLP printer Anycubic (AC) (3) DLP printer Moonray with Anycubic resin (MRA), (4) filament printer UpMini 2 (FFF) and (5) PolyJet printer Objet eden500 (PJ). One of the virtual models was additionally printed four consecutive times on each printer to allow consistency assessment. The original .STL file of each model was superimposed by scanning its respective printed model, generating color maps that allowed the RMS (root mean square) calculation for the comparison of both models. In addition, linear measurements were performed using a digital caliper on 8 different variables: inter-canine distance (ICD), inter-molar distance (IMD), bilateral anteroposterior plane (APP-R and APP-L), bilateral vertical plane (VP-R and VP-L) and bilateral mixed plan (MP-R and MP-L). The Shapiro-Wilk test showed that the data was not normally distributed. Friedman's test with Bonferroni's post hoc test was used to verify if there were differences between the evaluated variables. A difference above 0.4 mm was considered clinically significant for linear measurements. Clinically and statistically significant differences ($p < 0.05$) were observed for the following comparisons: VP-R and VP-L between MR and MRA ($p = 0.00$), VP-R between FFF and MR ($p = 0.01$), VP-L between FFF and MR ($p = 0.00$). For RMS, there were statistically significant differences between: AC and MR ($p = 0.00$); AC and MRA ($p = 0.00$); FFF and MR ($p = 0.01$) and PJ and MR ($p = 0.00$). For the differences in RMS, no value was above the clinical significancy threshold (0.25mm). When the consistency of the models by the linear measurements was evaluated, a statistically significant difference was observed only in the VP-R variable between FFF and AC ($p = 0.00$). The same difference was seen for the RMS values in: AC and MR ($p = 0.02$) and AC and MRA ($p = 0.04$). The printers produced similar quality results, although Moonray with Anycubic resin showed loss of accuracy and Anycubic has a consistency problem in vertical plane. Among them, PolyJet printing was considered the fastest one, but with the highest cost. FFF printing has a low printer and filament cost, but with considerably longer printing times. In both DLP printers there was a balance, resulting in a good cost-benefit.

Keywords: Three-dimensional printing. Stereolithography. Orthodontics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Semelhanças e diferenças da tecnologia SLA e DLP.....	20
Figura 2 –	Exemplo gráfico do processo de impressão na tecnologia FFF.....	21
Figura 3 –	Exemplo gráfico da tecnologia de impressão em PolyJet.....	22
Figura 4 –	Modelo odontológico digital obtido pelo <i>scanner</i> iTero	29
Figura 5 –	Fluxograma de todo processo de aquisição e avaliação dos modelos 3D.....	30
Figura 6 –	Etapas do preparo do modelo virtual.....	32
Figura 7 –	Modelos e marcas das impressoras 3D utilizadas.....	33
Figura 8 –	Exemplo do mesmo modelo virtual nas 5 impressões 3D diferentes.....	34
Figura 9 –	Realização do escaneamento dos modelos impressos.....	35
Figura 10 –	Visualização no Geomagic Qualify.....	36
Figura 11 –	Exemplo de medidas avaliadas pelo software Geomagic.....	37
Figura 12 –	Realização das medições manuais através do paquímetro digital.....	38
Gráfico 1 –	Boxplot das 8 variáveis das medidas lineares em relação ao PolyJet, visando avaliar a acurácia dos modelos nas diferentes tecnologias de impressão.....	44
Gráfico 2 –	Boxplot dos valores de RMS, quando avaliado a acurácia dos modelos ao serem comparados com o arquivo original do escaneamento.....	45
Figura 13 –	Medição das espessuras de camadas utilizadas pela Invisalign, através de uma câmera DSLR.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores máximos (Max), mínimos (Min), média (Méd), desvio-padrão (DP), índice de correlação intra-classe (ICC) e significância estatística (P) das discrepâncias entre as medidas repetidas intra-examinador para as 8 variáveis aferidas com o paquímetro digital (n=12).....	40
Tabela 2 –	Média das discrepâncias entre as medidas aferidas com o paquímetro entre os modelos produzidos em relação a PolyJet.....	41
Tabela 3 –	Valores de média, mediana e desvio-padrão do RMS das cinco impressões em relação ao arquivo original digital.....	42
Tabela 4 –	Avaliação da precisão das medidas aferidas com o paquímetro entre os modelos impressos repetidos em relação a PolyJet	43
Tabela 5 –	Avaliação da precisão das medidas de RMS das cinco impressões nos modelos impressos repetidos em relação ao arquivo original digital.....	44
Tabela 6 –	Tabela comparativa de custos / tempo, considerando uma massa média por modelo de 15g.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
DIC	Distância intercanina
DIM	Distância intermolar
DP	Desvio-padrão
DSLR	<i>Digital Single Lens Reflex</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
FFF	<i>Fused Filament Fabrication</i>
HUPE	Hospital Universitário Pedro Ernesto
ICC	Índice de correlação intra-classe
SLA	<i>Stereolithography</i>
STL	<i>Standard Triangle Language</i>
PAP-D	Plano ântero-posterior direito
PAP-E	Plano ântero-posterior esquerdo
PM-D	Plano misto direito
PM-E	Plano misto esquerdo
PR	Prototipagem rápida
PV-D	Plano vertical direito
PV-E	Plano vertical esquerdo
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SPSS	<i>Statistical Product and Service Solutions</i>
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	REVISÃO DA LITERATURA	16
1.1	Evolução dos modelos odontológicos na Ortodontia	16
1.2	Prototipagem rápida	17
1.3	Tipos de tecnologia de fabricação aditiva	19
1.3.1	<u>Estereolitografia (<i>Stereolithography - SLA</i>)</u>	19
1.3.2	<u>Processamento Digital de Luz (<i>Digital Light Processing - DLP</i>)</u>	19
1.3.3	<u>Fabricação de filamento fundido (<i>Fused Filament Fabrication - FFF</i>)</u>	20
1.3.4	<u>PolyJet (PJ)</u>	21
1.4	Resolução de impressão 3D	22
1.5	Precisão dos modelos dentários impressos em 3D	23
1.6	Aplicação clínica das impressões 3D na Ortodontia	24
2	PROPOSIÇÃO	27
2.1	Objetivo geral	27
2.2	Objetivos específicos	27
3	MATERIAL E MÉTODO	28
3.1	Aspectos éticos	28
3.2	Sujeitos da pesquisa	28
3.2.1	<u>Critérios de inclusão</u>	28
3.2.2	<u>Critérios de exclusão</u>	29
3.3	Protocolo de aquisição e edição dos modelos virtuais	29
3.3.1	<u>Método de preparo no <i>software</i> Meshmixer</u>	30
3.4	Protocolo de aquisição dos modelos físicos	32
3.5	Preparo dos modelos físicos após a impressão	34
3.6	Passos realizados no <i>software</i> Geomagic®	35
3.7	Realização das medidas manuais	37
3.8	Análise estatística	39
4	RESULTADOS	40
5	DISCUSSÃO	47
	CONCLUSÃO	53

REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	60
ANEXO – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa.....	61

INTRODUÇÃO

Para a análise de modelos odontológicos, os obtidos com gesso têm sido o padrão há anos. No entanto, esses modelos estão sujeitos a perda, fratura, degradação e exigem espaço de armazenamento físico.¹ Para superar essas desvantagens, o uso de modelos digitais tridimensionais (3D) em Ortodontia está aumentando, tanto devido ao desenvolvimento de técnicas de captura de imagens 3D², como por possuírem diversas vantagens, como benefícios em eficiência, facilidade de uso, longevidade (sem risco de danos físicos) e espaço de armazenamento (em disco rígido ou na nuvem, ao invés de espaço físico).^{3,4}

Há ampla evidência de que os modelos virtuais são tão precisos e confiáveis quanto os modelos de gesso tradicionais e podem ser usados como uma alternativa a eles. Além disso, com suas vantagens de custo, tempo e espaço, eles poderiam ser considerados o novo padrão-ouro na prática atual. Embora existam diferenças significativas entre os dois métodos, estas são geralmente clinicamente irrelevantes e suas vantagens no cenário clínico os tornam uma alternativa válida aos modelos de gesso.²⁻¹⁰

Um dos avanços mais recentes nesta revolução digital da Ortodontia é a incorporação de tecnologias de impressão 3D para a fabricação de objetos a partir de arquivos digitais. Embora esse tipo de tecnologia de impressão esteja disponível há tempos, sua utilização no campo ortodôntico aumentou significativamente na última década.¹¹ Os objetos 3D podem ser produzidos usando diferentes materiais de impressão, que fornecem informações visuais e táteis que podem ser úteis para fins de diagnóstico, terapêutico e educacional.¹² A partir daí, podem ser fabricados aparelhos, como os removíveis funcionais, para expansão rápida da maxila, alinhadores e guias de colagem indireta e cirúrgicas.¹²⁻¹⁴

Atualmente, existe uma variedade de impressoras 3D disponíveis no mercado, baseadas em diferentes tecnologias e materiais de impressão, e cada uma com suas vantagens e desvantagens. Infelizmente, uma característica comum das impressoras mais funcionais e produtivas é o alto custo dos equipamentos, dos materiais e da manutenção, e geralmente há necessidade de limpeza e pós-processamento. Existem diversas tecnologias de prototipagem rápida (PR) no mercado, como a estereolitografia (SLA), o processamento digital de luz (DLP), a impressão em jato de resina (PolyJet) e a fabricação de filamento fundido (FFF).^{11,15-17}

Todas estas tecnologias tem sido empregadas para produção de modelos odontológicos e, apesar de possuírem o mesmo princípio básico, a principal diferença é o método e tipo de

material utilizado para produzi-los.¹⁶ É importante, portanto, que os profissionais estejam cientes das propriedades e características de cada sistema, de modo a utilizá-los adequadamente para as diferentes necessidades ortodônticas. Por isso, ao escolher uma impressora 3D, deve-se considerar o custo e a precisão para aplicações apropriadas em Ortodontia.^{1,13}

Apesar dos recentes trabalhos validando o uso de modelos digitais em Odontologia, mais estudos são necessários para avaliar a precisão e acurácia dos modelos impressos com diferentes técnicas. Outro fator a ser considerado na escolha de um tipo de impressora é a sua relação custo-benefício: não apenas os modelos dentários gerados precisam ser precisos, reproduzíveis e eficientes em tempo de obtenção, mas devem ser acessíveis financeiramente. Com isso, o objetivo desse estudo é comparar a precisão, acurácia e eficiência da impressão com duas impressoras DLP e uma FFF em relação ao padrão-ouro (PolyJet).

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Evolução dos modelos odontológicos na Ortodontia

Os modelos de estudo de gesso têm uma longa e comprovada história em Ortodontia, sendo uma ferramenta valiosa para o diagnóstico e tratamento, fornecendo informações relevantes do progresso real do tratamento ortodôntico.² Suas vantagens incluem: ser uma técnica odontológica de rotina, com fácil produção e medição, baixo custo e possibilidade de estudo em três dimensões.⁹ Apesar de serem amplamente utilizados, seu uso possui limitações importantes que podem frequentemente ser associadas a problemas de armazenamento, risco de quebra e perda, e a dificuldade no compartilhamento de seus dados com outros profissionais.^{18,19}

Quando a digitalização foi introduzida no mundo ortodôntico, os modelos digitais tornaram-se uma possibilidade para substituir os modelos de gesso tradicionais.²⁰ A digitalização de modelos de gesso tem contribuído para uma maior eficiência na prática odontológica. Tais modelos podem ser produzidos de maneira direta (escaneamento direto na boca) ou indireta (escaneamento de um modelo). As vantagens dos modelos digitais em comparação com o convencional (modelos de gesso) são consideráveis: possuem precisão e rapidez na obtenção de dados para diagnóstico; não estão sujeitos a danos físicos ou degradação; não é necessário espaço físico para armazenamento; permitem a transferência de informação através de um ambiente digital; a análise ortodôntica é mais fácil; e possibilitam a criação de configurações virtuais, simulando diferentes modalidades de tratamento utilizando o mesmo modelo digital.^{3-6,12,21}

No mundo globalizado, com a comunicação facilitada pelo avanço da *internet*, o uso de documentação digital é necessário. Como resultado dessas vantagens e sua crescente acessibilidade, mais ortodontistas estão incorporando modelos 3D impressos nas suas práticas diárias, e especula-se que em breve eles substituirão os modelos convencionais de gesso.²²

Os modelos digitais foram introduzidos comercialmente em 1999 pela OrthoCad™ (Cadent, Carlstadt, NJ, EUA) e em 2001 pela E-model™ (GeoDigm, Chanhassen, MN, EUA). Com o passar do tempo, novas tecnologias foram introduzidas no mercado, possibilitando hoje a utilização de diferentes tecnologias de impressão para materializar modelos digitais.^{10,23}

Diferentes estudos já confirmaram a confiabilidade das medições lineares e volumétricas dos modelos gerados digitalmente.^{6,8,21} Um estudo realizado por Camardella *et al.*²⁴ analisou a reprodutibilidade das medições quando realizadas em modelos de gesso com paquímetro digital e em modelos digitais. Os resultados demonstraram haver reprodutibilidade da maior parte das medidas verificadas. O maior erro encontrado foi em relação às medidas das alturas das coroas clínicas dos incisivos centrais superiores, no entanto, nenhuma discrepância na reprodutibilidade das medições foi de relevância clínica.²⁴

Wiranto *et al.*⁶ analisaram a confiabilidade das medições em modelos digitais a partir das medidas referentes às larguras dos dentes e da medição da análise de Bolton. Foram incluídos no estudo 22 voluntários que foram submetidos à moldagem e ao escaneamento intra-oral com Lava Chairside (3M ESPE, Seefeld, Germany). O modelo obtido através da moldagem também foi escaneado, obtendo-se dois modelos digitais. Também foi obtido um terceiro modelo de gesso de cada paciente. Três avaliadores independentes e cegos quanto ao método de obtenção das imagens realizaram as medições nos três modelos de cada paciente. As diferenças nas medidas das larguras dos dentes entre modelos digitais e modelo de gesso foram menores do que 0,2 mm, o que foi considerado clinicamente insignificante. Houve, portanto, a confirmação do método e reprodutibilidade de medições em modelos digitais. Em concordância, outros autores também investigaram e confirmaram a confiabilidade de medidas nos modelos digitais e sua reprodutibilidade.^{5,10,25}

Na revisão sistemática realizada por Rossini *et al.*⁸ foram selecionados 35 artigos de alta qualidade metodológica, que investigaram a precisão de diferentes medidas realizadas em modelos digitais em comparação com a realização das mesmas em modelos de gesso. Houve a confirmação da confiabilidade na utilização de modelos gerados digitalmente e nas medições realizadas nos mesmos, apresentando alta acurácia e reprodutibilidade, sugerindo-se que os modelos digitais sejam utilizados como novo padrão-ouro de referência.⁸

1.2 Prototipagem rápida

Desde a introdução das impressoras 3D, em 1986, tanto a tecnologia quanto os materiais utilizados para a impressão avançaram continuamente. Embora estejam disponíveis há anos, a implementação de impressoras 3D no campo ortodôntico aumentou significativamente apenas na última década, o que se deve em parte à precisão aprimorada e à

redução dos custos das tecnologias.^{1,11} Com a impressão 3D, é possível realizar a fabricação direta de aparelhos ortodônticos e odontológicos a partir de modelos 3D.²² Este procedimento consiste em planejar o aparelho ortodôntico desejado com *software* de computador (CAD) e, em seguida, fabricar os aparelhos através da fabricação assistida por computador (CAM), configurando a tecnologia CAD/CAM.¹³

A evolução da imagem e modelagem 3D na Odontologia está progredindo em direção a um fluxo de trabalho mais eficiente e econômico. A impressão 3D é a tecnologia mais avançada na indústria de manufatura, e sua praticidade justifica a expansão de sua aplicação em diversos campos odontológicos. Esse tipo de impressão faz parte de um processo de fabricação aditiva, no qual os materiais são adicionados camada sobre camada para produzir um objeto, ao contrário do que ocorre na fabricação redutiva, na qual o material é subtraído para produzir o objeto. A “prototipagem rápida” é outro termo usado para o processo de manufatura aditiva.¹

A manufatura redutiva é baseada na metodologia de fresagem, no qual um bloco pré-fabricado de material é esculpido com o uso de brocas ou discos de diamante para fabricar a peça desejada.¹⁶ Apesar de ser mais cara, a fresagem passa por um processo de tratamento térmico que permite a utilização de materiais com propriedades físicas específicas, como uma alta resistência mecânica da peça impressa.²⁶ Seu uso possui aplicações diferentes da manufatura aditiva, principalmente no que se relaciona à impressão 3D de uma arcada dentária. Além disso, embora esse tipo de fabricação possa criar objetos complexos de maneira eficaz, não é uma alternativa econômica, já que o material é desperdiçado durante o processo.²⁷ Outras limitações podem ser atribuídas a este método, como os ciclos de execução curtos (devido à exposição a abrasão) e a precisão (depende do tamanho da menor ferramenta de fresamento para cada material).^{27,28}

Já a manufatura aditiva tem o potencial de superar essas limitações, pois a parte física final é fabricada adicionando camada sobre camada de material para formar um objeto 3D. Além de ser considerada mais econômica (menor quantidade de material), mais eficiente (mais de uma impressão pode ser feita simultaneamente) e permitir a criação de figuras geométricas complexas com propriedades altamente desejáveis na Odontologia e Cirurgia.^{17,29,30} Atualmente, um grande número de impressoras 3D estão disponíveis com a capacidade de imprimir vários objetos, sendo a principal diferença entre elas o material e o método utilizado para produzir-los.^{31,32} A impressão 3D permite processar diferentes materiais, incluindo: polímeros, metais, cerâmica, fibras e nanocompósitos.³³

1.3 Tipos de tecnologia de fabricação aditiva

1.3.1 Estereolitografia (Stereolithography - SLA)

O termo “estereolitografia” foi apresentado pela primeira vez por Charles W. Hull, em 1986, como uma técnica para produzir itens sólidos através da impressão consecutiva de material com camadas finas, em que é solidificado por uma luz laser ultravioleta (UV) concentrada, que cura o material à base de resina na forma desejada, sendo considerado o primeiro processo de PR.³⁴ O laser desenha uma seção transversal do objeto para formar cada camada, e depois que a camada é polimerizada, a plataforma de construção sobe uma distância igual à espessura da camada, permitindo que a resina não curada cubra a camada anterior. Esse processo é repetido várias vezes até que o objeto impresso seja construído.

Depois de construídos, os objetos são imersos em um banho de solvente para remoção do excesso de resina e em seguida colocados em uma câmara UV para finalizar o processo de cura. Aproximadamente 80% da polimerização total ocorre enquanto a peça é construída na impressora 3D. A pós-cura é necessária para completar os 20% restantes, permitindo que as peças se tornem mais rígidas e estáveis.³⁵ Com base na complexidade e no tamanho do objeto, a impressão na SLA pode levar de algumas horas a mais de 24 horas para criar uma peça específica.^{34,36,37}

1.3.2 Processamento Digital de Luz (Digital Light Processing - DLP)

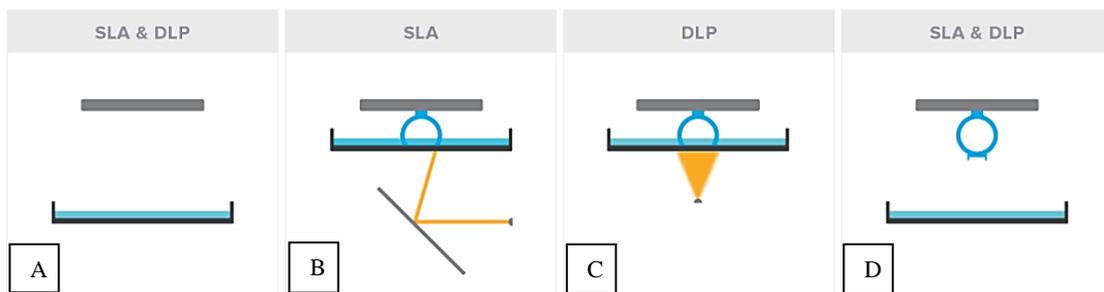
A tecnologia de impressão em DLP é um tipo de nanotecnologia que utiliza um dispositivo de micro-espelho digital com um projetor para curar a resina líquida em objetos 3D sólidos. O DLP é semelhante à estereolitografia, sendo a principal diferença entre elas a fonte de luz (figura 1). Isso faz com que esta tecnologia seja mais rápida, pois usa um projetor para curar o material, criando uma única camada como uma imagem digital em minúsculos pixels volumétricos, e com isso reduzindo o erro associado à impressão repetida; em oposição ao processo de laser do SLA, que é projetado no tanque com um único ponto, curando linha

por linha; portanto, é propenso a erros causados pelo espelho que move o feixe de laser (que também é lento).¹

Como as duas tecnologias utilizam luz, se obtém detalhes muito mais refinados, resoluções mais altas, alta velocidade de impressão e uma impressão mais lisa e agradável. Embora seja mais caro que a impressão FFF, as tecnologias SLA e DLP oferecem um produto mais bem acabado.³⁸ No entanto, esse processo também apresenta algumas desvantagens, assim como na SLA: leva tempo para remover as estruturas de suporte, deve ser usado álcool isopropílico para limpar o material, e exige pós-cura das peças impressas para melhorar a sua estabilidade, visto que a luz do dispositivo de impressão não consegue curar completamente o objeto durante o processo de impressão 3D. O encolhimento do objeto geralmente ocorre durante os processos de impressão 3D e pós-cura.^{12,39}

Nessa tecnologia, o projetor exhibe a imagem de cada camada no fotopolímero líquido, onde o objeto físico é puxado para cima da resina líquida. A radiação passa através de uma janela transparente UV. Este processo é repetido até que o objeto 3D seja construído.³⁷

Figura 1 – Semelhanças e diferenças da tecnologia SLA e DLP



Legenda: (A) Resina líquida; (B) Exposição seletiva à luz por laser; (C) Exposição seletiva à luz pelo projetor; (D) Acúmulo de camadas cria um objeto sólido.

Fonte: FACFOX⁴⁰

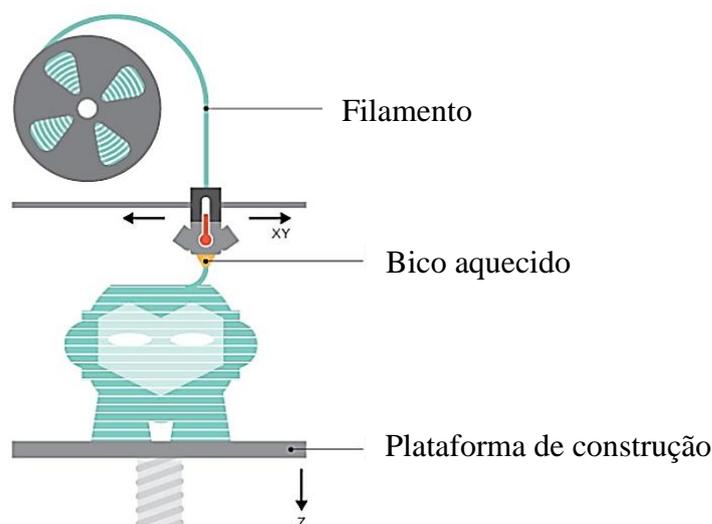
1.3.3 Fabricação de filamento fundido (*Fused Filament Fabrication* - FFF)

A tecnologia foi introduzida por S. Scott no final da década de 1980 e foi popularizada pela Stratasys, Ltd em 1990. A fabricação de filamentos fundidos (FFF) emprega o método "aditivo" de deposição de material termoplástico em camadas. Para produzir uma peça, o material sólido (filamento) é depositado ordenadamente através de um bocal aquecido (extrusor), onde derrete e é extrudado em um caminho predeterminado, camada por camada, para construir o modelo 3D (figura 2).³⁴

Esta tecnologia muitas vezes é confundida com a FDM (*Fused Deposition Modeling*). Isso ocorre pois esta é uma tecnologia proprietária da Stratasys, Ltd. A Stratasys patenteou o processo em 1989, e quando as patentes da FDM expiraram no ano de 2009, surgiu um movimento onde as pessoas começaram a fabricar sua própria versão de impressoras 3D inspiradas nessas, chamadas FFF (já que o termo FDM foi registrado pela Stratasys).⁴¹

A impressão em FFF é considerada uma das opções mais acessíveis do mercado e com a maior variedade de materiais. PLA e ABS são os tipos mais comuns de filamentos e estão disponíveis em uma ampla variedade de cores.³⁸ É uma tecnologia considerada fácil de usar e manter, ocupa pouco espaço e está amplamente disponível, o que a torna muito conveniente para utilizar no consultório, para se obter protótipos rápidos e de baixo custo e com uma ampla variedade de aplicações. De maneira geral, sua impressão é um processo rápido e pode obter modelos de alta resolução a menos de um terço do custo de outras opções.^{38,42}

Figura 2 – Exemplo gráfico do processo de impressão na tecnologia FFF



Nota: Figura traduzida pela Autora, 2019.
Fonte: Obsessively Geek³⁸

1.3.4 PolyJet (PJ)

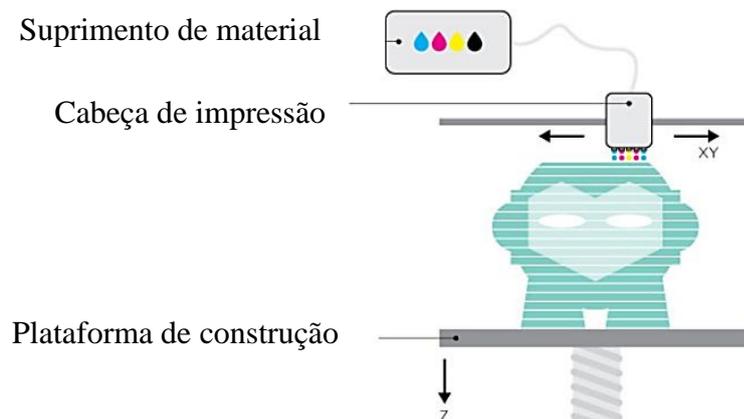
A tecnologia de jateamento de materiais, que também pode ser chamada de impressão PolyJet, consiste em uma resina líquida que é seletivamente expelida por centenas de bicos e polimerizada com luz UV.³⁷ Nessa tecnologia, se usa uma matriz de cabeças de impressão de jato de tinta para depositar fotopolímeros líquidos em uma plataforma. O material é

imediatamente curado pela lâmpada UV e é progressivamente depositado em camadas (figura 3).⁴³

É possível criar peças com geometria complexa e detalhes nas impressões em PolyJet, com resoluções a partir de 16 μm .¹⁷ Os modelos dentários impressos nessa técnica de impressão são totalmente curados durante o processo de construção, não necessitando de pós-cura, o que pode levar a uma maior estabilidade durante a impressão.¹⁵

Em geral, essa tecnologia de impressão é mais rápida do que outros processos de manufatura aditiva.³⁴ Apesar de serem considerados precisos, uma desvantagem do seu uso para impressão de modelo odontológico é o custo de impressão, visto que os materiais e o equipamento são consideravelmente mais caros em comparação com outras tecnologias.¹³ Ao término da impressão, é necessária uma etapa de remoção do material de suporte, que pode ser resistente e desagradável de remover. Para isso, se utiliza um jato de água de alta pressão.⁴⁴

Figura 3 – Exemplo gráfico da tecnologia de impressão em PolyJet



Nota: Figura traduzida pela Autora, 2019.
Fonte: Obsessively Geek³⁸

1.4 Resolução de impressão 3D

Nas impressoras 3D, os sistemas de eixo fornecem a profundidade e o design do objeto e são representados pelos planos X, Y e Z. Normalmente, os eixos X e Y correspondem ao movimento lateral (plano horizontal), enquanto o eixo Z corresponde ao movimento vertical durante o processo de impressão. Em outras palavras, os eixos X e Y se referem

àqueles paralelos à plataforma de impressão, enquanto o eixo Z representa a direção na qual a peça impressa é construída, que é perpendicular à plataforma de impressão.¹¹

A resolução medida microscopicamente na dimensão XY é descrita como o tamanho mínimo da peça. Isto é representado pelo diâmetro do feixe de laser (na tecnologia SLA) e pelo tamanho do pixel (na tecnologia DLP). Ao avaliar a resolução da peça, se utiliza como parâmetro o eixo Z, representada pela espessura da camada em micrômetro (μm). A resolução recomendada para fins ortodônticos deve ser equivalente a um mínimo de $100\ \mu\text{m}$.²⁹

Geralmente, a espessura da camada é baseada nas características morfológicas e uso pretendido do objeto a ser impresso. Esse recurso é controlado por quanto a plataforma de criação da impressora 3D eleva depois que uma camada é curada. Geralmente, se for necessária alta precisão, a espessura da camada é diminuída. Por outro lado, se custo e tempo são mais relevantes, camadas mais espessas são utilizadas. No entanto, embora uma altura de camada menor no eixo Z (resolução mais alta) deva resultar em uma peça impressa com mais detalhes e melhor acabamento superficial, nem sempre pode se presumir que a peça impressa seja mais precisa do que aquelas que apresentam maior altura da camada ou menor resolução. Isso ocorre pois o aumento do número de camadas pode aumentar os potenciais de erro, artefatos e falhas no decorrer de uma impressão, podendo diminuir a precisão da superfície e a qualidade de uma impressão.¹¹ A seleção da espessura da camada deve fornecer um equilíbrio satisfatório entre velocidade e resolução.⁴⁵

1.5 Precisão dos modelos dentários impressos em 3D

Com o intuito de incorporar o uso de modelos impressos em 3D na Ortodontia, a acurácia deve ser garantida. A acurácia pode ser determinada pela sobreposição do modelo impresso ao modelo CAD original e é relatada como uma porcentagem do seu volume original. A precisão descreve o grau de proximidade da sobreposição de modelos impressos repetidamente. Em outras palavras, se refere a capacidade da impressora em fabricar vários modelos idênticos com exatamente as mesmas dimensões.⁴⁶

A precisão dos modelos impressos em 3D pode variar de 20 a $150\ \mu\text{m}$. Isso pode ser influenciado pela tecnologia da impressora 3D e sua resolução. Outro fator que também pode influenciar a precisão de uma peça impressa em 3D é a seleção do material. O uso de uma resina flexível, como as utilizadas para guias de colagem indireta, possui menor estabilidade

dimensional do que as resinas rígidas. A cor dessa guia também pode atrapalhar, pois quanto mais transparente for a resina, mais fácil será a passagem do laser e a cura de áreas indesejadas. A precisão também pode ser alterada pela orientação de impressão. Impressões horizontais são conhecidas por serem mais precisas do que as verticais devido ao encolhimento de peças não suportadas.²⁹

Um estudo publicado por Favero *et al.*¹¹ investigou o efeito da espessura da camada na precisão de modelos dentários impressos em 3D. Trinta e seis modelos de typodont foram digitalizados e depois impressos por uma impressora SLA. Três espessuras de camadas foram avaliadas: 25, 50 e 100 μm ($n = 12$). Todos os modelos impressos foram digitalizados e sobrepostos. À medida que a espessura da camada diminuiu, os valores de desvio aumentaram, com os modelos de camada de 25 μm mostrando os maiores desvios e os modelos de camada de 100 μm mostrando o menor desvio. Os autores atribuíram isso ao aumento do potencial de erros e artefatos à medida que a quantidade de camadas é adicionada. Uma resolução X-Y inconsistente também pode ter produzido irregularidades na superfície. Da mesma forma, à medida que o número de camadas aumentou, também aumentou a quantidade de variação potencial causada pela resolução X-Y. Embora tenham sido encontradas diferenças estatisticamente significativas nos desvios médios, todos os valores foram considerados clinicamente aceitáveis. Com base neste estudo, pode-se afirmar que as resoluções aumentadas não significam necessariamente maior precisão. Fatores como custo, eficiência, qualidade da superfície e precisão devem ser considerados ao selecionar a espessura da camada.¹¹

1.6 Aplicação clínica das impressões 3D na Ortodontia

Com o avanço da tecnologia CAD/CAM, houve um grande desenvolvimento de sua aplicação e benefícios para Odontologia. Estas aplicações incluem diagnóstico e plano de tratamento a partir de modelos digitais, fabricação de alinhadores ortodônticos, customização de bráquetes tradicionais e acessórios para ortodontia lingual, fabricação de aparelhos auxiliares e planejamento da colagem indireta.⁴⁷ Quando comparado com os métodos manuais, a fabricação digital promove melhora na consistência, precisão e velocidade. Além disso, a PR permite a criação de estruturas geométricas muito complexas e tem as vantagens do *design* específico do paciente, baixo custo e alta eficiência.³⁹

Soluções de impressão 3D são capazes de alcançar vários produtos com alto nível de precisão. O uso de modelos 3D impressos em Ortodontia não é somente limitado para diagnóstico e planejamento do tratamento, mas também para confecção de diversos dispositivos.

Um dispositivo que vem sendo amplamente utilizado é a confecção de guias para colagem indireta. Existem duas formas principais de realizar essas guias: imprimir o modelo virtual com os bráquetes devidamente posicionados para confecção da guia com o material de escolha (a base de silicone ou termoplástico), ou imprimir diretamente a guia da colagem indireta com o material de impressão específico para essa técnica. Para ambos os métodos, deve ser realizado o escaneamento inicial do paciente, seguido pela exportação desse arquivo para um *software* que irá fornecer o resultado clínico do tratamento ortodôntico com base na posição pré definida dos bráquetes, permitindo que o profissional altere sua posição conforme desejado e se faça uma previsão na posição dentária ao final do tratamento.⁴⁸

O material impresso para a guia, idealmente, deve ser transparente para permitir a fotopolimerização adequada, ao mesmo tempo em que possui flexibilidade adequada para evitar o descolamento dos bráquetes durante a sua remoção. As vantagens dessa técnica são: menor tempo de cadeira, menor número de consultas para reposicionamento de bráquetes, menor necessidade de dobras de finalização nos arcos para corrigir posicionamento e a possibilidade de mostrar ao paciente o planejamento do caso na tela do computador facilitando também a comunicação.^{48,49}

Além disso, a técnica de colagem indireta a partir de planejamento virtual permite a confecção digital da guia para transferência dos bráquetes e sua impressão 3D, tornando possível que os bráquetes posicionados nessa guia para colagem possuam suas bases livres de material adesivo ou resinoso antes do procedimento de colagem, diferentemente da colagem indireta convencional onde há o posicionamento e colagem dos bráquetes no modelo de gesso, diminuindo assim o risco de falha e de erros que possam ocorrer nos movimentos de primeira ordem devido ao excesso de material na base.⁵⁰

Outra aplicação da impressão 3D na Ortodontia é a confecção de aparelhos auxiliares, como: expansores, contenção ortodôntica e alinhadores transparentes a partir dos modelos impressos. Ao incorporar estas práticas no dia a dia clínico, o tempo e custo de fazer moldagem e enviá-las para os laboratórios são minimizadas.¹⁴ A precisão da tecnologia CAD/CAM também foi avaliada para o planejamento e impressão tridimensional de aparelhos ortodônticos auxiliares, e estudos concluíram que a tecnologia digital pode ser usada com precisão para planejamento e construção de dispositivos ortodônticos.^{47,51}

Os modelos impressos em polímero são adequados como modelo de estudo e permitem a confecção de aparelhos ortodônticos, no entanto, não são indicados quando o aparelho requer solda, pois o calor da solda de prata deformaria ou derreteria o modelo impresso por conta da alta temperatura exigida para soldagem.³⁶ Uma solução para esse problema seria duplicar o modelo em gesso para confeccionar a soldagem tradicional, ou utilizar uma solda a laser nos modelos impressos.

Atualmente, as aplicações mais comuns das impressoras 3D são a fabricação de placas de contenção e alinhadores transparentes.³⁶ É possível mover virtualmente os dentes para uma posição ideal final, utilizando *softwares* comerciais com essa finalidade, imprimir uma sequência de modelos físicos em uma impressora 3D e usar um material termoplástico para fabricar os alinhadores sobre esses modelos impressos. A fabricação desses alinhadores pode ser feita no próprio consultório, chamados de “*in house*”.

Depois dos modelos do paciente serem importados, os mesmos devem passar por um processo de segmentação dos dentes para que possam ser movimentados de acordo com a posição desejada. O *software* irá calcular o número de alinhadores necessários com base nos movimentos, produzindo arquivos .STL (*Standard Triangle Language*) com as movimentações dentárias desejadas. Esse processo ainda é bem demorado, e por conta disso as empresas estão desenvolvendo resinas biocompatíveis que permitirão a impressão direta dos alinhadores transparentes, tornando o processo mais eficiente e econômico.⁵²

O formato de arquivo .STL, desenvolvido por Charles Hull, foi aceito como o padrão-ouro para transferência de dados entre o CAD e uma impressora 3D. Esse tipo de arquivo armazena as informações de cada superfície do modelo virtual na forma de triângulos, onde as coordenadas dos vértices são definidas em um arquivo de texto. O aumento no número de triângulos que definem uma superfície resulta em uma maior resolução do objeto impresso.⁵³

Considerando o grande número de tecnologias de impressão disponíveis, é importante que os profissionais estejam cientes das propriedades e características de cada sistema, de modo a utilizá-los adequadamente de acordo com suas necessidades. Ao selecionar uma impressora 3D para Ortodontia, muitos fatores devem ser cuidadosamente considerados devido a variáveis que podem afetar a precisão da peça, como a resolução da impressora, custo (incluindo manutenção e materiais), e tempo de impressão e de pós-processamento necessário.¹¹ Apesar disso, com o desenvolvimento de máquinas e materiais de digitalização e impressão 3D, pode-se esperar que a precisão dos objetos impressos em 3D seja bastante aprimorada e que o custo provavelmente se torne mais acessível.³⁹

2 PROPOSIÇÃO

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é comparar a acurácia da impressão entre duas impressoras do tipo DLP e uma FFF em relação à PolyJet (padrão-ouro).

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Avaliar a precisão das impressões (consistência de cada impressora);
- b) Avaliar, para cada técnica de impressão, o custo de:
 - Equipamento
 - Insumos
- c) Avaliar, para cada técnica de impressão, o tempo total para obtenção de cada modelo

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Aspectos éticos

Este trabalho foi submetido à Plataforma Brasil e aprovado pelo comitê de ética em pesquisa sob o número CAAE: 25681519.7.0000.5259 (ANEXO). Todos os pacientes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-Informação (APÊNDICE).

3.2 Sujeitos da pesquisa

O cálculo amostral foi estabelecido por meio da ferramenta estatística do Massachusetts General Hospital Biostatistics Center (http://hedwig.mgh.harvard.edu/sample_size/js/js_crossover_quant.html). Considerou-se um poder de 80%, nível de significância de 5%, e a diferença a ser detectada de 0,4 mm, indicando a necessidade de uma amostra total de 10 escaneamentos. O desvio-padrão utilizado foi de 0,38 auferido no estudo piloto.

3.2.1 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão da amostra foram o escaneamento de alta qualidade de pacientes com indicação de tratamento ortodôntico que apresentaram: todos os dentes permanentes presentes e completamente erupcionados (excluindo os terceiros molares), sem contenção, com exames que contivessem pelo menos 5 mm de tecido gengival em qualquer dente permanente.

3.2.2 Critérios de exclusão

Os critérios de exclusão da amostra foram: pacientes com contenção fixa colada, escaneamentos que apresentem defeito na malha em qualquer dos dentes permanentes, escaneamentos que apresentem os terceiros molares, e escaneamentos que englobem menos de 5 mm de tecido gengival em qualquer dos dentes permanentes.

3.3 **Protocolo de aquisição e edição dos modelos virtuais**

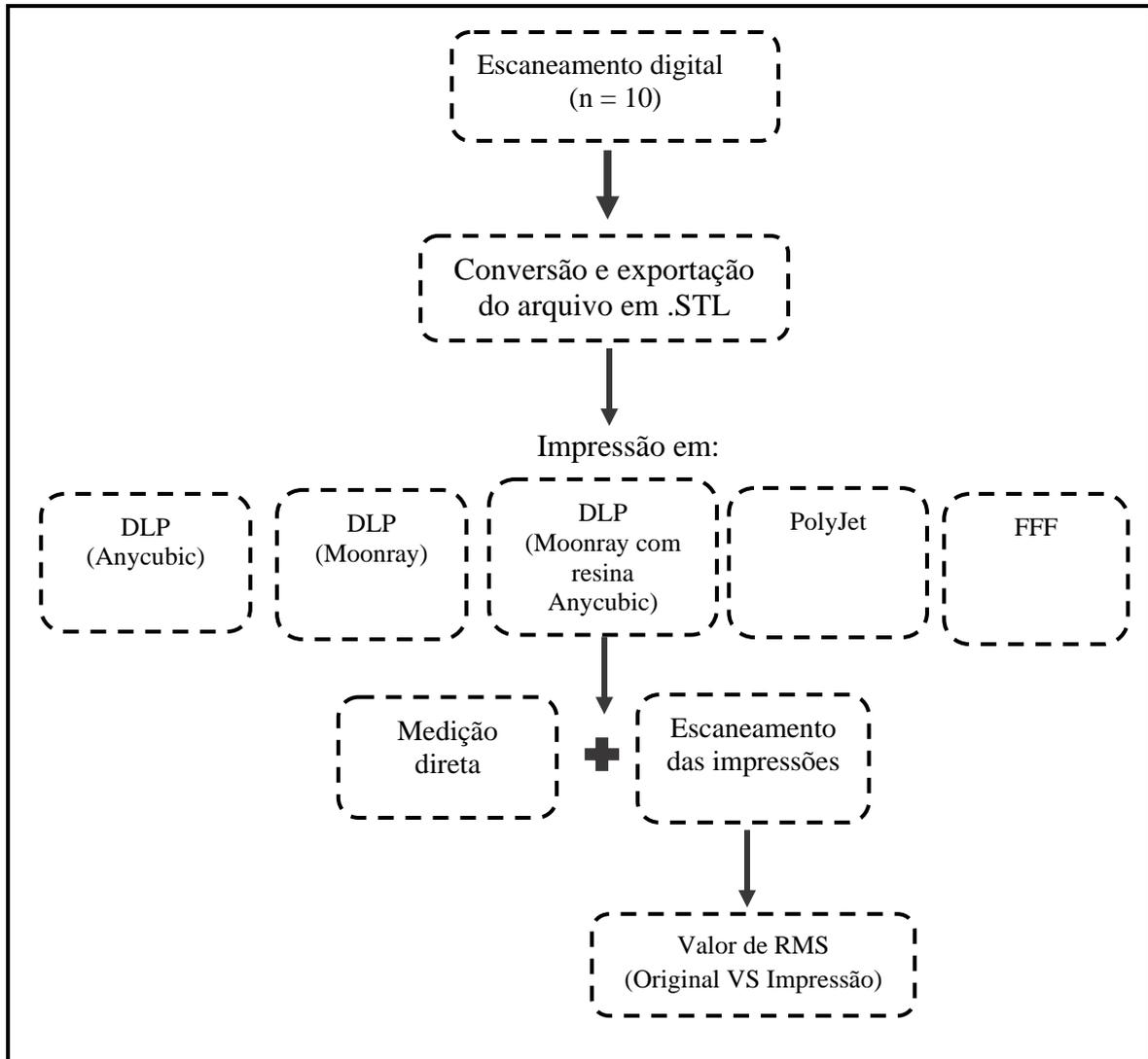
Um total de 10 escaneamentos iniciais de alta qualidade dos arcos da maxila e da mandíbula foram obtidos com o *scanner* iTero® (Align Technologies, San Jose, Califórnia), de acordo com os critérios de inclusão da amostra (Figura 4 e 5).

Figura 4 – Modelo odontológico digital obtido pelo *scanner* iTero



Fonte: A autora, 2019.

Figura 5 – Fluxograma de todo processo de aquisição e avaliação dos modelos 3D



Fonte: A autora, 2019.

Para avaliar a acurácia, todos os 5 pares modelos adquiridos foram impressos por cada impressora diferente. Para avaliação da precisão das impressoras, um dos modelos virtuais foi adicionalmente impresso quatro vezes consecutivas em cada impressora (totalizando 14 impressões).

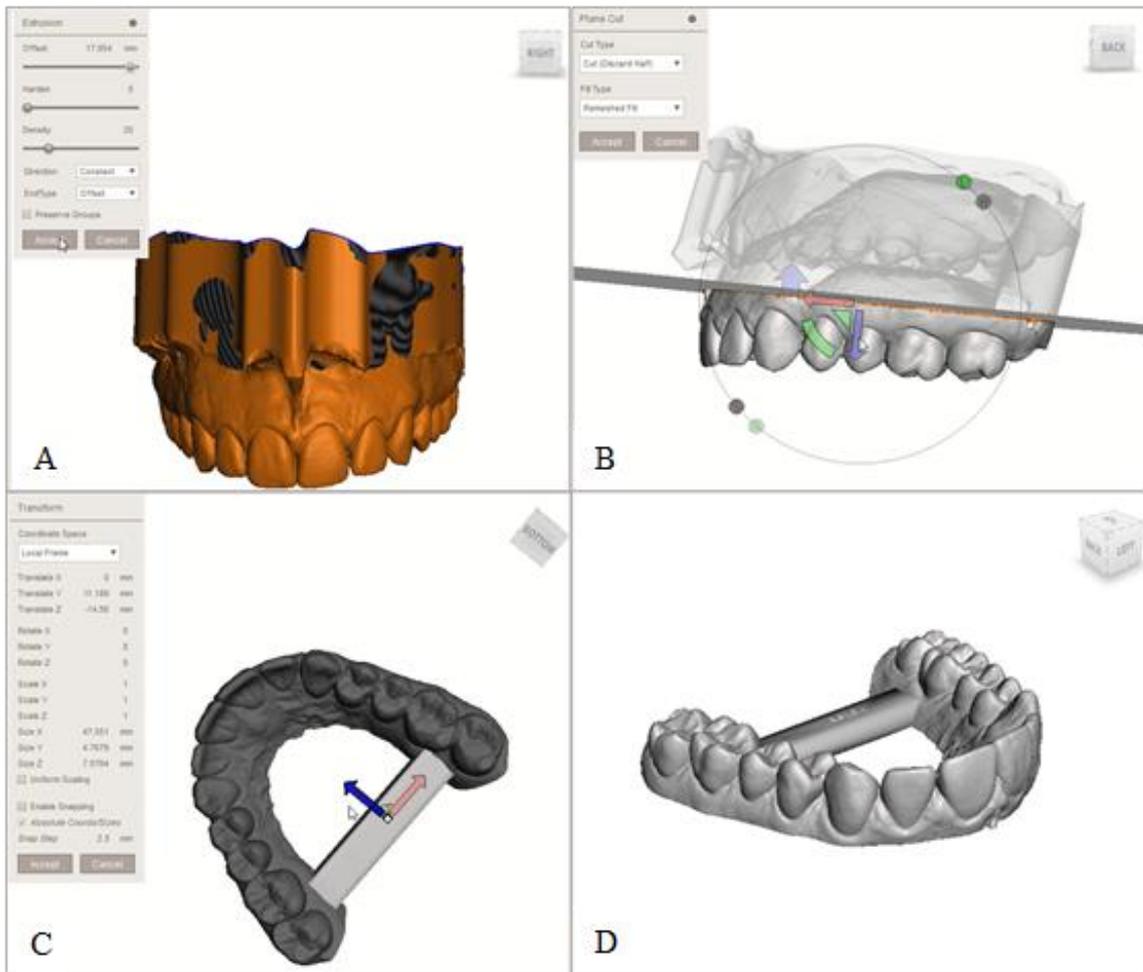
3.3.1 Método de preparo no *software* Meshmixer

Os arquivos digitais gerados pelo escaneamento foram salvos no formato .STL e importados para o *software* Meshmixer (Autodesk, Inc, CA, EUA), visando a edição do modelo

para correta impressão. Esse *software* permite realizar a manipulação de malhas, que podem ser cortadas, unidas e manipuladas em um espaço 3D virtual.

Primeiramente, todo o arquivo foi selecionado para ser extrudado, utilizando a ferramenta “*extrusion*” (Figura 6A), ou seja, alongado no eixo vertical. Em seguida o modelo é recortado em um plano reto (utilizando a ferramenta “*plane cut*”) respeitando um limite de 2 mm acima da margem cervical dos dentes (figura 6B). Esse recorte deixava o modelo em forma de ferradura. Após o recorte, o arquivo de uma barra criada e confeccionada previamente foi importado e ajustado de forma a se adaptar na área dos segundos molares (figura 6C), conectando as regiões posteriores dos arcos¹³. Depois de devidamente posicionado, o modelo foi unido à barra através da ferramenta “*combine*”. Uma última etapa de recorte é necessária para que não haja possíveis degraus no modelo (figura 6D).

Figura 6 – Etapas do preparo do modelo virtual



Legenda: A:Seleção total do modelo com aumento do “offset” visando extrudar o mesmo para futuro corte; B: corte em um plano reto com o modelo extrudado, usando como limite uma margem de aproximadamente 2 mm acima da linha cervical; C: adição e adequado posicionamento da barra (com dimensão de 4 mm de altura, profundidade de 7,5 mm e comprimento de acordo com a distância intermolar) na região posterior de molares; D: união da barra com o modelo, tornando-o pronto para impressão.

Nota: Imagens retiradas com auxílio do *software* MESHMIXER.

Fonte: A autora, 2019.

3.4 Protocolo de aquisição dos modelos físicos

Uma vez adequadamente preparados, os arquivos .STL foram convertidos em modelos físicos usando três tecnologias de PR que geraram 5 modelos diferentes: DLP na impressora Anycubic Photon (AC) (Anycubic, Shenzhen, Guangdong, China) e MoonRay S100 (Sprintray, Los Angeles, EUA) CA, EUA) com resina própria (MR) e com resina Anycubic (MRA), PolyJet na Objet Eden 500 (PJ) (Stratays, Eden Prairie, MN, EUA) e FFF na UpMini 2 (Tiertime

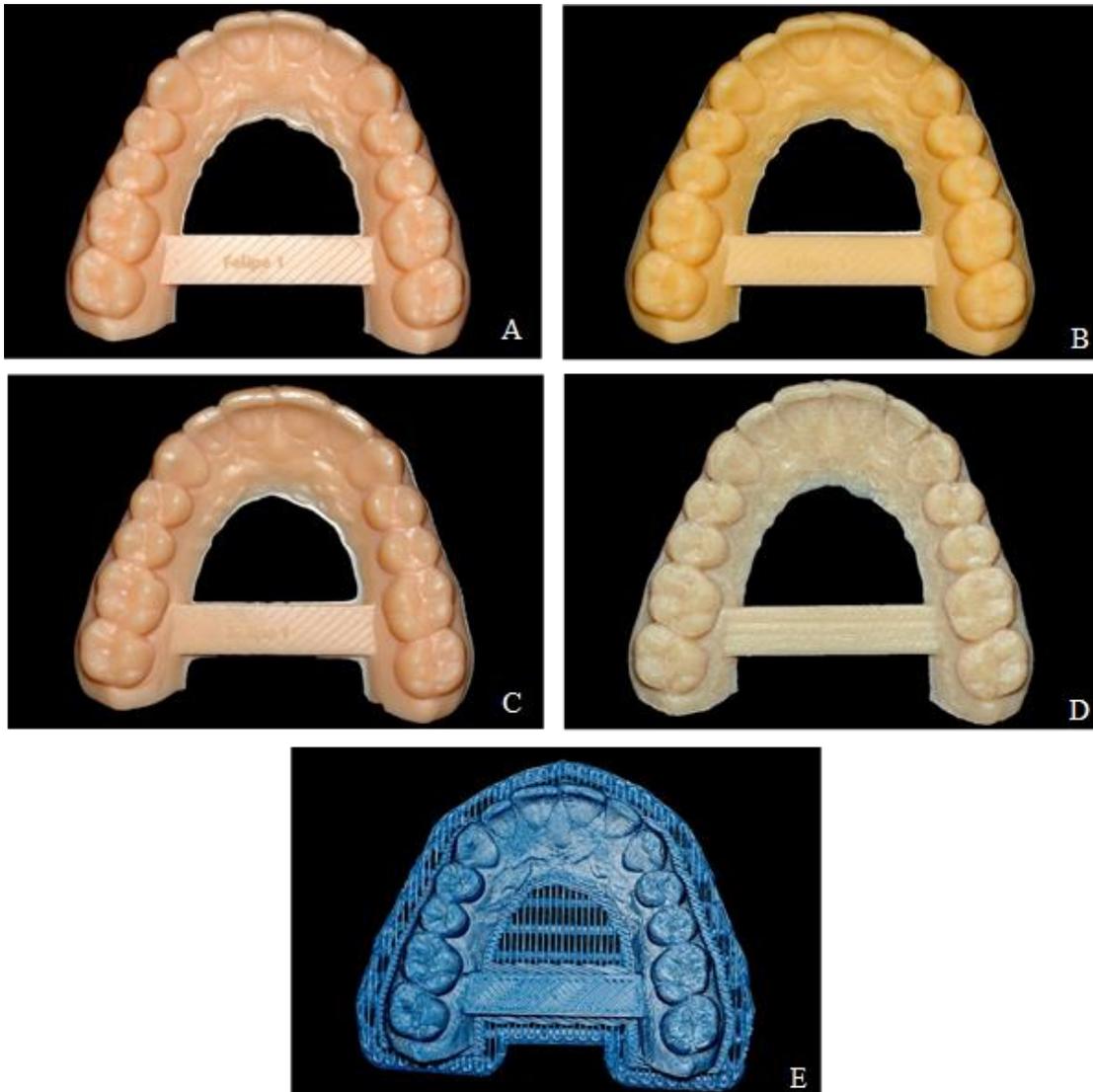
Technology, Beijing, China), exemplificados na figura 7. Todos os modelos foram impressos na orientação horizontal, incluindo a barra posterior adicionada para minimizar a contração transversal dos modelos (Figura 8).¹³

Figura 7 – Modelos e marcas das impressoras 3D utilizadas



Legenda: A: Up Mini 2; B: Anycubic Photon; C: Moonray S100; D: PolyJet Objet Eden 500.
Fonte: A autora, 2019.

Figura 8 – Exemplo do mesmo modelo virtual impresso nas 5 tecnologias de impressão diferentes



Legenda: A: Anycubic; B: Moonray; C: Moonray com resina da Anycubic; D:PolyJet; E:FFF.
Fonte: A autora, 2019.

3.5 Preparo dos modelos físicos após a impressão

Para os modelos impressos em DLP, são necessárias etapas adicionais após a impressão. Essa etapa incluiu a remoção cuidadosa de cada par de modelo aderido na plataforma, imersão em um solvente (álcool isopropílico a 90%) para limpeza e remoção dos excessos de resina não curada em um recipiente que é colocado na cuba ultrassônica por 8 minutos. Após esse tempo, a peça é removida do recipiente e seca através de um jato de ar comprimido, visando secá-la completamente. Em seguida, as peças passaram por um processo

de pós-cura, no qual foram colocadas em uma câmara UV com uma potência de 70W por 10 minutos. Os modelos impressos em FFF não necessitam de nenhum pós-processamento após a impressão. Os modelos em PolyJet passaram por um processo de limpeza através de uma máquina *Waterjet* no laboratório em que foram impressas.

3.6 Passos realizados no *software* Geomagic®

Após o completo preparo e impressão dos modelos 3D, eles foram digitalizados novamente com o mesmo equipamento (*iTero*) (figura 9) e os arquivos .STL foram avaliados com o auxílio do *software* Geomagic Qualify 2013 (3D Systems, Rock Hill, SC), que permitiu a sobreposição “*best fit*” dos modelos e a comparação com o arquivo .STL original.

Figura 9 – Realização do escaneamento dos modelos impressos

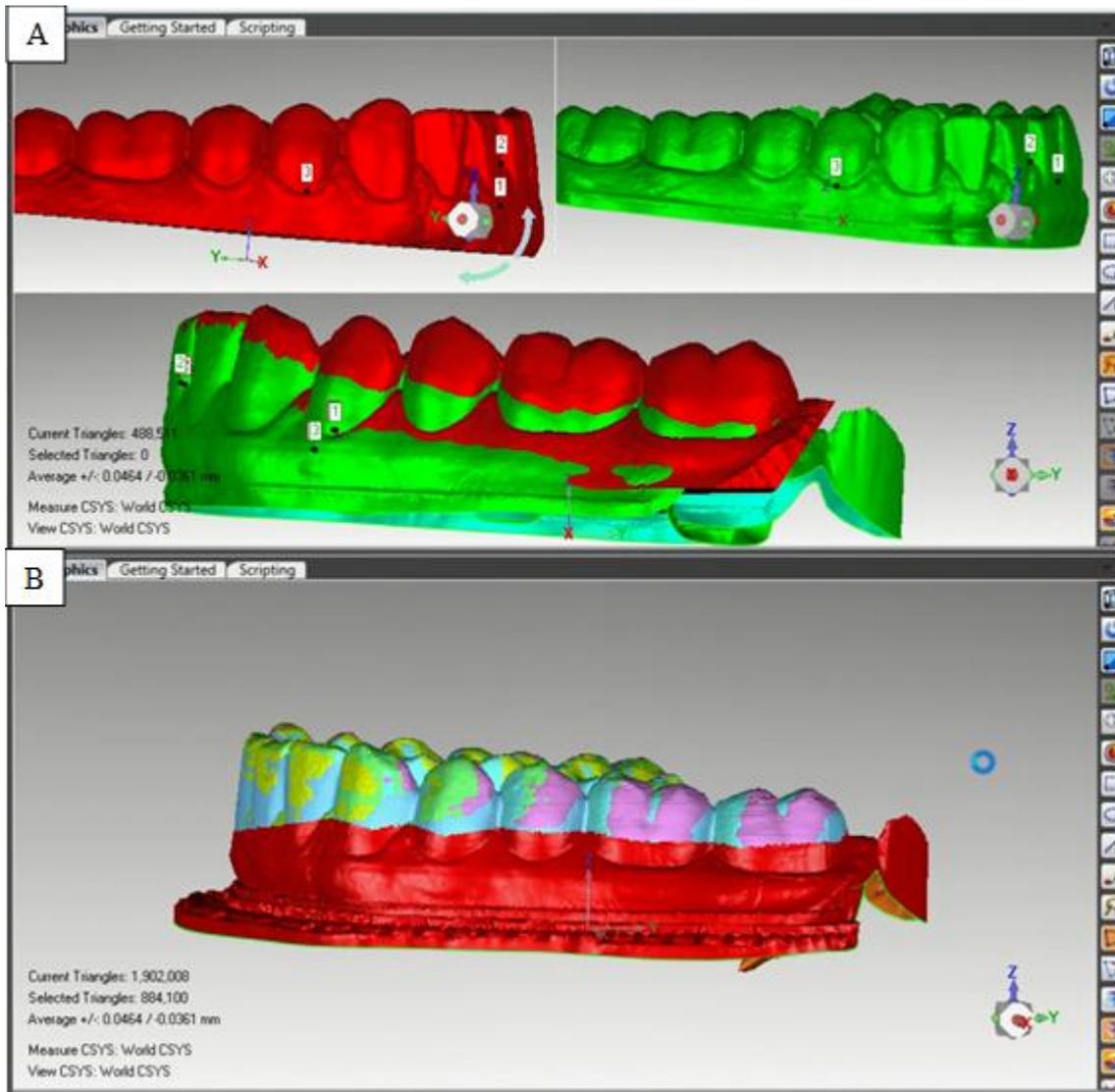


Fonte: A autora, 2019.

No *software* Geomagic, o arquivo .STL original (considerado referência) foi superposto com cada arquivo dos modelos impressos (considerado teste) através do registro manual com a marcação de 3 pontos correspondentes (figura 10A). Cada dupla desses arquivos (original e teste)

foi novamente alinhado através da ferramenta “*best fit alignment*”. Em seguida, todos os modelos foram selecionados para serem cortados em conjunto com os mesmos limites, de acordo com as regiões anatômicas de interesse, removendo aproximadamente o terço cervical da coroa dentária (figura 10B).

Figura 10 – Visualização no Geomagic Qualify



Legenda: A: Registro manual; B: Recorte das estruturas de interesse de todos os modelos
Fonte: A autora, 2020.

Após o recorte, cada dupla de modelos foi novamente selecionada visando realizar sua comparação, através da ferramenta “*3D compare*”. Essa ferramenta permite a quantificação adequada das discrepâncias e a geração de mapas de cores que permitiram o cálculo do RMS (*root mean square* ou raiz quadrática) entre cada par de modelos. Este *software* mostra os mapas de cores e calcula as diferenças entre os modelos, fornecendo as distâncias mínimas e

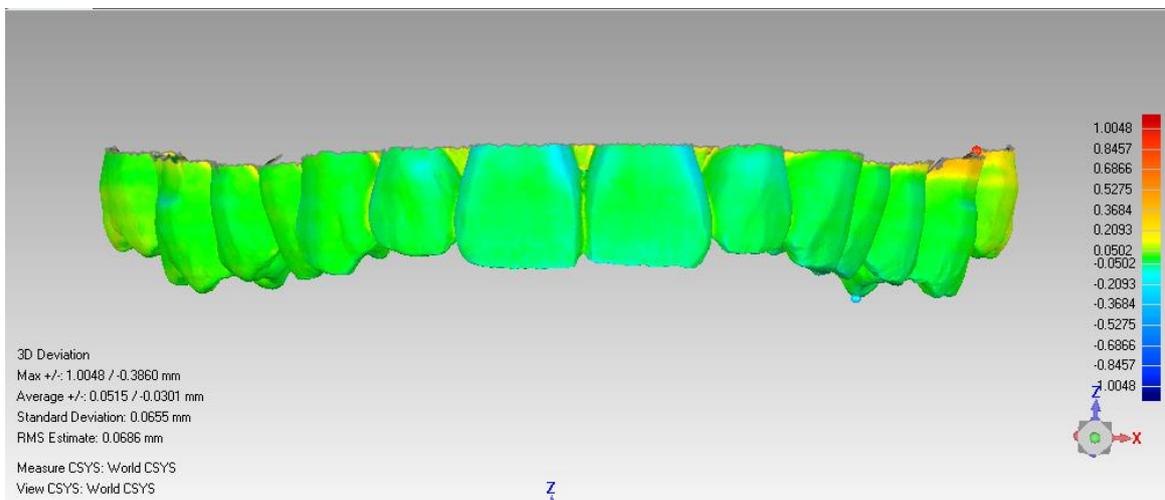
máximas (positivas e negativas), além do RMS. A média quadrática, na verdade, corresponde à média absoluta das distâncias de uma forma normalizada, útil quando existem grandes variações de valores, tanto para positivo quanto para negativo.

RMS para uma coleção de n valores $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ é dado pela fórmula abaixo:

$$RMS = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n}}$$

As alterações registradas foram visualizadas de forma quantitativa através dos mapas de codificação coloridos, que podem diferenciar entre movimento para dentro de uma superfície em relação à outra (codificação azul) ou para fora (codificação vermelha). A ausência de deslocamento é codificada pela cor verde (Figura 11).

Figura 11 – Exemplo de medidas avaliadas pelo *software* Geomagic



Fonte: A autora, 2019.

3.7 Realização das medidas manuais

As medidas manuais foram realizadas com o uso de paquímetro digital portátil (O400-EEP, Orthopli, Filadélfia, Pa) (figura 12), e a reprodutibilidade foi verificada através de medidas repetidas de 6 pares de modelos digitais impressos e selecionados aleatoriamente.

Para a calibração do operador, as medidas foram repetidas para cada modelo até que diferenças de medidas repetidas fossem consideradas baixas (menos de 0,5 mm). Após a calibração, os 12 modelos foram medidos e remedidos com um intervalo de 2 semanas. A confiabilidade dos valores obtidos foi verificada pelo índice de correlação intra-classe (ICC).

Figura 12 – Realização das medições manuais através do paquímetro digital



Fonte: A autora, 2019.

Para medições lineares dos modelos impressos, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- a) Distância intercanina (DIC) - Distância entre as cúspides dos caninos;
- b) Distância intermolar (DIM) - Distância entre as pontas das cúspides mesio-vestibulares dos primeiros molares contralaterais;
- c) Plano ântero-posterior bilateral (PAP-D e PAP-E) - Distância da ponta do canino até a ponta da cúspide vestibular do primeiro pré-molar do mesmo lado;
- d) Plano vertical bilateral (PV-D e PV-E) - Distância da concavidade mais apical da margem gengival (zênite) até a ponta da cúspide do canino;
- e) Plano misto bilateral (PM-D e PM-E) - Distância entre a distal da borda incisal do incisivo central até a ponta da cúspide do canino do mesmo lado.

A acurácia dos diferentes métodos de impressão foi verificada comparando-se cada técnica aos modelos correspondentes impressos pela tecnologia PolyJet (padrão-ouro) quando utilizadas as medidas lineares. Já para as medidas de RMS, cada modelo impresso por cada tecnologia, foi superposto e comparado ao modelo original do escaneamento intra-oral.

A precisão (consistência) de cada impressora foi verificada através da impressão repetida (5 vezes) de um mesmo modelo e a comparação foi realizada da mesma forma para a análise de acurácia.

O tempo total de impressão por par de modelo foi calculado somando o tempo de preparação do arquivo .STL para impressão, incluindo corte, solidificação e a adição e união da barra posterior (o mesmo para todas as tecnologias), soma de tempo de impressão e soma do tempo de pós-processamento de cada tecnologia.

3.8 Análise estatística

O cálculo amostral foi realizado no site www.lee.dante.br.

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS®) for Windows, versão 25.0 (Armonk, NY: IBM Corp).

O nível de significância foi estabelecido em 5%. A confiabilidade das medidas foi determinada pelo coeficiente de correlação intraclasse entre duas medidas realizadas com intervalo de 2 semanas.

O teste Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar se os dados eram normalmente distribuídos. O teste de Friedman e o ajuste de Bonferroni foram aplicados para comparações múltiplas.

O Índice de Correlação intraclasse (ICC) foi utilizado para demonstrar reprodutibilidade dos dados intra avaliador.

4 RESULTADOS

A reprodutibilidade das 8 variáveis (intra-avaliador) revelou uma discrepância máxima entre as medidas repetidas de 0,4 mm. A média das discrepâncias e o desvio-padrão destas medidas foram, respectivamente: DIC $0,06 \pm 0,18$; DIM $0,1 \pm 0,19$; PAP-D $0,07 \pm 0,16$; PAP-E $0 \pm 0,2$; PV-D $0,05 \pm 0,13$; PV-E $0,03 \pm 0,12$; PM-D $0,04 \pm 0,18$; PM-E $0,03 \pm 0,13$. O índice de correlação intra-classe foi alto para as medidas repetidas das 8 variáveis avaliadas (Tabela 1), com ICC de pelo menos 0,85, indicando uma boa associação entre essas.

Tabela 1 – Valores máximos (Max), mínimos (Min), média (Méd), desvio-padrão (DP), índice de correlação intra-classe (ICC) e significância estatística (P) das discrepâncias entre as medidas repetidas intra-examinador para as 8 variáveis aferidas com o paquímetro digital (n=12)

	DIC	DIM	PAP-D	PAP-E	PV-D	PV-E	PM-D	PM-E
Max	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30	0,20	0,30	0,20
Min	-0,40	-0,30	-0,20	-0,30	-0,10	-0,20	-0,20	-0,20
Méd	0,06	-0,10	0,07	0,00	0,05	0,03	0,04	0,03
DP	0,18	0,19	0,16	0,20	0,13	0,12	0,18	0,13
ICC	0,99	0,99	0,85	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99
P	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: A autora, 2019.

A tabela 2 é um resumo da estatística descritiva das medidas lineares. Observou-se diferenças clínica e estatisticamente significantes ($p < 0,05$) para as seguintes comparações: PV-D e PV-E entre MR e MRA ($p=0,00$), PV-D entre FFF e MR ($p=0,01$), PV-E entre FFF e MR ($p=0,00$).

Tabela 2 – Média das discrepâncias entre as medidas aferidas com o paquímetro entre os modelos produzidos em relação a PolyJet

Variável	Média	Mediana	DP	Significância (P valor)
DIC				
AC	0,26	0,30	0,17	0,57
FFF	0,24	0,15	0,20	
MRA	0,30	0,25	0,27	
MR	0,22	0,20	0,11	
DIM				
AC	0,22	0,30	0,13	0,55
FFF	0,27	0,20	0,24	
MRA	0,22	0,20	0,19	
MR	0,19	0,20	0,13	
PAP-D				
AC	0,26	0,25	0,12	0,33
FFF	0,26	0,25	0,14	
MRA	0,19	0,20	0,14	
MR	0,31	0,35	0,11	
PAP-E				
AC	0,19	0,20	0,12	0,36
FFF	0,21	0,20	0,11	
MRA	0,29	0,30	0,17	
MR	0,20	0,15	0,14	
PV-D				
AC	0,33	0,30	0,19	0,00*
FFF	0,24	0,20	0,12	
MRA	0,79**	0,80**	0,28	
MR	0,22*	0,20*	0,11	
PV-E				
AC	0,40	0,50	0,17	0,00*
FFF	0,22	0,20	0,13	
MRA	0,77**	0,85**	0,25	
MR	0,24	0,30	0,11	
PM-D				
AC	0,28	0,20	0,18	0,02*
FFF	0,25	0,25	0,10	
MRA	0,29	0,30	0,20	
MR	,09	,10	,07	
PM-E				
AC	0,26	0,25	0,18	0,77
FFF	0,20	0,20	0,15	
MRA	0,18	0,15	0,13	
MR	0,21	0,20	0,12	

Legenda: DP: Desvio-padrão; *: estatisticamente significativo, considerando-se $p < 0,05$; **: clínica e estatisticamente significativo.

Fonte: A autora, 2019.

Já para o RMS ocorreram diferenças estatisticamente significantes entre: AC e MR ($p=0,00$); AC e MRA ($p=0,00$); FFF e MR ($p=0,01$) e PJ e MR ($p=0,01$), assim como nenhum valor esteve acima do considerado clinicamente significante (0,25 mm). A impressão de AC mostrou menor discrepância de RMS, obtendo os melhores resultados, seguido por PJ, FFF, MR e MRA respectivamente (tabela 3).

Tabela 3 – Valores de média, mediana e desvio-padrão do RMS das cinco impressões em relação ao arquivo original digital

Variável (RMS)	Média	Mediana	DP	Significância (P valor)
AC	0,05	0,05	0,01	0,00*
FFF	0,07	0,07	0,01	
MRA	0,15	0,16	0,02	
MR	0,14	0,14	0,02	
PJ	0,07	0,06	0,01	

Legenda: DP: Desvio-padrão; *: estatisticamente significativo, considerando-se $p < 0,05$

Fonte: A autora, 2019.

Quando avaliada a precisão dos modelos pelas medidas lineares, observou-se diferença estatisticamente significativa apenas na variável PV-D entre FFF e AC ($p=0,00$) (Tabela 4). A mesma diferença foi vista para os valores de RMS em: AC e MR ($p=0,02$) e AC e MRA ($p=0,04$) (Tabela 5).

Tabela 4 – Avaliação da precisão das medidas aferidas com o paquímetro entre os modelos impressos repetidos em relação a PolyJet

Variável (RMS)	Média	Mediana	DP	Significância (P valor)
DIC				
AC	0,20	0,30	0,14	0,89
FFF	0,24	0,20	0,15	
MRA	0,22	0,20	0,13	
MR	0,24	0,20	0,11	
DIM				
AC	0,08	0,00	0,13	0,07
FFF	0,18	0,20	0,08	
MRA	0,24	0,20	0,18	
MR	0,08	0,00	0,13	
PAP-D				
AC	0,12	0,10	0,08	0,74
FFF	0,16	0,20	0,11	
MRA	0,14	0,20	0,08	
MR	0,10	0,10	0,12	
PAP-E				
AC	0,22	0,20	0,10	0,20
FFF	0,24	0,20	0,11	
MRA	0,12	0,20	0,10	
MR	0,14	0,10	0,11	
PV-D				
AC	0,76	0,80	0,11	0,01*
FFF	0,08	0,10	0,08	
MRA	0,40	0,30	0,22	
MR	0,42	0,40	0,04	
PV-E				
AC	0,38	0,40**	0,17	0,27
FFF	0,18	0,20	0,08	
MRA	0,24	0,20	0,27	
MR	0,30	0,30	0,12	
PM-D				
AC	0,14	0,10	0,05	0,75
FFF	0,18	0,20	0,08	
MRA	0,14	0,10	0,05	
MR	0,14	0,20	0,08	
PM-E				
AC	0,20	0,20	0,14	0,87
FFF	0,14	0,20	0,08	
MRA	0,22	0,20	0,13	
MR	0,14	0,10	0,15	

Legenda: DP: Desvio-padrão; *: estatisticamente significativo, considerando-se $p < 0,05$; **: clinica e estatisticamente significativo.

Fonte: A autora, 2019.

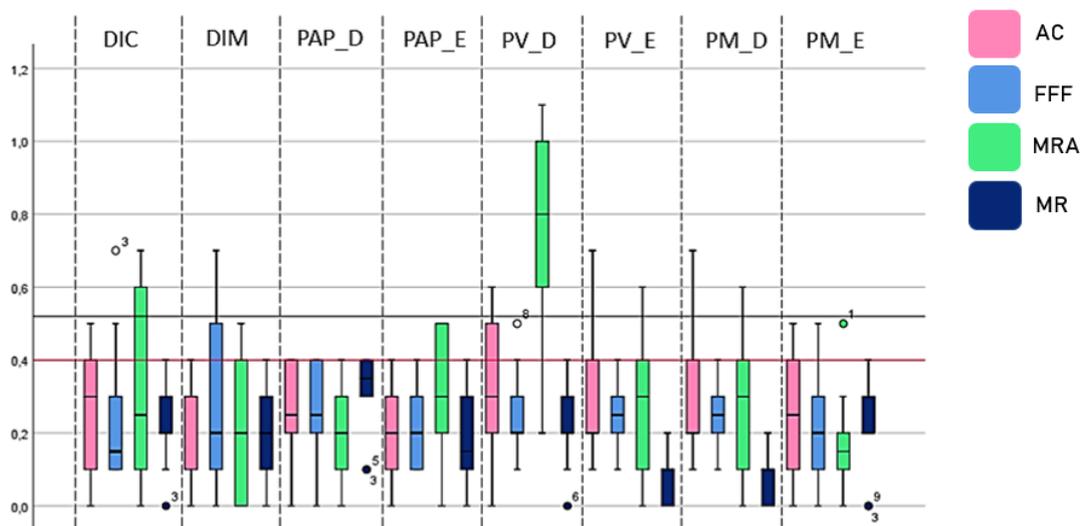
Tabela 5- Avaliação da precisão das medidas de RMS das cinco impressões nos modelos impressos repetidos em relação ao arquivo original digital

Variável (RMS)	Média	Mediana	DP	Significância (P valor)
AC	0,06	0,07	0,01	0,00*
FFF	0,07	0,07	0,01	
MRA	0,15	0,16	0,00	
MR	0,15	0,15	0,01	
PJ	0,07	0,07	0,01	

Legenda: DP: Desvio-padrão; *: estatisticamente significativo, considerando-se $p < 0,05$
 Fonte: A autora, 2019.

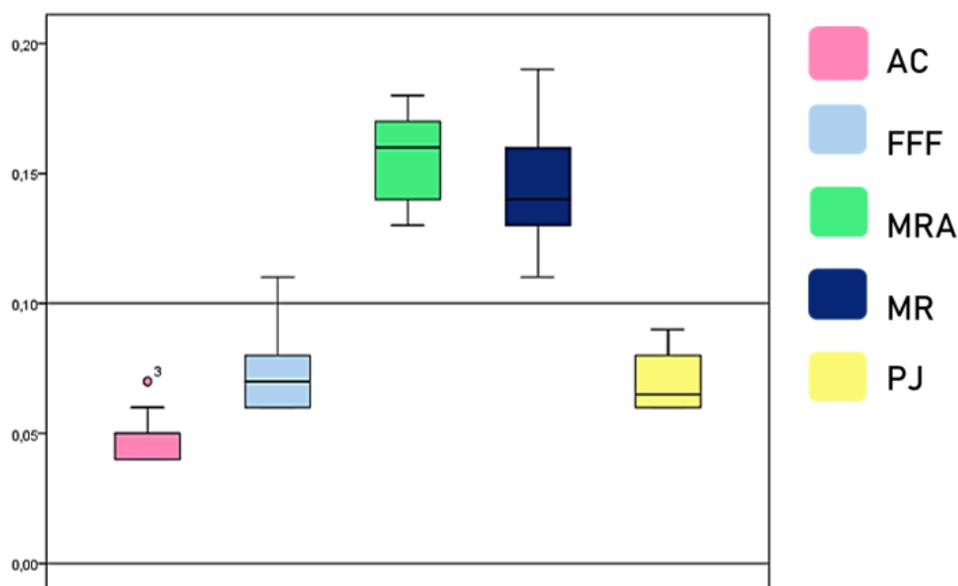
O gráfico boxplot (gráfico 1) mostra que as medianas de todas as variáveis estão abaixo de limite de relevância clínica, com exceção do PV-D de MRA. O gráfico boxplot do RMS (gráfico 2) mostrou pouca variação entre os modelos, com todos os valores de mediana estando abaixo de 0,2 mm.

Gráfico 1 – Boxplot das 8 variáveis das medidas lineares em relação ao PolyJet, visando avaliar a acurácia dos modelos nas diferentes tecnologias de impressão



Fonte: A autora, 2019.

Gráfico 2 – Boxplot dos valores de RMS, quando avaliado a acurácia dos modelos ao serem comparados com o arquivo original do escaneamento



Fonte: A autora, 2019.

A relação custo-benefício de cada tecnologia de impressão foi avaliada de acordo com: o custo da impressora, a espessura das camadas de impressão, o preço por unidade de acordo com a quantidade de material disponível para compra, o valor do par impresso e o tempo total de preparo de um par de modelos, considerando que cada um possuía 15g (Tabela 6). De acordo com o custo do *hardware*, a impressora PolyJet apresentou os valores mais altos, enquanto a DLP Anycubic apresentou o valor mais barato, porém próximo a FFF.

Quanto a espessura de camada, os modelos impressos em FFF possuíam a maior espessura das camadas, com 0,15 mm para cada, seguindo pelos dois modelos em DLP, que possuíam 0,05 mm e em PolyJet com 0,03 mm.

O valor de cada insumo foi obtido de acordo com o volume descrito na tabela. O insumo mais barato foi da impressora FFF, seguido pela DLP Anycubic, DLP Moonray e PolyJet.

O custo médio de cada par de impressão foi obtido de acordo com o valor do insumo e da impressora para os modelos de 15g cada. Os modelos em FFF também foram os mais baratos, seguido pelo DLP Anycubic, DLP Moonray e PolyJet.

Em relação ao tempo total de impressão, o maior tempo foi observado na impressão em FFF, seguido pela DLP com valores próximos e a PolyJet sendo a mais rápida.

Tabela 6 – Tabela comparativa de custos / tempo, considerando uma massa média por modelo de 15g

	Anycubic	Moonray	FFF	PolyJet
Custo do <i>Hardware</i>	USD 260,00	USD 4.430,00	USD 400,00	USD 80.000,00
Volume/Massa	1L	1L	1Kg	3,6 Kg
Espessura de camada	50 μm	50 μm	150 μm	30 μm
Preço / Volume ou Massa	USD 49,00	USD 150,00	USD 18,00	USD 573,00
Custo da impressão (par)	USD 0,74	USD 2,25	USD 0,27	USD 8,60
Tempo total (par)	115 min	112 min	178 min	42 min

Fonte: A autora, 2019.

5 DISCUSSÃO

A digitalização de modelos odontológicos tem contribuído para uma maior eficiência na prática odontológica, e como resultado de suas vantagens e crescente acessibilidade, mais ortodontistas estão incorporando esse tipo de modelos nas suas práticas diárias.³⁻⁵ Pela disponibilidade e facilidade de ser realizado em uma única etapa, utilizamos o escaneamento intraoral neste estudo para criar os modelos virtuais que seriam impressos.

Além disso, considerando que os modelos virtuais foram obtidos diretamente da cavidade oral e comparados aos mesmos modelos impressos digitalizados, foi possível eliminar possíveis variáveis que poderiam ter sido introduzidas durante a moldagem com alginato e produção do modelo de gesso. Apesar dos modelos impressos em 3D serem digitalizados, Fleming *et al.*¹⁰ relataram que os modelos digitais oferecem um alto grau de validade quando comparados com a medição direta de modelos de gesso, e as diferenças entre essas abordagens provavelmente estarão dentro dos limites clinicamente aceitáveis.

O *scanner* intraoral (iTero) usado para digitalizar os modelos 3D impressos foi o mesmo usado para obter as digitalizações intraorais originais. Esse *scanner* utiliza um feixe de luz de laser baseado no princípio confocal e pode ser considerado confiável e preciso quando comparado com as moldagens convencionais.⁵⁴ Não foram encontradas dificuldades durante o processo de digitalização dos modelos impressos em 3D.

Com o intuito de incorporar o uso de modelos impressos em 3D na Ortodontia, a precisão deve ser garantida. Neste estudo, avaliamos a acurácia (proximidade entre as medidas de um objeto e seu valor real) e a confiabilidade (precisão e reprodutibilidade das medidas de modelos idênticos repetidos) dos modelos impressos. A acurácia é especialmente importante quando objetiva-se fabricar alinhadores transparentes e a precisão representa a confiabilidade de cada tecnologia, refletindo sua qualidade construtiva e de projeto.

Estudos anteriores avaliaram a acurácia de modelos impressos em 3D, comparando modelos de gesso aos impressos através de medições lineares usando um paquímetro digital.^{12,16,31,43} As medidas lineares realizadas com paquímetro neste trabalho, basearam-se nas medidas descritas no trabalho de Rebong *et al.*⁴³ Para avaliar as discrepâncias entre as digitalizações originais e os modelos impressos em 3D, optamos por utilizar a sobreposição digital, visto que esta permite o mapeamento das discrepâncias de toda a superfície do modelo estudado e não se baseia na identificação de pontos de referência, os quais estão sujeitos a erros humanos.

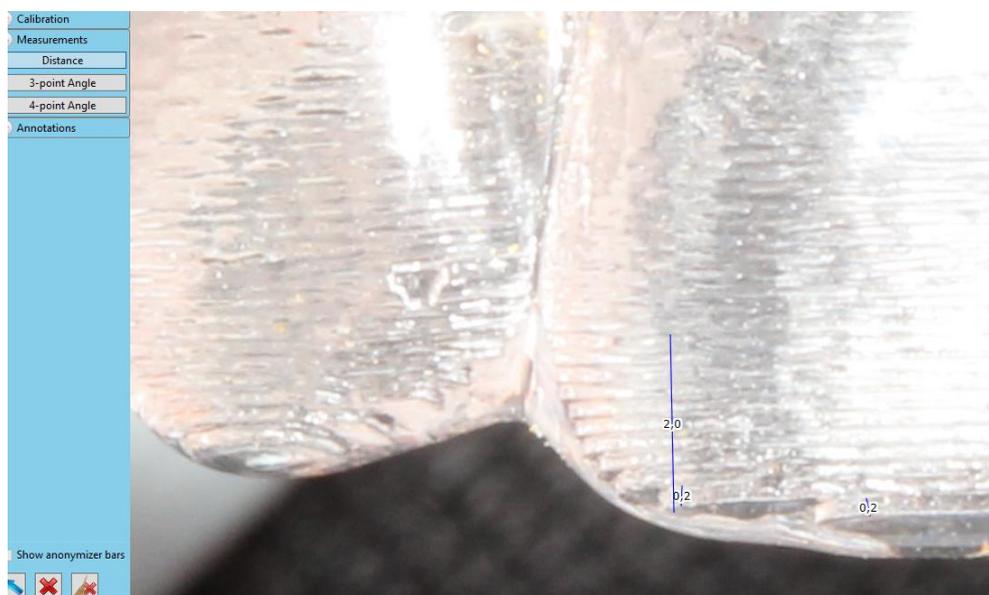
Atualmente, a principal aplicação das impressoras 3D é para contenção e fabricação de alinhadores,³⁶ no qual é possível movimentar os dentes virtualmente para a posição final desejada utilizando *softwares* comerciais com essa finalidade e imprimir uma sequência de modelos físicos que serão termoplastificados e darão origem aos alinhadores.

Visando avaliar a precisão e acurácia dos modelos possíveis de serem impressos com essa finalidade, diferenças de medição abaixo de 0,25 mm foram consideradas clinicamente aceitáveis para as medidas de RMS. Considerando que esse valor representa a espessura do ligamento periodontal e que em casos de confecção de alinhadores ortodônticos, esta seria a média de movimentação entre as placas.¹ Além disso, outros estudos com impressões 3D também reportaram um limite acima de 0,25 mm como clinicamente insignificante.^{11,55}

Com isso, nas tabelas do RMS (tabelas 4 e 6) podemos considerar que todos os valores foram clinicamente aceitáveis e precisos, levando em consideração que a diferença máxima obtida foi de 160 μ m (0,16 mm). Quando comparados entre si, as medidas da tabela do RMS da MR mostraram diferenças estatisticamente significativas em relação a AC, FFF e PolyJet. O mesmo aconteceu com a MRA em relação a Anycubic. Quando se avaliou a precisão das impressoras pelas medidas de RMS dos modelos repetidos, apenas a MR e MRA apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) em relação a AC. Wiranto *et al.*⁶ consideraram em seu estudo que diferenças entre os modelos avaliados menores do que 0,2 mm são clinicamente insignificantes. Logo, os resultados obtidos do RMS são favoráveis, considerando que estão abaixo desse valor.

Além disso, a Invisalign (Align Technology, San Jose, Califórnia), que é líder do mercado de alinhadores, utiliza uma resolução de impressão de 200 μ m. Para se obter esse valor, foi realizada uma medição de uma placa de alinhadores da marca, através de uma fotografia feita com lente objetiva macro 2:1 de 50 mm em câmera DSLR, perpendicularmente a face vestibular dos incisivos centrais superiores. O comprimento da coroa do dente 11 foi medido com o paquímetro e a foto foi importada no Dolphin Imaging 11.9. Após a calibração da imagem, tendo-se como referência o comprimento da coroa do 11, foi medida a distância entre duas linhas horizontais do alinhador por 5 vezes consecutivas e foi registrada a espessura de camada de 0,2 mm ou 200 μ m, especificado na figura 13.

Figura 13 – Medição das espessuras de camadas utilizadas pela Invisalign, através de uma câmera DSLR



Fonte: A autora, 2020.

As medidas manuais (com paquímetro), foram consideradas clinicamente significativas quando superiores a 0,4 mm, pois o erro de método conduzido pelo autor mostrou que este era o limite de confiabilidade do método proposto. Logo, qualquer valor inferior a este pode ocorrer devido a imprecisão do método, e não estar relacionado a diferenças reais entre as impressoras. Outros estudos utilizaram diferentes formas de medição dos modelos, determinando erros considerados clinicamente aceitáveis quanto à precisão. Os dados desses estudos mostraram 0,20 a 0,50 mm como uma faixa aceitável para a precisão clínica.^{12,56,57} Enquanto Halazonetis *et al.*⁵⁸ definiram que uma precisão de 0,5 mm era suficiente para a varredura a laser na cabeça e na face, Hirogaki *et al.*⁵⁹ sugeriram 0,3 mm para avaliar a precisão de modelos ortodônticos. Considerando essa faixa de 0,4 mm, a maior parte das variáveis analisadas nesse estudo mostraram que os modelos impressos em 3D foram adequados para o planejamento de diagnóstico e tratamento.

Neste estudo, as variáveis do PV-D e PV-E e PM-D apresentaram diferenças estatisticamente significativas, no qual em PV-D foi observado essa diferença entre MR e MRA e entre FFF e MR. Em PV-E entre MR e MRA e entre FFF e MR. Dentre estes, as variáveis que também mostraram diferença clinicamente significativa foram: MRA no PV-D (mediana 0,80); MRA (mediana 0,85) e AC (mediana 0,50) no PV-E. Quando avaliado a precisão pelos modelos repetidos, apenas a Anycubic apresentou diferenças clinicamente e

estatisticamente significantes (mediana 0,80) em PV-D entre FFF e AC, demonstrando que as tecnologias foram semelhantes entre si.

Considerando que neste estudo as maiores variações nas medidas foram vistas no plano vertical (eixo Z), alguns fatores podem ter influenciado essas alterações. Em modelos 3D, erros na marcação de pontos de referência são inevitáveis pois é difícil determinar visualmente a localização exata destes pontos.⁶⁰ Geralmente os modelos de estudo dentário são medidos à mão, com o uso de um paquímetro ou compasso. No entanto, a posição da ponta do paquímetro depende do operador, estando sujeito a uma variação intra e interoperador.⁵⁷ Outros fatores que apresentam maior impacto no eixo Z, como variação da espessura das camadas e contração relacionada a pós-cura podem ter contribuído para essas diferenças.¹⁵

Além disso, em alguns tipos de impressoras, é necessário calibrar a plataforma regularmente no eixo Z de forma a fornecer impressões confiáveis, por isso é importante que a plataforma de construção levante perfeitamente paralela ao projetor. Caso contrário, criará distorção e poderá comprometer a impressão. Os intervalos entre as calibrações devem ser regulares, a depender da frequência de uso da impressora. Considerando que na impressora Anycubic é necessário calibrar manualmente a plataforma, especula-se que esse fato pode estar relacionado às pequenas inconsistências ou imprecisões verificadas no plano vertical.

Neste estudo, todas as medidas foram tomadas visando diminuir possíveis alterações dos modelos em todos os eixos, como a impressão horizontal dos modelos (sem suportes), e adição de uma barra na região posterior. Um estudo recente,¹³ que avaliou diferentes modelos impressos, mostrou que a adição de uma barra de conexão na região posterior reduz a contração em comparação com modelos impressos com uma base regular, especialmente em técnicas em que é necessário realizar o processo de pós-cura. Além disso, o número de pixels em um projetor DLP é o mesmo independentemente do tamanho da impressão, o que significa que impressões menores e mais estreitas podem ter maior precisão do que impressões maiores feitas na mesma impressora DLP.⁴⁵

No estudo realizado por Favero *et al.*¹¹ foi observado um aumento nas discrepâncias dos modelos impressos em SLA, PolyJet e DLP de diferentes marcas e que foi diretamente proporcional ao aumento nos valores da resolução Z. O grupo de 100 μm de espessura de camada mostrou maior precisão quando comparado aos grupos de 50 μm e 25 μm de espessura em termos de desvio do modelo digital original. Os modelos de camada de 25 μm apresentaram os maiores desvios, enquanto os modelos de camada de 100 μm apresentaram o menor desvio. Os autores atribuíram isso ao aumento do potencial de erros e artefatos à

medida que aumenta a quantidade de camadas necessária para imprimir uma determinada peça. Apesar das diferenças, todos os valores foram considerados clinicamente aceitáveis. A seleção da espessura da camada deve levar em consideração não apenas a precisão, mas também fatores como custo, qualidade da superfície e eficiência. Em nosso estudo, foram utilizadas a espessura da camada de acordo com a tecnologia de impressão utilizada, considerando a espessura mais adequada e razoavelmente precisa para cada uma.

Em relação às resinas utilizadas, buscou-se investigar a viabilidade de utilização de uma resina de menor custo (Anycubic) em uma impressora de mesma tecnologia (DLP) porém de outro segmento de preço (MoonRay). Os resultados obtidos não foram favoráveis para essa combinação. Isso pode ocorrer devido a diferença de potência luminosa de cada impressora, e da concentração de fotoiniciador presente nas resinas na tecnologia DLP.⁶¹ Especula-se que a impressora Moonray apresente uma potência luminosa maior e a resina da Anycubic provavelmente tenha mais fotoiniciador pra compensar a fonte de luz menos intensa, levando a possíveis problemas dimensionais.

Em relação à potência do projetor da Anycubic, pode se especular que a cada 8 litros de resina haja uma perda nessa potência que comprometa o mesmo e demande sua troca. No entanto, ainda assim esta é uma opção interessante ser pelo menos 17x mais barata que a MR e mesmo que descartemos a impressora após a impressão de 1.000 modelos, a duração da MR teria que ser superior a 1.700.000 modelos para igualar o custo benefício.⁶²

Quanto a precisão dos modelos, muitos estudos mostraram que a técnica de impressão em PolyJet produziu modelos mais precisos quando comparados com os outros métodos de impressão. No entanto, isso não considera as outras opções como sendo inviáveis para aplicações clínicas.^{1,12,13} A precisão e acabamento de superfície de uma impressora 3D também tem relação com a espessura das camadas que são adicionadas sucessivamente no eixo Z, considerando que camadas mais espessas podem levar a uma maior imprecisão.^{15,63} Além disso, a impressão em PolyJet não necessita de pós-cura, o que leva a uma maior estabilidade durante a impressão, causando menos impacto no eixo Z.^{15,63} Este fator pode justificar as variações na altura dos modelos neste estudo, visto que a impressão em PolyJet imprime camadas mais finas no eixo Z quando comparado com as outras tecnologias.

Brown *et al.*¹⁵ relataram uma diferença média e limites de concordância semelhantes nos modelos impressos em DLP e PolyJet, ao serem comparados com modelos de gesso em todas as medidas registradas, com exceção da medida da altura da coroa quando comparado a impressão DLP com o modelo de gesso, que apresentaram diferenças médias maiores. Esses

dados se mostraram semelhantes aos nossos, que sugerem que os modelos impressos em DLP subestimem as dimensões reais da altura da coroa.

Um estudo realizado por Kim *et al.*¹ mostrou diferenças significativas na precisão de todas as medições e na exatidão entre as técnicas de impressão 3D. As técnicas PolyJet e DLP foram mais precisas do que as técnicas FFF e SLA, com a técnica PolyJet exibindo a mais alta precisão para impressão 3D de modelos.¹

Quando analisado o custo-benefício de cada tecnologia de impressão, cada uma apresentou vantagens e desvantagens, dependendo da aplicação clínica. As propriedades físicas dos materiais mais comuns da impressora também diferem entre os fabricantes, complicando ainda mais a decisão sobre qual impressora comprar. Os modelos em FFF são os mais baratos dentre as outras tecnologias, assim como os insumos. Além disso, estas estão amplamente disponíveis, são fáceis de usar e não necessitam de pós processamento.³⁶ Em nosso estudo, os modelos em FFF apresentaram maior tempo de impressão e menor custo, com resultados favoráveis quanto a precisão e acurácia.

Os modelos em PolyJet apresentaram os melhores resultados, porém com o custo da impressora consideravelmente mais alto em relação aos outros métodos de impressão.

O resultado dos modelos em DLP variaram de acordo com a marca da impressora. A Anycubic apresentou o melhor custo-benefício, sendo a impressora mais barata e com resultados satisfatórios. Em relação a impressora Moonray, seu resultado foi pior em relação a Anycubic, já que, além de possuírem o tempo de impressão bem próximos, ela é mais cara.

Embora as impressoras 3D estejam se tornando mais acessíveis, seu custo de operação, materiais, manutenção e a necessidade de operadores qualificados também devem ser cuidadosamente considerados.¹⁷ Um dos maiores incentivos para adoção de uma tecnologia são os recursos, facilidade de uso, eficiência, precisão e custos reduzidos. Por outro lado, a maior barreira para sua adoção parece ser o aumento do investimento inicial.⁶⁴ Por isso, é imperativo que novas tecnologias surjam oferecendo soluções com custos mais baixos, além de materiais com melhores propriedades, maior rapidez, assim como *softwares* mais amigáveis e que automatizem todo o processo. Com isso, é previsto que a impressão 3D terá um papel cada vez mais importante na Odontologia.

CONCLUSÃO

A partir desse estudo pode-se concluir que as impressoras produziram resultados de qualidade similares, embora a Moonray com a resina da Anycubic tenha mostrado perda de acurácia. Além disso, pode-se concluir que:

a) Anycubic foi a impressora com melhor acurácia, apesar de ter uma variação mínima com as outras impressoras. Para as medidas lineares, esta impressora apresentou a pior precisão no plano vertical.

b) O modelo em FFF tem o custo de produção mais barato. PolyJet foi considerado 31 vezes mais caro, Moonray 8 vezes mais caro e Anycubic 3 vezes mais caro que o modelo em FFF.

c) A impressora PolyJet foi considerada o método mais rápido, seguida pela Moonray, Anycubic e FFF, respectivamente.

Sendo assim pode-se considerar que as impressoras DLP apresentam relação custo-benefício favorável para consultórios odontológicos independentes, independentemente da marca. As impressoras Polyjet podem apresentar o custo-benefício favorável para grandes empresas.

REFERÊNCIAS

1. Kim S, Shin Y, Jung H, Hwang C, Baik H, Cha J. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2017 Maio [citado em 10 de novembro de 2019]; 153(1):144–53. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.05.025>.
2. Abizadeh N, Moles DR, O'Neill J, Noar JH. Digital versus plaster study models: How accurate and reproducible are they? *J. Orthod.* [internet] 2012 Março [citado em 10 de novembro de 2019]; 39(3):151–9. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/1465312512Z.00000000023>.
3. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofac. Orthop* 2007;132346-52.
4. Sousa MVS, Vasconcelos EC, Janson G, Garib D, Pinzan A. Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2011 Dezembro [citado em 10 de novembro de 2019]; 142(2):269–73. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.12.028>.
5. 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. Dentofac. Orthop.* [internet] 2006 [citado em 20 de novembro de 2019]; 129(6):794–803. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.08.023>.
6. Wiranto MG, Engelbrecht WP, Nolthenius HET, Meer WJ Van Der, Ren 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. Dentofac. Orthop.* [internet] 2013 [citado em 10 de novembro de 2019] 143(1):140–7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.06.018>.
7. Leifert MF, Leifert MM, Efstratiadis SS, Cangialosi TJ. Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2009 [citado em 15 de novembro de 2019]; 136(1):16.e1-16.e4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.11.019>.
8. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2016 [citado em 8 de dezembro de 2019];149(2):161–70. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.06.029>.
9. Rheude B, Sadowsky PL, Ferriera A, Jacobson A. An evaluation of the use of digital study models in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Angle Orthod.* 2005;75:300–4.
10. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: A systematic review. *Orthod. Craniofacial Res.* 2011;14(1):1–16.

11. Favero CS, English JD, Cozad BE, Wirthlin JO, Short MM, Kasper FK. Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2017 [citado em 10 de novembro de 2019] 152(4):557–65. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.06.012>.
12. Hazeveld A, Huddleston Slater JJR, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2013 [citado em 22 de novembro de 2019] 2014;145(1):108–15. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.05.011>.
13. Camardella LT, de Vasconcellos Vilella O, Breuning H. Accuracy of printed dental models made with 2 prototype technologies and different designs of model bases. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2017 [citado em 10 de novembro de 2019];151(6):1178–87. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.03.012>.
14. Kravitz ND, Graham JW, Redmond WR. Intraoral Digital Scanners. *J. Clin. Orthod.* 2014;XLVIII(6):337–47.
15. Brown G, Currier GF, Kadioglu O, Kierl and JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am J Orthod Dentofac. Orthop* [internet] 2018 [citado em 10 de novembro de 2019];154733-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.06.009>.
16. Murugesan K, Anandapandian PA, Sharma SK, Vasantha Kumar M. Comparative evaluation of dimension and surface detail accuracy of models produced by three different rapid prototype techniques. *J. Indian Prosthodont. Soc.* 2012;12(1):16–20.
17. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br. Dent. J.* [internet] 2015 [citado em 10 de novembro de 2019];219(11):521–9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>.
18. Camardella LT, Breuning H, Vilella O de V. Are there differences between comparison methods used to evaluate the accuracy and reliability of digital models? *Dent. Press J Orthod* [internet] 2017 [citado em 10 de novembro de 2019];22(1):65–74. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-94512017000100065.
19. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 2003;124(1):101–5.
20. 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. Dentofac. Orthop.* [internet] 2014 [citado em 10 de novembro de 2019];146(3):328–36. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.05.026>.
21. Grünheid 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. Dentofac. Orthop.* 2014;145(2):157–64.

22. Cole D, Bencharit S, Carrico C, Arias A TE. Evaluation of fit for 3D-printed retainers compared with thermoform retainers. *Am J Orthod Dentofac. Orthop* 2019;155592-9.
23. Akyalcin S, Cozad BE, English JD, Colville CD, Laman S. Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2013 [citado em 8 de novembro de 2019];144(6):916–22. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.024>.
24. Camardella LT, Breuning H, de Vasconcellos Vilella O. Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Messungen an Gipsmodellen und digitalen Modellen. *J. Orofac. Orthop.* 2017;78(3):211–20.
25. Quimby ML, Vig KWL, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod.* 2004;74(3):298–303.
26. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: Current systems and future possibilities. *J. Am. Dent. Assoc.* 2006;137(9):1289–96.
27. Ebert J, Zeichner A, Uibel K, Koops U, Telle R, Fischer H. Direct Inkjet Printing of Dental Prostheses Made of Zirconia. *J DENT RES* 2009 88 673 2009.
28. Sun J, Zhang F. The Application of Rapid Prototyping in Prosthodontics. *J. Prosthodont.* 2012;00:1–4.
29. Oliveira G. Accuracy and precision of 3-dimensional printed dental models produced by different additive manufacturing technologies. Chapel Hill. Tese [Mestrado em Ortodontia] - University of North Carolina; 2019.
30. Lee Ventola C. Medical applications for 3D printing: Current and projected uses. *P T* 2014;39(10):704–11.
31. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, et al. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed. Eng. Online* 2013;12(1):1–11.
32. Vojdani M, Torabi K, Farjood E, Aar K, Cam CAD. Comparison the Marginal and Internal Fit of Metal Copings Cast from Wax Patterns Fabricated by CAD / CAM and Conventional Wax up Techniques. 2013;14(3):118–29.
33. Vitale A, Cabral JT. Frontal conversion and uniformity in 3D printing by photopolymerisation. *Materials (Basel)*. 2016;9(9):1–13.
34. Taneva E. 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. *INTECH* 2015 [internet] 2015 [citado em 22 de novembro de 2019];chapter 9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/60010>.
35. Sudesh Dandekeri S, Sowmya MK, Bhandary S. Stereolithographic surgical template: A review. *J. Clin. Diagnostic Res.* 2013;7(9):2093–5.

36. Groth C, Graham JW, Redmond WR. Three-Dimensional Printing Technology. *J. Clin. Orthod.* [internet] 2014 [citado em 10 de novembro de 2019];XLVIII(8):475–85. Disponível em: <https://www.jco-online.com/archive/2014/08/475/>.
37. Ozcan M, Revilla-Leon M. Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers : Current Status and Potential Application in. 2018;0(Fig 1):1–13.
38. Anon. Obsessively Geek [homepage da Internet]. 3D PRINTING. Dumbo, Brooklyn: Obsessively Geek, Inc.; [acesso em 2020 Jan 8]. Disponível em: <https://www.og3dprinting.com/3d-printing>.
39. Ye N, Wu T, Dong T, Yuan L, Fang B, Xia L. Precision of 3D-printed splints with different dental model offsets. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2019 [citado em 10 de novembro de 2019];155(5):733–8. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.09.012>.
40. FACFOX [homepage da Internet]. SLA vs DLP. Hongkong, China: FACFOX, Inc.; 2019 May 28 [acesso em 2020 Jan 15]. Disponível em: <https://facfox.com/docs/sla-dlp-comparison>.
41. Chizel [homepage da Internet]. DIFFERENCE BETWEEN FDM & FFF TECHNOLOGIES; 2018 mar 15 [acesso em 2020 Jan 10]. Disponível em: <https://www.chizel.io/blogs/fdm-vs-fff-difference/>.
42. Guzmán J OA. Evaluation of three-dimensional printed virtual setups. *Am J Orthod Dentofac. Orthop* [internet] 2019 [citado em 10 de novembro de 2019];155:288-95. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.08.017>.
43. Rebong RE, Stewart KT, Utreja A, Ghoneima AA. Accuracy of three-dimensional dental resin models created by fused deposition modeling, stereolithography, and Polyjet prototype technologies: A comparative study. 2018;00(00).
44. Stratasys Ltd. Guide to Basic Processes for PolyJet 3D Models.
45. ALL3DP [homepage da Internet]. LCD vs DLP 3D Printing: The Differences; 2019 nov 29 [acesso em 2020 Jan 10]. Disponível em: <https://all3dp.com/2/lcd-vs-dlp-3d-printing-technologies-compared/>.
46. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions : A new method of measuring trueness and precision. *J. Prosthet. Dent.* [internet] 2013 [citado em 7 de dezembro de 2019]109(2):121–8. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60028-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60028-1).
47. Al Mortadi N, Eggbeer D, Lewis J, Williams RJ. CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2012 [citado em 10 de novembro de 2019];142(5):727–33. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.04.023>.

48. Redmond WJ, Redmond MJ, Redmond WR. The OrthoCAD bracket placement solution. *Am J Orthod Dentofac. Orthop* [internet] 2004 [citado em 10 de novembro de 2019];125645-6. Disponível em: doi:10.1016/j.ajodo.2004.01.006.
49. Son KH, Park JW, Lee DK, Kim KD, Baek SH. New virtual orthodontic treatment system for indirect bonding using the stereolithographic technique. *Korean J. Orthod.* 2011;41(2):138–46.
50. El-Timamy AM, El-Sharaby FA, Eid FH, Mostafa YA. Three-dimensional imaging for indirect-direct bonding. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2016 [citado em 16 de novembro de 2019];149(6):928–31. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.12.009>.
51. Graf S, Cornelis MA, Hauber Gameiro G, Cattaneo PM. Computer-aided design and manufacture of hyrax devices: Can we really go digital? *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2017 [citado em 10 de novembro de 2019];152(6):870–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.06.016>.
52. EnvisionTEC[homepage da Internet]. EnvisionTEC Launches Two Orthodontic Materials at LMT Lab Day Chicago, Including Resin for Direct 3D Printing of Clear Aligners; 2018 feb 23 [acesso em 2020 Jan 10]. Disponível em: <https://envisiontec.com/orthodontic-mat>.
53. Gross BC, Erkal JL, Lockwood SY, Chen C, Spence DM. Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Anal. Chem.* 2014;86(7):3240–53.
54. Aragón MLC, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D. Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: A systematic review. *Eur. J. Orthod.* 2016;38(4):429–34.
55. Ledingham AD, English JD, Akyalcin S, Cozad BE, Ontiveros JC, Kasper FK. Accuracy and mechanical properties of orthodontic models printed 3-dimensionally from calcium sulfate before and after various postprinting treatments. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2016 [citado em 10 de novembro de 2019];150(6):1056–62. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.04.027>.
56. Nurazreena W, Hassan W, Yusoff Y, Mardi NA. Comparison of reconstructed rapid prototyping models produced by 3-dimensional printing and conventional stone models with different degrees of crowding. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2016 [citado em 10 de novembro de 2019]; 151(1):209–18. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.08.019>.
57. Bell A, Ayoub AF, Siebert P. Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *J. Orthod.* 2003;30(3):219–23.
58. Halazonetis DJ. Acquisition of 3-dimensional shapes from images. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 2001;119(5):556–60.
59. Sohmura YH, Satoh H, Takahashi J, Takada K. Complete 3-d reconstruction of dental cast shape using perceptual grouping. *IEEE Trans. Med. Imaging* 2001;20(10):1093–101.

60. Choi JY, Choi JH, Kim NK, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2002;31(1):23–32.
61. Lee JH, Prud'homme RK, Aksay IA. Cure depth in photopolymerization: Experiments and theory. *J. Mater. Res.* 2001;16(12):3536–44.
62. reddit[homepage da Internet]. r/AnycubicPhoton; 2019 sep 23 [acesso em 2020 Jan 10]. Disponível em: https://www.reddit.com/r/AnycubicPhoton/comments/crtlqs/lcd_life/.
63. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *J. Orthod.* [internet] 2008 [citado em 11 de dezembro de 2019];35(3):191–201. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/146531207225022626>.
64. Jacox LA, Mihas P, Cho C, Lin FC, Ko CC. Understanding technology adoption by orthodontists: A qualitative study. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* [internet] 2019 [citado em 10 de novembro de 2019];155(3):432–42. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.08.018>.

APÊNDICE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



Faculdade de Odontologia – Mestrado em Ortodontia – UERJ

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____

Prezado Paciente:

A Faculdade de Odontologia da UERJ, sob os cuidados da pesquisadora principal Ana Beatriz Neves Pereira, está realizando uma pesquisa intitulada: “Custo-benefício de diferentes impressoras 3D na Ortodontia”.

Este é um estudo que tem como objetivo comparar diferentes tipos de tecnologias de impressão. O procedimento que será realizado envolve a obtenção e uso de modelos ortodônticos digitais a partir do escaneamento digital já existente do paciente. A participação é voluntária e não irá trazer nenhum malefício ao paciente.

Informamos que para participar deste estudo você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido (a) sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar e salientamos que a participação neste estudo é absolutamente voluntária, sendo que a recusa não acarretará em qualquer prejuízo para o paciente.

As informações contidas neste estudo são sigilosas, ficando sempre preservada a identidade do paciente. Os dados obtidos no trabalho serão utilizados em aulas, revistas e eventos científicos, visando colaborar para o desenvolvimento ortodôntico, estando estes à sua disposição quando finalizada a pesquisa

Eu, _____ certifico que, lendo as informações contidas no termo de consentimento e suficientemente esclarecido(a) sobre todos os itens, autorizo utilização dos meus arquivos para a pesquisa acima.

Assinatura do Paciente

Assinatura do Pesquisador

ANEXO – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**Título da Pesquisa:** Custo-benefício de diferentes impressoras 3D na Ortodontia**Pesquisador:** ANA BEATRIZ NEVES PEREIRA**Área Temática:****Versão:** 1**CAAE:** 25681519.7.0000.5259**Instituição Proponente:** Hospital Universitário Pedro Ernesto**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio**DADOS DO PARECER****Número do Parecer:** 3.712.820**Apresentação do Projeto:**

Transcrição editada do conteúdo registrado no protocolo e dos arquivos anexados à Plataforma Brasil.

Objetivos: Considerando que há literatura limitada sobre os modelos dentários impressos em 3D, objetivamos avaliar: (1) a acurácia, (2) o custo e (3)

o tempo de impressão e de intervenção do operador em quatro tipos de impressoras 3D (DLP-MoonRay, DLP-Anycubic, FFF- Makerbot, PolyJetStratasys Objet 3D). Outro fator a ser considerado na escolha de um tipo de modelo é a relação custo-benefício, não apenas os modelos dentários

precisam ser precisos, reproduzíveis e eficientes em tempo de obtenção, mas devem ser acessíveis financeiramente. **Métodos:** Para realização

deste estudo piloto, foram impressos 2 pares de modelos nas tecnologias DLP (Anycubic e Moonray), FFF e Polyjet, totalizando 16 modelos

impressos. Estes foram medidos e remeidos manualmente pelo mesmo avaliador com o uso de um paquímetro digital em um intervalo de uma

semana, visando obter a confiabilidade intra-avaliador. Após a impressão dos modelos ser realizada, os mesmos foram escaneados e comparados

com o .STL original. **Resultados:** Foi observado que os modelos produzidos apresentaram discrepâncias clinicamente aceitáveis. A impressão em

Polyjet mostrou menor discrepância de RMS, obtendo os melhores resultados, seguido pela

Endereço: Avenida 28 de Setembro 77 - Térreo**Bairro:** Vila Isabel**CEP:** 20.551-030**UF:** RJ**Município:** RIO DE JANEIRO**Telefone:** (21)2868-8253**E-mail:** cep.hupe.interno@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.712.820

impressora Anycubic, FFF e Moonray, respectivamente.

A partir dos resultados preliminares, a metodologia foi considerada viável e reprodutível.

Objetivo da Pesquisa:

Transcrição editada do conteúdo registrado no protocolo e dos arquivos anexados à Plataforma Brasil.

O objetivo deste estudo é comparar a acurácia da impressão em duas impressoras DLP e uma FFF em relação ao padrão ouro (PolyJet).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Prezado pesquisador: Caracteriza-se como risco direto para os participantes da pesquisa a possibilidade de desconforto ou constrangimento no momento do preenchimento dos questionários. Os pesquisadores devem se comprometer a minimizar os riscos ou desconfortos que possam vir a ser causados.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa está bem estruturada e o referencial teórico e metodológico estão explicitados, demonstrando aprofundamento e conhecimento necessários para sua realização. As referências estão adequadas e a pesquisa é exequível.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram avaliadas as informações contidas na Plataforma Brasil e as mesmas se encontram dentro das normas vigentes e sem riscos iminentes aos participantes envolvidos de pesquisa.

Foram analisados os seguintes documentos de apresentação obrigatória:

- 1) Folha de Rosto para pesquisa envolvendo seres humanos: Documento devidamente preenchido, datado e assinado
- 2) Projeto de Pesquisa: Adequado
- 3) Orçamento financeiro e fontes de financiamento: adequado/apresentado
- 4) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: Adequado
- 5) Cronograma: Adequado
- 6) Documentos pertinentes à inclusão do HUPE: Adequado
- 7) Currículo do pesquisador principal e demais colaboradores: anexados e conforme as normas.

Endereço: Avenida 28 de Setembro 77 - Térreo	CEP: 20.551-030
Bairro: Vila Isabel	
UF: RJ	Município: RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253	E-mail: cep.hupe.interno@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.712.820

Os documentos de apresentação obrigatória foram enviados a este Comitê, estando dentro das boas práticas e apresentando todos dados necessários para apreciação ética e tendo sido avaliadas as informações contidas na Plataforma Brasil e as mesmas se encontram dentro das normas vigentes e sem riscos iminentes aos participantes envolvidos de pesquisa.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto pode ser realizado da forma como está apresentado. Diante do exposto e à luz da Resolução CNS nº466/2012, o projeto pode ser enquadrado na categoria – APROVADO.

Considerações Finais a critério do CEP:

Em consonância com a resolução CNS 466/12 e a Norma Operacional CNS 001/13, o CEP recomenda ao Pesquisador: Comunicar toda e qualquer alteração do projeto e no termo de consentimento livre e esclarecido, para análise das mudanças; Informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa; O Comitê de Ética solicita a V. Sª., que encaminhe relatórios parciais de andamento a cada 06 (seis) Meses da pesquisa e ao término, encaminhe a esta comissão um sumário dos resultados do projeto; Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.

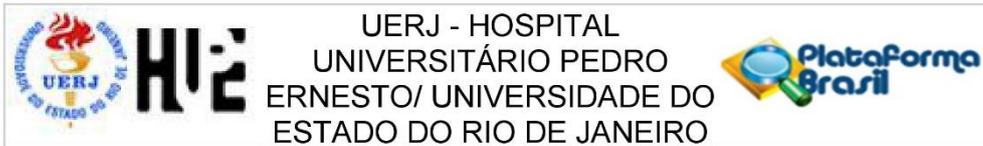
Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1408753.pdf	11/09/2019 14:20:26		Aceito
Folha de Rosto	plataforma.pdf	11/09/2019 14:19:51	ANA BEATRIZ NEVES PEREIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_final.docx	26/08/2019 18:03:16	ANA BEATRIZ NEVES PEREIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	26/08/2019 18:00:19	ANA BEATRIZ NEVES PEREIRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Endereço: Avenida 28 de Setembro 77 - Térreo
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **E-mail:** cep.hupe.interno@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.712.820

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 19 de Novembro de 2019

Assinado por:
WILLE OIGMAN
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida 28 de Setembro 77 - Térreo
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **E-mail:** cep.hupe.interno@gmail.com