

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 27/03/2022



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Layene Figueiredo Almeida

Efeito da fotopolimerização complementar em resinas para impressoras por estereolitografia em suas propriedades mecânicas e diferentes designs de impressão na precisão de modelos odontológicos

Araraquara
2020



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Layene Figueiredo Almeida

Efeito da fotopolimerização complementar em resinas para impressoras por estereolitografia em suas propriedades mecânicas e diferentes designs de impressão na precisão de modelos odontológicos

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas, na Área de Ortodontia.

Orientador: Profa. Dra. Lídia Parsekian Martins.

Coorientadores: Prof. Dr. Renato Parsekian Martins e Dr. Leandro Fernandes.

Araraquara

2020

Almeida, Layene Figueiredo

Efeito da fotopolimerização complementar em resinas para impressoras por estereolitografia em suas propriedades mecânicas e diferentes designs de impressão na precisão de modelos odontológicos / Layene Figueiredo Almeida .-- Araraquara: [s.n.], 2020.

67 f. ; 30 cm.

Tese (Doutorado em Ciências Odontológicas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia

Orientadora: Profa. Dra. Lídia Parsekian Martins

Coorientador: Prof. Dr. Renato Parsekian Martins

Coorientador: Dr. Leandro Fernandes

1. Impressão tridimensional
 2. Estereolitografia
 3. Precisão da medição dimensional
 4. Propriedades físicas
- I. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Marley C. Chiusoli Montagnoli, CRB-8/5646

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

Faculdade de Odontologia de Araraquara / UNESP

Layene Figueiredo Almeida

Efeito da fotopolimerização complementar em resinas para impressoras por estereolitografia em suas propriedades mecânicas e diferentes designs de impressão na precisão de modelos odontológicos

Comissão Julgadora

Tese para obtenção do grau de doutor em Ciências Odontológicas

Profa. Dra. Lídia Parsekian Martins

Prof. Dr. Ary dos Santos-Pinto

Prof. Dr. Gelson Adabo

Prof. Dr. Alexandre Protásio Vianna

Prof. Dr. Ronald de Freitas Paixão

Araraquara, 27 de março de 2020

DADOS CURRICULARES

Layene Figueiredo Almeida

NASCIMENTO: 29/06/1986-Feira de Santana-Bahia

FILIAÇÃO: Luiz Augusto Almeida Figueiredo
Selma Figueiredo Almeida

2006/2010: Graduação em Odontologia – Universidade Estadual de Feira de Santana

2010/2013: Curso de Especialização em Ortodontia – União Metropolitana de
Educação e Cultura – Lauro de Freitas/BA

2013/2016: Curso de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Nível Mestrado–
Área de Ortodontia, Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP-
Araraquara/SP

2016/2020: Curso de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Nível Doutorado–
Área de Ortodontia, Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP-
Araraquara/SP

À minha família, pai, mãe, irmã e amor,
que são meu maior bem nesta vida, força,
incentivo, alegria! Meu tudo!

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Selma e Guto, por todo apoio nesses longos anos em que estive me dedicando à pós-graduação na cidade de Araraquara. Obrigada pelos grandes exemplos que são de força de vontade, empenho e amor. As palavras não seriam suficientes para expressar tudo e que vocês representam para mim. Tenham a certeza de que esse título não é só meu, é nosso! Gratidão! Amo vocês!

Ao meu amor, obrigada por estar sempre ao meu lado, mesmo com todas as adversidades que passamos. Obrigada por estar comigo mesmo com tantas mudanças que aconteceram, tantas transformações, agradeço por você ter aceitado mudar junto, e estar ao meu lado sempre. Que o nosso amor sempre cresça e amadureça mais e mais! Te amo! STTOD!

À toda minha família, que me apoiou durante esses anos, minha irmã por toda ajuda e compreensão, minha Lulu, que nasceu e já cresceu um monte e não pude acompanhar, desculpa a ausência da tia! Amo vocês! Minha Tia Selmira por todo apoio, e a todos os meus familiares por torcerem sempre pelo meu crescimento. Gratidão

À minha orientadora Profa. Dra. Lídia Parsekian Martins, por todo seu cuidado e empenho por seus orientandos. Como já disse, você é minha mãezona aqui em Araraquara e agradeço por toda orientação, conselhos e cuidado que sempre teve comigo. Você é um grande exemplo de mulher, professora, pesquisadora e mãe! Muito obrigada por tudo!

Ao meu coorientador Prof. Dr. Renato Parsekian Martins, pela ajuda fundamental no desenvolvimento de todas as pesquisas que realizei durante minha pós-graduação. Pelos conselhos profissionais e por nunca desistir de fazer seus orientandos aprenderem a linguagem científica. Você é exemplo para muitos. Muito obrigada!

Ao meu coorientador Dr. Leandro Fernandes por sua ajuda incansável na execução dos testes mecânicos, por sempre estar disponível e por sua amizade. Muito obrigada!

Aos professores da área de Ortodontia João Gonçalves, Dirceu Raveli, Luiz Gandini, Ary dos Santos-Pinto e Maurício Sakima, por todo conhecimento doado nestes anos e pela amizade de sempre. É uma honra ter sido aluna de vocês. E um agradecimento especial ao Prof. Ary, por toda sua paciência e disposição sempre que

precisei nestes longos anos de pós-graduação, você é um exemplo de dedicação ao ensino e pesquisa. Muito obrigada!

Ao professor Gelson Adabo por toda sua colaboração em minha pesquisa. Obrigada por ter sido sempre solícito e atencioso! Gratidão.

Aos grandes amigos da pós-graduação que tive o prazer de conviver durante o doutorado: Patrícia Schneider, Priscila Ayub, Cibele Braga, Roberto Soares, Luís Lon, Talles Oliveira, João Paulo Schwartz, Wendel Shibasaki, Isabela Parsekian, Adriana Souza, Juliana Parizoto, Ingrid Ledra, Jonas Bianchi, Paulo Marchi, Eddy Navarro, Marlos Loiola e Bruno Minervino. Obrigada pela amizade de sempre e a mão estendida sempre que necessário.

Ao meu grande amigo Juan Mariscal, Pako, pelo grande apoio e grande ajuda na execução dos experimentos, sem você eu não teria finalizado esta tese. Obrigada por sempre me ouvir e por estar sempre à postos como um amigo muito especial. Amo você! Muito, muito, muito obrigada!

À minha amiga Tatyane Mesquita, por dividir comigo as alegrias e angústias de um doutorado! Conte comigo sempre!

Às minhas antigas colegas do apê 42, Kamila Figueiredo e Mari Pacetti, obrigada pelo companheirismo, resenhas e amizade. Levarei nossa amizade para onde for! Obrigada meninas!

Aos funcionários do departamento de Clínica Infantil por toda amizade, por tornar meus dias em Araraquara mais alegres e pelas resenhas das quintas. Obrigada Diego Pendenza, Flavia Annunzio, Dulce Oliveira e Antônio Cabrini.

Aos Funcionários Cristiano Afonso Lamounier e José Alexandre Garcia, por todo apoio, bom humor e incansáveis orientações aos alunos. Gratidão!

Ao meu grande amigo/amor Francisco Camargo, Fran, muita gratidão por você ter me recebido em seu lar com tanto amor e tanta luz. Você é um ser humano muito especial, com muita luz e amor que transborda com tanta naturalidade, que você nem percebe. Agradeço muito a Deus toda vez que ele põe no meu caminho pessoas que me transformam para melhor, e você entrou como um furacão de positividade! Não sei nem como agradecer! Te amo muito! Gratidão, Gratidão, gratidão!

À minha amiga Isabela Fátima, que se tornou minha companheira de pós e de vida, me apoiando e sempre me colocando para cima. A pessoa que dorme e acorda falando e que não deixa ninguém desanimado. Você é a pessoa mais de bem com a

vida que eu já conheci e é muito bom partilhar meu dia-a-dia com você. Obrigada por tudo parceirinha! Amo você!

Ao meu grande amigo Alexandre China, por toda amizade e companheirismo. Obrigada por ter tornado meus dias em Araraquara mais felizes, sempre com seu humor sem limites! Foi muito bom ter te conhecido! Gratidão.

E por fim, à CAPES: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.” Albert Einstein

Almeida LF. Efeito da fotopolimerização complementar em resinas para impressoras por estereolitografia em suas propriedades mecânicas e diferentes designs de impressão na precisão de modelos odontológicos [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2020.

RESUMO

OBJETIVO: Identificar e quantificar diferenças nas propriedades mecânicas de quatro resinas para impressão por estereolitografia em função do tempo de exposição à luz ultravioleta pós impressão e quantificar diferenças dimensionais em modelos odontológicos produzidos por estereolitografia em relação à inserção de barra estabilizadora transversal na região posterior, à orientação de impressão, vertical ou horizontal, tipo de modelo, oco ou maciço, e pós cura com luz ultravioleta ou não, por meio de medições lineares. **MÉTODOS:** 140 espécimes foram impressos em impressoras 3D do tipo SLA (estereolitografia a laser) e DLP (estereolitografia por processamento digital de luz) para cada teste mecânico realizado e foram divididos em 28 grupos, de acordo com a resina (4 tipos: Blue, Gray, Surgical Guide, Standard) e o tempo de pós cura com luz ultravioleta (7 tempos: 0, 5, 10, 15, 30, 60 e 120 minutos). Foram realizados os testes de microdureza Vickers, tração diametral e flexão três pontos. Os dados obtidos foram submetidos a uma ANOVA de dois níveis e ao pós teste de Tukey. Para a avaliação das alterações dimensionais de modelos odontológicos foram realizados dois experimentos distintos. No primeiro, 56 modelos odontológicos do arco maxilar em formato de ferradura foram impressos na impressora MoonRay S100 (SprintRay) com a resina Gray (SprintRay), variando a orientação de impressão, a presença de barra e o processo de pós cura. Depois de impressos foram escaneados em escâner de mesa R700 (3Shape) e então foram realizadas as medições transversais entre caninos, primeiros e segundos pré-molares e molares e de comprimento de arco no software VistaDent OC (Dentsply Sirona). No segundo, 56 modelos foram impressos com a mesma resina e impressora, variando o tipo de modelo, presença de barra e polimerização. Foram então escaneados com o escâner R700 e utilizado o software VistaDent para a realização das mesmas medidas da metodologia anterior. **RESULTADOS:** O tempo e a resina influenciaram os valores de microdureza, resistência à tração e à flexão ($p < ,001$) e houve interação entre as duas variáveis para todos os testes ($p < ,001$). As variáveis orientação de impressão, barra e polimerização influenciaram de maneira significativa as medidas obtidas dos modelos odontológicos ($p < ,001$). Os modelos sofreram uma contração maior quando impressos verticalmente (0,1-0,2 mm), com barra (0,1-0,4 mm) e com polimerização (0,1 mm). As variáveis tipo de base, barra e polimerização influenciaram de forma significativa as medições dos modelos ($p < ,001$). Os modelos sofreram uma redução maior das medidas quando impressos com base oca (0,1 mm), com barra (0,1-0,5 mm) e com polimerização com luz UV (0,1 mm). **CONCLUSÕES:** A resina Blue e Gray apresentaram suas características mecânicas máximas a partir de 10 minutos de exposição à luz UV, a resina Surgical Guide com o tempo de 5 minutos e a Standard apenas a partir dos 15 minutos. Em relação aos modelos odontológicos, houve uma maior alteração das medidas na impressão vertical, na presença de barra, no modelo oco, e com o procedimento de pós-cura.

Palavras chave: Impressão tridimensional. Estereolitografia. Precisão da medição dimensional. Propriedades físicas.

Almeida LF. Effect of complementary photocure in resins for stereolithography printers on their mechanical properties and different printing projects on dental models accuracy [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2020.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To identify and quantify differences in the mechanical properties of four resins for stereolithography printing varying time of exposure to ultraviolet light and to quantify dimensional differences in dental models produced by stereolithography regarding the insertion of a transverse stabilizer bar in the posterior region, the printing orientation, vertical or horizontal, model type, hollow or solid, and post-cure with ultraviolet light or not, by means of linear measurements. **METHODS:** 140 specimens were printed by SLA (laser stereolithography) and DLP (digital light processing stereolithography) printers for each mechanical test performed and were divided into 28 groups, according to the resin (4 types: Blue, Gray, Surgical Guide, Standard) and the post-cure time with ultraviolet light (7 times: 0, 5, 10, 15, 30, 60 and 120 minutes). Vickers microhardness tests, diametrical traction and three point flexion were performed. The data obtained were submitted to a two-way ANOVA and the Tukey post-test. To evaluate the dimensional changes of dental models, two different experiments were carried out. In the first, 56 horseshoe-shaped dental models of a maxillary arch were printed on the MoonRay S100 (SprintRay) with Gray resin (SprintRay), varying the printing orientation, the presence of a bar and the post-curing process. After printing, they were scanned on a R700 table scanner (3Shape) and then measurements between canines, first and second premolars and molars and arch length were performed using VistaDent OC software (Dentsply Sirona). In the second, 56 dental models were printed with the same resin and printer, varying the type of base, presence of bar and polymerization. They were then scanned with the R700 scanner and the VistaDent software was used to perform the same measurements as the previous methodology. **RESULTS:** Time and resin influenced the microhardness, tensile and flexural strength values ($p < .001$) and there was an interaction between the two variables for all tests ($p < .001$). The impression orientation, bar and polymerization variables significantly influenced the measurements obtained from the dental models ($p < .001$). The models suffered a greater contraction when printed vertically (0.1-0.2 mm), with bar (0.1-0.4 mm) and with polymerization (0.1 mm). The variables type of base, bar and polymerization significantly influenced the measurements of the models ($p < .001$). The models suffered a greater reduction of the measurements when printed with hollow base (0.1 mm), with bar (0.1-0.5 mm) and with UV light polymerization (0.1 mm). **CONCLUSIONS:** The Blue and Gray resins showed their maximum mechanical characteristics after 10 minutes of UV light exposure, the Surgical Guide resin with exposure time of 5 minutes and the Standard only after 15 minutes. Regarding the dental models, there was a greater change in measurements in vertical printing, in presence of a bar, in the hollow model, and with the post-cure procedure.

Keywords: Printing, Three-Dimensional. Stereolithography. Dimensional Measurement Accuracy. Physical properties.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 PROPOSIÇÃO	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 PUBLICAÇÕES	17
3.1 Publicação 1	17
3.2 Publicação 2	32
3.3 Publicação 3	49
4 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A impressão tridimensional (3D), também conhecida como manufatura aditiva, vem sendo bastante utilizada no diagnóstico e tratamento ortodôntico com o recente aumento do uso de alinhadores invisíveis nos consultórios destes profissionais. Para isso, a cavidade bucal do paciente deve ser escaneada, transformada em um modelo digital que é submetido a uma correção virtual dos posicionamentos dentários, gerando uma sequência de modelos que devem ser impressos, para a posterior confecção dos alinhadores.

Existem algumas razões que suportam o avanço mundial desta tecnologia, como a facilidade de criação de modelos físicos a partir de modelos virtuais, otimização do tempo e redução de custos com a utilização de um equipamento de bancada. Estas e outras vantagens acabaram por atrair diversos profissionais para a utilização da impressão 3D em seu dia-a-dia, desde joalheiros até médicos e dentistas.

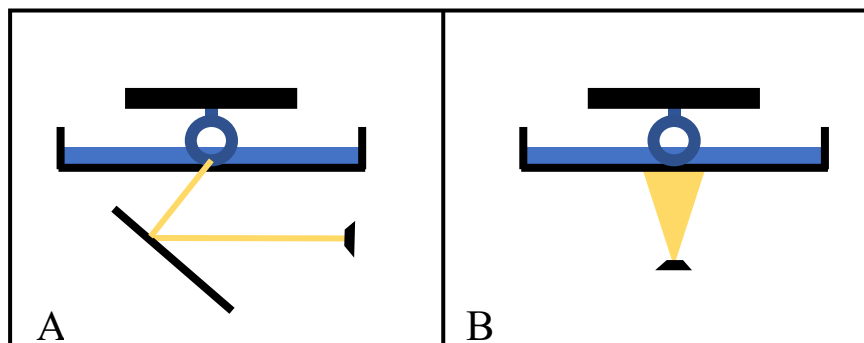
A primeira impressora 3D comercial foi baseada em uma técnica denominada estereolitografia, criada por Charles Hull em 1984, também conhecida por SLA (StereolithographyApparatus)¹. No entanto, atualmente existem diferentes tecnologias de impressão 3D, sendo a estereolitografia por laser (SLA), a estereolitografia de processamento digital de luz (DLP) e a tecnologia de jato triplo (polyjet) as técnicas mais utilizadas para a impressão de modelos ortodônticos²⁻⁵. Nestas tecnologias, uma resina líquida é fotopolimerizada em camadas, dando forma ao material desejado^{1,6}.

A tecnologia da estereolitografia produz objetos 3D a partir da fotopolimerização em camadas de uma resina líquida com propriedade autoadesiva que permite que as inúmeras camadas se unam formando um material único, o que resulta em um objeto com excelente precisão, rico em detalhes, com boa lisura superficial e uma alta resistência⁷. Algumas questões podem influenciar na precisão do produto final, como a espessura das camadas, a criação e a posterior remoção de estruturas para sustentar áreas sem apoio durante a impressão e a contração da resina no processo de polimerização pós impressão^{8,9}. Na técnica polyjet o material é totalmente polimerizado durante a impressão, no entanto seu custo é mais elevado quando comparado com a SLA e DLP que necessitam de uma etapa adicional de polimerização por luz ultravioleta (UV) após a impressão.

O processo de cura camada-a-camada em um polímero líquido permitiu a criação das técnicas de impressão por SLA e DLP. Juntas, elas são as mais utilizadas para fins odontológicos por vantagens como resolução das camadas, possibilidade de usos diversos, resinas polimerizáveis disponíveis para o uso, facilidade de manuseio e custo razoável.

Em ambas impressoras SLA e DLP, existe uma bandeja onde a resina líquida é depositada e seletivamente exposta à luz (normalmente com comprimento de onda de 385nm ou 405nm), o que provoca a sua solidificação. Nas impressoras SLA a fonte de luz é um laser de luz UV que é direcionado para o tanque de resina por dois motores que são chamados de galvanômetros, um para o eixo X e outro para o Y. Onde a luz passa, a resina é solidificada, e assim que a camada é finalizada, o tanque de resina se movimenta para que uma nova camada do objeto seja formada (Fig. 1A). Já as impressoras DLP emitem a luz UV para a bandeja de resina líquida por meio de um projetor, que envia a imagem de cada camada a ser polimerizada (Fig. 1B). Da mesma forma, assim que cada camada vai sendo produzida o tanque de resina se movimenta para que a nova camada seja adicionada.

Figura 1 - **(A)** Esquema de funcionamento de uma impressora SLA. **(B)** Esquema de funcionamento de uma impressora DLP.



Fonte: Elaboração própria.

As resinas utilizadas são compostas basicamente de monômeros multifuncionais de baixo peso molecular, alta ligação e com características de alta rigidez e friabilidade. O nível de cura durante a impressão está relacionado à composição da resina e os parâmetros do tipo de impressão utilizado¹⁰. É possível alcançar cerca de 80% apenas com o processo de manufatura, sendo necessária uma fotopolimerização pós impressão em forno de luz UV para alcançar uma cura superior

a 90%¹⁰. Em 2006, Chockalingam e colaboradores¹¹ afirmaram que é possível alcançar 95 a 98% de cura da resina em impressoras por estereolitografia. No entanto, uma porção de resina não curada fica retida entre as camadas de resina polimerizada, gerando uma estrutura heterogênea, com baixa resistência e baixa dureza.

As resinas utilizadas para a impressão por estereolitografia inicialmente foram resinas acrílicas com boa reatividade e velocidade, porém, a alta contração deste tipo de material levou a um objeto final com baixas propriedades mecânicas. Outras tentativas foram realizadas com resina epóxi, o que oferecia baixa contração, mas uma velocidade de impressão muito lenta. Optou-se, portanto, por resinas híbridas compostas de acrilatos e epóxi, ou com a adição de materiais inorgânicos para reduzir as características negativas de cada material¹².

O tipo de fonte de energia utilizada e o tipo e quantidade de fotoiniciador presente na resina interferem de forma direta na velocidade de reação de fotopolimerização e na qualidade final do objeto produzido¹³. O mecanismo de cura em resinas fotopolimerizáveis é complexo, porém ela pode ser aproximadamente entendida como a taxa de consumo dos monômeros presentes em sua composição, tal processo depende da concentração de monômeros, da quantidade de fotoiniciador e da eficiência do processo. A fotopolimerização se dá pela sequência de três eventos, a iniciação, que é caracterizada pela geração de radicais livres pelos fotoiniciadores quando absorvem fótons da fonte energética, no caso da impressão por estereolitografia é a luz UV, a propagação, onde há um crescimento e um intercruzamento das cadeias poliméricas, processo facilitado pela presença dos radicais livres, e por fim a etapa de terminação, a polimerização termina por desproporção ou pela combinação de suas cadeias poliméricas a partir dos radicais de cada uma, não permitindo mais a propagação¹⁴.

As propriedades físicas e químicas da resina utilizada na impressão por estereolitografia, a velocidade e resolução da impressão, o comprimento de onda utilizado, o tipo de fonte luminosa e o processo de pós cura influenciam no desempenho e funcionalidade dos objetos produzidos¹⁵. Apesar da fotopolimerização pós impressão dos objetos ser uma etapa necessária e que influencia diretamente na qualidade final do objeto, não existe uma padronização para esta, e não são encontradas na literatura informações de como esta etapa pode influenciar nas propriedades mecânicas do material e na sua precisão relacionada a modelos odontológicos.

Inicialmente, realizar o tratamento ortodôntico por meio de alinhadores estéticos somente era possível terceirizando o processo de fabricação para empresas que oferecem este serviço por um alto custo. Ao longo dos anos o custo das tecnologias foi reduzindo, o que aumentou o interesse dos ortodontistas em fazer toda a fabricação dentro do próprio consultório. No entanto, a falta de informação de como padronizar os passos para a fabricação dos modelos e dos alinhadores acaba por dificultar a adesão dos profissionais a esta nova forma de trabalho.

Existem alguns estudos^{3,4,8,9,16} que avaliam principalmente a precisão dos objetos criados por esta técnica destinados à Odontologia comparando-a com outras tecnologias, no entanto, não são encontrados estudos que avaliem a influência do processo de polimerização pós impressão na resistência mecânica e precisão destes objetos. Novas pesquisas que investiguem os melhores métodos para a fabricação dos alinhadores são necessárias e muito importantes também para o mercado, pois existe a tendência de mais profissionais aderirem a esta nova forma de tratamento ortodôntico. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar a influência da fotopolimerização pós impressão de modelos ortodônticos impressos por estereolitografia em suas propriedades mecânicas e precisão.

4 CONCLUSÃO

Após a execução dos experimentos relatados anteriormente, foi possível concluir que:

- O tempo de polimerização complementar e a resina influenciaram de maneira significativa os valores de microdureza, de resistência à tração diametral e à flexão e houve interação das variáveis tempo e resina. A resina Blue e Gray apresentou suas características mecânicas máximas a partir de 10 minutos de exposição à luz UV, resina Surgical Guide com o tempo de 5 minutos e a Standard apenas a partir dos 15 minutos.
- A orientação de impressão dos modelos odontológicos influenciou de maneira significativa as medidas obtidas, com maior contração para os modelos impressos verticalmente, mas não foram clinicamente significantes.
- O tipo de modelo (oco ou maciço) influenciou de maneira significativa as medidas obtidas, com maior contração dos modelos ocorrendo no tipo oco, mas não foram clinicamente significantes.
- A presença de barra estabilizadora influenciou de forma significativa as dimensões transversais dos modelos, havendo uma redução das medidas na presença da barra, com diferenças clinicamente significantes.
- A fotopolimerização complementar influenciou as medidas dos modelos, mostrando uma contração para os modelos que foram expostos à luz UV, mas sem significância clínica.

REFERÊNCIAS*

1. Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyp J.* 2009; 15(3): 216-5.
2. Lee KY, Cho JW, Chang NY, Chae, J-M. Accuracy of three-dimensional printing for manufacturing replica teeth. *Korean J Orthod.* 2015; 45(5): 217-25.
3. 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.* 2017; 152(4): 557-65.
4. 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.* 2017; 151(6): 1178-87.
5. Kim SY, Shin YS, Jung HD, Hwang CJ, Baik HS, Cha JY. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2018; 153(1): 144-53.
6. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. *J Dent (Shiraz, Iran).* 2015; 16(1): 1-9.
7. Liu Q, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *Int J Adv Manuf Technol.* 2006; 29(3-4): 317-35.
8. Choi JY, Choi JH, Kim NK, Kim Y, Lee, J-K, Kim M-K et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2002; 31(1): 23-32.
9. 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.* 2014; 145(1): 108-15.
10. Salmoria G V, Ahrens CH, Beal VE, Pires ATN, Soldi V. Evaluation of post-curing and laser manufacturing parameters on the properties of SOMOS 7110 photosensitive resin used in stereolithography. *Mater Des.* 2008; 30(3): 758–63.
11. Chockalingam K, Jawahar N, Chandrasekhar U. Influence of layer thickness on mechanical properties in stereolithography. *Rapid Prototyp J.* 2006; 12(2): 106–13.
12. Gibson I, Rosen D, Stucker B. Additive manufacturing technologies 3d printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing. New York: Springer; 2015.
13. Lee JH, Prud'homme RK, Aksay IA. Cure depth in photopolymerization: experiments and theory. *J Mater Res.* 2001; 16(12): 3536-44.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

14. Neumann MG, Rodrigues MR. Fotopolimerização: princípios e métodos. *Polímeros Ciência e Tecnol.* 2003; 13 (4):10.
15. Kai CC, Fai LK, Sing L. *Rapid prototyping: principles and application.* 2nd ed. Danvers: World Scientific Publishing; 2003.
16. Khalil W, Ezeldeen M, Van De Castele E, Shaheen E, Sun Y, Shahbazian M et al. Validation of cone beam computed tomography-based tooth printing using different three-dimensional printing technologies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2016; 121(3): 307-15.