

Efeito dos Métodos de Pós-Cura nas Propriedades Físico-Químicas das Resinas Impressas para Restaurações Definitivas: uma Revisão de Escopo

Effect of Post-Curing Methods on the Physico-Chemical Properties of Printed Resins for Definitive Restorations: a Scoping Review

Efecto de los Métodos de Post-Curado sobre las Propiedades Físicoquímicas de las Resinas Impresas para Restauraciones Definitivas: una Revisión del Alcance

João Pedro Justino **DE OLIVEIRA LIMÍRIO**

Professor Assistente Doutor, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, 16015-050 Araçatuba -SP, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-1327-9667>

Ana Gisele Vasconcelos **BEZERRA**

Cirurgiã-Dentista, Cirurgiã-Dentista, Faculdade de Odontologia de Pernambuco (FOP/UPE), 54756-220, Recife-PE, Brasil
Emília **DE PAULA**

Curso de Graduação em Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araçatuba, 16015-050 Araçatuba -SP, Brasil
Miguel Lucas **NEVES SILVA**

Curso de Graduação em Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araçatuba, 16015-050 Araçatuba -SP, Brasil
<https://orcid.org/0009-0009-8177-5329>

Júlia **MARINO**
Curso de Graduação em Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araçatuba, 16015-050 Araçatuba -SP, Brasil
<https://rcid.org/0009-0006-6687-9363>

Livia Pereira **MATIAS**
Curso de Graduação em Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araçatuba, 16015-050 Araçatuba -SP, Brasil
<https://orcid.org/0009-0007-5964-6577>

Jéssica Marcela de Luna **GOMES**
Professora Assistente Doutora, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, 16015-050 Araçatuba -SP, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-2621-6200>

Resumo

O objetivo desta revisão de escopo foi mapear e analisar as evidências científicas acerca da influência dos diferentes métodos de pós-cura nas propriedades de resinas impressas em 3D destinadas a restaurações definitivas. A busca foi realizada nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Lilacs, resultando na inclusão de 12 estudos laboratoriais. Os resultados demonstraram que a pós-cura exerce influência significativa sobre o grau de conversão, microdureza, resistência à flexão, módulo elástico, tenacidade à fratura, rugosidade superficial, brilho, estabilidade de cor, translucidez e biocompatibilidade. De modo geral, o aumento do tempo de pós-cura e a utilização de dispositivos específicos de fotopolimerização promoveram maior conversão monomérica, redução de monômeros residuais e melhora das propriedades mecânicas, especialmente microdureza, resistência à flexão e rigidez estrutural. Em relação às propriedades ópticas, a maioria dos estudos observou alterações de cor dentro de limites clinicamente aceitáveis, embora tempos excessivos de pós-cura tenham aumentado a tendência ao amarelamento de algumas resinas. A rugosidade e o brilho superficial foram influenciados tanto pelo método de pós-cura quanto pelos protocolos de limpeza e acabamento. Entre os dispositivos avaliados, sistemas de pós-cura por luz UV associados ao controle de temperatura apresentaram os resultados mais consistentes para resistência mecânica e desempenho geral. Conclui-se que o método de pós-cura é indispensável para otimizar as propriedades das resinas impressas em 3D para restaurações definitivas, sendo os protocolos com luz UV e aquecimento controlado os mais promissores, embora ainda sejam necessários estudos padronizados para estabelecer recomendações clínicas definitivas.

Descritores: Impressão Tridimensional; Materiais Dentários; Fotopolimerização.

Abstract

The objective of this scoping review was to map and analyze the scientific evidence regarding the influence of different post-curing methods on the properties of 3D-printed resins intended for definitive restorations. The search was conducted in the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Lilacs databases, resulting in the inclusion of 12 laboratory studies. The results demonstrated that post-curing exerts a significant influence on the degree of conversion, microhardness, flexural strength, elastic modulus, fracture toughness, surface roughness, gloss, color stability, translucency, and biocompatibility. In general, increasing post-curing time and using specific photopolymerization devices promoted greater monomer conversion, reduction of residual monomers, and improvement in mechanical properties, especially microhardness, flexural strength, and structural stiffness. Regarding optical properties, most studies observed color changes within clinically acceptable limits, although excessive post-curing times increased the tendency for yellowing in some resins. Surface roughness and gloss were influenced by both the post-curing method and the cleaning and finishing protocols. Among the devices evaluated, UV light post-curing systems associated with temperature control showed the most consistent results for mechanical strength and overall performance. It is concluded that the post-curing method is indispensable for optimizing the properties of 3D printed resins for definitive restorations, with UV light and controlled heating protocols being the most promising, although standardized studies are still needed to establish definitive clinical recommendations.

Araçatuba Campus, Unesp.

Descriptors: Three-Dimensional Printing; Dental Materials; Light-Curing.

Resumen

El objetivo de esta revisión exploratoria fue mapear y analizar la evidencia científica sobre la influencia de diferentes métodos de postcurado en las propiedades de las resinas impresas en 3D destinadas a restauraciones definitivas. La búsqueda se realizó en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science y Lilacs, resultando en la inclusión de 12 estudios de laboratorio. Los resultados demostraron que el postcurado ejerce una influencia significativa en el grado de conversión, la microdureza, la resistencia a la flexión, el módulo elástico, la tenacidad a la fractura, la rugosidad superficial, el brillo, la estabilidad del color, la translucidez y la biocompatibilidad. En general, el aumento del tiempo de postcurado y el uso de dispositivos de fotopolimerización específicos promovieron una mayor conversión del monómero, la reducción de monómeros residuales y la mejora de las propiedades mecánicas, especialmente la microdureza, la resistencia a la flexión y la rigidez estructural. En cuanto a las propiedades ópticas, la mayoría de los estudios observaron cambios de color dentro de los límites clínicamente aceptables, aunque tiempos de postcurado excesivos aumentaron la tendencia al amarilleamiento en algunas resinas. La rugosidad y el brillo de la superficie se vieron influenciados tanto por el método de postcurado como por los protocolos de limpieza y acabado. Entre los dispositivos evaluados, los sistemas de postcurado con luz UV y control de temperatura mostraron los resultados más consistentes en cuanto a resistencia mecánica y rendimiento general. Se concluye que el método de postcurado es indispensable para optimizar las propiedades de las resinas impresas en 3D para restauraciones definitivas, siendo la luz UV y los protocolos de calentamiento controlado los más prometedores, si bien aún se necesitan estudios estandarizados para establecer recomendaciones clínicas definitivas.

Descriptores: Impresión Tridimensional; Materiales Dentales; Fotopolimerización.

INTRODUÇÃO

Inicialmente, a impressão tridimensional (3D) na odontologia era limitada à fabricação de modelos de diagnóstico, guias cirúrgicos para implantes e protetores oclusais¹. Atualmente, a tecnologia de impressão 3D tem sido amplamente utilizada para a confecção de restaurações em resina dentária, ampliando significativamente seu campo de aplicação clínica². Além disso, devido à sua capacidade de superar diversas limitações associadas à técnica de fresagem, aliada à melhoria contínua da qualidade de impressão, o uso da impressão 3D vem aumentando progressivamente em razão dos avanços de precisão e conveniência para a utilização em casos clínicos complexos, em pacientes com necessidades especiais e para a confecção de próteses dentárias^{1,3}.

Há diferentes métodos de impressão 3D, tais como: com diferentes métodos de fabricação aditiva, sendo os mais comuns a estereolitografia (SLA), a sinterização seletiva a laser (SLS), a modelagem por deposição fundida (FDM), o processamento digital de luz (DLP), o polijato e a bioimpressão^{1,4,5}. As tecnologias de impressão 3D emergiram como ferramentas essenciais no campo da odontologia, oferecendo vantagens relevantes, como redução de custos, maior previsibilidade e a possibilidade de personalização de dispositivos conforme as necessidades individuais dos pacientes^{1,6,7,8}.

Para que as estruturas impressas em 3D sejam consideradas adequadas para aplicação clínica e para minimizar essas desvantagens, é fundamental a realização do pós-processamento que pode ser dividido em quatro etapas principais: (1) remoção das estruturas de suporte, (2) limpeza e lavagem, (3) pós-cura e (4) polimento e tratamento de superfície⁷. Ao imprimir uma coroa definitiva em resina e realizar apenas a cura inicial, o material permanece em chamado “estado verde”, caracterizado por uma polimerização parcial, em torno de 60% a 70%, necessitando de um processo de pós-cura, responsável por maximizar o grau de polimerização do material⁹.

A fotopolimerização por radiação ultravioleta (UV) é o método mais comum para pós-cura das resinas impressas, aplicada de forma isolada ou associada a fontes de LED e calor para otimizar a polimerização de materiais provisórios e definitivos¹⁰. As unidades fotopolimerizadoras equipadas com tecnologia *monowave* (luz única) demandaram um monitoramento restrito de tempo, enquanto sistemas *polywave* (combinam múltiplos comprimentos de onda), propiciaram uma ativação profunda e abrangente dos fotoiniciadores. A temperatura e o tipo da unidade de pós-cura surgem como fatores determinantes para potencializar esse ganho¹⁰.

Nesse contexto, embora as restaurações

impressas em 3D apresentem vantagens relevantes, ainda não há consenso na literatura quanto à longevidade das reabilitações definitivas confeccionadas com resinas impressas, especialmente para aplicações de longo prazo. Diante disso, esta revisão de escopo tem como objetivo mapear a literatura recente acerca dos métodos de pós-cura nas propriedades físico-mecânicas das resinas impressas em 3D, com ênfase nas propriedades físico-químicas.

MATERIAL E MÉTODO

Essa revisão foi estruturada com base na metodologia e 5 etapas proposta por Arksey e O'Malley: 1. Identificar a questão da pesquisa; 2. Procurar estudos relevantes sobre o tema; 3. selecionar os estudos; 4. mapear os dados e 5. Compilar, resumir e relatar os resultados. Também foram usados O Manual JBI para Síntese de Evidências; e os Itens de Relatório Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises Extensão para a Lista de Verificação de Revisão de Escopo (Prisma-ScR0. Os métodos utilizados neste estudo foram registrados no Open Science(<https://osf.io/>)

A questão da pesquisa foi: Qual a influência dos métodos de pós-cura nas características ópticas e de superfície de resinas impressas para restaurações definitivas? E qual o método apresenta melhores resultados? Para essa revisão foram utilizadas estratégias de População (P): resinas impressas para restaurações definitivas; Conceito (C): propriedades físico-químicas e contexto (C): métodos de pós-cura.

1.1 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Os critérios de inclusão foram estudos clínicos (RCT, prospectivos, retrospectivos) e laboratoriais (in vivo, in vitro, in sílico), estudos que avaliaram diferentes tratamentos de pós-cura, estudos que avaliaram as propriedades físico-químicas como rugosidade superficial, microdureza, resistência à flexão, módulo de elasticidade, grau de conversão e biocompatibilidade. Os critérios de exclusão foram os seguintes: revisões narrativas ou sistemáticas da literatura; relatos de casos; resumos de conferências; estudos que não envolveram métodos adicionais de pós-cura; estudos que envolviam resinas impressas para modelos ou dispositivos diferentes do objetivo desse trabalho (resinas impressas definitivas); experimentos realizados em animais; estudos que apresentaram resultados insuficientes.

1.2 FONTE DE INFORMAÇÃO

A busca eletrônica na literatura foi realizada por dois revisores (A.G.V.B e J.P.J.O.L) que foram previamente calibrados para busca e seleção dos estudos e, em caso de dúvida, um terceiro revisor (J.M.L.G) foi consultado. Foram utilizadas as seguintes bases de dados: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Lilacs, até Janeiro de

2026, sem restrições de idioma ou ano de publicação.

1.3 ESTRATÉGIA DE BUSCA

Foi aplicada uma estratégia de busca com base em palavras-chaves, termos MESH ou sinônimos: (3D printing OR 3D printed resin OR printed resin OR long term resin OR definitive resin) AND (post curing OR post cure). Os autores utilizaram descritores e operadores booleanos adaptados para cada base de dados, conforme listado na tabela 1.

Para complementar esta busca, os mesmos pesquisadores examinaram as listas de referências dos estudos incluídos e manuais publicados em periódicos específicos: Journal of Oral Rehabilitation, Journal of Prosthetic Dentistry, Journal of Prosthodontics, International Journal of Prosthodontics, Journal of Prosthodontic Research, Journal of Dentistry, Dental Materials.

Os estudos foram previamente selecionados e classificados segundo os critérios de inclusão/exclusão por meio da leitura do título e resumo. Os estudos que não se enquadram claramente nos critérios de inclusão/exclusão foram baixados e lidos na íntegra, para em seguida ser então tomada a decisão de incluí-los ou não na revisão. Em casos de discrepâncias entre as avaliações por dois revisores, um terceiro revisor resolveu o conflito. Após essa triagem inicial, uma revisão de texto completo dos registros selecionados foi conduzida.

1.4 EXTRAÇÃO DE DADOS

Um formulário padronizado foi desenvolvido para extrair dados dos estudos incluídos nesta revisão. Os seguintes dados foram coletados: nome do autor, ano de publicação, Resinas, composição das resinas, tamanho das amostras, métodos de envelhecimento, tempo de análise, métodos de impressão, testes realizados, intervalo e tempo de testagem, métodos de pós cura e armazenamento das amostras.

RESULTADOS

1.1 SELEÇÃO DE FONTES DE EVIDÊNCIA

A busca inicial nas bases de dados resultou em 617 referências, sendo 45 na PubMed/MEDLINE, 111 na Scopus, 461 na Web of Science e 5 na Lilacs. Em seguida, 581 duplicatas foram identificadas e removidas do banco de dados, resultando em 36 estudos selecionados. Após análise detalhada dos títulos e resumos dos estudos selecionados, foram aplicados os critérios de inclusão/exclusão, e 22 artigos foram elegíveis para avaliação de textos completos, sendo baixados e selecionados para análise posterior. Depois da leitura completa dos artigos, 9 trabalhos não atenderam aos critérios de inclusão e foram excluídos. Logo, 13 artigos foram incluídos nas análises qualitativas desta revisão de escopo:

Lim et al.³, Lassila et al.⁴, Siqueira et al.⁵, Han et al.⁶, Kim et al.⁸, Büyükpölat et al.¹¹, Celikel e

Sengul¹², Finck et al.¹³, Kim et al.¹⁴, Lee et al.¹⁵, Montero et al.¹⁶, Sahir et al.¹⁷, Temizci e Kölüş¹⁸ (Figura 1).

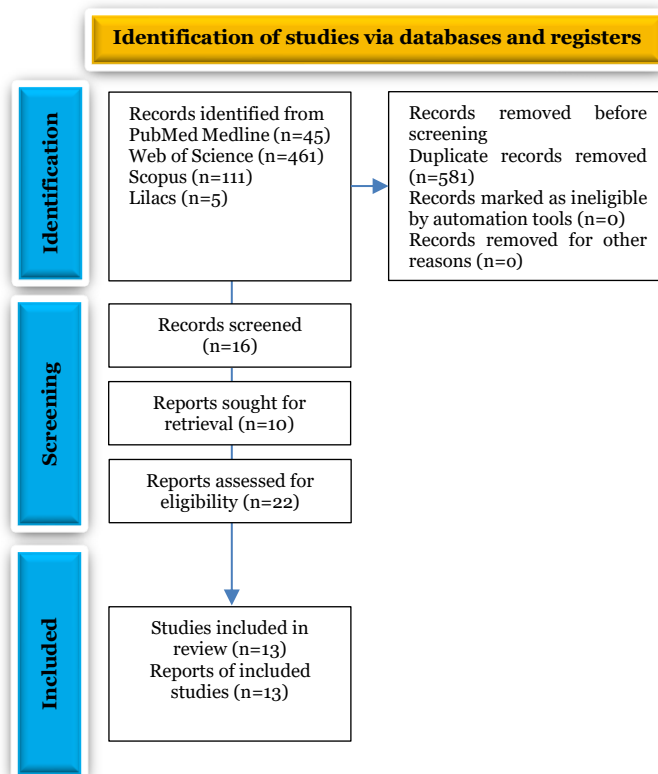


Figura 1: Seleção na base de dados (Fonte: Dados da Pesquisa)

1.5 CARACTERÍSTICAS DAS FONTES DE EVIDÊNCIA

Os estudos incluídos avaliaram a relação de diversos métodos de pós-cura e sua influência nas propriedades físico-químicas, como: microdureza, resistência a flexão, grau de conversão, rugosidade de superfície, biocompatibilidade, tenacidade e modulo; e ópticas (estabilidade de cor, brilho e características de translucidez).

As resinas para impressão utilizadas nos estudos foram : VarseoSmile Crown Plus (BEGO, Bremen, Germany)^{4,12}; VarseoSmile Temp (BEGO, Bremen, Germany)^{4,12}; A2-shaded 3D-printing resin (TC80; Graphy Inc., Seoul, Republic of Korea, FDA number K202846)^{3,6}; Dentca 3D printing Denture Tooth Resin Shade A1, (Torrance, EUA)¹⁵; Cosmos Temp 3D (COS)¹⁶; SmartPrint BioTemp (SM)¹⁶; Resilab 3D Temp (RES)^{5,13,16}; Prizma3D BioProv(PRI)^{13,16}; Nextdent C&B (Nextdent, Soesterburg, Holanda)¹⁴; Nextdent C&B MFH (Nextdent, Soesterburg, Holanda)⁸; D-1000B temporary (Dentis, Daegu, Coreia)⁸; DIONavi C&B (DIO Incorporated, Busan, Coreia)¹⁴; 3D Formlabs Temp¹⁸; Printin (Printin3D, Taoyuan, Taiwan)¹⁷; Printax Temp (Odontomega, Ribeirão Preto, SP, Brasil)¹³; Permanent Crown (Formlabs, EUA)¹¹ e Crowntec (Saremco Dental AG, Suíça)¹¹.

Quanto ao método de pós cura utilizado pelos estudos, 1 estudo utilizou o Dispositivo

autoflash (Bego, Bremen, Alemanha)¹²; 2 estudos utilizaram Tera Harz Cure^{3,6}; 3 estudos utilizaram Form Cure^{4,15,18}. O Dispositivo Visio Beta Vario foi utilizado por Lassila et al.⁴, assim como Ivoclar Targis Power e Calor em um forno. Dois estudos^{5,16} utilizaram PCU (Wash and Cure 2.0, Anycubic) ; um estudo¹⁶ CureM D102H, SONA); Sahir et al.¹⁷ utilizou Câmara de polimerização de luz ultravioleta (UV) (Printin3D) e Finck et al.¹³ o dispositivo Creality, Shenzhen, China. Blue LED: Labolight DUO (GC, Japão) e UV LED: FormCure (Formlabs, EUA) foram utilizados por Büyükpölat et al.¹¹. Por fim, unidade de polimerização de mesa (Cure Box; ODS, Incheon, Coreia) foi utilizada nos estudos de Kim et al.⁸ e Kim et al.¹⁴.

As variáveis investigadas nos diferentes protocolos de pós-cura foram microdureza (Kim et al.⁸; Kim et al.¹⁴; Siqueira et al.⁵; Celikel e Sengul¹²; Montero et al.¹⁶; Büyükpölat et al.¹¹; Finck et al.¹³), resistência a flexão (Kim et al.⁸; Kim et al.¹⁴; Lassila et al.⁴; Siqueira et al.⁵; Montero et al.¹⁶), grau de conversão (Kim et al.¹⁴; Finck et al.¹³; Lee et al.¹⁵), rugosidade de superfície (Lassila et al.⁴; Büyükpölat et al.¹¹; Finck et al.¹³; Lee et al.¹⁵), biocompatibilidade (Kim et al.¹⁴), tenacidade (Finck et al.¹³); módulo (Montero et al.¹⁶ e Kim et al.¹⁴). As variáveis ópticas estudadas foram; estabilidade de cor (Celikel e Sengul¹²; Sahir et al.¹⁷; Montero et al.¹⁶; Büyükpölat et al.¹¹; Temizci e Köllüş¹⁸; Lim et al.³; Kim et al.¹⁴; Lee et al.¹⁵), brilho (Lassila et al.⁴; Finck et al.¹³) e características de translucidez (Lassila et al.⁴; Siqueira et al.⁵; Celikel e Sengul¹²; Temizci e Köllüş¹⁸).

Os treze estudos incluídos nessa revisão de escopos apresentaram uma série de métodos para realizar o processo de pós-cura e avaliar seu desempenho nas características já citadas. Predominantemente foi usada a pós-cura por luz ultravioleta (UV) com variação do tempo de exposição, aplicada em unidades de pós-polimerização específicas para resinas impressas em 3D Lee et al.¹⁵; Lim et al.³; Celikel e Sengul¹²; Montero et al.¹⁶; Temizci e Köllüş¹⁸ e Sahir et al.¹⁷. Alguns estudos associaram a pós-cura a etapas prévias de limpeza em solventes, como álcool isopropílico ou etanol, seguidas de exposição à luz UV por diferentes períodos (Finck et al.¹³; Siqueira et al.⁵). Outros métodos de pós-polimerização também foram investigados, incluindo a utilização de unidade fotopolimerizadora odontológica LED do tipo polywave para promover a pós-cura de resinas impressas (Kim et al.⁸). Estudos voltados para propriedades ópticas também utilizaram protocolos de pós-cura seguidos de envelhecimento em soluções pigmentados para avaliação de estabilidade de cor (Kim et al.¹⁴; Büyükpölat et al.¹¹). Além disso, diferentes dispositivos de pós-polimerização foram comparados, incluindo Form Cure curing unit, Visio Beta Vacuum, Ivoclar Targis

e polimerização térmica a 150 °C por 30 minutos, a fim de avaliar o impacto das condições de pós-cura nas propriedades das resinas impressas em 3D Lassila et al.⁴

1.6 Desfechos – Propriedades físico-químicas

Entre os 13 estudos incluídos, diferentes propriedades físico-mecânicas, superficiais, ópticas e biológicas das resinas impressas em 3D foram avaliadas após distintos protocolos de pós-cura, incluindo grau de conversão, microdureza, resistência à flexão, módulo elástico, tenacidade à fratura, rugosidade superficial, brilho, estabilidade de cor, translucidez e biocompatibilidade.

o Grau de conversão

O grau de conversão foi analisado em três estudos para avaliar a eficiência da polimerização após diferentes métodos de pós-cura. Finck et al.¹³; Kim et al.¹⁴ e Lee et al.¹⁵ investigaram essa variável utilizando métodos espectroscópicos, demonstrando que condições de pós-cura mais intensas ou prolongadas podem resultar em maiores taxas de conversão da matriz resinosa. No estudo de Finck et al.¹³, a análise por espectroscopia (FTIR) demonstrou que o grau de conversão foi influenciado pelo tipo de resina 3D, com cada material apresentando um comportamento polimérico distinto frente aos métodos de pós-cura UV (5, 10 e 30 minutos) e aos solventes utilizados (álcool isopropílico e etanol absoluto). Kim et al.¹⁴ observaram que o grau de conversão medido por FTIR aumentou significativamente com o prolongamento do tempo de pós-cura (de 15 até 120 minutos a 60 °C na câmara de cura (CureM D102H)). No estudo de Lee et al.¹⁵, utilizando uma unidade de fotopolimerização UV a 50 °C por até 20 minutos. (Tabela 1)

Tabela 1: Grau de Conversão

Finck et al. ¹³ 2024	
Material Avaliado	Resilab 3D Temp, Printax Temp e Prizma Bioprov.
Método de Análise	O método de análise foi a espectroscopia (FTIR). As amostras foram impressas em 3D utilizando uma impressora SLA/LCD com angulação de 150° e espessura da camada de 50 µm.
Método Pós-Cura	Os métodos de cura utilizados foram através da luz UV, sendo os tempos de 5,10 e 30 minutos. Foram utilizados os solventes Álcool isopropílico (Isopropyl alcohol – IPA) e Etanol absoluto (Absolute ethanol)
Variáveis Avaliadas	O impacto de diferentes solventes e tempos de pós-cura UV nas propriedades de resinas de impressão 3D para restaurações provisórias.
Resultados	A microdureza foi afetada pelo tempo de pós-cura UV e pela resina 3D, onde a resina Resilab apresentou maior microdureza com álcool isopropílico e 30 minutos de cura UV, enquanto a resina Printax apresentou maior microdureza com etanol absoluto. O coeficiente de transferência de carga (KIC) foi influenciado pelo tipo de solvente, tempo de cura UV e resina 3D. A rugosidade foi afetada pela resina 3D e pelo tempo de cura UV. O brilho foi influenciado pela resina 3D e, para a resina Prizma, foi menor com combinações específicas de solvente/tempo de cura UV. O grau de conversão (DC) foi influenciado pela resina 3D, com cada resina apresentando comportamento diferente.
Conclusão	O aumento dos tempos de pós-polimerização por UV mais longos melhoraram o desempenho dos polímeros impressos em 3D

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 1 (continuação): Grau de Conversão

Kim et al. ¹⁴ 2020	
Material Avaliado	Nextdent C&B (Nextdent, Soesterburg, Holanda), Nextdent C&B MFH (Nextdent, Soesterburg, Holanda), ZMD-1000B temporário (Dentis, Daegu, Coreia do Sul) e DIONavi C&B (DIO Incorporated, Busan, Coreia do Sul)
Método de Análise	O método de análise foi a espectroscopia (FTIR).
Método Pós-Cura	CureM D102H, SONA Global, Seul, Coreia do Sul, com intensidade UV de 220 µW·cm ⁻² e temperatura interna de 60 °C.
Variáveis Avaliadas	Tempo de pós-cura
Resultados	O grau de conversão aumentou significativamente com maior tempo de pós-cura
Conclusão	Pós-cura prolongada aumenta a conversão monomérica e reduz monômeros residuais
Lee et al. ¹⁵ 2022	
Material Avaliado	Resinas dentárias fotopolimerizáveis impressas em 3D
Método de Análise	O método de análise foi a espectroscopia (FTIR).
Método Pós-Cura	Tempo de pós-cura por 0, 5, 10 e 20 minutos. O processo foi realizado na temperatura recomendada pelo fabricante de 50 °C, utilizando uma unidade de fotopolimerização UV (PURE PRO, U-Dent, Daegu, Coreia do Sul).
Variáveis Avaliadas	Efeitos do tempo de pós-cura em propriedades relacionadas, como grau de conversão (GC), rugosidade superficial, ângulo de contato com a água, sorção de água (Wsp) e solubilidade em água (Wsl), estabilidade de cor de restaurações de resina composta impressas em 3D na cor do dente após cura.
Resultados	Quanto maior o tempo de pós-cura da resina impressa em 3D na cor do dente, melhor será a estabilidade da cor e apresentará maior tendência de aumento do grau de conversão (DC). O valor Ra da resina impressa em 3D na cor do dente, com um tempo de pós-cura de 0 min, aumentou com o tempo de envelhecimento na solução de café e com o aumento do tempo de pós-cura da resina impressa em 3D na cor do dente, o ângulo de contato com a água apresentou uma tendência de diminuição. A sorção e a solubilidade em água da resina impressa em 3D foram afetadas pela pós-cura.
Conclusão	O aumento do tempo de pós-cura promove maior conversão monomérica, podendo influenciar o comportamento do material em meio aquoso

Fonte: Dados da Pesquisa

○ Microdureza

Kim et al.⁸, Kim et al.¹⁴, Siqueira et al.⁵, Celikel e Sengul¹², Montero et al.¹⁶, Büyükpölat et al.¹¹ e Finck et al.¹³ avaliaram microdureza. Os resultados demonstraram aumento da microdureza associado ao prolongamento do tempo de pós-cura ou à utilização de protocolos com maior intensidade luminosa. (Tabela 2)

Tabela 2: Microdureza

Siqueira et al. ⁵ 2024	
Material Avaliado	Resilab Temp 3D (Wilcos do Brasil, Petrópolis, Brasil) / Anycubic (Shenzhen, China)
Tipo de Corpo de Prova	Corpos de prova quadrados (12 × 12 mm) impressos na Anycubic (Shenzhen, China), com orientação de 120° em relação ao plano horizontal
Método de Pós-Cura	Pós-cura em câmara Anycubic por 0, 16, 32 e 60 min (sem pós-cura, 16 min, 32 min, 1 h)
Condição de Armazenamento	As amostras foram submetidas ou não a envelhecimento hidrotérmico em termociclador (Biopdi Termocycle, São Carlos, Brasil) – 2.000 ciclos (30 s a 55 °C e 30 s a 5 °C)
Método de Ensaio/ Equipamento	Microdureza Knoop – Indentador Shimadzu HMV-G21DT (Shimadzu, Kyoto, Japão)
Carga e Tempo de Aplicação	300g por 15 s
Número de Indentações	3 indentações em pontos distintos da superfície
Resultados	A microdureza foi influenciada pelo tipo de material e pelo armazenamento em solvente, sendo observada redução após envelhecimento, principalmente nos materiais com menor conteúdo de carga
Conclusão	Houve diferença entre tempos de polimerização (p = 0,007) e envelhecimento (p = 0,001). Semelhança entre os grupos antes e depois do envelhecimento, indicando estabilidade da microdureza após o envelhecimento térmico

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 2 (continuação): Microdureza

Kim et al. ⁸ 2024	
Material Avaliado	Resina fotopolimerizável para impressão 3D
Tipo de Corpo de Prova	Discos de 1 e 2 mm
Método de Pós-Cura	2, 4 e 8 ciclos de pós-polimerização (um ou ambos os lados)
Condição de Armazenamento	Armazenamento em água destilada a 37 °C por 24 h antes do ensaio.
Método de Ensaio/ Equipamento	Microdureza Vickers (HM-200B, Mitutoyo, Japão)
Carga e Tempo de Aplicação	0,05 gf / 30 s
Número de Indentações	3 indentações em cada superfície (superior e inferior)
Resultados	A microdureza aumentou com o número de ciclos de pós-polimerização; valores superiores observados nas superfícies superiores e nos grupos T4B4 e T8
Conclusão	Maior número de ciclos melhora polimerização e dureza; penetração limitada da luz reduz dureza na face inferior
Celikel e Sengul ¹² , 2024	
Material Avaliado	VarseoSmile Crown Plus (VSC) e VarseoSmile Temp (VST)
Tipo de Corpo de Prova	Discos (Ø = 8 mm; espessura = 2 mm)
Método de Pós-Cura	Diferentes ciclos de pós-cura (0, 750, 1.500, 2.250, 3.000 ciclos de flash-curing)
Condição de Armazenamento	Avaliações feitas no estado “green” e após os ciclos de pós-cura
Método de Ensaio/ Equipamento	Vickers hardness
Carga e Tempo de Aplicação	Não Reportado
Número de Indentações	Não Reportado
Resultados	A dureza de superfície aumentou com tempo/ciclo de pós-cura para as ambas as resinas
Conclusão	Ciclos mais intensos de pós-cura resultam em maior dureza superficial. Não houve mudança de cor clinicamente significativa em função da pós-cura
Finck et al. ¹³ 2024	
Material Avaliado	Resina impressa para restaurações provisórias
Tipo de Corpo de Prova	Corpos planos de 2 mm
Método de Pós-Cura	Pós-cura por LED em tempos (10, 20 e 40 min)
Condição de Armazenamento	Espécimes armazenados em água destilada a 37 °C por 24 h
Método de Ensaio/ Equipamento	Microdureza Vickers
Carga e Tempo de Aplicação	50 gf por 10s
Número de Indentações	5 indentações na superfície de cada espécime
Resultados	A microdureza aumentou proporcionalmente ao tempo de pós-cura
Conclusão	O aumento do tempo de pós-cura eleva o grau de conversão e melhora as propriedades mecânicas
Büyükpölat et al. ¹¹ 2025	
Material Avaliado	Resinas 3D Resilab, Printax e Prizma
Tipo de Corpo de Prova	Corpos de prova retangulares (barras)
Método de Pós-Cura	Pós-cura UV com diferentes tempos (0, 10 e 30 min) e lavagem prévia com diferentes solventes (etanol absoluto ou álcool isopropílico)
Condição de Armazenamento	Armazenamento em água destilada a 37 °C por 24 h antes do ensaio mecânico
Método de Ensaio/ Equipamento	Microdureza Knoop (HMV-2000; Shimadzu, Tóquio, Japão)
Carga e Tempo de Aplicação	50 gf / 10 s
Número de Indentações	5 indentações espaçadas 500 µm; com 3 leituras
Resultados	Microdureza foi influenciada pelo tempo pós-cura UV e tipo de resina (p < 0,05); maiores valores para Resilab (30 min/álcool isopropílico) e Printax (etanol absoluto)
Conclusão	Tempo de pós-cura e solvente interferem na microdureza; tempos mais longos e solventes adequados aumentam a eficiência da polimerização e a dureza
Kim et al. ¹⁴ 2020	
Material Avaliado	NextDent C&B / DIONavi C&B
Tipo de Corpo de Prova	Discos (5 mm × 2 mm)
Método de Pós-Cura	Cure M D102H – 15, 30, 60, 90 e 120 min
Condição de Armazenamento	24 h a 37 °C
Método de Ensaio/ Equipamento	Microdureza Vickers
Carga e Tempo de Aplicação	300 g por 15 s
Número de Indentações	3 indexações por espécime
Resultados	Microdureza aumentou progressivamente com o tempo de pós-cura (p < 0,05)
Conclusão	Maior tempo de pós-cura promove maior reticulação polimérica e aumento da dureza superficial

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 2 (continuação): Microdureza

Montero et al. ¹⁶ 2022	
Material Avaliado	Resinas impressas em 3D para provisórios: Cosmos Temp 3D (COS), Smart Print Bio Temp (SMA), Resilab 3D Temp (RES) e Prizma 3D Bio Prov (PRI)
Tipo de Corpo de Prova	Cubos 5 × 5 × 5 mm
Método de Pós-Cura	Pós-cura em unidade Wash and Cure 2.0 (Anycubic) por 0, 5, 10, 15 e 20 min
Condição de Armazenamento	Não especificado (análise após pós-cura)
Método de Ensaio/ Equipamento	Microdureza Knoop em microdurômetro (Future-Tech FM Corp) com análise em diferentes profundidades
Carga e Tempo de Aplicação	20 g por 5 s
Número de Indentações	Três indentações por profundidade
Resultados	O aumento do tempo de pós-cura aumentou significativamente a microdureza em todas as profundidades
Conclusão	Tempos maiores de pós-cura promovem maior polimerização e microdureza das resinas impressas em 3D

Fonte: Dados da Pesquisa

○ Resistência à flexão

Cinco estudos avaliaram a resistência à flexão de resinas impressas em 3D sob diferentes protocolos de pós-cura (Kim et al.⁸; Kim et al.¹⁴; Lassila et al.⁴; Siqueira et al.⁵ e Montero et al.¹⁶). No estudo de Kim et al.⁸, a resistência à flexão biaxial avaliada em máquina universal de ensaios aumentou substancialmente com o maior número de ciclos de pós-cura por meio de fotopolimerização LED odontológica e com a exposição da luz em ambas as faces do material; ademais, a espessura das amostras exerceu influência direta no desempenho mecânico, visto que os discos de 1 mm alcançaram melhores resultados que os de 2 mm devido à penetração limitada da luz nas camadas mais profundas.

Em Lassila et al.⁴, os ensaios de flexão em três pontos apontaram que os corpos de prova pós-curados no aparelho Form Cure (60 °C por 30 min) alcançaram a maior resistência à flexão e o menor índice de desgaste, enquanto os espécimes mantidos em "estado verde" (sem pós-cura) exibiram os piores desempenhos mecânicos. Paralelamente, em Siqueira et al.⁵, o aumento do tempo de pós-cura para 60 minutos em aparelho Anycubic Photon otimizou o grau de conversão e a resistência à flexão de resinas temporárias, gerando uma topografia superficial mais homogênea, embora o envelhecimento por ciclos térmicos (5–55 °C) tenha reduzido as propriedades mecânicas globais. De forma correspondente, em Kim et al.¹⁴, a resistência à flexão em barras de 25 x 2 x 2 mm elevou-se significativamente conforme o tempo de exposição luminosa foi estendido na unidade CureM. Montero et al.¹⁶, o tempo de pós-cura (em unidade Wash and Cure 2.0 por até 20 minutos) influenciou de maneira na resistência à flexão de todas as marcas de resinas testadas (Cosmos, Smart Print, Resilab e Prizma). (Tabelas 3 e 4)

○ Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade foi analisado em estudos como Montero et al.¹⁶ e Kim et al.¹⁴. De maneira geral, os resultados indicaram que o

aumento do tempo de pós-polimerização esteve associado a maiores valores de módulo elástico, sugerindo maior rigidez dos materiais e influenciando significativamente o desempenho mecânico dos materiais avaliados. (Tabela 5)

Tabela 3: Resistência à flexão biaxial

Kim et al. ⁸ 2024	
Material Avaliado	Resina impressa em 3D NextDent C&B (resina para coroas e pontes temporárias)
Tipo de Corpo de Prova	Foram projetados discos com 2 cm de diâmetro e 1 ou 2 mm de espessura
Método de Pós-Cura	A pós-polimerização foi realizada com uma unidade de fotopolimerização LED odontológica (LCU Valo), aplicando diferentes ciclos e condições de exposição à luz
Condição de Armazenamento	Armazenamento em água destilada a 37 °C por 24 horas antes dos ensaios mecânicos
Método de Ensaio	A resistência à flexão biaxial foi avaliada em máquina universal de ensaios, seguindo metodologia padronizada (ISO 6872), sendo o principal parâmetro analisado a resistência mecânica (MPa), comparando diferentes condições de pós-cura e espessuras dos espécimes
Parâmetros de Ensaio	Velocidade 1 mm/min; carga aplicada até a fratura
Resultados	Os resultados mostraram que a resistência à flexão biaxial aumentou com o maior número de ciclos de pós-cura e com a exposição em ambas as faces do material. Além disso, amostras com menor espessura (1 mm) apresentaram melhor desempenho mecânico em comparação às de 2 mm
Conclusão	Concluiu-se que unidade de fotopolimerização odontológica pode ser alternativa eficiente para pós-cura de resinas impressas 3D, desde que sejam aplicados ciclos adequados de exposição à luz, garantindo melhores propriedades mecânicas do material

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 4: Resistência à flexão (FS)

Lassila et al. ⁴ 2024	
Material Avaliado	Resinas VarseoSmile Crown Plus (VSC) e VarseoSmile Temp (VST) — BEGO, Bremen, Alemanha
Tipo de Corpo de Prova	Foram utilizados corpos de prova retangulares (25 × 2 × 2 mm), confeccionados por impressão 3D do tipo DLP
Método de Pós-Cura	A pós-cura foi realizada nos aparelhos Form Cure (60 °C/30 min), Visio Beta Vario (40 °C/30 min), Ivoclar Targis Power (40 °C/30 min) e em forno térmico (150 °C/30 min)
Condição de Armazenamento	Os testes foram realizados após 24 h em estufa a 37 °C e após envelhecimento em água fervente por 16h
Método de Ensaio	A resistência à flexão foi avaliada por meio de ensaio de flexão em três pontos, conforme a norma ISO 4049, utilizando corpos de prova em barra (2 × 2 × 25 mm) em máquina universal de ensaio (Instron 5566, Instron Corp., EUA), em temperatura ambiente
Parâmetros de Ensaio	O ensaio utilizou célula de carga de 2500 N, velocidade de 1 mm/min e distância de 20 mm entre os apoios, até a fratura do corpo de prova
Resultados	Os grupos pós-curados em Form Cure apresentaram maior resistência à flexão e menor desgaste, enquanto os grupos sem pós-cura tiveram os piores resultados. A translucidez variou pouco entre os grupos, e a transmissão de luz diminuiu com o aumento da espessura
Conclusão	O Form Cure apresentou os melhores resultados de resistência e desgaste, enquanto o envelhecimento hidrotérmico reduziu a resistência à flexão. As propriedades ópticas permaneceram estáveis

Siqueira et al.⁵ 2024

Material Avaliado	O material utilizado foi a Resilab Temp, uma resina temporária à base de polímero para impressão 3D
Tipo de Corpo de Prova	Corpos de prova formato barra (25×10×3mm) - ISO 4049
Método de Pós-Cura	A pós-cura foi realizada por exposição à luz em aparelho Anycubic Photon, nos tempos de 0, 16, 32 e 60 min
Condição de Armazenamento	Imediata e após envelhecimento térmico (2000 ciclos, 5–55 °C)
Método de Ensaio	Teste de resistência à flexão (Flexural Strength)
Parâmetros de Ensaio	Não Reportado
Resultados	Maior tempo de pós-cura aumentou o grau de conversão e a resistência à flexão, com superfície mais homogênea no grupo de 60 min. O envelhecimento térmico reduziu as propriedades mecânicas, sem alterar significativamente a translucidez e a cor
Conclusão	Tempo de pós-polimerização de 1 hora deve ser sugerido para otimizar o desempenho mecânico (incluindo a resistência à flexão) do material

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 4 (continuação): Resistência à flexão (FS)

Kim et al. ¹⁴ 2020	
Material Avaliado	Nextdent C&B (Nextdent, Soesterburg, Holanda), Nextdent C&B MFH (Nextdent, Soesterburg, Holanda), ZMD-1000B temporário (Dentis, Daegu, Coreia) e DIONavi C&B (DIO Incorporated, Busan, Coreia)
Tipo de Corpo de Prova	Resistência à flexão foi construída em forma de barra, com largura e espessura de 2 mm e comprimento de 25 mm, referindo-se ao DIN EN ISO 4049 (materiais à base de polímeros dentários)
Método de Pós-Cura	A pós-cura foi realizada em equipamento CureM D102H (60 °C; 220 µW/cm ²), com tempos de 15, 30, 60, 90 e 120 min, além do grupo controle sem pós-cura. Os corpos de prova apresentaram dimensões finais de 25 × 2 × 2 mm
Condição de Armazenamento	A amostra impressa em 3D foi armazenada em uma incubadora a 37 °C por 24 horas
Método de Ensaio	Ensaio de flexão em três pontos
Parâmetros de Ensaio	Velocidade 1 mm/min; distância entre apoios 20 mm
Resultados	A resistência à flexão aumentou significativamente com o aumento do tempo de pós-cura (p < 0,05), assim como o grau de conversão e a dureza, enquanto a citotoxicidade diminuiu.
Conclusão	O tempo de pós-cura melhorou as propriedades mecânicas e influenciou a cor das resinas impressas em 3D
Montero et al. ¹⁶ 2022	
Material Avaliado	Resinas impressas em 3D: Cosmos Temp 3D (COS), Smart Print Bio Temp (SMA), Resilab 3D Temp (RES), Prizma 3D Bio Prov (PRI)
Tipo de Corpo de Prova	Barras impressas em 3D com dimensões de 25 × 2 × 2 mm para o ensaio de resistência à flexão em três pontos (n = 10 por grupo)
Método de Pós-Cura	Pós-cura em Wash and Cure 2.0 por 0, 5, 10, 15 e 20 min
Condição de Armazenamento	Os espécimes foram avaliados após os respectivos protocolos de pós-cura, sem destaque para envelhecimento prolongado ou armazenamento hídrico específico antes do ensaio
Método de Ensaio	Ensaio de flexão em três pontos em máquina universal Instron
Parâmetros de Ensaio	Ensaio de flexão em três pontos (3-point bending test); Corpos de prova: 25 × 2 × 2 mm; Avaliação da resistência à flexão (FS) e módulo flexural (FM); Análise estatística por ANOVA de dois fatores (Material × Tempo de pós-cura)
Resultados	O tempo de pós-cura influenciou significativamente a resistência à flexão de todos os materiais
Conclusão	O tempo de pós-cura influencia significativamente as propriedades mecânicas das resinas impressas

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 5: Resistência e Módulo de Elasticidade (FS e FM)

Montero et al. ¹⁶ 2022	
Material Avaliado	Resinas compostas odontológicas impressas em 3D
Tipo de Corpo de Prova	Barras retangulares (25 × 2 × 2 mm) impressas com angulação de 0°
Método de Pós-Cura	Tempos de pós-cura: 0, 5, 10, 15 e 20 min
Condição de Armazenamento	Armazenamento em água por 24 h a 37 °C
Método de Ensaio	Ensaio de flexão em 3 pontos (ISO 4049), máquina universal Instron 4411
Parâmetros de Ensaio	Velocidade: 1,0 mm/min
Resultados	O material (p < 0,0001), o tempo de pós-cura (p < 0,0001) e a interação entre ambos influenciaram significativamente FS e FM. O aumento do tempo de pós-cura elevou os valores de resistência e módulo de flexão. Após 15 e 20 min observaram-se os maiores valores para alguns materiais
Conclusão	O aumento do tempo de pós-cura melhora significativamente as propriedades mecânicas (FS e FM). O comportamento varia conforme o material, sendo que alguns atingem platô após 5 ou 10 minutos
Kim et al. ¹⁴ 2020	
Material Avaliado	Resinas provisórias para coroas fabricadas por impressão 3D (ex.: NextDent C&B e similares)
Tipo de Corpo de Prova	Barras retangulares seguindo ISO 4049
Método de Pós-Cura	Lavagem em álcool isopropílico seguida de pós-cura em unidade de luz UV
Condição de Armazenamento	Armazenamento em água destilada por 24 h a 37 °C
Método de Ensaio	Ensaio de flexão em três pontos
Parâmetros de Ensaio	Máquina universal de ensaio; carga aplicada até fratura; cálculo do módulo a partir da curva tensão-deformação
Resultados	O módulo de flexão variou conforme o material e o protocolo de pós-cura, sendo observados maiores valores após adequada pós-cura UV
Conclusão	O tempo de pós-cura melhorou as propriedades mecânicas

Fonte: Dados da Pesquisa

○ Tenacidade à fratura

A tenacidade à fratura foi investigada por Finck et al.¹³, que avaliaram a influência de diferentes protocolos de limpeza com solventes e tempos de pós-cura UV na resistência à propagação de trincas das resinas impressas. Os resultados demonstraram que tanto o tipo de solvente quanto o tempo de pós-cura influenciaram os valores de tenacidade, indicando impacto direto do pós-processamento nas propriedades mecânicas do material. (Tabela 6)

Tabela 6: Tenacidade à fratura

Finck et al. ¹³ 2024	
Material Avaliado	Resinas restauradoras provisórias impressas em 3D (Prizma Bioprov, Printax Temp, Resilab 3D Temp)
Tipo de Corpo de Prova	Foi determinado utilizando o método Single-Edge V-Notched Beam (SEVNB). Os corpos de prova foram posicionados em suportes com um vão de 20 mm, e o entalhe foi posicionado no lado oposto à aplicação da carga (método SEVNB)
Método de Pós-Cura	Lavagem dos espécimes em álcool isopropílico ou etanol absoluto e submetidos à pós-cura UV por 5, 10 e 30 minutos. O pós-processamento foi realizado em máquina all-in-one imediatamente após a impressão
Condição de Armazenamento	Não Reportado
Método de Ensaio	Ensaio de flexão em três pontos foram conduzidos a uma velocidade constante de 0,5 mm/min até a ruptura, utilizando uma máquina de ensaio (Instron modelo 5569 A; Instron, Norwood, MA, EUA)
Parâmetros de Ensaio	O cálculo do K_{IC} (MPa√m) seguiu um método previamente descrito. Os corpos de prova foram fixados com cera, e cinco indentações Knoop foram feitas na superfície de cada corpo de prova, com uma distância mínima de 500 µm entre cada indentação. Um microdurômetro digital (HMV-2000; Shimadzu, Tóquio, Japão) foi utilizado, aplicando uma carga de 50 gf por 10 s
Resultados	A microdureza foi significativamente influenciada pelo tempo de pós-cura UV (p = 0,018) e pela resina 3D (p < 0,001). As interações resina 3D × solvente (p < 0,001) e resina 3D × tempo de UV (p = 0,023) também apresentaram influência significativa. O fator tipo de solvente (p = 0,066) e a interação tipo de solvente × tempo de pós-cura UV (p = 0,076) não foram significativos
Conclusão	O aumento do tempo de pós-cura UV melhora a tenacidade à fratura. O solvente utilizado interfere na eficiência da polimerização e no desempenho mecânico do material

Fonte: Dados da Pesquisa

Em Finck et al.¹³, os ensaios de flexão em três pontos com o método Single-Edge V-Notched Beam (SEVNB) indicaram que a microdureza e a tenacidade à fratura foram fortemente influenciadas pelo tempo de pós-cura UV e pela marca da resina 3D. Constatou-se também que interações estatísticas significativas ocorreram entre o tipo de resina e o solvente de lavagem prévia, e entre a resina e o tempo de UV (5, 10 ou 30 min), demonstrando que períodos mais longos de pós-cura UV aprimoram a resistência à propagação de trincas do polímero, enquanto o agente químico utilizado na limpeza (etanol absoluto ou álcool isopropílico) interfere diretamente na eficiência final da polimerização.

○ Rugosidade de superfície

A avaliação rugosidade da superfície foi encontrada em quatro estudos (Lassila et al.⁴;

Büyükpolat et al.¹¹; Finck et al.¹³ e Lee et al.¹⁵), com o objetivo de verificar possíveis alterações superficiais associadas aos diferentes protocolos de pós-cura. De maneira geral, os resultados indicaram que o método de pós-cura pode influenciar a topografia superficial dos materiais, podendo impactar propriedades clínicas como acúmulo de biofilme (Tabela 7).

Tabela 7: Propriedades de superfície – Rugosidade de superfície

Büyükpolat et al. ¹¹ 2025		
Pós-Cura	Blue LED – Labolight DUO (GC, Japão) – 60 W, 12 LEDs azuis (465–485 nm) + 3 LEDs roxos (390–400 nm); UV LED – FormCure (Formlabs, EUA) – 39 W, 405 nm, 60 °C	
Teste	Microscópio confocal (Smartproof 5, Zeiss, Alemanha) avaliando os parâmetros Ra e Sa. As imagens foram obtidas de uma área de 0,5 × 0,5 mm com lente 20×.0,7, e o processamento feito no software ConfoMap ST 9.3.10494 (Zeiss, Alemanha). As medições de rugosidade superficial foram calculadas realizando-se duas medições nos pontos centrais da mesma amostra	
Grupos	SLA Formlab 3B+ (Permanent Crown, Formlabs ABD, EUA): Blue LED 10–60 min / UV LED 10–60 min; e DLP Asiga Max UV (Crowntec, Saremco Dental AG, Suíça): Blue LED 10–60 min / UV LED 10–60 min	
Lassila et al. ⁴ 2024		
Pós-Cura	Amostras 1: Sem pós cura	
	Amostras 2: Pós cura em unidade Form Cure	
	Amostras 3: Pós cura em unidade Visio Beta Vario	
	Amostras 4: Pós cura em unidade Ivoclar Targis Power	
	Amostras 5: Pós cura térmica em estufa	
Teste	Análise da microestrutura e composição elementar da superfície por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV, LEO, Oberkochen, Alemanha) e Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS) (LEO, Oberkochen, Alemanha), com ampliação de 10.000×. As amostras (n=2) foram polidas, dessecadas por 1 dia e recobertas com ouro (BAL-TEC SCD 050)	
Grupos	Sem pós cura	
	Form Cure - 30 min a 60°C	
	Visio Beta Vario - 30 min a 40° C	
	Ivoclar Targis Power - 30 min a 40°C	
	Calor - 30 min a 150°C	
Finck et al. ¹³ 2024		
Pós-Cura	Pós-cura com luz UV (5, 10 ou 30 min) sobre propriedades selecionadas de três resinas de impressão 3D utilizadas para restaurações provisórias	
Teste	Análise da rugosidade superficial através de perfilometria de contato utilizando o perfilômetro Surfcometer SE1700 (Kosaka Laboratory, Tóquio, Japão) com resolução de 0,01 mm, equipado com uma ponta de diamante (diâmetro da ponta de 2 mm) posicionada perpendicularmente ao eixo longitudinal da amostra	
Grupos	Tipo de Solvente	Tempo de Pós-Cura
	Álcool isopropílico (todas as três resinas)	5 minutos
		10 minutos
		30 minutos
	Etanol absoluto (todas as três resinas)	5 minutos
		10 minutos
30 minutos		
Lee et al. ¹⁵ 2022		
Pós-Cura	Unidade de fotopolimerização UV (PURE PRO U-Dent, Daegu, Coreia do Sul) à 50°C	
Teste	A microscopia confocal de varredura a laser (CLSM; LSM 800, Carl Zeiss, Jena, Alemanha) foi utilizada para medir a rugosidade superficial das amostras, sendo cada grupo medido 15 vezes	
Grupos	Grupo 1: 0 minutos (sem pós cura)	
	Grupo 2: 5 minutos	
	Grupo 3: 10 minutos	
	Grupo 4: 20 minutos	

Fonte: Dados da Pesquisa

Em Büyükpolat et al.¹¹, a rugosidade superficial (parâmetros Ra e Sa) foi avaliada via microscopia confocal após a pós-cura com LED azul

(Labolight DUO ou FormCure) e três LEDs roxos/UV LED (Formlabs), considerando variações de potência, comprimento de onda e temperatura. Em Lassila et al.⁴, a análise da microestrutura e da composição elementar da superfície por MEV/EDS comparou amostras com diferentes métodos de processamento, incluindo os aparelhos Form Cure, Visio Beta Vario, Ivoclar Targis Power e pós-cura térmica em estufa. Para Finck et al.¹³, a rugosidade superficial medida por perfilometria de contato foi avaliada em função do tempo de pós-cura por luz UV (5, 10 ou 30 minutos) e da interação com o tipo de solvente utilizado na lavagem, comparando o álcool isopropílico e o etanol absoluto. Por fim, em Lee et al.¹⁵, a rugosidade superficial foi mensurada por microscopia confocal de varredura a laser (CLSM) em amostras submetidas à unidade de fotopolimerização UV a 50°C, divididas de acordo com o tempo de exposição em grupos de 0, 5, 10 e 20 minutos.

○ Brilho superficial

O brilho superficial foi avaliado (Lassila et al.⁴ e Finck et al.¹³), buscando investigar a influência dos métodos de pós-cura na refletância da superfície das resinas impressas em 3D. De modo geral, observou-se que as condições de pós-polimerização podem modificar o acabamento superficial dos materiais, influenciando parâmetros estético. (Tabela 8)

Tabela 8: Brilho de superfície

Lassila et al. ⁴ 2024	
Pós-Cura	Sem pós-cura; pós-cura em unidade Form Cure; Visio Beta Vacuum; Ivoclar Targis; e tratamento térmico a 150 °C por 30 minutos. A análise relacionada ao brilho superficial mostrou que diferentes métodos de pós-cura não alteraram significativamente as propriedades ópticas do material
Teste	O brilho de superfície foi avaliado em espécimes VarseoSmile Crown Plus (VSC) após polimento com lixas de carvão de silício de diferentes granulações (320, 800, 1200, 2000 e 4000)
Grupos	Os grupos foram organizados conforme o método de pós-cura empregado: 1)Sem pós-cura; 2)Form Cure; 3)Visio Beta Vacuum; 4)Ivoclar Targis; 5)Tratamento térmico (150 °C/30 min). Dentro desses grupos, as amostras também foram subdivididas conforme a granulação do polimento utilizado para avaliação do brilho superficial
Brilho de superfície	Os maiores valores de brilho superficial foram observados nos espécimes polidos com lixa de granulação 4000, independentemente do método de pós-cura utilizado. Já os menores valores ocorreram com lixa de granulação 320. Assim, o acabamento superficial teve maior influência no brilho do que o protocolo de pós-cura
Finck et al. ¹³ 2024	
Pós-Cura	Os espécimes foram submetidos a diferentes tempos de pós-cura UV: 5, 10 e 30 minutos, após lavagem em dois solventes distintos: álcool isopropílico ou etanol absoluto
Teste	O brilho de superfície foi avaliado por meio de glossímetro, sendo os valores expressos em unidades de brilho (GU)
Grupos	Os grupos foram divididos conforme o tipo de solvente utilizado na limpeza (álcool isopropílico e etanol absoluto); Tempo de pós-cura UV (5, 10 e 30 minutos) e, além disso, foram avaliadas três resinas provisórias impressas em 3D: Resilab 3D Temp, Printax Temp e Prizma Bioprov
Brilho de Superfície	A combinação entre resina, solvente de limpeza e tempo de pós-cura pode alterar o desempenho estético superficial dos materiais impressos em 3D

Fonte: Dados da Pesquisa

Em Lassila et al.⁴, o brilho superficial foi investigado em espécimes de resina após um protocolo padronizado de polimento com lixas de carbeto de silício (granulações de 320 a 4000). Os resultados revelaram que os diferentes métodos de pós-cura avaliados (Form Cure, Visio Beta Vacuum, Ivoclar Targis e o tratamento térmico em estufa a 150 °C por 30 minutos) não alteraram significativamente as propriedades ópticas intrínsecas e a refletância superficial das resinas testadas.

o Estabilidade de cor

Nove estudos avaliaram a estabilidade de cor das resinas impressas em 3D após diferentes protocolos de pós-cura^{3,5,8,11,12,15,16,17,18}. De forma geral, observou-se que variações nos protocolos de pós-cura influenciaram os parâmetros cromáticos dos materiais avaliados, com alterações nos valores de ΔE após diferentes tempos de exposição, embora muitos estudos tenham apresentado alterações dentro de limites clinicamente aceitáveis. Mesmo que a pós-cura esteja associada à melhora das propriedades mecânicas, os resultados indicam que modificações nas condições de polimerização podem impactar simultaneamente o comportamento óptico dos materiais.

A estabilidade de cor das resinas impressas foi testada através da análise de espectrometria por Siqueira et al.⁵; Celikel e Sengul¹²; Montero et al.¹⁶; Sahir et al.¹⁷; Büyükpölat et al.¹¹; Temizci e Kölüş¹⁸; Lim et al.³ e Lee et al.¹⁵. O teste de Tukey foi variável estudada por Lim et al.³, a colorimetria por Kim et al.¹⁴ e microscopia eletrônica de varredura Siqueira et al.⁵. Variação no tempo de pós-cura foi encontrada nos estudos de Montero et al.¹⁶; Kim et al.¹⁴; Siqueira et al.⁵; Temizci e Kölüş¹⁸; Sahir et al.¹⁷, assim como as condições nas quais a pós-cura foi realizada: imersão dos espécimes em glicerina Lee et al.¹⁵ ou realização da pós-cura em condições saturadas de nitrogênio Lim et al.³.

Os estudos de Lim et al.³, Sahir et al.¹⁷, Montero et al.¹⁶ e Siqueira et al.⁵ não encontraram diferenças estatísticas significativas na cor independentemente do método de cura, do agente de descoloração utilizado, do tempo ou do método de pós-cura. No estudo de Kim et al.⁸, com um aumento de tempo de pós-cura, principalmente após 20 minutos de pós-polimerização, foi observado a intensificação das cores amarelo-claro e avermelhadas corroborando com os resultados encontrados no estudo de Celikel e Sengul¹². Com o aumento do tempo de pós-cura, as resinas impressas apresentaram uma intensificação dos tons amarelados e avermelhados, associada à redução da luminosidade. No estudo de Büyükpölat et al.¹¹, a mudança de cor aumentou conforme o tempo de pós-cura aumentou, porém ficaram abaixo do limite clínico perceptível, indicando mudança de cor pequena e não houve diferença estatisticamente

significativa entre o uso de Blue LED e UV LED. No estudo de Temizci e Kölüş¹⁸, a variação de cor entre os diferentes tempos de pós-cura apresentou valores de ΔE^* superiores a 2,25, sendo considerados clinicamente inaceitáveis, uma vez que ultrapassam o limite de aceitabilidade de cor descrito por Paravina et al.² (Tabela 9).

Tabela 9: Estabilidade de cor

Büyükpolat et al. ¹¹ 2025		
Pós-Cura	Blue LED – Labolight DUO (GC, Japão) – 60 W, 12 LEDs azuis (465–485 nm); 3 LEDs roxos (390–400 nm); UV LED – FormCure (Formlabs, EUA) – 39 W, 405 nm, temperatura de 60 °C	
Teste	Espectrofotômetro CM-26dG (Konica Minolta, Japão), sistema CIE Lab*, com cálculo da variação de cor ΔE ₀₀ (CIEDE2000). As medições foram realizadas antes e após termociclagem (5000 ciclos entre 5 °C e 55 °C, 30 s em cada banho)	
Tempo	10, 20, 40 e 60 minutos antes e após o envelhecimento	
Grupos	SLA (Permanent Crown, Formlabs, ABD, EUA): Blue LED 10–60 min e UV LED 10–60 min.	
	DLP (Crowntec, Saremco Dental AG, Suíça): Blue LED 10–60 min e UV LED 10–60 min	
Lim et al. ³ 2024		
Pós-Cura	Tera Harz Cure (THC; Graphy, Seul, República da Coreia) por 15 minutos.	
	Tera Harz Cure (THC)- Saturadas de nitrogênio	
Teste	Medição da cor/estabilidade de cor utilizando um espectrofotômetro digital portátil (EasyShade V, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha) para obter os valores L, a, b no espaço de cores CIELAB, calculando a variação de cor pela fórmula ΔE	
Tempo	Cada amostra foi medida intermitentemente a cada 24 horas durante uma semana, seguida de medições semanais durante um mês (linha de base (dia 0), diariamente de 1 a 7 dias após a imersão e semanalmente de 1 a 4 semanas após a imersão)	
Grupos	Condições	Agentes de descoloração
	Condições normais de ar (15 minutos)	Água destilada (n=10) Café (n=10)
	Saturadas de nitrogênio (15 minutos)	Vinho (n=10) Curry (n=10)
Montero et al. ¹⁶ 2022		
Pós-Cura	Unidade de fotopolimerização (Wash and Cure 2.0, Anycubic Technology Co., Shenzhen, China)	
Teste	Espectrofotômetro comercial (VITA Easyshade® Advance V, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha), calibrado de acordo com as instruções do fabricante e fixado com a ponta perpendicular à superfície das amostras	
Tempo	Foram avaliados quatro tempos diferentes de pós-cura: 5, 10, 15 e 20 minutos de exposição à luz violeta. Um grupo de espécimes não foi submetido à pós-cura (controle)	
Grupos	Controle – sem pós cura	
	Com pós cura (5, 10, 15 e 20 minutos)	
Kim et al. ¹⁴ 2020		
Pós-Cura	CureM D102H, SONA Global, Seul, Coreia do Sul), com intensidade UV de 220 μW·cm ⁻² e temperatura interna de 60 °C	
Teste	Colorímetro (Cr321 Chromameter, Minolta, Osaka, Japão)	
Tempo	A alteração de cor foi avaliada de acordo com o tempo de pós-cura após a impressão da resina 3D	
Grupos	Grupo controle - Sem pós cura	
	Grupo 1 - 15 minutos	
	Grupo 2 - 30 minutos	
	Grupo 3 - 60 minutos	
	Grupo 4 - 90 minutos	
	Grupo 5 - 120 minutos	
Temizci e Kölüş ¹⁸ , 2024		
Pós-Cura	Cura em um dispositivo FormCure (Formlabs Inc., Somerville, MA, EUA) por três períodos de pós-cura diferentes (20, 40 e 60 min)	
Teste	Espectrofotômetro (VITA Easyshade V, VITA Zahnfabrik, KG, Alemanha) com a fórmula CIEDE2000 (ΔE ₀₀)	
Tempo	Imediatamente após a conclusão dos protocolos de pós cura	
Grupos	Grupo 1 - 20 minutos	
	Grupo 2 - 40 Minutos	
	Grupo 3 - 60 minutos	

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 9 (continuação): Estabilidade de cor

Sahir et al. ¹⁷ 2024		
Pós-Cura	Câmara de luz ultravioleta (UV) (Printin3D) utilizando uma fonte de luz de 405 nm composta por 12 diodos emissores de luz multidirecionais.	
Teste	As medições de cor foram realizadas utilizando as cores VITA A2 (L* = 75,74, a* = 1,79, b* = 18,05) no modelo de cores CIE Lab + espectrofotômetro comercial (VITA Easyshade-, VITA, Bad Säckingen, Alemanha)	
Tempo	Imediatamente após a conclusão dos protocolos de pós cura	
Grupos	Intensidade de Luz 105, 210, 420, 630 e 860 mW/cm2	
Celikel e Sengul ¹² , 2024		
Pós-Cura	Dispositivo de cura instantânea automática (Bego, Bremen, Alemanha) - 750, 1500, 2250 ou 3000 ciclos	
Teste	Espectrofotômetro digital (Vita Easyshade@V)	
Tempo	Imediatamente após a conclusão dos diferentes ciclos de pós-cura	
Grupos	Número de ciclos - amostras divididas por tipo de resina (coroas permanentes vs. temporárias) e submetidas a 5 condições de pós-cura: Controle, 750, 1500, 2250 ou 3000 ciclos	
Lee et al. ⁴⁵ 2022		
Pós-Cura	Unidade de pós-polimerização (Form Cure, Formlabs, MA, EUA)	
Teste	Espectrofotômetro (CR-321, Kinoca Minolta, Osaka, Japão)	
Tempo	A mudança de cor /variação de cor foi medida para cada período de armazenamento (12 h, 7 dias, 14 dias, 21 dias e 30 dias) entre antes (linha de base) e depois da imersão no corante	
Grupos	Condições de inibição de oxigênio	Temperaturas pós cura / Soluções corante
	Imersão em glicerina (GLY)	
	Ambiente de vácuo médio-baixo (VA)	
	Contato com oxigênio (CON, o grupo controle)	
		Temperaturas de 35 °C, 60 °C e 80 °C / Soluções Água destilada (controle), café e vinho tinto.

Fonte: Dados da Pesquisa

Em Büyükpolat et al.¹¹, a estabilidade de cor de resinas para tecnologia SLA e DLP foi calculada no sistema CIE $L^*a^*b^*$ utilizando um espectrofotômetro CM-26dG antes e após o envelhecimento por termociclagem (5000 ciclos), variando o tempo de pós-cura por LED azul ou UV de 10 a 60 minutos. Em Lim et al.³, a variação de cor de amostras curadas no aparelho Tera Harz Cure por 15 minutos foi medida com espectrofotômetro digital em condições normais de ar ou saturadas de nitrogênio, após imersão intermitente e contínua em diferentes agentes de descoloração (água destilada, café, vinho e curry) por até um mês. Para Montero et al.¹⁶, a avaliação com espectrofotômetro comercial analisou o impacto de quatro tempos distintos de pós-cura por luz violeta (5, 10, 15 e 20 minutos) no dispositivo Wash and Cure 2.0 em comparação com um grupo controle sem pós-cura.

Em Kim et al.¹⁴, a alteração de cor foi monitorada com um colorímetro de acordo com o tempo de pós-cura da resina 3D no aparelho CureM D102H, dividindo os espécimes em grupos desde a ausência de tratamento até exposições de 15, 30, 60, 90 e 120 minutos.

Em Siqueira et al.⁵, arquivos em formato de discos pós-curados na câmara Anycubic Photon foram avaliados por espectrofotometria contra fundos preto, branco e cinza para determinar a cor

e a translucidez no sistema CIELab após intervalos de 16, 32 e 60 minutos. Em Temizci e Köllüş¹⁸, utilizou-se o dispositivo FormCure por três períodos diferentes (20, 40 e 60 minutos), realizando-se a leitura com espectrofotômetro imediatamente após a conclusão dos protocolos. Para Sahir et al.¹⁷ as medições com espectrofotômetro comercial no modelo CIE $L^*a^*b^*$ ocorreram logo após a pós-cura em câmara Printin3D de luz multidirecional, cruzando intensidades de luz de 105 a 860 mW/cm² com tempos de 5, 10 e 15 minutos. Em Celikel e Sengul¹², a estabilidade cromática de coroas permanentes e temporárias foi verificada imediatamente após ciclos de cura instantânea automática (750 a 3000 ciclos) no dispositivo Bego. Por fim, em Lee et al.¹⁵, a variação de cor foi medida após diferentes períodos de armazenamento (de 12 horas a 30 dias) após imersão em soluções corantes (água, café e vinho tinto), avaliando o efeito de pós-cura no Form Cure sob condições de inibição de oxigênio por imersão em glicerina, ambiente de vácuo médio-baixo ou contato livre com o oxigênio.

○ Translucidez

A translucidez foi analisada em estudos como Lassila et al.⁴, Siqueira et al.⁵, Celikel e Sengul¹², além de Temizci e Köllüş¹⁸, geralmente por meio de espectrofotometria e cálculo do Translucency Parameter (TP). Os resultados indicaram que tanto a composição do material quanto os protocolos de pós-cura podem influenciar a transmissão de luz das resinas impressas, característica relevante para aplicações estéticas. (Tabela 10)

Tabela 10: Translucidez

Lassila et al.⁴ 2024	
Material Avaliado	VarseoSmile Crown Plus (VSC) — BEGO, Bremen, Alemanha
Tipo de Corpo de Prova	Discos de 10 mm × 1 mm
Método de Pós-Cura	Pós-cura em Form Cure, Visio Beta Vario, Ivoclar Targis Power e forno (150 °C/30 min)
Condição de Armazenamento	Avaliação após 24 h de armazenamento
Método de Ensaio	Espectrofotômetro CM-26dG (Konica Minolta, Japão) — sistema CIE $L^*a^*b^*$
Parâmetros de Ensaio	Parâmetro de translucidez (TP) calculado entre fundo branco e preto
Resultados	Não houve diferença significativa nos valores de translucidez entre os métodos de pós-cura
Conclusão	A translucidez das resinas impressas foi estável e não afetada pelo tipo de pós-cura
Siqueira et al.⁵ 2024	
Material Avaliado	Resilab Temp (Resina temporária à base de polímero para impressão 3D)
Tipo de Corpo de Prova	Não Reportado
Método de Pós-Cura	Exposição à luz (Anycubic Photon) em diferentes tempos: Sem pós-cura, 16 min, 32 min e 60 min (1h)
Condição de Armazenamento	Imediata e após envelhecimento térmico (2000 ciclos, 5–55 °C)
Método de Ensaio	Análise de cor e translucidez
Parâmetros de Ensaio	Espectrofotômetro (VITA Easy Shade Advanced 4.0), avaliado em CIELab
Resultados	Não mostrou diferenças estatísticas entre os diferentes tempos de pós-cura. O grupo de 1 hora foi o único a se manter dentro do nível de perceptibilidade clínica (após o envelhecimento)
Conclusão	O tempo de pós-polimerização não afetou significativamente a translucidez do material. No entanto, o tempo de 1 hora demonstrou ser o mais estável esteticamente após o envelhecimento

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 10 (continuação): Translucidez

Celikel e Sengul ¹² , 2024	
Material Avaliado	VarseoSmile Crown Plus (VSC, permanente) e VarseoSmile Temp (VST, temporária)
Tipo de Corpo de Prova	Discos (8 mm de diâmetro, 2 mm de espessura)
Método de Pós-Cura	Pós-cura por "flash-curing" em 5 ciclos: o (estado verde), 750, 1500, 2250 e 3000 ciclos
Condição de Armazenamento	Imediatamente após a impressão e pós-cura
Método de Ensaio	Análise de Translucidez (TP - Translucency Parameter)
Parâmetros de Ensaio	Espectrofotômetro (Vita Easyshade® V) sobre fundos branco e preto
Resultados	Não foram encontradas diferenças significativas entre os diferentes ciclos de pós-cura ou materiais isoladamente. No entanto, o VSC (permanente) apresentou uma estrutura mais translúcida do que o VST (temporário)
Conclusão	Os diferentes ciclos de pós-cura não resultaram em diferenças clinicamente significativas na translucidez das resinas polimerizadas. O material permanente (VSC) é mais vantajoso em termos de translucidez

Temizci e Köllüş ¹⁸ , 2024	
Material Avaliado	Resinas provisórias impressas em 3D (diferentes marcas comerciais)
Tipo de Corpo de Prova	Discos circulares padronizados (≈ 10 mm de diâmetro × 2 mm de espessura)
Método de Pós-Cura	Pós-cura conforme protocolo do fabricante
Condição de Armazenamento	Armazenamento em água destilada a 37 °C por 24h*
Método de Ensaio	Espectrofotometria digital (sistema CIE Lab*)
Parâmetros de Ensaio	Parâmetro de Translucidez (TP) calculado pela diferença de cor entre fundo branco e preto
Resultados	Houve diferença estatisticamente significativa nos valores de translucidez entre os materiais avaliados (p < 0,05). Algumas resinas apresentaram maior TP, indicando maior capacidade de transmissão de luz
Conclusão	A translucidez varia significativamente conforme a composição do material e o protocolo de pós-cura, sendo um fator relevante na escolha clínica para restaurações provisórias estéticas

Fonte: Dados da Pesquisa

○ Biocompatibilidade

A biocompatibilidade foi investigada em Kim et al.¹⁴, que avaliou o comportamento biológico das resinas impressas após diferentes condições de pós-cura. Os resultados sugeriram que protocolos adequados de pós-polimerização podem reduzir a presença de monômeros residuais, contribuindo para uma melhor compatibilidade biológica dos materiais. de maneira geral, protocolos de pós-cura mais prolongados reduziram a citotoxicidade e aumentaram a viabilidade celular. (Tabela 11)

Em Kim et al.¹⁴, os testes biológicos indicaram que a resposta celular a fibroblastos gengivais humanos foi significativamente influenciada pela temperatura e pelo tempo de pós-cura na câmara FormCure. O prolongamento do tempo e o aumento da temperatura reduziram a citotoxicidade devido à eliminação dos monômeros residuais livres na matriz, de modo que o grupo submetido a 80 °C por 120 minutos exibiu a maior viabilidade celular (aproximadamente 89,5%) e excelente morfologia e adesão celular.

DISCUSSÃO

Esta revisão de escopo mapeou a literatura com relação aos parâmetros e tipos de pós-cura nas propriedades de diferentes tipos de resinas impressas. Evidenciou-se que a fotopolimerização por radiação ultravioleta (UV) é o método mais prevalente, aplicada de forma isolada ou associada

a fontes de LED e calor para otimizar a polimerização de materiais provisórios e definitivos. Foi evidenciado também que o processo de pós-cura em unidades de alta intensidade exige calibração rigorosa, enquanto ciclos muito curtos resultam em polimerização incompleta e perda de propriedades mecânicas, a exposição excessiva pode induzir estresse residual na matriz orgânica e alterações cromáticas, evidenciando a necessidade de seguir o tempo recomendado pelo fabricante¹⁶.

Tabela 11: Biocompatibilidade

Kim et al. ¹⁴ 2020	
Material Avaliado	Nextdent C&B (Nextdent, Soesterburg, Holanda), Nextdent C&B MFH (Nextdent, Soesterburg, Holanda), ZMD-1000B temporário (Dentis, Daegu, Coreia do Sul) e DIONavi C&B (DIO Incorporated)
Tipo de Avaliação	Avaliação de biocompatibilidade <i>in vitro</i> , por meio de: viabilidade celular; citotoxicidade celular e análise de fibroblastos gengivais humanos. Foram utilizados fibroblastos gengivais humanos primários (HGFs)
Método de Pós-Cura	Os espécimes impressos em 3D foram submetidos à pós-cura com: luz UV de 405 nm por 15, 30, 60, 90 e 120 minutos a 40 °C, 60 °C e 80 °C. A pós-cura foi realizada em câmara de polimerização UV (FormCure)
Método de Ensaio	Os testes de biocompatibilidade realizados foram: Teste de viabilidade celular (WST-8/CELLMAX™); Teste de citotoxicidade por liberação de LDH; Microscopia confocal (CLSM) para avaliar morfologia e adesão celular. As células foram cultivadas sobre os discos de resina impressa por 24, 48 e 72 horas
Resultados	O aumento da temperatura e do tempo de pós-cura melhorou significativamente a biocompatibilidade. O grupo pós-curado a 80 °C por 120 minutos apresentou maior viabilidade celular. A citotoxicidade diminuiu conforme aumentava a temperatura de pós-cura. Amostras sem pós-cura apresentaram menor adesão celular e maior toxicidade. Houve melhor morfologia celular nos grupos submetidos às maiores temperaturas. A maior viabilidade celular observada foi de aproximadamente 89,5% no grupo 80 °C/120 min
Conclusão	A pós-cura é essencial para melhorar a biocompatibilidade das resinas impressas em 3D. Temperaturas mais elevadas de pós-cura promovem maior conversão polimérica e menor liberação de monômeros residuais. A condição de pós-cura a 80 °C foi a mais favorável para reduzir a citotoxicidade e melhorar a resposta celular.

Fonte: Dados da Pesquisa

Lassila et al.⁴, ao avaliarem as resinas *VarseoSmile Crown Plus* e *VarseoSmile Temp*, constataram que o uso de equipamentos comerciais com aquecimento controlado a 60 °C (como o *Form Cure*) resultou em maiores valores de resistência à flexão e menor desgaste comparado a aparelhos com menor aporte térmico. Da mesma forma, no processo de exposição à luz UV associada a fornos de pós-polimerização, ocorre aumento do grau de conversão, contribuindo para a redução da quantidade de monômeros residuais não convertidos¹⁵. Esse processo favorece a estabilidade do material em meio aquoso, reduzindo os fenômenos de sorção e solubilidade¹⁵. Adicionalmente, a diminuição da liberação de componentes não reagidos pode reduzir o potencial citotóxico do material frente aos tecidos orais³.

Os ensaios de microdureza demonstram que o ganho de resistência mecânica local está diretamente relacionado ao tempo de polimerização^{5,16}. Independentemente do método de avaliação utilizado (Vickers ou Knoop), diferentes

estudos com variadas geometrias comprovaram que o aumento do tempo ou a otimização dos protocolos de pós-cura elevaram a microdureza e as propriedades mecânicas das resinas impressas^{5,8,16}. Os ensaios de resistência à flexão, avaliados tanto pelo método de três pontos quanto pelo biaxial, demonstram que a resistência mecânica das resinas impressas em 3D se torna maior com o aumento do tempo ou dos ciclos de pós-polimerização^{4,14,16}.

Ensaio de flexão em três pontos demonstram que o aumento do tempo de exposição à luz pode elevar os valores do módulo flexural, uma vez que maiores graus de conversão favorecem a formação de uma rede polimérica mais estável^{14,16}. Assim como na tenacidade à fratura é uma propriedade que avalia a capacidade do material de resistir à propagação de trincas antes da ruptura. Finck et al.¹³ utilizaram o método *Single-Edge V-Notched Beam* (SEVNB) associado ao ensaio de flexão em três pontos para avaliar resinas provisórias impressas em 3D. Na prática, a resposta ao pós-processamento varia entre as diferentes resinas comerciais, sendo necessário ajustar os protocolos de pós-cura às recomendações do fabricante para otimizar o desempenho mecânico do material¹⁶.

O protocolo de limpeza química anterior à pós-cura também pode influenciar as propriedades de superfície do material (rugosidade), especialmente em função da interação entre o tipo de resina e o solvente utilizado na etapa de lavagem¹³. As evidências demonstram que o nível de brilho, mensurado por meio de glossímetros, depende principalmente da qualidade do acabamento superficial e das condições de pós-processamento^{4,13}. No estudo de Lassila et al.⁴ em que os espécimes foram submetidos a um protocolo sequencial de polimento com lixas de carbetto de silício de diferentes granulações (320 a 4000), os maiores valores de brilho foram observados após o polimento com a lixa de maior granulação (4000), sem ter em conta a unidade de pós-cura utilizada. Esses resultados sugerem que o acabamento mecânico exerce influência mais pronunciada sobre o brilho superficial do que as diferenças entre os métodos de pós-cura avaliados¹⁰.

Por sua vez, Finck et al.¹³ demonstraram que a interação entre o tempo de exposição à luz UV e o solvente empregado na etapa de limpeza pode influenciar o desempenho estético superficial das resinas provisórias, evidenciando a importância da padronização das etapas de pós-processamento para a obtenção de propriedades ópticas adequadas Finck et al.¹³. A estabilidade de cor representa uma propriedade relevante para resinas impressas em 3D, uma vez que alterações ópticas podem comprometer o desempenho estético das restaurações ao longo do tempo^{12,14}. A avaliação

dessa propriedade tem sido realizada principalmente por espectrofotometria e colorimetria, utilizando sistemas como CIE L*a*b* e CIEDE2000 para quantificar as variações de cor (ΔE) decorrentes dos diferentes protocolos de pós-polimerização^{11,12,14}.

O tempo de exposição à luz e as condições em que a pós-cura é realizada constituem as principais variáveis metodológicas investigadas^{3,11,16}. Lim et al.³ e Lee et al.¹⁵ apresentam abordagens que reduzem o contato do oxigênio atmosférico com a superfície da resina durante a pós-polimerização, o que pode favorecer uma conversão mais eficiente das camadas superficiais do material. Esses protocolos podem contribuir para a melhoria das propriedades superficiais e para a manutenção da estabilidade óptica das resinas impressas em 3D, especialmente quando expostas a agentes potencialmente pigmentantes^{3,15}. Estudos conduzidos por Montero et al.¹⁶, Siqueira et al.⁵, Sahir et al.¹⁷ e Lim et al.³ não identificaram diferenças estatisticamente significativas na cor em função das variações de tempo ou método de pós-cura. De forma semelhante, Büyükpölat et al.¹¹ observaram que o aumento do tempo de pós-polimerização por LED azul ou UV, mesmo após envelhecimento artificial por termociclagem, produziu alterações cromáticas discretas e inferiores ao limite de percepção clínica.

A biocompatibilidade das resinas impressas em 3D é foi investigada *in vitro* por Kim et al.¹⁴ por meio de testes de viabilidade celular (WST-8/CELLMAX™), citotoxicidade (liberação de LDH) e morfologia utilizando fibroblastos gengivais humanos primários (HGFs) cultivados sobre discos de resinas provisórias pós-curadas na câmara *FormCure* (40 °C, 60 °C e 80 °C por 15 a 120 minutos). Em termos quantitativos, amostras mantidas sem pós-cura apresentaram maior toxicidade e menor adesão de biofilme à superfície resinosa¹⁴. Em contrapartida, as temperaturas mais elevadas favoreceram a morfologia e a adesão celular nas análises por microscopia confocal de varredura (CLSM), destacando-se o protocolo a 80 °C por 120 minutos, que atingiu a maior viabilidade celular do estudo (aproximadamente 89,5%)¹⁴. Esses achados indicam que protocolos térmicos adequados de pós-polimerização são fundamentais para otimizar a biocompatibilidade das resinas impressas em 3D, promovendo uma resposta biológica mais favorável em fibroblastos gengivais humanos¹⁴.

Os estudos incluídos nesta revisão de escopo demonstram que os protocolos de pós-polimerização exercem influência direta sobre as propriedades mecânicas, superficiais, ópticas e biológicas das resinas impressas em 3D utilizadas na reabilitação oral. O aumento do tempo de exposição à luz, a utilização de unidades de pós-

cura adequadas e a associação com temperaturas controladas tendem a promover maior grau de conversão, redução da quantidade de monômeros residuais e melhora das propriedades avaliadas. Entretanto, a resposta aos diferentes protocolos varia de acordo com a composição química de cada material, sendo observadas diferenças entre resinas provisórias e definitivas, bem como entre sistemas comerciais distintos. Além disso, apesar de a pós-cura adequada contribuir para a manutenção das propriedades ópticas, protocolos excessivos podem ocasionar alterações cromáticas em determinados materiais. Sendo importante considerar também a heterogeneidade metodológica observada entre os estudos, incluindo diferenças nos equipamentos de pós-cura, tempos de exposição, temperaturas empregadas e métodos de avaliação.

Com isso, os melhores resultados foram observados em protocolos que associaram radiação UV com controle de temperatura e tempo de exposição compatíveis com as recomendações do fabricante, evitando tanto a subpolimerização quanto a exposição excessiva do material. Assim, o uso de unidades comerciais de pós-cura com aquecimento controlado e ciclos padronizados representa, atualmente, a abordagem mais segura e eficaz para otimizar o desempenho clínico das resinas impressas em 3D.

CONCLUSÃO

Os métodos de pós-polimerização influenciam diretamente suas propriedades físico-químicas. Protocolos que associam radiação UV e controle de temperatura apresentaram os resultados mais favoráveis, promovendo maior grau de conversão e melhor desempenho dos materiais. Contudo, as diferenças entre os tipos de resina e a heterogeneidade dos protocolos empregados reforçam a necessidade de padronização metodológica e de estudos adicionais para definição de parâmetros clínicos mais consistentes.

REFERENCIAS

1. Alzahrani SJ, Alqahtani NM, Alghazzawi TF, Al-Thobity AM, Alshahrani FA. Mechanical properties of three-dimensional printed provisional resin materials for crown and fixed dental prosthesis: A systematic review. *Bioengineering*. 2023;10(6):663.
2. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color and translucency parameter thresholds for dentistry in Statu Nascendi. *J Esthet Restor Dent*. 2015;27(1):S1-S9.
3. Lim B, Kim JE. Influence of post-curing in nitrogen-saturated condition on the degree of conversion and color stability of 3D-printed resin crowns. *Dent J*. 2024;12(3):68.
4. Lassila L, Säilynoja E, Prinssi R, Vallittu P, Garoushi S. Effect of post-printing conditions on the mechanical and optical properties of 3D-printed dental resin. *Polymers*. 2024;16(12):1713.
5. Siqueira JRCS, Rodriguez RMM, Campos TMB, Ramos NC, Bottino MA, Tribst JPM. Characterization of microstructure, optical properties, and mechanical behavior of a temporary 3D printing resin: Impact of post-curing time. *Materials*. 2024;17(7):1496.
6. Han DS, Lee B, Kim JE. The impact of oxygen concentration on the postcuring of 3D-printed dental resin. *Int J Prosthodont*. 2024;37(2):151-58.
7. Hassanpour M, Alshahrani A, Alqahtani MS, Al-Zahrani MS, Al-Hamdan RS. Effects of post-processing parameters on 3D-printed dental appliances: A review. *Polymers*. 2024;16(19):2795.
8. Kim RJY, Park JM, Shim JS, Lee KW. Post-polymerization of three-dimensional printing resin using a dental light curing unit. *J Dent Sci*. 2024;19(2):945-51.
9. Chen H, Hajian M, Al-Haj Husain N, Özcan M, Revilla-León M. Effects of postpolymerization time and temperature on the flexural properties and hardness profile of three-dimensional printed provisional resin. *J Dent Sci*. 2024;19(1):455-60.
10. Li P, Yu H, Wang G, Zhang L, Wang J. Postpolymerization of a 3D-printed denture base polymer: Impact of post-curing methods on surface characteristics, flexural strength, and cytotoxicity. *J Dent*. 2021; 115:103856.
11. Büyükpölat M, Siso SH, Kurt MM. Mechanical and optical effects of post-curing time and device type in two 3D-printed resin systems. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):1-12.
12. Celikel P, Sengul F. Investigating the impact of post-curing cycles on surface hardness and color stability in 3D printed resin crowns. *Odontology*. 2024;112(4):1012-21.
13. Finck NS, Sampaio CS, Soki FN, Hirata R. Effects of solvent type and UV post-cure time on 3D-printed restorative polymers. *Dent Mater*. 2024;40(3):451-7.
14. Kim D, Lim S, Lee J, Kim HJ, Cao V, Kim TH. Effects of post-curing time on the mechanical and color properties of three-dimensional printed crown and bridge materials. *Polymers*. 2020;12(11):2762.
15. Lee EH, Kim JE. Effect of post-curing time on the color stability and related properties of a tooth-colored 3D-printed resin material. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2022; 126:104993.
16. Montero JS, Johnston WM, Pereira-Cenci T, Cenci MS. Color alterations, flexural strength, and microhardness of 3D printed resins for fixed provisional restoration using different post-curing times. *Dent Mater*. 2022;38(8):1272-82.
17. Sahrir CD, Sulaiman TA, Al-Haj Husain N, Özcan M, Revilla-León M. Effect of various post-curing light intensities, times, and energy levels on the color of 3D-printed resin crowns. *J Dent Sci*. 2024;19(1):357-63.
18. Temizci T, Köllüş T. Effects of printing angle and post-curing time on the color and translucency of 3D-printed temporary restoration. *Biomimetics*. 2024;9(7):420.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse

AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA

João Pedro Justino de Oliveira Limírio

Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese

Faculdade de Odontologia de Araçatuba

UNESP –Universidade Estadual Paulista

Rua José Bonifácio, 1193 –Vila Mendonça

16015-050 Araçatuba –SP, Brasil

E-mail: joao.limirio@unesp.br

Submetido em 31/05/2026

Aceito em 16/06/2026