

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP

BIANCA DE BEM PRÜNES

**PROPRIEDADES ÓPTICAS DE MATRIZES TRANSLÚCIDAS PARA A TÉCNICA
DE *INJECTION MOLDING* E SUA INFLUÊNCIA NA FOTOPOLIMERIZAÇÃO E
NAS PROPRIEDADES DE UMA RESINA COMPOSTA DE BAIXA VISCOSIDADE**

SÃO PAULO

2026

BIANCA DE BEM PRÜNES

**PROPRIEDADES ÓPTICAS DE MATRIZES TRANSLÚCIDAS PARA A TÉCNICA
DE *INJECTION MOLDING* E SUA INFLUÊNCIA NA FOTOPOLIMERIZAÇÃO E
NAS PROPRIEDADES DE UMA RESINA COMPOSTA DE BAIXA VISCOSIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Paulista – UNIP, para a obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Kury Rodrigues

SÃO PAULO

2026

Prünes, Bianca de Bem.

Propriedades ópticas de matrizes translúcidas para a técnica de *injection molding* e sua influência na fotopolimerização e nas propriedades de uma resina composta de baixa viscosidade / Bianca de Bem Prünes. - 2026.

12 f. : il. color. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Paulista, São Paulo, 2026.

Área de concentração: Clínica Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Kury Rodrigues.

1. Resinas compostas. 2. Polimerização. 3. Elastômeros de silicone. I. Rodrigues, Matheus Kury (orientador). II. Título.

BIANCA DE BEM PRÜNES

**PROPRIEDADES ÓPTICAS DE MATRIZES TRANSLÚCIDAS PARA A TÉCNICA
DE *INJECTION MOLDING* E SUA INFLUÊNCIA NA FOTOPOLIMERIZAÇÃO E
NAS PROPRIEDADES DE UMA RESINA COMPOSTA DE BAIXA VISCOSIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Paulista – UNIP, para a obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

_____/____/____
Prof. Dr. Matheus Kury Rodrigues
Universidade Paulista – UNIP

_____/____/____
Prof. Dr. Adriano Fonseca de Lima
Universidade Paulista – UNIP

_____/____/____
Prof. Dra. Bruna Marin Fronza
Hospital Israelita Albert Einstein – HIAE

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus Kury, pela amizade que pudemos estabelecer ao longo deste processo. A sua dedicação em tudo o que se propõe a fazer é fonte de grande inspiração para todos que têm a sorte de estar ao seu lado. E, não fosse pela leveza, olhar empático e generosidade com os quais ele conduz sua orientação, a minha trajetória não teria sido tão proveitosa. Um agradecimento especial à Bruna Marin Fronza por sempre me apoiar com sua escuta carinhosa, amizade e parceria, nessa e em diversas outras empreitadas que a vida nos apresenta. Seu ímpeto e dedicação me inspiram a continuar pesquisando com energia e curiosidade. Aos professores Adriano Fonseca de Lima e Carlos Alberto Kenji Shimokawa, meu agradecimento sincero pela parceria em cada etapa deste trabalho e pelo aprendizado que construímos juntos.

Não poderia deixar de agradecer ao grupo de pesquisa que construiu ao meu lado o presente trabalho, em especial às alunas de iniciação científica Luiza Lessi Reis e Luana Kuriu Ferreira De Mello, por todo o tempo e trabalho dedicados. Desejo-lhes um futuro profissional brilhante. Gostaria de estender meu agradecimento, ainda, a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Paulista, e à coordenadora, Cintia Saraceni, por conduzir esse programa com comprometimento e excelência. Aos professores Marina Damasceno e Souza de Carvalho Chiari e Jorge Rodrigo Soto Montero, meu agradecimento pelas contribuições que o enriqueceram tanto. À CAPES/PROSUP, o meu imenso agradecimento por financiar esta Dissertação durante todo o meu período de Mestrado. Foi através desse apoio que esse sonho se tornou possível.

Agradeço, também, à minha família, representada neste plano pela minha mãe, Maria Bernadete, e pelo meu marido, Felipe Bergallo, que me dão todo o amor e suporte necessários para seguir em frente; e à família que eu escolhi, meus amigos, que sempre me estimularam a seguir me desenvolvendo e que sempre me acolheram nos momentos de dificuldade.

Por fim, queria agradecer a todos os meus colegas de Mestrado e Doutorado, que se tornaram meus companheiros de trajetória e amigos para a vida. Que sigamos sempre juntos com afeto e curiosidade. Sem esse apoio, a conclusão desse trabalho não seria uma realidade.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a translucidez e transmitância luminosa de materiais translúcidos, indicados para técnica de “*injection molding*” (IM), em diferentes apresentações comerciais e espessuras. Além disso, visou-se investigar o impacto da atenuação da transmitância causada pela técnica e de tempos adicionais de fotopolimerização na cinética de polimerização, microdureza de superfície e densidade de ligações cruzadas de uma resina de baixa viscosidade. Para isso, na fase I, matrizes dos materiais translúcidos Exaclear (EXA), Luxaprint Ortho Flex (LUX-P), Transil (T-SIL), Elite Transparent (ELI-T), Elite Glass (ELI-G), Impression Glass (IMP-G), Silic One (S-ONE), Scan Translux (T-LUX) foram confeccionadas nas espessuras 2, 4, 6, 8 e 10 mm (n=5/grupo). A translucidez (TP₀₀) dos espécimes foi mensurada utilizando um espectrofotômetro. A transmitância luminosa de um fotopolimerizador Valo Grand, através das matrizes foi aferida utilizando um espectrorradiômetro acoplado a uma esfera integradora. Na fase II, a resina composta Tetric N-Flow foi fotoativada através de matrizes representando níveis de redução de irradiância (IR) de 20% a 80% e protocolos compensatórios de fotopolimerização foram realizados (20 s extras antes ou após remoção das matrizes). Grau de conversão (DC) e taxa de polimerização máxima (Rp_{max}) foram obtidos por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com refletância total atenuada (ATR-FTIR), e microdureza Knoop (KHN) do topo da resina composta foi avaliada antes e após imersão em etanol, como medida da densidade de ligações cruzadas. Os dados foram submetidos a modelos lineares generalizados ou mistos lineares, seguidos de post hoc Bonferroni ($\alpha=5\%$). EXA apresentou os maiores valores de L*, TP₀₀ e transmitância luminosa total, na faixa do violeta e do azul, além da menor redução de irradiância em todas as espessuras avaliadas. Em contraste, T-LUX apresentou o pior desempenho óptico, exibindo os menores valores de TP₀₀ e irradiância transmitida e a maior atenuação luminosa. A menor redução de irradiância foi observada para EXA com 2 mm de espessura (14,3%), enquanto a maior ocorreu para T-LUX com 10 mm (84,3%). T-SIL e ELI-T apresentaram desempenho óptico intermediário superior, seguidos por ELI-G e LUX-P, enquanto IMP-G e S-ONE apresentaram menor transmitância. O aumento da espessura promoveu redução significativa da translucidez e da irradiância transmitida para todos os materiais. O aumento da redução de irradiância diminuiu progressivamente o Rp_{max} e a KHN inicial, enquanto o DC foi significativamente reduzido apenas sob 80% de redução de irradiância. Os protocolos compensatórios de fotoativação restauraram o DC e a KHN inicial a valores semelhantes aos obtidos sob menores reduções de irradiância, porém não recuperaram o Rp_{max}. Após a imersão em etanol, todos os grupos apresentaram redução significativa da KHN, sem diferenças entre os protocolos de fotoativação. Conclui-se que materiais translúcidos destinados à IM apresentam comportamento óptico altamente dependente da composição e da espessura, resultando em diferentes níveis de atenuação luminosa. Embora elevadas reduções de irradiância comprometam a cinética de polimerização e a microdureza inicial da resina composta, protocolos adicionais de fotoativação foram capazes de recuperar o grau de conversão e a microdureza superficial, mas não a taxa máxima de polimerização.

Palavras-chave: Resinas compostas; Polimerização; Elastômeros de silicone.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the translucency and light transmittance of translucent materials indicated for the "injection molding" (IM) technique, from different commercial presentations and thicknesses. In addition, it aimed to investigate the impact of light transmittance attenuation caused by the technique, as well as the effect of additional light-curing times, on polymerization kinetics, surface microhardness, and crosslink density of a low-viscosity resin. For this purpose, in Phase I, matrices of the translucent materials Exaclear (EXA), Luxaprint Ortho Flex (LUX-P), Transil (T-SIL), Elite Transparent (ELI-T), Elite Glass (ELI-G), Impression Glass (IMP-G), Silic One (S-ONE), and Scan Translux (T-LUX) were fabricated at thicknesses of 2, 4, 6, 8, and 10 mm (n=5/group). Specimen translucency (TP_{00}) was measured using a spectrophotometer. The light transmittance of a light-curing unit (Valo Grand) through the matrices was measured using a spectroradiometer coupled to an integrating sphere. In Phase II, the composite resin Tetric N-Flow was light-cured through matrices representing irradiance reduction (IR) levels ranging from 20% to 80%, and compensatory light-curing protocols were performed (an extra 20 s before or after matrix removal). Degree of conversion (DC) and maximum rate of polymerization (R_{pmax}) were obtained by attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR), and Knoop microhardness (KHN) at the top surface of the composite resin was assessed before and after ethanol immersion, as a measure of crosslink density. Data were submitted to generalized linear or linear mixed models, followed by Bonferroni post hoc tests ($\alpha=5\%$). EXA showed the highest values of L^* , TP_{00} , and total light transmittance in the violet and blue ranges, as well as the lowest irradiance reduction at all evaluated thicknesses. In contrast, T-LUX showed the worst optical performance, exhibiting the lowest TP_{00} and transmitted irradiance values and the greatest light attenuation. The lowest irradiance reduction was observed for EXA at 2 mm thickness (14.3%), while the highest occurred for T-LUX at 10 mm (84.3%). T-SIL and ELI-T showed superior intermediate optical performance, followed by ELI-G and LUX-P, while IMP-G and S-ONE showed lower light transmittance. Increased thickness promoted a significant reduction in translucency and transmitted irradiance for all materials. Increased irradiance reduction progressively decreased R_{pmax} and initial KHN, while DC was significantly reduced only under 80% irradiance reduction. Compensatory light-curing protocols restored DC and initial KHN to values similar to those obtained under lower irradiance reductions, but did not recover R_{pmax} . After ethanol immersion, all groups showed a significant reduction in KHN, with no differences between light-curing protocols. These findings indicate that translucent materials intended for IM exhibit optical behavior highly dependent on composition and thickness, resulting in different levels of light attenuation. Although high irradiance reductions compromise polymerization kinetics and the initial microhardness of the composite resin, additional light-curing protocols were able to recover the DC and surface microhardness, but not the maximum rate of polymerization.

Keywords: Resin composites; Polymerization; Silicone elastomers.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATR-FTIR - *Attenuated Total Reflectance Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*

CLD - *Cross-Link Density*

CQ - *Camphorquinone*

DC - *Degree of Conversion*

ELI-G - *Elite Glass*

ELI-T - *Elite Transparent*

EXA - *Exaclear*

IM - *Injection Molding*

IMP-G - *Impression Glass*

IMT - *Injection Molding Technique*

IR - *Irradiance Reduction*

ISO - *International Organization for Standardization*

KHN - *Knoop Hardness Number*

LCU - *Light-Curing Unit*

LED - *Light-Emitting Diode*

LUX-P - *Luxaprint Ortho Flex*

PVS - *Polyvinyl Siloxane*

$R_{p_{max}}$ - *Maximum Polymerization Rate*

S-ONE - *Silic One*

T-LUX - *Scan Translux*

T-SIL - *Transil*

TP_{00} - *Translucency Parameter*

TPO - *Trimethylbenzoyl-Diphenylphosphine Oxide*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	08
2	CONCLUSÃO GERAL	11
	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO.....	12

1 INTRODUÇÃO

A posição de destaque das resinas compostas na Odontologia contemporânea é resultado de uma longa trajetória de desenvolvimento iniciada há mais de seis décadas, impulsionada pela necessidade de superar as limitações dos materiais estéticos então disponíveis (1, 2). Até meados do século XX, somente os cimentos de silicato e as resinas acrílicas à base de PMMA estavam disponíveis para a realização de restaurações estéticas. Materiais que, a despeito dos avanços que representaram à época, possuíam importantes limitações, tais como: elevada contração de polimerização, instabilidade de cor, ausência de adesão ao substrato dentário e baixa resistência mecânica (2).

O marco transformador desse cenário foi a síntese do monômero Bis-GMA que, em comparação com as resinas acrílicas da época, possibilitou melhores propriedades mecânicas e coeficiente de expansão mais compatível com o da estrutura dental (2). A incorporação de carga possibilitou a obtenção das resinas compostas, melhorando as propriedades mecânicas do material à base de resina. Desde então, avanços quanto ao tipo e dimensão das partículas de carga inorgânica promoveram ganhos progressivos na capacidade de receber polimento, mantendo a resistência ao desgaste e as propriedades mecânicas (1, 2).

Paralelamente, a introdução da fotoativação permitiu ao operador controlar o momento de início da polimerização, viabilizando ajustes do material antes de sua ativação e conferindo maior previsibilidade ao procedimento (2). O sistema fotoiniciador mais amplamente utilizado nas resinas compostas comerciais é a canforoquinona (CQ), um fotoiniciador do tipo 2 que absorve luz entre 360 e 510 nm, com pico de absorbância em torno de 468 nm, e que atua em combinação com aminas terciárias aromáticas como co-iniciadores, para a geração de radicais livres e o desencadeamento da polimerização (3). Independentemente do sistema fotoiniciador adotado, a qualidade da polimerização depende criticamente da energia luminosa efetivamente entregue ao material, determinada pela irradiância da fonte de luz, pelo tempo de exposição e pela eventual interposição de materiais entre a fonte luminosa e a resina composta (4).

Apesar dos notáveis avanços nos materiais e nas técnicas restauradoras, a execução clínica de restaurações diretas em resina composta permanece um desafio, especialmente quando realizada de forma convencional, à mão livre. Nesse tipo de abordagem, recai inteiramente sobre o operador o controle de variáveis críticas, como a reprodução da morfologia, propriedades ópticas, pontos de contato interproximais, adequação de contatos oclusais e adaptação marginal (5-7). Além do domínio técnico das diferentes etapas do processo restaurador, o controle rigoroso dessas variáveis é indispensável para o êxito clínico, o que

representa, em muitos dos casos, um grande desafio, mesmo para operadores experientes. Essa dependência acentuada torna o procedimento não apenas de elevada complexidade, mas também de previsibilidade limitada, aumentando sua suscetibilidade a falhas operatórias que comprometem o contorno, os contatos proximais e interoclusais, e a reprodução anatômica da restauração (1, 6).

Com o objetivo de tornar mais simples e democrática a reprodução morfológica das estruturas dentárias, a técnica de *injection molding* (IM) tem se consolidado como uma alternativa promissora para restaurações diretas em resina composta. Embora originalmente descrita na década de 1980, a técnica foi atualizada por Terry e Powers em 2014, ganhando relevância crescente com o avanço do planejamento digital e o desenvolvimento de resinas fluidas com aprimoradas propriedades mecânicas (5, 8). Em suma, a técnica consiste na transferência de um planejamento laboratorial, realizado por meio de enceramento analógico ou por fluxo digital, para a cavidade bucal, através da injeção de resinas compostas fluidas em matrizes translúcidas previamente confeccionadas a partir desse planejamento laboratorial (5, 8). As propriedades reológicas das resinas fluidas permitem o preenchimento eficiente da matriz, com adaptação precisa à estrutura dental, frequentemente dispensando preparo cavitário (8). Ao eliminar ou reduzir a dependência da escultura manual, a técnica proporciona resultados mais reproduzíveis, com menor tempo clínico e reduzida variabilidade operador-dependente, sendo aplicável em uma ampla gama de situações clínicas, como restaurações provisórias em reabilitações extensas, fechamento de diastemas, correção de anomalias morfológicas dentárias e facetas diretas em resina composta, tanto em pacientes adultos quanto pediátricos (8, 9).

Um componente essencial da técnica IM é a matriz, seja em silicone de adição translúcido (*polyvinyl siloxane* - PVS) ou em resina impressa 3D, a qual desempenha um papel duplo e indissociável: guiar a forma final da restauração e, simultaneamente, servir como meio pelo qual a luz deve passar para tornar viável a fotopolimerização da resina composta injetada (6, 10). Essa necessidade de fotoativação através de um material interposto confere à matriz translúcida uma importância que vai além da sua função mecânica, tornando suas propriedades ópticas um determinante direto da qualidade da polimerização. A transmitância luminosa através dessas matrizes torna-se, portanto, um fator crítico: reduções na irradiância entregue à resina composta comprometem o grau de conversão dos monômeros e, consequentemente, propriedades fundamentais como microdureza, resistência à flexão, módulo de elasticidade e resistência adesiva (4, 6). Estudos recentes demonstram que, tanto a marca comercial, quanto a espessura do silicone exercem influência significativa e independente sobre a quantidade de luz transmitida, com matrizes mais espessas produzindo reduções progressivamente maiores na

irradiância disponível (6, 10). Foi também demonstrada uma correlação positiva entre a translucidez dos materiais de PVS e sua transmitância luminosa, sugerindo que a translucidez poderia ser utilizada como indicador clínico acessível da eficiência de cura através da matriz (10).

Apesar das evidências disponíveis, lacunas importantes permanecem na literatura. Os avanços obtidos na caracterização da transmitância de luz e da profundidade de polimerização através de matrizes fornecem bases importantes para a compreensão do fenômeno; contudo, o efeito direto dessas matrizes sobre o grau de conversão e propriedades físicas das resinas compostas permanece um tópico a ser investigado (6, 10). Adicionalmente, embora a realização de uma fotoativação complementar após a remoção da matriz tenha sido proposta como estratégia compensatória para as perdas de energia luminosa, dados que confirmem sua eficácia em restaurar integralmente o grau de conversão e as propriedades mecânicas do material ainda são escassos e carecem de investigação.

À luz das evidências acima mencionadas, justifica-se uma investigação da transmitância da luz de diferentes matrizes translúcidas em várias espessuras, bem como seu impacto nas propriedades de resinas compostas utilizadas com a técnica. O presente estudo foi, portanto, delineado para abordar essas lacunas, avaliando a translucidez e a transmitância através diferentes marcas e espessuras de matrizes translúcidas. Além disso, buscou-se investigar o impacto da atenuação de luz causada pelas matrizes utilizadas na técnica de IM na cinética de polimerização e microdureza de uma resina composta de baixa viscosidade, bem como alternativas no protocolo de fotopolimerização para esta técnica.

2 CONCLUSÃO GERAL

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a translucidez e a transmitância luminosa das matrizes de PVS diminuem significativamente com o aumento da espessura e variam de forma expressiva entre marcas comerciais. O grau de conversão e a microdureza da resina composta fotoativada através dessas matrizes mostraram-se resistentes a reduções moderadas na transmitância, com declínio significativo apenas na condição de atenuação mais severa, enquanto a densidade de ligações cruzadas não foi afetada pelo nível de irradiância. Tanto o prolongamento do tempo de fotoativação quanto a fotoativação suplementar após a remoção da matriz restabeleceram o grau de conversão e a microdureza basal a níveis equivalentes aos da fotoativação sem nenhum anteparo, embora nenhuma das estratégias tenha restaurado plenamente a cinética de polimerização.

Esses achados devem ser interpretados considerando as limitações do estudo: o grau de conversão foi avaliado por ATR-FTIR, técnica que caracteriza apenas a camada superficial em contato com o cristal, podendo não representar integralmente a polimerização em profundidade; apenas sete combinações representativas de material e espessura foram utilizadas para simular os níveis de redução de irradiância, o que pode não capturar efeitos específicos de cada marca e espessura. Os resultados obtidos estão associados ao aparelho fotopolimerizador e à resina composta testados, podendo diferir com o uso de aparelhos de menor irradiância ou monowave, ou de resinas compostas contendo exclusivamente canforoquinona.

De modo geral, a seleção criteriosa do material de PVS, do aparelho fotopolimerizador e da resina composta, associada à adaptação do protocolo de fotoativação quando há expectativa de redução na transmitância luminosa, é essencial para assegurar a adequada polimerização e a qualidade clínica da restauração na técnica *injection molding*.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO

1. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011; 27: 29–38.
2. Ferracane JL. A Historical Perspective on Dental Composite Restorative Materials. *J Funct Biomater.* 2024; 15.
3. Kowalska A, Sokolowski J, Bociong K. The Photoinitiators Used in Resin Based Dental Composite-A Review and Future Perspectives. *Polymers (Basel).* 2021; 13.
4. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, et al. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Braz Oral Res.* 2017; 31: e61.
5. Vargas MA, Margeas R. A Twist on Injection Molding: Injecting Conventional Resin Composites. *J Esthet Restor Dent.* 2025; 37: 7–13.
6. Lawson NC, Greene Z, Machado N, et al. Resin Composite Depth of Cure Through Transparent Matrix Materials Used for Injection Molding. *Oper Dent.* 2025; 50: 185–93.
7. Dietschi D, Fahl N, Jr. Shading concepts and layering techniques to master direct anterior composite restorations: an update. *Br Dent J.* 2016; 221: 765–71.
8. Spadoni D, Valeri C, Quinzi V, et al. Advancing Orthodontic Aesthetics: Exploring the Potential of Injectable Composite Resin Techniques for Enhanced Smile Transformations. *Dent J (Basel).* 2024; 13.
9. Hulac S, Kois JC. Managing the transition to a complex full mouth rehabilitation utilizing injectable composite. *J Esthet Restor Dent.* 2023; 35: 796–802.
10. Machado N, Rocha MG, Oliveira D, et al. Compressive modulus, translucency, and irradiance transmittance of clear PVS materials used for resin injection molding technique. *J Esthet Restor Dent.* 2025; 37: 412–22.