

Efeito de diferentes fotoiniciadores na eficiência da polimerização e estabilidade da cor da resina composta

Guido Di Nicoló

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em
Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Gandra, 30 de junho de 2020

Guido Di Nicoló

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em
Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

**Efeito de diferentes fotoiniciadores na eficiência da
polimerização e estabilidade da cor da resina composta**

Trabalho realizado sob a Orientação de Prof. Doutora Orlanda Torres

Co-orientação Mestre Ana Góis Sá

Declaração de Integridade

Eu, acima identificado, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

Declaração do Orientador

Eu, "**Orlanda de Araújo Lamas Correia Torres**", com a categoria profissional de "**Professora Auxiliar**" do Instituto Universitário de Ciências da Saúde, tendo assumido o papel de Orientador da Dissertação intitulada "*Efeitos de diferentes fotoiniciadores na eficiência da polimerização e estabilidade da cor da resina composta*" do Aluno do Mestrado Integrado em Medicina Dentária, "**Guido Di Nicoló**", declaro que sou de parecer favorável para que a Dissertação possa ser depositada para análise do Arguente do Júri nomeado para o efeito para Admissão a provas públicas conducentes à obtenção do Grau de Mestre.

Gandra, 30 de junho de 2020

Orlanda Torres

Agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos vão dirigidos a todos os docentes sem exceção, mas em maneira particular à Professora Orlanda Torres e à minha co-orientadora Ana Góis Sá pelo apoio, tempo e atenção a mim dedicados.

À minha turma pelo companheirismo e amizade que se criou e que tenho a certeza que se manterá.

Agradeço ao meu binómio Stefano, que muito me ajudou em tempos de dificuldade. Se estou aqui, também lho devo a ele.

E por fim, agradeço à minha família pelo amor e apoio incondicional que me dispensam todos os dias da minha vida.

A todos o meu profundo e sincero agradecimento.

Guido Di Nicoló

Resumo

Objetivo: O objetivo desta revisão narrativa é a abordagem do efeito dos fotoiniciadores e agentes redutores sobre a polimerização das resinas compostas, com especial atenção na eficiência da iniciação e a estabilidade da cor com fotopolimerizadores LED.

Metodologia: A pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados PubMed (através da Biblioteca Nacional de Medicina) usando as palavras-chave e suas combinações no MeSH (Fig. 1). Foram reunidos um total de 146 artigos, dos quais 36 foram considerados relevantes para a realização deste trabalho. Para complemento desta pesquisa foi consultado o livro "*Phillip's Science of Dental Materials*", 12ª edição.

Desenvolvimento: A realização de uma restauração de resina composta sem defeitos estruturais e estéticos depende da sua polimerização. É necessário conhecer os comprimentos de onda das fontes de luz que atuam diretamente no fotoativadores da resina composta. Existem vários, cada um com um pico de ativação específico, o que permite obter uma rede polimérica eficaz. Até alguns anos atrás, a canforoquinona era o único fotoiniciador presente nos compósitos, outros foram posteriormente introduzidos como 1-fenil-1,2 propanodiona, lucirina e bisóxido (2), 6-diclorobenzoílo (4-propilfenil) fosfina, pois parecem reduzir os problemas de coloração amarelada das resinas e podem agir sinergicamente com a canforoquinona para produzir uma reação de fotoiniciação mais eficaz.

Conclusão: O fotoiniciador canforoquinona é responsável por um maior amarelecimento da resina comparativamente aos fotoiniciadores desenvolvidos recentemente.

Diferentes fotoiniciadores absorvem diferentes comprimentos de onda, dependendo da unidade de luz aplicada.

LED e unidade de luz QTH demonstraram uma boa taxa de conversão.

Palavras-chave: Palavras-chave: Resinas Compostas; Fotoiniciadores Dentários; Luzes de Cura; Cor; Raios Ultravioletas.

Abstract

Objectives: The aim of this narrative review is to approach the effect of photoinitiators and reducing agents on polymerization of composite resins, with special attention to the efficiency of initiation and color stability with LED photopolymerizers.

Methodology: The bibliographic search was performed in the PubMed database (through the National Library of Medicine) using the keywords and their combinations in MeSH (fig 1). A total of 146 articles were collected, of which 36 were considered relevant for the accomplishment of this work. To complement this research, the book "Phillip's Science of Dental Materials", 12th edition was consulted.

Development: the realization of a composite resin restoration without structural and aesthetic defects depends on its polymerization. It is necessary to know the wavelengths of the light sources that act directly on the photoinitiator of the composite resin. There are several photoactivators, each with a specific activation peak, which allows to obtain an effective polymeric network. Until a few years ago, camphorquinone was the only photoinitiator present in composites, others were later introduced such as 1-phenyl-1,2 propanedione, Lucerin and bisoxide (2), 6-dichlorobenzoyl) (4-propylphenyl) phosphine, as they seem to reduce the yellowish color problems of the resins and can act synergistically with camphorquinone to produce a more effective photoinitiation reaction.

Conclusion: The camphorquinone photoinitiator is responsible for a greater yellowing of the resin compared to type I photoinitiators. Different photoinitiators absorb different wavelengths, depending on the unit of light applied. LED and QTH light units demonstrated a good conversion rate.

Keywords: Composite Resins; Photoinitiators Dental; Curing Lights; Color; Ultraviolet Rays.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. METODOLOGIA.....	2
4. DESENVOLVIMENTO	13
4.1 EFEITOS E PARTICULARIDADES DETETADOS NOS FOTOINICIADORES EM RESINAS COMPOSTAS	14
4.1.1 Fotoiniciadores	14
4.2 LÂMPADAS DE POLIMERIZAÇÃO.....	17
4.3 CONSEQUÊNCIAS DA INCORRETA POLIMERIZAÇÃO.....	20
4.3.1 Grau de conversão.....	20
4.3.2. Estabilidade de cor	21
4.3.2.1. Medição.....	21
4.4 EFEITOS NA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE POLIMERIZAÇÃO E NA ESTABILIDADE DA COR ATRAVÉS DE DIFERENTES FOTOINICIADORES, COMPRIMENTOS DE ONDA E MÉTODOS DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL.....	22
4.4.1 Eficácia dos possíveis processos de pós-polimerização	24
5. CONCLUSÃO	25
6. BIBLIOGRAFIA.....	26

Índice de acrónimos e abreviaturas

LCU- Unidade de fotopolimerização.

Bis-GMA – Bisfenol A glicidil metacrilato.

UDMA – Dimethacrilato de uretano.

CQ – Canforquinona.

DC – Grau de conversão.

nm - Nanómetros.

PPD – Fenil-propanodiona.

TPO-Lucirina Óxido mono-alquil fosfínico.

BAPO – Óxido bis-alquil fosfínico.

DMAEMA – Dimetil aminoetil metacrilato.

EDMAB – 4-Dimetilamino benzoato.

DMPDH - Álcool dimetilamino feniletílico.

AT - Amina terciária.

QTH – Luz quartzo-tungstênio-halogénio.

PAC – Luz plasma.

LED - Diodos emissores de luz.

1. Introdução

As resinas compostas têm vindo a sofrer ao longo de vários anos, transformações que as tornam hoje o material de eleição na medicina dentária restauradora. Desde o aparecimento do metil metacrilato no final da década de 1950, à posterior incorporação de cargas, foi somente em 1962, com Ray Bowen, que se verificou um avanço significativo no desenvolvimento de uma nova resina composta. As principais inovações foram o Bis-GMA (bisfenol A glicidil metacrilato) e um agente de ligação composto por silano ^{1,2}.

Como o próprio nome indica, as resinas compostas apresentam uma estrutura diversificada e uma formulação diferente, dependendo do seu objetivo final de aplicação. Os quatro componentes principais são a matriz orgânica, carga inorgânica, o agente de união e o sistema acelerador-iniciador. A carga inorgânica é formada por vidro, quartzo e sílica, em diferentes tamanhos e formas. O agente de união, como o silano, é uma molécula bifuncional com capacidade de união entre a matriz e a carga inorgânica. A matriz orgânica é, normalmente, por base, Bis-GMA bisfenol A glicidil metacrilato ou UDMA dimethacrilato de uretano associados a outros monómeros de menor peso molecular. O sistema acelerador-iniciador envolve os componentes responsáveis pela reação de polimerização. O fotoiniciador mais comumente utilizado é a CQ (canforoquinona) co-ativado pela amina terciária e com um pico de absorção num comprimento de onda dos 470 nm (nanómetros) ²⁻⁶. A polimerização é baseada na interação do fotoiniciador, energia de polimerização e monómeros. Esta interação tem de ser equilibrada e específica de forma a que não ocorra uma insuficiente conversão da matriz polimérica e consequentemente uma diminuição das propriedades mecânicas, deterioração e degradação da restauração, fratura, defeitos marginais e alterações de cor tornando a restauração inaceitável. São diversos os fatores que influenciam o grau de conversão e eficiência ¹⁻⁷.

De um ponto de vista estético, os compósitos são inicialmente escolhidos para combinar com a cor natural dos dentes, mas como observado em alguns artigos, a exposição natural a certos alimentos e bebidas, incluindo o café diário e o vinho tinto, pode causar uma discrepância de cor e subsequente substituição do material dentário ^{7,10}.

2. Objetivo

O objetivo desta revisão narrativa é a abordagem do efeito dos fotoiniciadores e agentes redutores sobre a polimerização das resinas compostas, com especial atenção na eficiência da iniciação e a estabilidade da cor com fotopolimerizadores LED.

3. Metodologia

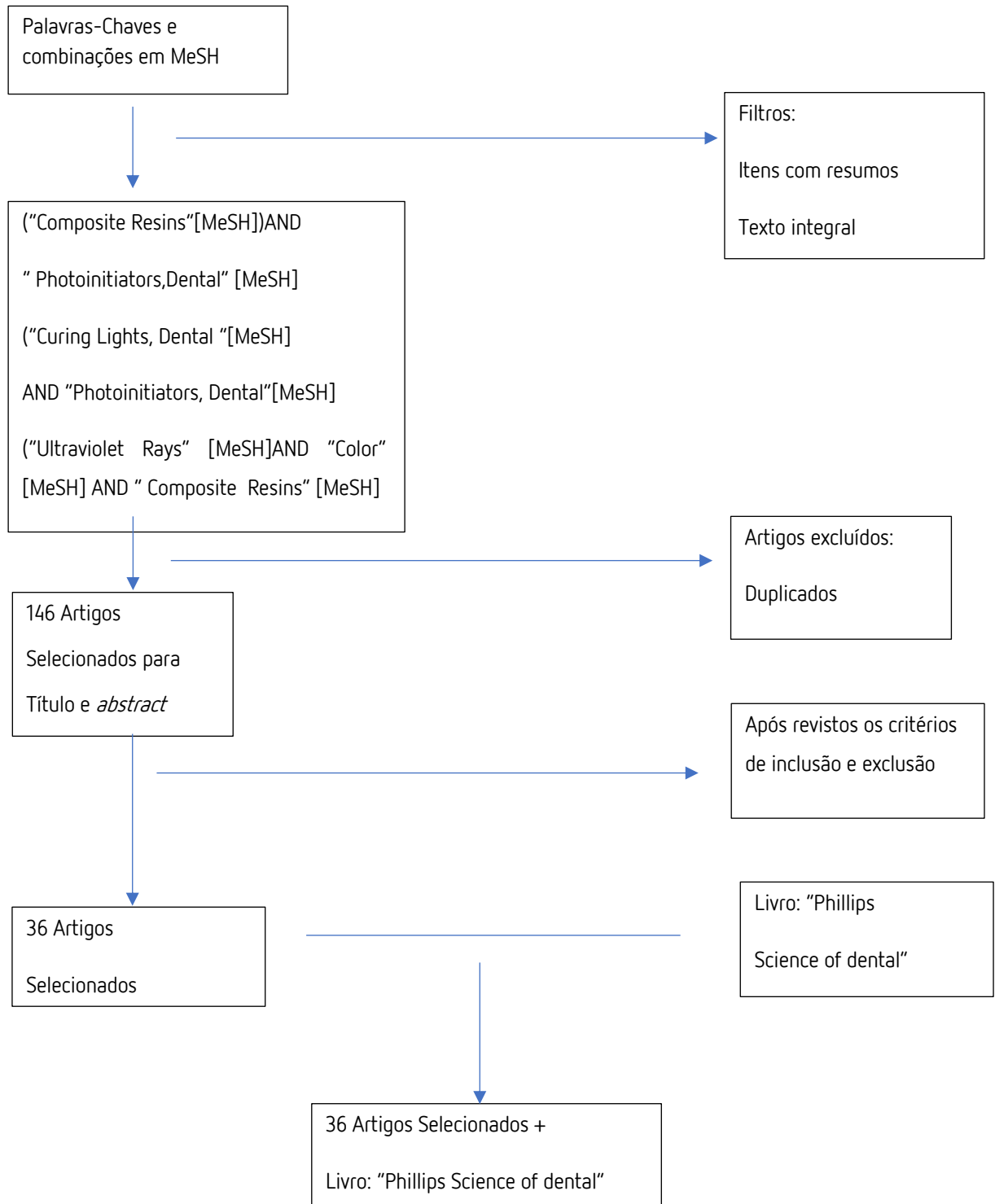
A pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados PubMed (via National Library of Medicine), usando as palavras-chave e suas combinações em MeSH: "Composite Resins" AND "Photoinitiators"), ("Curing Lights, Dental "AND "Photoinitiators, Dental "), ("Ultraviolet Rays "AND "Color "AND "Composite Resins "). No total foram recolhidos 146 artigos, datados entre 2009 e 2019, que após terem sido lidos e analisados individualmente, respeitando os critérios de inclusão e exclusão, somente 36 artigos foram selecionados para a realização deste trabalho. Para complemento desta pesquisa foram consultadas teses, revistas e o livro "*Phillips - Science of Dental Materials*" de KJ Anusavice, 12ª edição.

Critérios de inclusão:

- Artigos publicados nos últimos 10 anos.
- Idioma inglês, italiano e português.
- Artigos que abordam os fotoiniciadores das resinas compostas, a estabilidade da cor, a eficiência da fotopolimerização.
- Artigos de revisão, artigos "in vitro" e artigos contendo estudos experimentais.

Critérios de exclusão:

- Artigos que não abordam os fotoiniciadores das resinas compostas.



(Figura 1) Diagrama de Metodologia

Título	Autor (Ano)	Finalidade/Objetivos	Fotoiniciadores	Resina compósito/ Monómeros	Luz Fotopolimerização	Cor Stability-Aos resultados
Resin Composite State of the Art	Ferracane JL et al, 2011	O objectivo é o estado actual dos materiais compósitos dentários.	(CQ)(PPD)(TPO)(Irgacure 819)	(Bis-GMA)(TEGMA)(UDMA)	x	Não existe material ideal, mas quando usado correctamente, demonstraram fornecer excelentes resultados clínicos.
Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review,	Rueggeberg F. et al, 2017	Avaliar os diferentes fotoiniciadores e seu ação com várias fontes de luz	(CQ), (TPO), (Ivocerin), (PPD),	(Bis-GMA)(TEGMA)(UDMA)	(QTH), (PAC) (Argon-ion lasers) (LED)	TPO é actualmente combinado com QC (e outros fotoiniciadores) para proporcionar uma melhor cura da resina e reduzir o amarelecimento da restauração.
Factors influencing success of radiant exposure in light curing posterior dental composite in the clinical setting,	Maktabi H et al, 2018	revisão de compósitos de resina compostas e utilizar correctamente unidades de fotopolimerização (LCUs) para restaurações com propriedades óptimas mecânicas e físicas	(CQ) (TPO) (BAPO)	RBCs	LCUs	DC varia de 40 a 80%. LCU insuficiente e operador pode levar a baixa resistência e degradação da resina composta
Current photoinitiators in dental materials,	Singh S et al, 2017	Este artigo analisa as opções dos novos fotoiniciadores para materiais restauradores.	(Óxidos de fosfina MAPO-BAPO)(CQ)(PPD)(TX-SH)(TPO)(HABI)(BTG)	x	LCU	Nos compósitos dentários, existem fotoiniciadores, os monómeros são polimerizados pela luz onde é importante que o fotoiniciador atinja um estado excitado utilizando a energia de

						uma fonte de luz absorvida.	
Photoinitiators in dentistry: a review	Santini A et al, 2013	Esta revisão discute a importância de combinar a output espectral das LCUs com os espectros de absorção dos RBCs e as consequências da incompatibilidade espectral.	CQ/TA Leucrina TPO PPD	Bis-GMA- TEGDMA UDMA Bis-EMA	LED QTH	Se usado em pequenas quantidades, o amarelado da CQ influencia a cor do compósito. TPO exibe melhor estabilidade de cor comparativamente à CQ/TA.	
An update on the reasons for placement and replacement of restorations of direct restorations	Eltahlah D. et al, 2018	Neste estudo foi para rever os modelos de posicionamento e substituição da restauração.	x	Resina Composta, ionamero di Vidro,amalgama	x	Nos últimos anos, tem havido uma utilização crescente de compósitos de resina.	
Intrinsic and extrinsic discoloration of dimethacrylate and silorane based composites	Barutçigil C. et al, 2012	O estudo destinava-se a avaliar a mudança de cor intrínseca e extrínseca do dimetacrilato e dos compósitos à base de silorano.	CQ	Cinco resina compostas (UDMA)(BIS - GMA)(TEGMA)	3M ESPE	Todos os materiais de restauração utilizados neste estudo são susceptíveis de manchar o vinho tinto e o café cola em particular; na água, apenas o SIL se tornou mais branco com o tempo.	
Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites	Topcu FT. et al, 2009	Era avaliar os efeitos sobre a descoloração da saliva artificial, com sumo de limão, café, coca cola, sumo de cereja preta, sumo de cenoura e vinho tinto em compósitos de resina	x	(compósitos anões) (composto micro-híbrido) (composto híbrido)	LED Elipar Free Light 2 (3M ESPE,	Os líquidos podem afectar a estabilidade da cor. Todos os materiais mostraram alterações de cor visíveis. A solução de vinho tinto mostrou mais mudanças de cor. As nanopartículas mostraram menos alterações de cor.	
Effect of resin and photoinitiator on color,	Manojlovic D. et al, 2016	Estudar o efeito de um monómero de metacrilato de	CQ/amina e Lucrina TPO	Bis-GMA e TEGDMA e FIT-852 / Charisma	Luz LED	Diferenças de cor foram influenciadas maioritariamente	

translucency and color stability of conventional and low-shrinkage model composites		baixa contração e do fotoiniciador de óxido de monoacilfosfina, translucidez e estabilidade de cor dos compósitos à base de resina modelo (RBCs).		Diamon; N'Durance; Tetric EvoCeram e Filtek Z250		ente pela luminosidade, em que as FIT-RBCs foram significativamente e mais claro que os Bis-GMA – RBCs. O fotoiniciador não teve qualquer efeito na cor.
Effect of different in vitro aging methods on color stability of a dental resin-based composite using CIELAB and CIEDE2000 Color-Difference Formulas	Carvalho DR. et al, 2015	Avaliar o efeito de diferentes métodos de envelhecimento in vitro na mudança de cor (CC) de um compósito experimental.	(CQ), (EDMAB).	(Bis-GMA) (Bis-EMA) (UDMA) (TEGDMA)	(UVA),	Os métodos de envelhecimento por UV mostraram um efeito amarelado devido a uma grande mudança positiva em b*.
Influence of the photoinitiator system and light photoactivation units on the degree of conversion of dental composites,	Morales Porto ICC. et al, 2010	O objetivo deste estudo foi observar a influência de duas unidades de fotopolimerização (LED ou luz halógena) no grau de conversão (CD) de três compósitos odontológicos com tonalidades mais claras e um sistema fotoiniciador diferente.	(CQ) + (TPO)	Filtek [®] Supreme, Filtek [®] Z250, Tetric [®] Ceram Bleach)	LED)(HQ)	X
A review of the development of radical photopolymerization initiators used for designing light curing dental adhesives and resin composites	Ikemura J, et al, 2010	Este artigo examina estudos recentes de iniciadores radicais de fotopolimerização, que são usados no design de adesivos dentais fotopolimerizáveis	(APO) (CQ) (BAPO)	(Bis-GMA) (TEGDMA) MDP-GMR HEMA	LED QTH	X

		eis e compósitos de resina				
Three generations of LED lights and clinical implications for optimizing their use. Part 1: from past to present,	Pelissier B. et al, 2011	O sucesso e a longevidade dos compósitos resinosos ativados pela luz azuis de economia de energia estão substituindo rapidamente seus antecessores de lâmpadas halógenas como fonte de luz padrão.	(CQ) (PPD) (TPO)	(g-aenial® GC dental) (Herculite XRV® Kerr Inc	(QTH) (LED) (LAUs)	A polimerização profunda adequada é fundamental para o sucesso clínico a longo prazo de qualquer restauração reactivada com luz.
Advances in light-curing units: four generations of LED lights and clinical implications for optimizing their use: Part 2. From present to future,	Shortall AC, et al. 2012	Neste estudo descreve as características inovadoras do que pode ser considerado o primeiro de uma nova quarta geração de luzes LED.	(CQ) (PPD) (TPO)	Tetric evo ceram	(LED 3º geração) (LED 4º geração)	Uma fonte de luz adequada com conhecimento dos materiais, aptidões clínicas durante o processo de restauração.
Irradiance difference in violet (405 nm) and blue (460 nm) spectral ranges among dental light curing units,	Price RBT et al. 2010	Este estudo examinou LCU em dois comprimentos de onda de 405 e 460 nm. QTH e PAC e quatro luzes LCU (LED).	(CQ), (TPO) (PPD)	Tetric evoceram	(centered at 405 nm [violet] or 460 nm [blue]) (QTH) (LED) (QTH and PAC)	As unidades Polywave LED fornecem uma distribuição irregular de radiação sobre 405 nm e 460 nm, enquanto (QTH e PAC) não mostraram falta de homogeneidade de espectral a estes comprimentos de onda.
Knoop hardness of five composites cured with single-peak and polywave LED curing lights,	Price RB, et al. 2010	Compare a capacidade de quatro luzes de diodo emissor de luz (LED) para curar cinco resinas compostas em 10 segundos a 4 e 8 mm.	CQ), (PPD) ,(TPO)	Filtek Supreme 3M ESPE; Vit-I-escence ultradent , Aelite LS Posterior bisco, Tetric EvoCeram , Tetric EvoCeram Bleach M,	second-generation, single-peak LED curing lights (Bluephase 16i, Ivoclar Vivadent, and LEDemetron II, Kerr) and two third-generation polywave LED curing lights	Com luzes de 10 segundos são classificadas por dureza; Bluephase G2 seguida de UltraLume LED 5, Bluephase 16i e LEDemetron II.

				both Ivoclar Vivadent)	(UltraLume 5, Ultradent, and Bluephase G2, Ivoclar Vivadent) were compared.	- Os valores da microdureza Knoop eram diferentes entre os cinco compostos.
Influence of different light sources on the conversion of composite resins,	Silva EH, et al. 2011	O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes unidades de fotopolimerização na conversão de quatro resinas compostas com diferentes composições	(CQ) (TPO)	Durafill Tetric Filtek Aelite	(LED) 1°,2°,3°, geração lâmpada halógena QTH)	O teste demonstra a compatibilidade de dos diferentes fotoiniciadores em compósitos de resina com as várias fontes de luz.
Estimated light exposure time for composite resin restorative materials,	Vandewalle K. et al. 2011	objectivo deste estudo e a polimerização da resina composta, quanto tempo é necessário para a exposição à luz	x	Resina compostas	(QTH) (PAC)(LED)	A tendência é a de comercializar lâmpadas de cura LED com valores elevados e curtos de irradiação.
Influence of different Photoinitiators on Polymerization Kinetics and Marginal Microleakage in Restorations using Photopolymerizable Dental Composites,	Alvim HH. et al. 2017	Avaliar diferentes fotoiniciadores em cinética de polimerização e microinfiltração marginal em restaurações de classe V	(CQ)(PPD)(DMABEE) (TPO)(Irgagure 819)	(Bis-GMA) (UDMA)(TEGMA)	(LED)(QTH)	A microinfiltração marginal em compósitos dentários fotopolimerizáveis pode ser fortemente influenciada por diferentes tipos de fotoiniciadores através das suas distintas taxas de reação.
Comparison of the Physical and Mechanical Properties of Resin Matrix with Two Photoinitiator Systems in Dental Adhesives,	Kim M. et al. 2016;	Este estudo avaliou as propriedades físicas e mecânicas dos adesivos dentários com cinco fotoiniciadores diferentes.	(CQ)(EDMAB) (DMAEMA)	(Bis-GMA) (TEGMA)	UV	EDMAB tem melhores propriedades mecânicas e físicas do que o DMAEMA. Além disso, os sais de iodônio, DPIHFP, não afetam as propriedades físicas e

						mecânicas sem iniciadores de aminas. CQ é o fator mais influente na DC neste estudo.
Photoinitiator type and applicability of exposure reciprocity law in filled and unfilled photoactive resins,	Leprince JG. et al. 2011	Verificar o tipo de influência da fotopolimerização e incluir a parte do material de carga e validar com a sua reciprocidade.	(CQ), (TPO]	(Bis-GMA)(TEGDMA)	halogen Swiss Master Light 3000 mW/cm ² 1500mW/cm ² 400mW/cm ²	O TPO mostrou uma DC mais alta, enquanto uma tendência oposta para materiais baseados em CQ. O Lucirin-TPO pode permitir uma redução no tempo de cura para materiais fotoativos baseados em TPO em seções finas.
Curing efficiency of dental resin composites formulated with camphorquinone or trimethylbenzoyl-diphenylphosphine oxide,	Schneider LFJ, et al. 2011	O objectivo é ver a relação entre o espectro de absorção do fotoiniciador e o espectro de luz emitido pela QTH, avaliar a cinética da polimerização e o grau de conversão.	(CQ) (TPO) (EDMAB) BHT	(Bis-GMA) (TEGDMA)	QTH	O composto formulado com CQ + EDMAB produziu uma maior profundidade de cura do que aqueles com TPO ou TPO + EDMAB. Os materiais formulados com TPO demonstraram uma profundidade de cura menor do que aqueles com CQ.
The effect of combining photoinitiator systems on the color and curing profile of resin-based composites,	Carvalho DR. et al. 2016	Avaliar o efeito da combinação da canforquinona (CQ) e (TPO) na cor e cura de compósitos à base de resina.	(CQ)(TPO)	(Bis-GMA) (UDMA) (TEGMA) (Bis-EMA)	Polywave LEDs	A utilização de TPO e CQ mostrou perfis de cura semelhantes até uma profundidade de 2 mm e reduziu a cor amarela e após a polimerização.

Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas,	Gomez-Polo C. et al. 2016	O objetivo deste estudo foi avaliar as fórmulas CIELab e CIEDE2000 para determinar qual percepção de cor difere entre homens e mulheres.	x	18 discos de resina compostas	Espectrofotômetro Easysshade Compact	A fórmula CIEDE2000 reflecte melhor as diferenças de cor percebidas pelo olho humano do que a fórmula CIELab (DE * ab). Além disso, foi confirmado que as mulheres são mais sensíveis às diferenças de cor do que os homens.
Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry,	Khashayar G. et al. 2014	O objetivo desta revisão clínica foi fornecer uma abordagem sistemática ao tema da ciência da cor de alta relevância clínica para a pesquisa odontológica.	x	X	Espectrofotômetro	A maioria dos estudos clínicos refere-se às mesmas poucas publicações in vitro que tentaram determinar o TP e a AT durante décadas.
Competitive light absorbers in photoactive dental resin-based materials,	Hadis M, et al. 2012	Este trabalho aborda as propriedades de absorção de uso comum nos fotoiniciadores, TPO e CQ, e ver a sua influência na descoloração.	(CQ) (TPO) BHT	Bis-GMA TEGDMA	QTH	As resinas ausentes de fotoiniciador não demonstraram mudança de cor significativa. . Houveram diferenças significativas entre o tipo de fotoiniciador e a concentração usada
Effect of different photoinitiators and reducing agents on cure efficiency and color stability of resin based composites using different LED wavelengths,	Carvalho DR, et al. 2015	Avaliar os efeitos dos fotoiniciadores e agente redutores na eficácia da polimerização e estabilidade de cor nos compósitos à base de resina usando diferentes	(TPO)(CQ)(BAP O) (DAEMA)(EDM AB) (DMPOH)	Compósitos à base de resina	Bluephase G2 (Ivoclar), LED's	Os sistemas de CQ apresentaram maior estabilidade de cor que os Tipo-I, especialmente quando combinados com DMPOH.

		comprimentos de onde LED					
Color stability, conversion, water sorption and solubility of dental composites formulated with different photoinitiator systems,	Albuquerque PP, et al. 2012	O objetivo deste estudo foi formular materiais com alta estabilidade de cor e reduzida degradação usando sistemas fotoiniciadores derivados de óxidos de fosfina, alternativos ao sistema tradicional de canforquinona (CQ) / amina.	(CQ) + Amina (EDMAB) (BAPO) (BAPO + EDMAB) (TPO *EDMAB)	(Bis-GMA) (TEGMA)	(QTH)	Só houveram diferenças significativas nos grupos formulados com TPO (com ou sem adição da amina).	
Is the Color Stability of Resin-Based Composites Affected by the Shade of Prefabricated Composite Resin Veneer?,	Albuquerque PP, et al. 2019	Determinar a influência da cor da resina composta (PCRv) na estabilidade da cor ($\Delta E00$) dos compósitos à base de resina.	x	(Bis-GMA) (BisEMA) (TEGDM) (PEGDMA) (BisEMA)	LED Valo	As resinas compostas BNG e BEW têm uma alta estabilidade de cor em comparação com a FXT. Portanto, as resinas BNG ou BEW são indicadas como agente de cimentação para o sistema Compoener.	
Color stability of experimental composites containing different photoinitiators,	Silami FDJ, et al. 2012	Avaliar a estabilidade da cor de compósitos experimentais contendo diferentes fotoiniciadores quando submetidos a envelhecimento artificial acelerado (AAA).	(CQ)) (PPD)	(Bis-GMA) (UDMA) (Bis-EMA) (TEGMA) e (DMAEMA)	Halogénio (Ultralux)	Não houve diferença significativa na estabilidade da cor para os diferentes compostos experimentais, considerando o tipo de fotoiniciador utilizado.	
Effect of exposure time on the color stability of resin based restorative materials when polymerized with quartz-tungsten	Ruttermann S, et al. 2009	L'obiettivo era di valutare l'effetto del tempo di esposizione sulla stabilità del colore della resina composta quando	(CQ)	(TEGDMA,) (TMPTMA,) TCB-resin, inorganic (UDMA),(Bis-GMA,) ethoxylated Bis-(EDMA),	(HL), (LED),	Luz LED com um tempo de 10s melhor estabilidade de cor do que QTH com um tempo de 20s. Nenhuma melhoria	

halogen and LED light,		polimerizzata con (QTH) o (LED).				alcançada com irradiação prolongada.
Effect of temperature on the mass and color stability of additional photoinitiator-containing composite resins	Kim TH, et al. 2013	O objetivo deste estudo foi avaliar como a temperatura afeta a estabilidade de resinas compostas que contém photoiniciador polimerizado..	(CQ)(TPO)(PPD)	(Bis-GMA) (UDMA) (Bis-EMA) (TEGMA)	QTH, de emissão única e dual UV	A mudança de cor entre grupos foi semelhante.
Effect of postpolymerization method on the color stability of composite resins submitted to ultraviolet aging,	Dos Santos PH. et al. 2012	O objectivo deste estudo era avaliar o efeito do método de pós-cura na estabilidade da cor dos compósitos à base de resina.	x	(Sinfony 3M ESPE UDMA) (Filtek Z-250bis-GMA, UDMA, and bis-EMA)	Alfa halogen light-curing Visio Beta Vario system LED Elipar Freelight 2	As amostras que podem ser curadas com o sistema LED mostraram menos alterações do que as amostras que podem ser curadas com o sistema Visio.
Effects of protective resin coating on the surface roughness and color stability of resin based restorative materials,	Bagis B, et al. 2014	O objectivo era avaliar os efeitos do revestimento protector de resina nano-enchida sobre a rugosidade da superfície e a estabilidade da cor dos materiais restauradores à base de resina.	x	(UDMA) Resina TCB) (TEGDMA) (Bis-GMA),	(UV)	O uso de RC protector para RM pode não ser uma vantagem para os materiais Ra e ΔE a longo prazo.pode resultar em superfícies mais descoloridas e rugosas.

Surface sealant effect on the color stability of a composite resin following ultraviolet light artificial aging,	Brooksbank A, et al. 2019	Avaliar como a exposição a estímulos artificiais de envelhecimento acelerado (AAA) (luz ultravioleta [UV]) afecta a estabilidade da cor de uma resina composta após a aplicação do selante de superfície (SS).	(CQ)	30 discos cilíndricos (DAEMA) (TEGDMA) (Bis-GMA), (PENTA) (MMA)	Luz UV	A estabilidade da cor, incluindo os selantes de superfície, não foi afectada pela exposição UV. as medidas de cor dos discos de resina composta não mostraram
--	---------------------------	--	------	---	--------	---

						diferenças significativas.	
Effects of radiant exposure values using second and third generation light curing units on the degree of conversion of a lucirin-based resin composite	Oliveira KA, et al. 2017	Fotoiniciadores com diferentes comprimentos de onda utilizados em compósitos de resina, avaliam a eficácia das unidades de fotopolimerização (LCUs) sobre estes produtos.	(CQ)(PPD)(TPO)	(Bis-GMA) (Bis-EMA)	Primeira, Segunda geração luz LED e Polywave	LCU de terceira geração forneceu polimerização óptima de Lucirin baseada em TPO	

Tabela 1 (comparação de artigos)

4. Desenvolvimento

A polimerização das resinas compostas é iniciada por uma unidade de luz, quando esta ativa por sua vez os fotoiniciadores. Esta tecnologia tem por base um sistema foto-reativo que absorve uma radiação de luz dos LCUs a um determinado comprimento de onda. Diferentes compósitos, requerem diferentes níveis de energia de luz para que haja uma correta ativação dos fotoiniciadores a um comprimento de onda específico. O fotoiniciador absorve os fotões do LCU, do fotopolimerizador, e os monómeros começam a entrar num estado excitado ⁴⁻⁶. A reação química por meio de ativação gera radicais que quebram as ligações duplas dos monómeros, gerando radicais livres, promovendo consequentemente a união de monómeros para gerar polímeros. A reação acelerador-iniciador pode ser química, física ou dual. Para a eficaz polimerização dos compósitos fotoativados e para permitir que o material alcance as suas propriedades, torna-se essencial conhecer os diferentes fotoiniciadores, bem como as suas especificações relativamente à sensibilidade à luz ⁶.

4.1 Efeitos e particularidades detetados nos fotoiniciadores em resinas compostas

Os fotoiniciadores são moléculas presentes nas resinas que são ativadas através da luz num comprimento de onda específico e iniciam a reação com a libertação de radicais livres que levam à criação de polímeros. Isto conduzirá à ligação dos vários monómeros, formando um polímero de elevado peso molecular ³.

A eficiência da polimerização é obtida quando o pico de absorvância do fotoiniciador corresponde ao espectro emissor do LCU. Durante o processo de exposição de luz, o fotoiniciador absorve a energia libertada dos fotões, auxiliando na dissociação de radicais livres. No entanto, este mecanismo de geração de radicais livres vai diferindo dependendo do iniciador em questão. O processo de geração do radical difere dependendo de fotoiniciadores, tipo I de segmentação e de tipo II (*H-extraction*). O tipo I gera radicais iniciadores a partir da reação de segmentação unimolecular. O tipo II sofre uma reação de remoção biomolecular do hidrogénio, com auxílio de uma amina ⁴⁻⁶.

4.1.1 Fotoiniciadores

Canforoquinona (CQ) é o fotoiniciador tipo II mais comum que absorve a luz azul nos comprimentos de onda entre 400 a 500 nm, sendo o pico de absorção aproximado dos 469 nm. Este fotoiniciador é classificado como tipo II, ou *H-extraction*, em que durante a fotoexcitação, há remoção de um átomo de hidrogénio da amina terciária para a produção de radicais reativos. Os radicais livres formados quebram a ligação de monómeros C=C que consequentemente, levará à criação de novos radicais com uma cadeia mais longa (propagação de radicais). A CQ tem uma cor amarelada brilhante e apenas uma única porção é realmente utilizada para a polimerização das resinas dentárias. A concentração de canforoquinona afeta a cor da resina composta porque, uma concentração mais elevada deste fotoiniciador provocará uma descoloração amarela e, qualquer molécula não reagida, poderá voltar ao seu estado original o que provocará a descoloração do polímero final (Fig 2 e 3) ^{3-6,12}.



Figura 2
Canforquinona

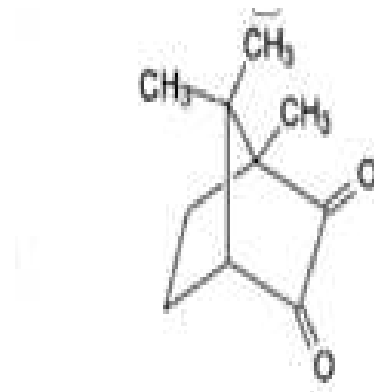


Figura 3
dl-2,3-diketo-1,7,7-trimetilnorcamfano

Fenil-propanodiona (PPD) é um fotoiniciador tipo II com espectro de absorção entre os 390 a 460 nm. Foi sugerido com uma forma de melhoramento da cinética de polimerização e redução do efeito amarelado. O pico de absorção é perto da região UV e estende-se ligeiramente até à região visível. É normalmente usado em combinação com a CQ para obteção de um efeito sinérgico, produzindo uma melhor polimerização de resina, mas também abrandando a taxa de reação e reduzindo a cor amarela residual do material restaurador ^{3, 5, 6}.

Lucirina (TPO) é um fotoiniciador tipo I que absorve um comprimento de luz compreendido entre os 390 a 410 nm, com um pico de absorção inferior à CQ. Foi um dos fotoiniciadores introduzido de forma a colmatar as desvantagens do sistema CQ/AT. É um fotoiniciador que gera radicais livres pelo processo de catálise, o que não requer co-iniciador. Apesar de ser usado como único iniciador, pode igualmente ser combinado com a CQ com o objetivo de melhorar a polimerização da resina e diminuir o amarelado da restauração. O seu menor comprimento de onda de absorção poderá ser responsável por tornar este sistema de fotoiniciador mais estético e eficiente dado à menor absorção na região de luz visível e a um maior coeficiente de absorção molar (Fig 4-5) ^{3,5,6,12}.



Figura 4

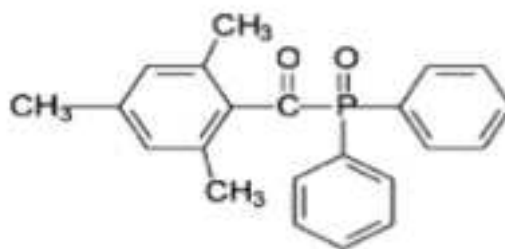


Figura 5

TPO-Lucirina - óxido mono-álquil fosfínico

2,4,6-Trimetilbenzoil-difenil-fosfina

Óxidos de fosfina alguns dos sistemas de fotoiniciação para a polimerização catiónica têm por base a aplicação de sais de ónio. No entanto, estes sais não têm a capacidade de absorção acima dos 300 nm, a não ser que sejam incorporados cromóforos adicionais na sua estrutura. O APO e o BAPO tornaram-se úteis na eliminação de efeito amarelado indesejado da CQ. APO é um sistema tipo I com intervalo de absorção entre o UV – Visível (350 a 380 nm) e um máximo na região dos 420 nm. BAPO e MAPO são igualmente fotoiniciadores tipo I que levam à formação de radicais livres de boa reatividade e capacidade de iniciação do processo de polimerização ^{3, 4}.

Óxido bis-álquil fosfínico (BAPO) é um fotoiniciador de tipo I que absorve comprimentos de onda de até 370 nm. Como a TPO não requer aminas terciárias e, polimerizada com luz LED, garante uma eficiência de polimerização igual ou superior à da CQ ^{4,13}.

Ivocerin® é um novo fotoiniciador, desenvolvido para proporcionar um espectro ainda mais amplo de ondas curtas de absorção. A absorção de luz visível passa de 390 a 445 nm (Fig 6) ³.



Figura 6

Ivocerin®

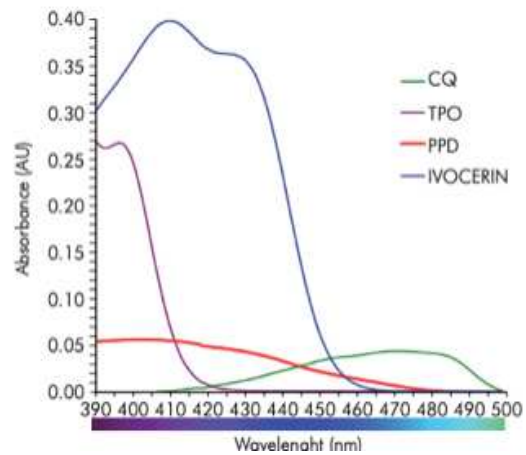


Figura 7

Diferenças de absorção espectral e valores absolutos de absorção entre os fotoiniciadores dentários

Os sistemas com CQ só precisam de luz azul (420-540 nm), enquanto que sistemas mistos CQ+TPO absorverão luz azul e roxa (360-420 nm) ^{4,6,14}.

Além disso, dependendo da matriz e das cargas em geral, não é possível calcular o tempo exato preciso de polimerização, que depende da exposição, intensidade, temperatura e distribuição espectral ótima. Também não é possível avaliar a qualidade da fotopolimerização observando apenas para a camada externa.¹⁵

4.2. Lâmpadas de polimerização

As primeiras lâmpadas de polimerização eram do tipo QTH (quartzo-tungstênio-halogénio), onde se observava uma reação electromagnética entre o fio de tungstênio com o revestimento de quartzo cheio de gás halogéneo (a reação do gás produz luz e calor). Tanto a luz, como o calor, são filtrados de forma a evitar o sobreaquecimento e o excesso de luz do comprimento de onda. Normalmente, a polimerização de uma camada de 2mm dura entre 40 a 60 segundos^{3,18}. A emissão de luzes QTH ocorre normalmente nos comprimentos de onda entre 390 a 500, com um pico aproximado dos 480nm, tornando a CQ o fotoiniciador mais adequado para esta luz³.



Figura 8

Lâmpada do tipo QTH

Um outro tipo de luz é o PAC (*Plasma-arc lights*), em que a electricidade aplicada aos fios de tungstênio, imersos em gás xénon, produz uma quantidade de radiação luminosa, grande parte da qual necessita de ser filtrada (como as luzes QTH). Para uma camada de 2mm, o tempo de polimerização é cerca de de 10 segundos, o que torna estas luzes amplamente utilizadas. Comprimentos de onda de 400 a 500 nm, com um pico de cerca de 470nm, melhorou a utilização do fotoiniciador CQ.³.



Figura 9

Lâmpada do tipo PAC

Como o grau de conversão é fundamental na polimerização é de mencionar que em algumas resinas compostas, as luzes halógeneas e LED têm graus de conversão ligeiramente diferentes, mas todos na faixa aceitável, por isso há a certeza de que ambas as luzes têm uma polimerização satisfatória¹². Ao longo dos últimos vinte anos, as luzes LED conquistaram o mercado^{18,19}. Há várias vantagens no seu uso tais como portabilidade, eficiência e maior vida útil



Figura 10

Lâmpada do tipo LED

das lâmpadas comparativamente às lâmpadas halógenas^{4,18,19}. Inicialmente, como as luzes LED têm baixa irradiação, foram utilizados conjuntos de muitos emissores para a primeira geração de LED. Na segunda geração, um único LED incluía vários emissores em diferentes camadas. Para estas duas gerações, os comprimentos de onda de luz foram aproximadamente 470 nm, com um espectro de emissão muito limitado, tornando os LED excelentes para a polimerização do fotoiniciador CQ, mas problemáticos para outros fotoiniciadores. A transição para a terceira geração foi devido à necessidade de alargar o espectro de emissões. Os LED da terceira geração acrescentam aos LED da segunda geração também alguns LED que emitem luz violeta, tornando os outros tipos de luzes quase obsoletos^{14,15,18,19}.

Foram comparadas as radiações das luzes LED, QTH e PAC entre os comprimentos de onda do espectro roxo e azul. Pode-se observar que ao contrário da luz halógena e plasma, muitas luzes LED no mercado têm um poder de radiação muito diferente, apresentando duas emissões principais próximas de 405 nm e 460 nm²⁰. Este tipo de LED é chamado de *polywave*, e tem demonstrado ter bons efeitos sobre as resinas²¹. Um estudo também demonstrou que alguns tipos de LEDs estão agora obsoletos, resultando em um grau muito baixo de conversão com uma resina com o fotoiniciador TPO²². Neste estudo, a resina foi sujeita a uma luz LED terceira geração, uma luz obsoleta segunda geração e uma luz QTH. Enquanto a terceira geração de LED e a luz QTH resultaram em uma boa taxa de conversão (cerca de 60%) após dois minutos de exposição, a luz obsoleta não excede 30% e é ineficiente²³.

4.3 Consequências da incorreta polimerização

4.3.1 Grau de conversão

Um fator muito importante na polimerização é o DC (grau de conversão). Indica a percentagem de polimerização, ou seja, quantos monómeros no composto são transformados em polímeros. Quanto melhor for esta percentagem, melhores serão as características fundamentais tal como a resistência do material¹⁻⁴.

Diferentes fotoiniciadores têm características físicas e mecânicas diferentes. O DC é uma propriedade muito importante para a polimerização. O TPO, comparado com a CQ, tem uma maior absorção polar, o seu DC é maior e os compósitos com estes fotoiniciadores apresentam uma polimerização mais rápida quando polimerizados com luz halogéna e alguns tipos de luz LED. Infelizmente, porém, os compostos com TPO têm geralmente menor profundidade de polimerização, devido à maior absorção polar, em que os fotões que atingem a resina composta têm menor penetração^{24,25}.

Foram testados compostos de CQ +TPO para alcançar um compromisso entre o DC e a profundidade da polimerização, não tendo sido encontrada proporção da percentagem ótima²⁶.

É difícil obter um DC uniforme em toda a resina composta porque as moléculas de superfície do fotoiniciador são mais facilmente expostas aos fotões e, por conseguinte, uma percentagem mais elevada evoluirá ao estado excitado. Uma boa conversão de superfície não indica necessariamente uma boa conversão de profundidade^{13,16}.

Uma conversão incorrecta, ou incompleta, causa defeitos e danos no sistema dentário. Por exemplo, um DC baixo indica uma percentagem elevada de ligações C=C que permanecem por polimerizar. Estes causam retração da resina e propriedades mecânicas fracas, que podem levar a fracturas da resina, reações alérgicas, formação de cáries e libertação de moléculas tóxicas.^{3,15-17,24}

4.3.2. Estabilidade de cor

4.3.2.1. Medição

Em experiências, estas funções são utilizadas para calcular as diferenças de cor, após um espectrómetro detectar os fatores necessários para o cálculo. Muitas vezes, embora a fórmula $[\Delta E]_{00}$ seja considerada melhor, a fórmula ΔE^*_{ab} ainda é usada para consistência com resultados de estudos anteriores em algumas experiências.¹¹

A fim de realizar experiências capazes de calcular as diferenças de cor, foram desenvolvidos diferentes métodos de medição de cor: o sistema CIELAB e o sistema CIEDE2000²⁷.

Em 2001, o CIE criou uma nova definição de diferença de cor, ΔE_{00} , a fim de refletir melhor as diferenças perceptíveis a olho nu²⁷. A fórmula, chamada CIEDE2000, é ligeiramente mais complexa do que a anterior:

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L}{K_L} \times S_L \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{K_C} \times S_C \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{K_H} \times S_H \right)^2 + R_T \times \left(\frac{\Delta C}{K_C} \times S_C \right) \times \left(\frac{\Delta H}{K_H} \times S_H \right) \right]^{1/2},$$

O ΔL , ΔC e ΔH são as diferenças de luminosidade, croma e matiz, respectivamente. R_t é a chamada "função de rotação", as três funções S_L , S_C e S_H são funções de peso utilizadas para indicar a diferença cromática total e os fatores K_L , K_C , e K_H são parâmetros de "correção" para corrigir imperfeições, parâmetro fixo em 1²⁷.

Em 1978, a CIE (Commission Internationale de L'Eclairage) definiu os três parâmetros de medição L^*_{ab} (luminosidade), a^*_{ab} (vermelho - verde) e b^*_{ab} (azul - amarelo). A diferença entre duas cores foi portanto definida como uma função de distância matemática: $\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*_{ab})^2 + (\Delta a^*_{ab})^2 + (\Delta b^*_{ab})^2]^{1/2}$, onde ΔL , Δa e Δb indicam as diferenças nos três parâmetros individuais, e esta fórmula é frequentemente referida como CIELab. Uma vez medida a diferença entre as duas cores, foram definidos os limiares de tolerância: para $\Delta E^*_{ab} \leq 1.0$, a diferença entre as duas cores não é distinguível; para $1.0 < \Delta E^*_{ab} \leq 3.3$, a diferença é aceitável; para $\Delta E^*_{ab} > 3.3$, as duas cores são clinicamente inaceitáveis²⁸. Como já dizemos na introdução,, estamos interessados na mudança de cor ao longo do tempo, e

os métodos pelos quais simulamos este fenómeno são resumidos na introdução. Um elemento que não deve ser esquecido é que também há uma mudança de cor de antes para depois da polimerização. De facto, imediatamente após a aplicação e o tratamento, um estudo²⁴ mostrou como as resinas contendo amarelo TPO levemente e as resinas com CQ+DMAEMA se iluminam enormemente²⁹.

4.4 Efeitos na eficiência dos processos de polimerização e na estabilidade da cor através de diferentes fotoiniciadores, comprimentos de onda e métodos de envelhecimento artificial

São apresentados três métodos de envelhecimento artificial para um grande número de amostras (com sistema CQ+EDMAB) e as mudanças de cor relativas causadas são estatisticamente estudadas. Os três métodos são: Envelhecimento em água (WA), com imersão por 30 dias em água a 37°C, Envelhecimento Acelerado Artificial (AAA), com ciclos de 4 horas de luz UV-B a 37°C e 4 horas de condensação úmida, por um total de 300 horas, e envelhecimento por luz UV (UVA), que consiste apenas na exposição à luz UV-B a 37°C por um total de 120 horas.¹¹

Na análise estatística das mudanças de cor, resultam três conclusões¹¹:

- Para WA, tanto $[\Delta E]_{ab}$ como $[\Delta E]_{00}$ estão por volta de ~ 1 , concluindo assim que não se percebe qualquer mudança de cor.
- Quanto a AAA e UVA, há um amarelecimento que era espectável pela existência da amina terciária.
- Os valores $[\Delta E]_{ab}$ e $[\Delta E]_{00}$ diferem em valores absolutos. Enquanto que para WA $[\Delta E]_{ab} < [\Delta E]_{00}$, para AAA e UVA $[\Delta E]_{ab} > [\Delta E]_{00}$ (em todos os casos cerca de $\sim 0,5$)¹¹.

O TPO e BAPO têm uma absorção muito baixa, usando apenas luz de espectro estreito, já que a sua absorção é deslocada para o espectro roxo. A absorção é maior com a luz azul do

espectro. O processo de envelhecimento artificial para esta experiência foi realizado com uma máquina de envelhecimento artificial em São Paulo (Brasil), que alterna entre ciclos de luz UV (250-380 nm) e condensação a 50°C. No que diz respeito à mudança de cor, como é conhecido, os sistemas CQ são amarelos, enquanto os sistemas com TPO e BAPO tornam-se muito mais brancos. O que resulta após o envelhecimento artificial é que o branqueamento é superior ao amarelecimento do primeiro, pelo que se conclui que mesmo que o efeito de amarelecimento seja inestético e mesmo que TPO e BAPO induzam um nível mais elevado de DC, os sistemas de CQ têm uma melhor estabilidade de cor ³⁰.

Um estudo compara a cor após envelhecimento artificial de cinco sistemas fotoiniciadores diferentes (TPO, BAPO, CQ+EDMAB, CQ+DMPOH, CQ+DMAEMA) polimerizados através de dois tipos diferentes de LEDs. Espectro estreito, comprimento de onda exclusivamente entre 420 e 490 nm, espectro azul e o largo, comprimento de onda de 380 a 490 nm, ou seja, vai do espectro roxo ao azul ³⁰.

Outro estudo considerou a mudança cromática das resinas compostas com fotoiniciadores CQ+EDMAB, TPO, TPO+EDMAB, BAPO, BAPO+EDMAB após envelhecimento de 30 dias em água destilada a 37°C ³¹. As conclusões deste estudo mostram que os compostos com TPO são os únicos que não mostram mudanças perceptíveis. Na verdade, o composto CQ fica amarelo e os compostos BAPO ficam mais brancos ³¹. O amarelecimento dos compósitos CQ foi destacado por outro estudo no qual o efeito do envelhecimento artificial acelerado (AAA) de 300 horas (4 horas de ciclos de luz UV e 4 horas de vapor de água a 50°C) foi estudado em três tipos de fotoiniciadores (CQ+DMAEMA, PPD e CQ+PPD)³¹. Outro estudo destacou os efeitos de cor do mesmo processo de armazenamento de água em vários compósitos comerciais, Brillant New Generation® (BNG - Coltene), Brillant Everglow® (BEW - Coltene) e Filtek Supreme XTE® (FXT - 3M ESPE), tratados com luz LED. Os resultados do estudo mostraram que em geral para BNG e BEW não há nenhuma mudança perceptível na cor, enquanto que para FXT há uma pequena mudança, que no entanto está dentro da faixa aceitável ³². Isto resultou num forte amarelecimento semelhante em todos os compostos, sugerindo que os três sistemas se comportam de forma semelhante³³. Um fator importante é que a fotopolimerização também afeta a estabilidade da cor da resina. Por exemplo, num estudo foi demonstrado que a polimerização com uma luz LED durante 10 segundos produz

uma melhor estabilidade de cor do que a utilização de uma luz de halogéneo (QTH) durante 20 segundos, e também que a polimerização até 60 segundos com ambas as luzes não oferece qualquer vantagem adicional, sugerindo que existe um tempo mínimo de exposição à luz certa que garante o melhor resultado em termos de estabilidade de cor ³⁴.

4.4.1 Eficácia dos possíveis processos de pós-polimerização

Ao longo dos anos, foram estudados outros métodos para obter uma boa estabilidade da cor, métodos estes denominados processos pós-polimerização. O efeito do processo de pós-polimerização na estabilidade de cor de duas resinas compostas consiste na exposição prolongada à luz no sistema Visio Beta Vario® e é usado para garantir melhores propriedades mecânicas da resina. Após a polimerização, com ou sem processo de pós-polimerização, todas as amostras foram submetidas a um processo acelerado de envelhecimento artificial com ciclos de 8 horas de luz UV a 60°C e 4 horas de condensação a 40°C, por um total de 384 horas ³⁶.

A conclusão deste estudo é que o processo pós-polimerização afeta a estabilidade da cor de forma negativa, induzindo uma mudança de cor baixa mas perceptível: para um dos dois compostos a mudança está dentro do limite de aceitabilidade, enquanto que para o outro composto a mudança é perceptível ³⁶.

Para melhorar alguns defeitos no material usado, ou erro humano, também se pensou em proteger as resinas usando um revestimento de *resin coating* os selantes de superfície, que são resinas ou outros produtos líquidos aplicados na área ao redor do dente melhorando a polimerização através da penetração de pequenas imperfeições superficiais ^{22,37}.

No primeiro caso, os resultados indicaram que um revestimento de resina com nanotecnologia causa uma diferença significativa, (o artigo não especifica se a cor dada pela resina de revestimento é mais amarela ou branca). Na cor, após o envelhecimento artificial, é destacado um fator de risco a longo prazo ²². Por outro lado, estudos mais recentes mostraram efeitos positivos da aplicação de vários esmaltes, onde havia uma diferença de cor imperceptível ³⁷. Em ambos os casos, foi utilizado o envelhecimento artificial com luz ultravioleta ³⁷.

Muitos dos vários processos de pós polimerização estudados ao longo dos anos não obtiveram resultados positivos em termos de estabilidade de cor, mas recentemente alguns novos estudos aumentaram a eficácia desses processos ²². Diferentes resinas compostas necessitam de diferentes tratamentos, como lâmpadas de diferentes comprimentos de onda ou diferentes tempos de exposição^{6,18,28}. Na verdade, o grau de conversão do monómero é determinado pela exposição radial e isso depende de vários fatores, tais como o ângulo de polimerização, o tipo de luz e a distância da área polimerizada^{4,16,17}.

No conhecimento atual sobre CQ e TPO, foram feitos estudos sobre resinas compostas com ambos fotoiniciadores em diferentes concentrações, obtendo boas características ^{18,24,32}.

Usando altas concentrações de TPO, reduz o amarelecimento e altas concentrações de CQ aumentam a eficiência da difusão da luz em profundidade, sendo que pode ser encontrado um compromisso entre a estabilidade da cor e a qualidade da restauração da resina composta ^{18,24,32}.

5. Conclusão

- O fotoiniciador CQ causa uma cor amarelada, o seu pico de absorção é coberto por luzes LED modernas, sendo também de mais fácil polimerização em profundidade. Por outro lado, os fotoiniciadores tipo I têm cores muito mais claras e são preferíveis para o tratamento de dentes branqueados.
- Métodos modernos de envelhecimento artificial são utilizados para simular a passagem do tempo e estudar o efeito sobre as resinas: armazenamento de água, exposição à luz UV e máquinas de envelhecimento artificial. Enquanto o armazenamento de água tem um efeito mínimo na mudança de cor, os outros dois métodos normalmente causam amarelecimento para compostos com CQ e branqueamento para sistemas com TPO.
- Diferentes Fotoiniciadores absorvem comprimentos de onda diferentes. As luzes LED e halógenas também usam comprimentos de onda diferentes. É fundamental o conhecimento da composição da resina composta quanto ao fotoiniciador, para que a mesma seja polimerizada com o comprimento de onda apropriado.

6. Bibliografia

1. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Phillips' science of dental materials. Elsevier, 2013 (12th edition). Chapter 1, p. 3-16. Chapter 13, pp. 275 -306
2. Ferracane JL, *Resin Composite State of the Art*, Dental Materials 2011; 27(1): 29-38.
3. Rueggeberg F, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT, *Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review*, Critical Review, 2017; 31: 64-91.
4. Maktabi H, Balhaddab AA, Alkhubaizi Q, Strassler H, Melo M, *Factors influencing success of radiant exposure in light curing posterior dental composite in the clinical setting*, American Journal of Dentistry, 2018; 31 (6): 320-328.
5. Singh S, Rajkumar B, Gupta V, Bhatt A, *Current photo-initiators in dental materials*, International Journal of Applied Dental Sciences, 2017; 3 (1): 17-20.
6. Santini A, *Photoinitiators in dentistry: a review*, Primary Dental Journal, 2013; 2: 30-33.
7. Eltahlah D, Lynch CD, Chadwick BL, Blum IR, Wilson NHm *An update on the reasons for placement and replacement of restorations of direct restorations*, Journal of Dentistry 2018; 72: 1-7.
8. Barutcigil C, Yildiz M, *Intrinsic and extrinsic discoloration of dimethacrylate and silorane based composites*, Journal of Dentistry 2012; 40(Suppl. 1): e57–63.
9. Topcu FT, Sahinkesen G, Yamanel K, Erdemir U, Oktay EA, Ersahan S, *Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites*, European Journal of Dentistry 2009; 3: 50–6.
10. Manojlovic D, Dramicanin MD, Lezaja M, Pongprueksa P, Meerbeek BV, Miletic V, *Effect of resin and photoinitiator on color, translucency and color stability of conventional and low-shrinkage model composites*, Dental Materials, 2016; 32(2): 183-91.
11. Carvalho DR, Ayres APA, Rocha MG, Giannini M, Rontani RMP, Ferracane JL, Sinhoreti MAC, *Effect of different in vitro aging methods on color stability of a dental resin-based composite using CIE Lab and CIEDE2000 color-difference formulas*, Journal of Esthetic and Restorative Dentistry 2015; 27(5): 322-330.

12. Morales Porto ICC, Soares LES, Martin AA, Cavalli V, Liporoni PCS, *Influence of the photoinitiator system and light photoactivation units on the degree of conversion of dental composites*, Restorative Dentistry, 2010; 24 (4): 475-481.
13. Ikemura J, Endo T, *A review of the development of radical photopolymerization initiators used for designing light curing dental adhesives and resin composites*, Dental Materials Journal, 2010; 29 (5): pp. 481-501.
14. Silva EH, Albuquerque RC, Lanza LD, Vieira GC, Peixoto RT, Alvim HH, Yoshida MI, *Influence of different light sources on the conversion of composite resins*, Indian Journal of Dental Research, 2011; 22: 790-794.
15. Vandewalle K, Swift E, *Estimated light exposure time for composite resin restorative materials*, Journal of Esthetic and Restorative Dentistry 2011; 23(4): 201-4.
16. Alvim HH, Campos NM, Vasconcellos WA, Silva VA, Gatti A, *Influence of different Photoinitiators on Polymerization Kinetics and Marginal Microleakage in Restorations using Photopolymerizable Dental Composites*, Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada, 2017; 17 (1): 28-33.
17. Kim M, Suh BI, Shin D, Kim KM, *Comparison of the Physical and Mechanical Properties of Resin Matrix with Two Photoinitiator Systems in Dental Adhesives*, Polymers, 2016; 8: 1-11.
18. Pelissier B, Jacquot B, Palin WM, Shortall AC, *Three generations of LED lights and clinical implications for optimizing their use. Part 1: from past to present*, Dental Update 2011; 38(10): 660-2,664-6, 668-70.
19. Shortall AC, Palin WM, Jacquot B, Pelissier B, *Advances in light-curing units: four generations of LED lights and clinical implications for optimizing their use: Part 2. From present to future*, Dental Update 2012; 39(1): 13-7, 20-2.
20. Price RBT, Labrie D, Rueggeberg FA, Felix C, *Irradiance difference in violet (405 nm) and blue (460 nm) spectral ranges among dental light curing units*, 2010; 22: 363-377.
21. Price RB, Fahey J, Felix CM, *Knoop hardness of five composites cured with single-peak and polywave LED curing lights*, Quintessence International, 2010; 41 (10): 181-191.

22. Bagis B, Tuzuner T, Turgut S, Korkmaz FM, Ozgul B, Bagis YH, *Effects of protective resin coating on the surface roughness and color stability of resin based restorative materials*, Hindawi Publishing Corporation, The Scientific World Journal, 2014;2014:832927
23. Oliveira KA, Cadoso RF, Zarpellon DC, Madruga CF, Rodrigues JA, *Effects of radiant exposure values using second and third generation light curing units on the degree of conversion of a lucirin-based resin composite*, Journal of Applied Oral Science, 2017; 25 (2): 140-146.
24. Leprince JG, Hadis M, Shortall AC, Ferracane JL, Devaux J, Leloup G, Palin WM, *Photoinitiator type and applicability of exposure reciprocity law in filled and unfilled photoactive resins*, Dental Materials, 2011; 27: 157-164.
25. Schneider LFJ, Cavalcante LM, Prah SA, Pfeifer CS, Ferracane JL, *Curing efficiency of dental resin composites formulated with camphorquinone or trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphine oxide*, Dental Materials, 2012; 28: 392-397.
26. Carvalho DR, Rocha MG, Correa IC, Correr AB, Ferracane JL, Sinhoreti MAC, *The effect of combining photoinitiator systems on the color and curing profile of resin-based composites*, Dental Materials, 2016 October; 32 (10): 1209-1217.
27. Gomez-Polo C, Munoz MP, Luengo MCL, Vicente P, Galindo P, & Casado AMM, *Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas*, Journal of Prosthetic Dentistry 2016; 115(1): 65-70.
28. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, & Feilzer AJ, *Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry*, Journal of Dentistry 2014; 42(6): 637-644.
29. Hadis M, Shortall AC, Palin WM, *Competitive light absorbers in photoactive dental resin-based materials*, Dental Materials, 2012; 28: 831-841.
30. Carvalho DR, Rocha G, Gatti A, Bortolazzo A, Liborio J, *Effect of different photoinitiators and reducing agents on cure efficiency and color stability of resin based composites using different LED wavelengths*, Journal of Dentistry, 2015; 43(12): 1565-72
31. Albuquerque PP, Moreira ADL, Moraes RR, Cavalcante LM, Schneider LF, *Color stability, conversion, water sorption and solubility of dental composites*

- formulated with different photoinitiator systems*, Journal of Dentistry, 2013; 41: e67-72.
32. Albuquerque PP, Nishida AC, Francci CE, *Is the Color Stability of Resin-Based Composites Affected by the Shade of Prefabricated Composite Resin Veneer?*, Acta Scientific Dental Sciences, 2019; 3 (1): 74-77.
 33. Silami FDJ, Mundim FM, Garcia LFR, Sinhoreti MAC, Souza FCP, *Color stability of experimental composites containing different photoinitiators*, Journal of Dentistry, 2013; 41: e64-5.
 34. Ruttermann S, Suyoun K, *Effect of exposure time on the color stability of resin based restorative materials when polymerized with quartz-tungsten halogen and LED light*, Clinical Investment, 2010; 14: 599-605.
 35. Kim TH, Garcia F, Ko CC, Park J, Kim H, Know Y, *Effect of temperature on the mass and color stability of additional photoinitiator-containing composite resins*, Dental Materials Journal, 2013; 32 (4): 628-636.
 36. Dos Santos PH, De Souza FI, Guedes AP, Pavan S, *Effect of postpolymerization method on the color stability of composite resins submitted to ultraviolet aging*, The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry, 2012; 32 (3): e95-e100.
 37. Brooksbank A, Owens BM, Phebus JG, Blen BJ, Wasson W, *Surface sealant effect on the color stability of a composite resin following ultraviolet light artificial aging*, Operative Dentistry, 2019; 10: 1-9.

