



ARTIGO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**MÉTODO VISUAL DIGITAL COM USO DE
FILTRO DE LUZ POLARIZADA
CRUZADA E CARTÃO REFERÊNCIA
CINZA - APLICABILIDADE**

Diogo Miguel Correia Salvado

Porto, 2021



ARTIGO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**MÉTODO VISUAL DIGITAL COM USO
DE FILTRO DE LUZ POLARIZADA
CRUZADA E CARTÃO REFERÊNCIA
CINZA - APLICABILIDADE**

Diogo Miguel Correia Salvado

(up201602429@edu.fmd.up.pt)

Orientador

Paulo Júlio Andrade de Almeida

(Professor Associado Convidado da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto)

Coorientador

César Fernando Coelho Leal da Silva

(Professor Associado com Agregação da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto)

Porto, 2021

Na busca de igualar o vosso amor!

À Ariana
Aos meus Pais e Irmãos

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS E DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
KEYWORDS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	5
DESENVOLVIMENTO	6
1. Cor.....	6
1.1 Parâmetros colorimétricos e propriedades óticas	9
1.2 Elementos que afetam a seleção de cor	13
1.3 Visualização de cor	16
1.3.1 Metodologias de seleção e medição de cor	16
1.3.2 Escalas de cor dentária.....	17
1.3.3 Equipamentos de medição de cor.....	19
1.4 CIEL *a*b* Color Space	20
2. Perceptibilidade e aceitabilidade	22
3. Metodologia visual digital: fotografia polarizada cruzada e uso de cartão referência cinza	23
3.1 Fotografia e a aquisição de imagem	23
3.2 Filtro de luz polarizada cruzada.....	24
3.3 Cartão referência cinza	26
4. Metodologia visual digital: aplicabilidade clínica.....	28
DISCUSSÃO	29
CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ÍNDICE DE TABELAS E DE FIGURAS

Tabela I. Resultados da pesquisa bibliográfica e artigos selecionados para revisão. Pág. 5

Tabela II. Método digital quantitativo e soluções restauradoras. Pág. 28

Figura I – Representação ilustrativa do espectro electromagnético e visível. Pág. 6

Figura II – Representação ilustrativa do sistema de cor aditivo (luz) e subtrativo (pigmentos) Pág. 7

Figura III – Representação ilustrativa das dimensões de cor do sistema de Munsell. Pág. 9

Figura IV – Variações de valor, croma e matiz Pág. 10

Figura V – Representação do grau de translucidez relativa em dentes humanos: opacificação, translucidez, transparência, respectivamente da direita para a esquerda. Pág. 12

Fig. VI – Representação das escalas de cor Vitapan Classical e Vitapan 3D Master. Pág. 18

Figura VII – Diagrama representativo do espaço de cores CIEL*a*b*. Pág. 21

Fig. VIII – Filtro de polarização cruzada: Polar_eyes. Twin flash e flash anelar. Pág. 24

Fig. IX – Reflexos produzidos pela luz de flash sem filtro de polarização cruzada e o resultado livre de reflexos e brilho superficial com uso de filtro de polarização cruzada. Pág. 25

Fig. X – Cartão referência cinza. **a)** representa um semi-círculo para controlo de um posicionamento correto do cartão em relação ao objeto a estudar. Pág. 26

Fig. XI – Influência das condições de iluminação ambiente e vieses de cor que podem ser introduzidos quando se utiliza certos filtros. Através do cartão referência cinza 18%, existe um valor referência relativo a uma coordenada de cor conhecida, podendo calibrar-se uma imagem num software específico com representação mais precisa da cor . A calibração poderá ser alcançada quando as imagens são gravadas em formato RAW. Pág. 27

Fig. XII – Processo de remoção de cores irreais com recurso a um cartão referência cinza. Pág. 27

LISTA DE ABREVIATURAS

Diferença de cor (ΔE)
Perceptibilidade (PT)
Aceitabilidade (AT)

KEYWORDS

Color differences (ΔE)
Perceptibility (PT)
Acceptability (AT)

RESUMO

Introdução: Com o aumento das expectativas estéticas, os pacientes exigem cada vez mais restaurações com uma integração ótica incomparável. Como tal, médicos dentistas e técnicos de prótese dentária, devem tentar implementar metodologias de trabalho que aumentem a objectividade e precisão da análise da cor. Na prática clínica diária, a seleção de cores e a comunicação ainda são amplamente realizadas com o uso de guias e avaliação visual de cores. Este método é subjetivo e pode levar a uma má correspondência de cor com os dentes “naturais” e estruturas orais adjacentes, sendo que é influenciado por fatores externos. A alternativa viável à abordagem tradicional é alcançada através da fotografia polarizada cruzada, uso de cartão referência cinza e subsequente análise objectiva.

Objetivo: Esta revisão bibliográfica, tem como objetivo demonstrar que poderá haver melhorias na correspondência e reprodutibilidade de seleção de cor em medicina dentária, utilizando a par do registo fotográfico, instrumentos como filtros de luz polarizada cruzada, cartão referência cinza e software específicos de quantificação numérica de cor.

Material e métodos: Para a realização deste trabalho de revisão bibliográfica, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica na base de dados PubMed® (Arquivo digital de literatura biomédica e de ciências da vida do Instituto Nacional de Saúde dos Estados Unidos), tendo sido obtidos 858 artigos, limitada aos idiomas Português, Inglês, Espanhol, Francês e Alemão e publicados nos últimos 10 anos. Destes foram selecionados 32 artigos para a realização deste trabalho. Adicionalmente, foram tidos em conta mais 10 artigos, sem limites temporais, relativos às referências bibliográficas dos artigos seleccionados.

Desenvolvimento: É fundamental para uma precisa seleção da cor e sucesso estético de um tratamento reabilitador, estabilizar a fonte de luz e o balanço dos brancos. Tal consegue-se através do uso da fotografia polarizada cruzada e cartão referência cinza, obtendo-se um padrão de cor mais padronizado, e desta forma, evita-se desajustes de cor, dificuldades na comunicação de cor com o técnico laboratorial de prótese dentária, e documentação de tratamento. A precisão na tomada de decisão de cor será determinada pela perceptibilidade e aceitabilidade da restauração final.

Conclusão: O uso de filtro de polarização cruzada e cartão referência cinza com registo fotográfico e pós-processamento, resulta em uma melhor padronização da cor dentária, com melhor reprodutibilidade das características óticas e intrínsecas dos dentes “naturais” para obtenção de restaurações esteticamente apelativas.

Palavras-chave: cie Lab; polarização cruzada; cor dentária; fotografia dentária; combinação de cores; dentária; cartão de referência cinza; cor.

ABSTRACT

Introduction: With increasing esthetic expectations, patients are increasingly demanding restorations with unmatched optical integration. As such, dentists and dental technicians are responsible for developing working methodologies that increase the objectivity and accuracy of shade analysis. In daily clinical practice, color selection and communication are still largely carried out using guides and visual color evaluation. This method is subjective and can lead to poor color matching with "natural" teeth and adjacent oral structures and is influenced by external factors. A viable alternative to the traditional approach is achieved through cross-polarized photography, use of gray reference card and subsequent objective analysis.

Objective: This literature review aims to demonstrate that there may be improvements in the correspondence and reproducibility of shade selection in dentistry by using, in addition to photographic registration, instruments such as cross-polarized light filters, gray reference cards, and specific software for numerical shade quantification.

Material and methods: To write this bibliographic review work, a literature search was conducted in the PubMed® (United States National Institutes of Health's Digital Archive of Biomedical and Life Sciences Literature) database, having obtained 858 articles, limited to languages Portuguese, English, Spanish, French, and German, and published in the last 10 years. Of these, 32 articles were selected for this work. Additionally, another 10 articles were considered, without time limits, relating to the bibliographic references of the selected articles.

Development: Stabilizing the light source and the white balance is essential for accurate color selection and aesthetic success of a rehabilitative treatment. This is achieved using cross-polarized photography and gray reference card, obtaining a more standardized color pattern, and thus avoiding color mismatches, difficulties in color communication with the dental technician, and treatment documentation. The accuracy of shade taking will be determined by the perceptibility and acceptability of the final restoration.

Conclusion: The use of cross polarization filter and gray reference card with photographic registration and post-processing, results in a better standardization of the tooth shade, with better reproducibility of the optical and intrinsic characteristics of natural teeth for aesthetically appealing restorations.

Keywords: cie Lab; cross polarization; dental color; dental photography; dental shade matching; dentistry; gray reference card; shade.

INTRODUÇÃO

A crescente exigência estética em medicina dentária, por parte dos pacientes e clínicos, levou a uma melhoria no desenvolvimento de materiais cerâmicos e de resinas compostas, protocolos e tecnologias associadas. Como tal, o resultado final da estética de uma restauração direta ou indireta depende dos pressupostos mencionados e de quatro determinantes basilares para o sucesso estético: posição, contorno, textura e cor. (4)

A cor assume um papel preponderante na aceitação da restauração por parte do paciente, sendo que a noção individual da cor, o conhecimento dos fundamentos científicos referentes à mesma, a fonte de luminosidade utilizada para a análise da cor, a superfície e elementos estruturais do dente e dos materiais restauradores adotados, bem como a ótima comunicação entre o médico dentista e o técnico de prótese dentária, influenciam a precisa seleção e concomitante correspondência de cores das restaurações dentárias com os dentes referência e por conseguinte, o resultado final e o êxito de uma restauração direta ou indireta. (5, 6, 15, 32)

Além de tema constante de estudo na área de medicina dentária, a cor é considerada um fenómeno de percepção visual, subjetiva e difícil de aferir. Deste modo, e por forma a descomplicar o fenómeno cor e a simplificar e a clarificar a sua utilidade, Munsell, em 1915, desenvolveu um sistema de ordem de cor, ainda hoje válido, para classificar a mesma baseado numa tríade de dimensões: matiz, croma e valor. (3,7)

A cor em medicina dentária é a luz transmitida ou refletida a partir de uma estrutura policromática como o dente, que tem variação de matiz, valor e croma. Resulta da conjugação da cor intrínseca decorrente da dispersão e absorção da luz no esmalte e na dentina do dente e a existência de colorações extrínsecas associadas à absorção de substâncias e pigmentação. A configuração externa do dente é influenciada pela translucidez associada à camada de esmalte, as propriedades óticas da junção amelodentinária (DEC) e camada de dentina, que desempenham um papel fundamental na determinação da matiz e croma. (3, 5)

As particularidades óticas dos dentes constituem um enorme desafio na seleção da cor dentária e na recriação das mesmas nas restaurações. Como parte integrante do processo de avaliação visual, e paralelamente às variações matiz, valor e croma, também devem merecer atenção fatores relacionados com a descrição da forma, contornos e a estrutura da superfície de um dente que originam padrões de reflexão de luz e condicionam a cor geral do dente, bem como a translucidez, opacidade, opalescência e fluorescência. (3, 5, 6) Adicionalmente, as espessuras do esmalte e da dentina também afetam a cor dos dentes. (19, 45, 46)

Deste modo, a dificuldade da seleção da cor está na forma de interpretar uma estrutura policromática de diversas camadas de espessuras, opacidades e características óticas de superfície variadas, sendo que a discriminação de cores é empírica e, portanto, afetada também pelo fenômeno de metamerismo, pelo ambiente em redor (iluminação) e outras características relacionadas com o observador, como fadiga ocular, doenças, consumo de substâncias psicotrópicas, experiência e idade do mesmo. Outro problema que se coloca é a comunicação entre o médico dentista e o técnico de prótese dentária que geralmente não vê o paciente e tem que trabalhar com base no registo de cor, por vezes pouco esclarecedor, efetuado pelo médico-dentista. (5, 6, 7, 12, 29)

A seleção de cor em medicina dentária prevê dois métodos: visual e instrumental. O mais utilizado na prática clínica diária é o método de correlação visual com uso de uma guia de cores padrão por se tratar do método mais prático de executar. Estudos determinaram que este método é o mais subjectivo e dependente de fatores, como propriedades óticas do dente referência, a percepção de cor e dependência ocular do operador, condições ambientais (iluminação e intraoral), incompatibilidade e inconsistência entre diversas escalas de cor, e o material restaurador de diferentes fabricantes, seja para uso direto ou indireto. (10,12, 38) Para evitar repetições de trabalhos por medição incorreta de cor, perda de tempo de cadeira, má relação entre o médico dentista e o técnico laboratorial de prótese dentária, custos adicionais e, mais importante, a insatisfação do paciente, torna-se imprescindível a correta análise da cor, a sua ótima percepção, comunicação, transmissão de informação e reprodução em equipa. Assim, surgiram os métodos instrumentais como alternativas ao método analógico (visual), para minimizar os erros associados à análise da cor dentária, aumentando a precisão e objetividade. (4, 5, 7, 15, 20, 29, 32, 34)

Estes foram desenvolvidos para melhorar a transmissão e reprodução das características dos dentes e reduzir os problemas associados à objetividade na análise de cores. Tem como vantagem a eliminação de um certo grau de subjetividade, expressando quantitativamente a cor dos tecidos oro-faciais e dentes. Como desvantagens, apresentam custos excessivos, por necessidade de tecnologia específica, necessidade de treino por parte do observador, duração limitada da lâmpada, afetação no desempenho dos dispositivos pelas propriedades estruturais e óticas do dente e a variabilidade das propriedades da cor dos dentes. Em estudos, foram referenciados como os mais confiáveis em relação ao método visual. (16) Neste método, incluem-se os seguintes dispositivos: espectrofotómetros, colorímetros, espectrorradiómetros, *scanners* intra-orais, câmaras fotográficas digitais, *smartphones*, filtros de polarização cruzada e cartões referência cinza. (4, 5, 7,10, 16, 20, 25, 29, 32, 34)

As câmaras fotográficas digitais são ferramentas de comunicação fáceis de usar; úteis para documentar situações pré-operatórias, pós-operatórias e trabalhos finalizados; relativamente económicas em relação aos espectrofotómetros e atualmente estão presentes na maioria dos consultórios dentários. Podem ser empregues para determinar a cor dos dentes e comunicar tais informações ao técnico laboratorial de prótese dentária. (10,15, 20, 29, 34) Segundo alguns

estudos, apresentam um certo grau de subjetividade, podendo ser afetadas pela iluminação, o próprio fotossensor, pela ação de processamento da imagem e pelo espectro de absorção-reflexão dos objetos, como os dentes e tecidos orofaciais. (29, 34) Adicionalmente, com o uso de filtro de luz polarizada cruzada e cartão referência cinza, melhora-se a precisão no registo da cor e contraria-se a subjetividade e o factor iluminação na fotografia digital.

A fotografia digital, com uso de filtro de luz polarizada cruzada, fornece uma maior quantidade de informações objetivas sobre a anatomia, textura e cor do dente, para uma melhor comunicação com o técnico laboratorial de prótese dentária e execução de restaurações bem-sucedidas. Através do contacto com iluminação padronizada integrada, pode controlar-se a quantidade de luz a entrar no fotossensor da câmara, bloqueando o brilho do ambiente e flashes com captura apenas da luz difusa, e eliminando a reflexão especular produzida a partir dos dentes ou da saliva, melhorando-se desta forma, a precisão na toma da cor. A fotografia com polarização cruzada fornece um mapa cromático do dente e melhora a visualização das características óticas do esmalte e cor da base da dentina. (10, 11, 12, 16, 17, 20, 21) Adicionalmente, também o uso de um cartão de referência cinza aumenta o sucesso das restaurações diretas e indiretas, pois teremos um padrão de cor mais ajustado, através do processo de eliminação de cores irreais das fotografias e do balanço de brancos. (14, 15, 22) Por sua vez, as fotografias digitais podem ser facilmente transmitidas e armazenadas, fornecendo informações indispensáveis em relação à cor, forma, superfície e características óticas dos dentes. (10, 12, 26, 29)

Estudos anteriores demonstraram que se pode obter uma imagem padronizada com calibração pós-processamento e subsequente análise de imagem objetiva por quantificação numérica através da fotografia polarizada cruzada, uso de cartão referência cinza e um software fotográfico digital específico. Independentemente das condições de iluminação do ambiente, constitui-se um método pragmático e consistente para determinar a cor dos dentes, nomeadamente para dentes unitários, permitindo que os médicos dentistas e técnicos laboratoriais de prótese dentária trabalhem de forma previsível. (10, 12, 22)

Para determinar digitalmente a cor dentária segundo um software fotográfico digital específico e sob determinadas condições ambiente de luminosidade, em 1976, a Commission International de l'Eclairage (CIE) desenvolveu um sistema de especificação quantitativa de cor, para classificar a mesma segundo um espaço bem definido visual de cores, com base na quantificação numérica da distribuição de comprimentos de onda e coordenadas de cores. O sistema CIE $L^*a^*b^*$ localiza de forma objetiva uma cor específica no espaço através do uso de 3 coordenadas: L^* , varia do preto ao branco (0-100), que avalia a luminosidade do objeto; a^* , o croma no eixo vermelho-verde (valor positivo-negativo); b^* , o croma no eixo amarelo-azul (valor positivo-negativo). Cada cor tem um valor numérico específico, que proporciona uma caracterização mais objetiva e contribui para a correta transmissão das cores. (10, 15, 20, 29, 31, 32, 33, 34)

A variação de cores num mesmo objeto, no espaço de cores da CIE L*a*b*, pode ser comparada pela diferença de duas cores através do ΔE , que equivale à distância Euclidean entre dois pontos num espaço tridimensional. Desta forma, o ΔE determina se a diferença de cores entre dois pontos é perceptível e/ou aceitável. A perceptibilidade refere-se à identificação da diferença de cor entre um dente referência e uma restauração adjacente, e a aceitabilidade corresponde à aceitação da cor dessa mesma restauração. (8, 9)

Chen *et al.* (2012), refere que o método visual não deve ser dissociado do método instrumental, com a finalidade de proporcionar-se uma melhor perceptibilidade e aceitabilidade da cor, existindo complementaridade entre ambos os métodos. Facto é que todos os instrumentos de medição de cor "objetivos" foram desenvolvidos com base na resposta visual do "observador padrão". (31) Desta forma, e à luz da literatura atual, esta revisão bibliográfica direccionou-se, na descrição concisa das características da cor dentária e propriedades óticas associadas e, neste contexto, na tentativa de descrever e relacionar as técnicas utilizadas para seleção da cor dentária, nomeadamente os métodos visual e instrumental e, em concreto, determinar de que modo é que o uso de filtro de luz polarizada cruzada e cartão referência cinza melhora a perceptibilidade e aceitabilidade dos tratamentos restauradores.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho de revisão bibliográfica foi elaborado com base numa pesquisa orientada através da base de dados MEDLINE (Pubmed®), tendo sido utilizados os seguintes termos MESH: “Dental color” [Mesh], “Dental shade matching” [Mesh], “cie Lab” [Mesh], “Shade” [Mesh], “Dental photography” [Mesh], “Cross polarization” [Mesh], “Dentistry” [Mesh], “Gray reference card” [Mesh]. Foram seleccionados artigos relevantes para o tema, publicados nos últimos 10 anos, com texto integral, nos idiomas Português, Inglês, Espanhol, Francês e Alemão. Como critérios de inclusão consideraram-se apenas estudos realizados em humanos e foram incluídos na pesquisa documentos do tipo revisão sistemática, revisão bibliográfica, meta-análises e ensaios clínicos. Como critérios de exclusão consideraram-se artigos irrelevantes para o tema e artigos duplicados.

Numa pesquisa inicial obtiveram-se 858 artigos. Da primeira análise, foram descartados todos os artigos irrelevantes para o tema e os artigos duplicados. Resultaram 112 artigos tendo, após leitura dos respectivos títulos e resumos, sido seleccionados 32 artigos, de acordo com a sua adequação para o tema em questão. Após leitura integral de todos os artigos seleccionados para revisão, e por forma a conseguir mais dados acerca de assuntos particulares do tema, foi usada a plataforma MEDLINE (Pubmed®) tendo sido, deste modo, contemplados mais 10 artigos, sem limites temporais, relativos às referências bibliográficas dos artigos previamente seleccionados. Para a elaboração final deste trabalho de revisão bibliográfica resultaram 42 artigos. Encontra-se detalhado na tabela I o resultado da pesquisa bibliográfica.

Complementarmente, foram seleccionados os livros “*Fundamentals of Color: Shade Matching and Communiation in Esthetic Dentistry*” (Chu SJ, Devigus A, Paravina RD, Mielezsko AJ.) e “*Mastering digital dental photography*” (Wolfgang Bengel), um artigo de investigação médico-dentário e uma dissertação intitulados “*Avaliação da susceptibilidade à coloração das estruturas dentárias por cimentos biocerâmicos – Estudo in vitro.*” (Costa et al., 2019) e “*Análise da estabilidade de cor de uma resina bis-acrílica submetida a diferentes tratamentos de superfície e corantes alimentares.*” (Macedo et al., 2018), respectivamente.

Tabela I. Resultados da pesquisa bibliográfica e artigos seleccionados para revisão.

Palavras - chave	Resultados obtidos	Artigos relevantes	Artigos duplicados eliminados	Artigos eliminados pelo resumo	Artigos eliminados pelo texto	Artigos seleccionados para revisão
(“Dental color” [Mesh])	511	20	4	9	3	4
(“Dental shade matching” [Mesh])	114	72	10	37	12	13
(“cie Lab” [Mesh] AND “Shade” [Mesh])	37	12	3	2	3	4
(“Dental photography” [Mesh])	119	14	2	4	7	1
(“Cross polarization” [Mesh] AND “Dentistry” [Mesh])	62	12	3	2	1	6
(“Gray reference card” [Mesh])	15	5	1	0	0	4

DESENVOLVIMENTO

1. Cor

A cor é descrita como um fenómeno de difícil compreensão e percepção visual, que a partir de determinado objeto reflete ou transmite a luz e resulta da conjugação de forma de arte com a ciência. (1, 4, 6)

Em 1666, Isaac Newton propôs o primeiro esquema de cores, tendo sido um dos pioneiros a perceber este fenómeno e a sua fisiologia. Durante um longo período foi contestado pela comunidade científica, a propósito da temática em questão e das teorias físicas associadas. Mais recentemente, graças ao trabalho árduo de investigação científica, o conceito de cor foi desmistificado, clarificado e especificado. (1, 6)

Com base nos postulados de Newton, foram identificadas as cores primárias do espectro do visível. Através de um prisma, Newton observou a mudança de direção de um feixe de luz branca (refração), descompondo-a em faixas de cor com determinados comprimentos de onda (Fig. I). A luz é a radiação eletromagnética que pode ser detectada pelo olho humano através de células recetoras específicas (cones e bastonetes), sendo que a luz branca encontra-se no espectro de luz visível electromagnético, entre os 400 e 700 nm. (1)

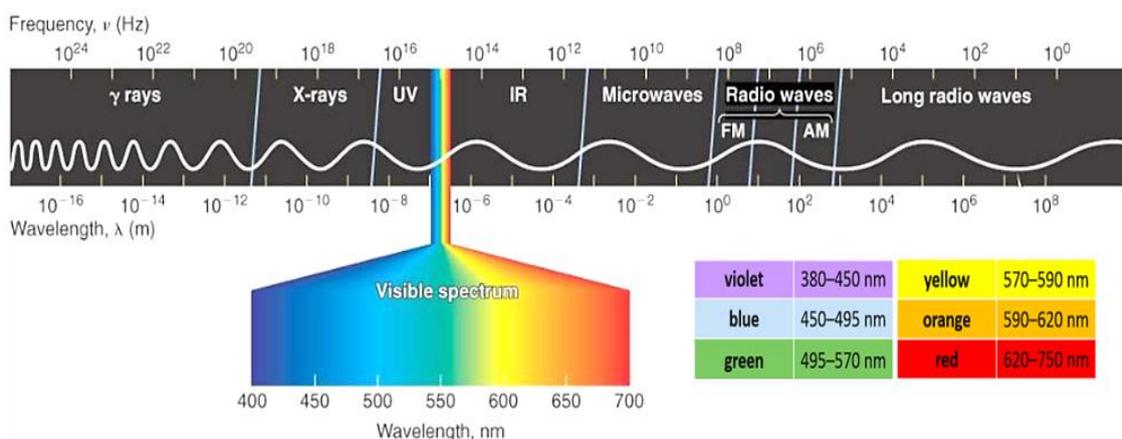


Fig. I – Representação ilustrativa do espectro electromagnético e visível. (Adaptado de Anders Ahlbom *et al*, 2008. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: Light Sensitivity, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

Quando determinada área de comprimento de onda de luz, é refletida e atravessa o olho humano, produz-se uma sensação de cor. (6) Se determinado objeto apresenta uma cor específica, tal deve-se às propriedades do mesmo e à interação com um feixe de luz branca, proveniente de uma fonte de luz, entretanto modificada. A percepção visual por um indivíduo de determinado objeto depende da interação referida. Não existe cor sem luz. (1, 46)

O espectro de luz visível é composto por três cores primárias: azul, vermelho e verde. Estas são aditivas (sistema RGB) e, quando combinadas, podem resultar noutras cores. Quando as três cores são proporcionalmente combinadas, podem dar origem à cor branca. Da mistura de duas cores primárias, resulta uma cor secundária mais clara. As cores secundárias do sistema aditivo (RGB) são o azul ciano, magenta e amarelo. Através destas alcançam-se as cores dos pigmentos opacos (sistema subtrativo). O sistema subtrativo (CMYK) é constituído pelas cores secundárias aditivas. A mistura de cores subtrativas ocorre quando a luz é refletida de uma superfície, ou filtrada por um objeto translúcido, resultando numa cor complementar à primária restante. Se as três cores primárias do sistema subtrativo forem proporcionalmente misturadas, adquire-se o cinza neutro. Estes dois sistemas complementam-se (Fig. II). (6, 46)

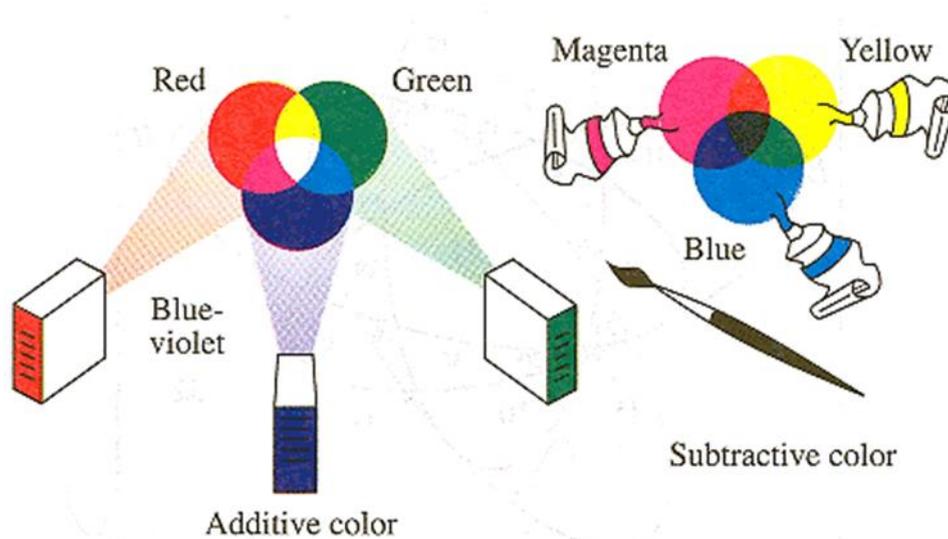


Fig. II – Representação ilustrativa do sistema de cor aditivo (luz) e subtrativo (pigmentos). (Adaptado de <https://quizlet.com/342612936/nature-of-light-subtractive-and-additive-color-mixing-terms-flash-cards/>, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

Para melhor reproduzir as características de cor de um dente “natural” numa restauração, é essencial compreender os conceitos de sistemas aditivo e subtrativo de cor, inerentes à produção de restaurações diretas ou indiretas, bem como fenômenos associados. Na produção de restaurações diretas com resina composta, ou na produção de restaurações indiretas em cerâmica, é indispensável selecionar a cor correta, uma vez que os materiais mencionados possuem graus distintos de translucência, e ao incluir camadas sucessivas, seja de resina composta ou cerâmica, são acrescentados efeitos de cor por interações de luz. (4) Se a cor for indevidamente transmitida ao técnico de prótese dentária, poder-se-á induzir o mesmo em erro, e, por consequência, conduzir ao fracasso da restauração por má reprodutibilidade.

É pessoal a seleção da cor, e, por conseguinte, cada indivíduo entende o fenômeno cor de forma distinta. (1) Como tal, e por forma a contrariar a subjetividade na decisão da cor dentária associada à percepção visual de cada indivíduo, em 1931 Clark baseou-se na escala de cores de Munsell para organizar as mesmas de uma forma mais padronizada. No mesmo período de tempo, a Commission International de l’Eclairage publicou os primeiros estudos referentes à padronização de correspondência das cores baseado num modelo matemático para quantificar a posição da cor num determinado objeto. (6, 44)

1.1 Parâmetros colorimétricos e propriedades óticas

Habitualmente, a cor é descrita segundo o espaço tridimensional de cores de Munsell. No início do século XX, Albert H. Munsell constatou que existia uma profunda relação entre as diversas cores do espectro visível, facto que o levou a estabelecer um sistema estruturado das diferentes cores para uma maior precisão e especificação na identificação destas, através de três dimensões. (1) As dimensões presentes no espaço de cores de Munsell são: matiz, valor e croma(6), que constituem elementos objetivos da cor. (3, 46)

A cor é determinada primeiramente pelo atributo do valor, seguido do croma e, por último, o matiz. Os atributos de valor, croma e matiz, estão dispostos no espaço tridimensional de cores de Munsell no eixo vertical, no eixo radial e no eixo circular, respectivamente (Fig. III). (6) De acordo com Chu *et al.* (2011), a translucidez não consta como uma das dimensões no sistema de cores de Munsell, contudo, é um dos fatores mais determinantes e vitais para o sucesso de qualquer restauração estética.

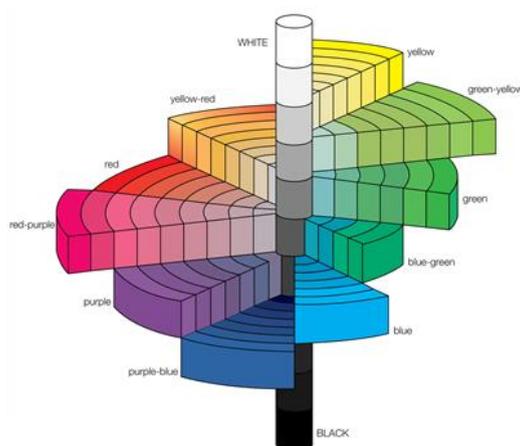


Fig. III – Representação ilustrativa das dimensões de cor do sistema de Munsell. (Adaptado de <https://www.britannica.com/science/Munsell-color-system>, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

Matiz é a característica de percepção de uma cor que permite qualificá-la e diferenciá-la em relação a outra cor. Representa a tonalidade da cor, e corresponde a determinados comprimentos de onda no espectro visível da luz direta ou refletida pelos objetos, resultando numa determinada cor, desde o vermelho ao violeta. (4, 6) Descreve pigmentos e cores dentárias dos dentes "naturais" ou das restaurações dentárias, e é representado por A, B, C ou D nas escalas de cor dentária para escolha de cor. (6) A tonalidade de um dente é determinada principalmente pela cor base da dentina. (3)

O **valor** está associado ao matiz, e determina a clareza ou escuridão de uma cor, assim como a proporção de luz refletida de um objeto, distinguindo-o numa escala de branco a cinza/preto. (4, 6) Quanto maior a proporção de luz refletida, maior será o valor e vice-versa. É frequentemente denominado de brilho ou luminosidade de uma restauração. (3) Restaurações com menor quantidade de cinza e maior grau de clareza apresentam um alto valor ou maior luminosidade. Restaurações que apresentem maior quantidade de cinza e, conseqüentemente, maior grau de escurecimento, transmitem menos luminosidade e possuem menor valor. (6)

Perante uma fonte de luminosidade igual, o **croma** expressa o grau de desvio da cor de um objeto (4) e determina o grau de saturação ou intensidade do matiz (cor). Sem matiz, não existe croma. (3) A intensificação da cor de determinado objeto sucede-se à adição de pigmentos, levando a um incremento do grau de escurecimento. Com a adição do croma, o valor baixa por aumento do grau de escurecimento. Reduzir o croma ou potenciar a refletividade de uma face, resulta num aumento do brilho ou luminosidade de uma restauração. O croma e o valor são atributos da cor inversamente proporcionais. (6)

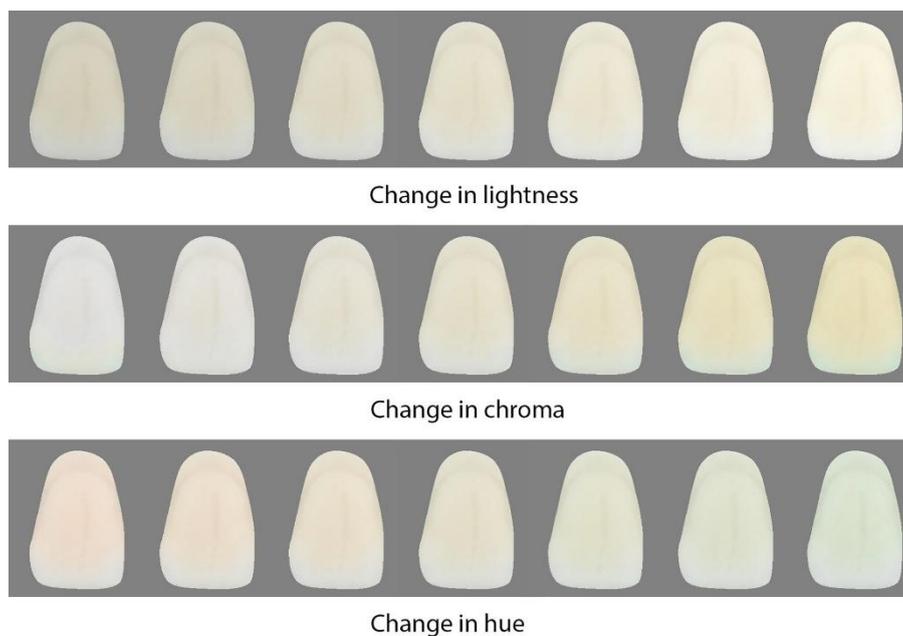


Fig. IV – Variações de valor, croma e matiz (Adaptado de Pan *et al*, 2018. Tooth color and whitening - digital technologies, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

O dente é uma estrutura policromática, de múltiplas camadas e espessuras variadas (3) e, além das variações objectivas de matiz, valor e croma, também apresenta variações descritivas de superfície e particularidades óticas subjetivas de superfície que podem afetar a percepção e seleção da cor. (5) A luz que incide no dente é refletida, proporcionando a observação da cor pelo olho humano, contudo, o grau de difusão da luz é afetado pelas variações descritivas de superfície do dente, como a forma, contorno, textura de superfície e brilho, assim como as características óticas subjetivas de superfície: semitranslúcidez, opalescência e fluorescência.

Brilho é a propriedade ótica da superfície de um dente ou de determinado objeto, como uma restauração, que envolve reflexão especular e é responsável pelo brilho espelhado. Por sua vez, o espelhamento é referido como o processo pelo qual a luz incidente sobre um dente referência ou determinado objeto, como uma restauração, é redirecionada, pois atravessa a superfície destes, que tipicamente se apresenta de forma granular, fibrosa ou áspera. (4)

A **textura da superfície** descreve as características físicas da superfície de esmalte de um dente “natural” ou de uma restauração (3), e determina o sucesso estético da mesma, ao fazer-se incidir certa quantidade e direção de luz durante a tomada de cor, que é posteriormente refletida na superfície do dente referência. (5) Está estreitamente relacionada com a propriedade descritiva de superfície do dente “brilho”, e, portanto, envolve reflexão especular. (4) Habitualmente os dentes jovens apresentam mais especificidades superficiais faciais, com presença de sulcos de desenvolvimento, lóbulos, periquimácias e depressões. Com o avançar do tempo, haverá, naturalmente, um desgaste destas mesmas faces, resultando em superfícies polidas e, conseqüentemente, mais lisas, por processos físicos e químicos de atrição, abrasão e erosão. (3) A textura dos dentes “naturais” adjacentes deve ser mimetizada na restauração, para produzir um padrão de refletância semelhante, contudo, é difícil de alcançar tal elemento estrutural e a cor, pois a luz, ao interagir com o dente, é refletida sobre as características de superfície mencionadas, sendo esta propriedade mais visível em dentes jovens, o que se traduz no fenômeno de reflexão especular e dificulta o processo de seleção de cor e a transmissão de informações exactas junto do técnico de prótese dentária, para a reprodução fiel e bem sucedida de restaurações dentárias. (5)

Assim como as três dimensões do sistema de Munsell, matiz, valor e croma; também a **translucidez** é considerada uma propriedade dos dentes humanos, embora independente da cor. (6) Definida entre transparência e opacificação da luz (Fig. V)(3, 6), é uma propriedade ótica subjetiva, que se caracteriza pela dispersão parcial que um feixe de luz sofre ao ser transmitido a um determinado material e ao atravessar o mesmo. (6, 44) Os materiais translúcidos, como restaurações dentárias ou tecidos dentários, são distinguidos por apresentarem relativa translucidez e, portanto, transmissão difusa da luz com espalhamento desta no interior dos materiais. Os materiais transparentes permitem a transmissão completa da luz. Quanto maior a incidência e quantidade de luz visível a atravessar um objeto, maior a sua transparência. (3, 5) Inversamente, os materiais opacos admitem a reflexão completa e absorção da luz visível, mas não transmitem. (4)

A um aumento da translucidez corresponde uma diminuição do valor, com menor reflexão de luz e aumento da quantidade de cinza. De toda a face do dente humano, a área incisal é a que apresenta maior translucidez, sendo que a translucidez da camada de esmalte varia segundo o ângulo de incidência, textura e brilho da superfície, comprimento de onda do feixe de luz e índice de desidratação. (3, 5)

O aspecto visual de uma restauração estará comprometido por falha na medição da translucidez e cor. As escalas de cor, apesar de úteis, não são adequadas para avaliar a translucidez. (1)

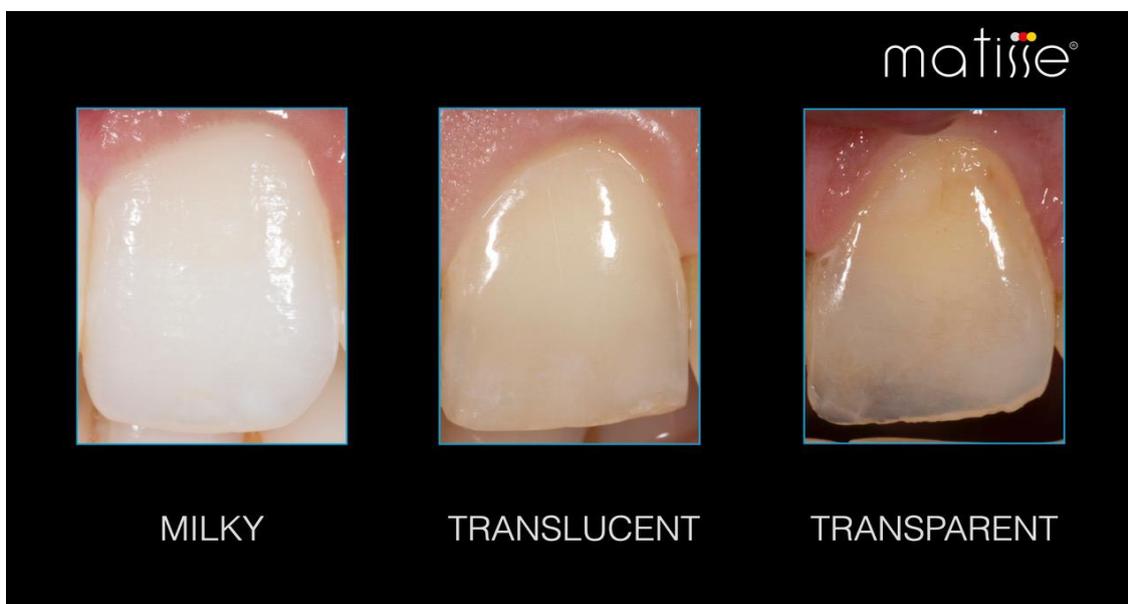


Fig. V – Representação do grau de translucidez relativa em dentes humanos: opacificação, translucidez, transparência, respectivamente da direita para a esquerda. (Adaptado de <https://www.matisse.ai/user-guide/doc/>, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

Opalescência é um fenômeno ótico subjetivo, no qual um material apresenta um comportamento dicróico, aparentando ter determinada cor quando a luz é refletida por ele, e outra, quando existe transmissão da luz através dele. (3, 5) Um material opal, como os cristais de hidroxiapatita do esmalte, age como um prisma e refrata a luz transiluminada com diferentes comprimentos de onda, aparecendo vermelho-amarelado na luz transmitida e azul na luz espalhada. (4) Os efeitos opalescentes do esmalte conferem profundidade ótica e vitalidade ao dente e o esmalte, embora incolor, aparenta ser azulado. (6) Para reproduzir tais efeitos nas restaurações estéticas, o médico dentista precisa de transmitir as devidas informações para o técnico igualar os efeitos referidos.

Fluorescência é referida na literatura como uma propriedade ótica subjetiva, onde existe absorção de luz ambiente de determinado comprimento de onda, de uma região espectral normalmente próxima da região do ultra-violeta por um material, e a emissão desta noutra comprimento de onda, frequentemente mais longo. (4) A luz é absorvida e emitida de volta como luz azul (extremidade do espectro visível). Ocorre maioritariamente na camada de dentina de um dente, por esta possuir maior quantidade de material orgânico, embora também esteja presente na camada de esmalte em menor intensidade. Quanto mais fluorescência a dentina apresentar, menor é o croma de um dente ou restauração. (6)

1.2 Elementos que afetam a seleção de cor

Na prática clínica diária, a seleção de cores e a comunicação ainda são amplamente realizadas com recurso a guias e avaliação visual de cores. Tal método depende da percepção visual e, apesar do sistema visual humano detectar pequenas variações de cor (35), por se tratar de uma técnica subjetiva, determinadas variáveis podem afetar a percepção da cor. As condições ambientais de iluminação e o observador desempenham um papel fundamental na percepção e análise da cor. (1)

O factor observador está relacionado com a percepção da cor e pode ser influenciado por: experiência profissional, idade, género, condição psicológica, doenças crónicas, daltonismo, fadiga ocular, existência de glaucoma, nutrição, consumo de medicamentos e/ou substâncias psicotrópicas e componente emocional. São determinantes para a acuidade visual e a correta avaliação da cor. (6, 21, 35, 41, 44)

A educação e o treino afetam a qualidade na tomada de registo da cor. A diferença reside entre a experiência, educação e treino do clínico. Segundo Clary *et al.* (2017), a conjugação de educação e treino traduziu-se em melhores resultados na correspondência de cores.

O rigor da percepção das cores depende do olho humano, que é muito sensível, e de um estímulo de luz. Poderá ocorrer fadiga ocular e diminuição da resposta do olho, se aliado à observação de uma única cor houver um estímulo constante de luz. (6, 35)

A idade do observador também é determinante para a escolha e avaliação da cor. Com o envelhecimento, ocorre o escurecimento natural da córnea que, naturalmente, afeta a percepção das cores. (5) De acordo com Dudea *et al.* (2016), o género afeta a percepção de cores em indivíduos com défice visual, predominantemente em homens (8%); em mulheres 0,5%. Gasparik *et al.* (2015), aponta o sexo feminino como o que melhor resultado apresentou na escolha e seleção de cor sob condições de luz do dia. Pelo contrário, Clary *et al.* (2017) e Igiel *et al.* (2017) referem que ambos os sexos apresentam a mesma prestação na correspondência de cores.

O fenómeno de metamerismo pode igualmente influenciar a percepção e seleção da cor. (3, 6) É o fenómeno que explica como duas cores coincidem sob uma situação particular de iluminação, mas apresentam reflexão espectral distinta. (1, 6) Sikri *et al.* (2010) refere que este fenómeno pode ser contornado, recorrendo a condições de iluminação alternativas, como a luz “natural” do dia e a luz fluorescente.

As condições de iluminação desempenham um papel fundamental na percepção das cores e podem facilmente causar variabilidade. (35, 37) Quando a luminosidade é intensa, a pupila contrai. O inverso sucede quando a fonte de luminosidade é reduzida. A intensidade e qualidade da fonte de luz constitui um fator crítico para a percepção e determinação da cor do dente. (1, 6)

Idealmente, para um registo preciso de cor, é necessário fazer uso da fonte de luz natural. Normalmente a que ocorre por volta do meio-dia. Contudo, a luz não é constante e durante o dia poderá variar em intensidade e temperatura da cor (1000-20000° K). (37, 40) Deste modo, pela inconsistência da luz natural, e havendo ausência de condições ideais em determinados períodos do dia, a iluminação artificial surge como uma alternativa fiável. A luz deverá ser difusa e possuir um espectro balanceado na banda do visível (370 a 780 nm), temperatura da cor a rondar os 5500°K e índice de reprodução de cor > 90. (37, 44) É aconselhável fazer uso de dispositivos de correção de luz, e que também o técnico trabalhe sob condições similares de iluminação para atenuar o efeito de metamerismo e para a reprodutibilidade da cor e o sucesso restaurador. (36, 37)

A percepção da cor é também afetada pelo reflexo ou interferência das cores circundantes e cores de fundo (condições ambiente). (6) Incluem-se fundo da cavidade oral (normalmente preto), diques de borracha, contrastadores, tecidos oro-faciais, roupas de paciente com efeitos, maquilhagem e cores circundantes de equipamentos e paredes. Segundo alguns estudos, desaconselha-se o uso de maquilhagem e cores aberrantes durante o registo de cor, e é sugerido fazer uso de fundos cinza como o ideal para a seleção de cor e redução da fadiga ocular, e também fundos rosa, por forma a anular as interferências extrabucais e intraorais da cor. (37, 38)

A presença de pele, lábios e, em particular, do tecido gengival, afetam a cor das coroas de cerâmicas puras, sobretudo em torno das áreas cervicais das mesmas, por efeitos óticos relacionados com o ambiente avermelhado. A gengiva artificial é recomendada para uso no laboratório de prótese dentária, ao combinar e replicar a cor do dente em restaurações de cerâmica, com o fim de anular a influência deste efeito ótico. (42)

A percepção visual da cor é igualmente afetada pela desidratação. É o efeito responsável por provocar o clareamento dos dentes, fazendo com que fiquem brancos devido ao aumento da opacidade do esmalte. Este efeito acontece porque os espaços existentes entre prismas de hidroxiapatite ficam cheios de ar em vez de água, desidratando e impedindo o espalhamento da luz de prisma em prisma. O esmalte desidratado apresenta uma menor translucidez. Como tal, acontece reflexão da luz e conseqüentemente a camuflagem da cor da camada de dentina subjacente. As regiões cervical, média e incisal de um dente apresentam um padrão e grau de mudança de cor semelhantes devido à desidratação. (43)

Baseado em estudos clínicos, a desidratação de um dente ocorre depois de 10 minutos após exposição ao ar e com alterações visíveis nas cores dos dentes, ultrapassando o limite de aceitabilidade, para serem clinicamente aceites por pelo menos 50% dos observadores. Ao ocorrer a mudança da matiz, e de acordo com os estudos clínicos mencionados, os dentes precisam de mais de 15 minutos para recuperar a cor original. (43, 44) De acordo com Suliman *et al.* (2019) e Hein *et al.* (2020), é altamente recomendável realizar a seleção de cores no início da consulta, antes que os dentes sejam expostos à desidratação. Caso contrário, ocorre alteração da cor dos dentes “naturais” e, portanto, inconsistência no registo de cor dentária e consequente insucesso da reabilitação.

Diariamente ocorre pigmentação extrínseca dos dentes, derivado da alimentação e hábitos de higiene oral de um indivíduo. Tal facto pode interferir na perceção e registo da cor dos dentes, se não houver consultas regulares de higiene oral. Pereira *et al.* (2020), sugere que a profilaxia dentária deve ser realizada antes dos tratamentos restauradores estéticos, pois influencia a análise da cor do dente com um maior efeito na perceção de cor.

A conjugação entre perceção, condições de iluminação, educação, conhecimentos, habilidades e métodos na seleção de cor é crucial para uma correspondência bem-sucedida de cores e sucesso de qualquer restauração estética. (40)

1.3 Visualização de cor

A cor pode ser determinada por dois métodos distintos: visual e instrumental. O primeiro, é subjetivo e qualitativo. O segundo, é objetivo quantitativo.

1.3.1 Metodologias de seleção e medição de cor

Na prática clínica diária, a seleção de cores e a comunicação ainda são amplamente realizadas através do método convencional, com o uso de guias de escalas de cor e avaliação visual de cores. É a técnica mais comum, econômica e rápida de executar, mas também a mais subjetiva, influenciada por diversas variáveis já descritas, e as guias de escalas de cores não correspondem com precisão às cores da dentição “natural” (34, 35) Adicionalmente, a comunicação é limitada e o técnico de prótese dentária geralmente não vê o paciente e tem que trabalhar com base no registro de cor, por vezes pouco esclarecedor, efetuado pelo médico-dentista.

Este método poderá ser complementado recorrendo-se a métodos instrumentais (31), por forma a evitar incoerências no registro de cor, para obtenção de melhores resultados e redução da subjetividade com aumento da objetividade. Depende de uma fonte de luz, um objeto e o observador. Uma descrição da cor dentária com maior detalhe melhorará a qualidade da cor das restaurações diretas e indiretas.

Fazem parte dos métodos instrumentais equipamentos eletrônicos que possuem uma fonte de luminosidade padrão e avaliam elementos de cor que o olho humano não vê. Estes elementos são reproduzíveis, mediante dados adquiridos, a partir dos instrumentos e parâmetros do sistema CIEL*a*b* (1976), com posterior quantificação numérica em softwares específicos (Adobe Photoshop, Lightroom, eLAB, Matisse). (10-11) O espaço de cor CIEL*a*b* é referenciado em estudos como o mais objetivo e próprio para propósitos científicos. Contém, no seu espaço, uma área numérica que exprime e referencia a cor de um objeto através das coordenadas cartesianas L*a*b*. Não é o único sistema de cores existente, porém, é o mais utilizado para análise instrumental de cor. (7-8)

Alternativamente, existe um outro sistema de quantificação de cor, designado de CIELCh*, que é vantajoso em relação ao sistema anteriormente descrito, por se tornar mais conveniente para comparação com sistemas utilizados no passado, como o sistema de cores de Munsell. Paralelamente ao sistema CIEL*a*b*, o espaço de cores é similar, porém, as cores são descritas de acordo com as coordenadas cilíndricas L* (luminosidade da amostra) com valores de 0 (preto) a 100 (branco), C*(saturação do croma) que representa a distância do eixo neutro, h* (medida da matiz) representada por um ângulo de 0° a 360°. Os sistemas CIEL*a*b* e CIELCh* podem ser convertidos entre si mesmos. A conversão dos valores entre o sistema de cores CIEL*a*b* para CIELCh* é efetuada com recurso a fórmulas matemáticas descritas: $C^* = \sqrt{a^2 + b^2}$; $h^* = \arctan(b/a)$. (7)

1.3.2 Escalas de cor dentária

As escalas de cor mais comumente utilizadas são as escalas Vitapan Classical. A escala de cor Vitapan Classical (VITA® Zahnfabrik, Alemanha) é utilizada por rotina por técnicos de prótese dentária e médicos dentistas, tanto para efeitos de comunicação, como para atingir a cor das restaurações. É empírica, e baseada em amostras representativas de cores de dentes e muito semelhante à escala apresentada pela marca em 1956, caracterizada por 16 guias de cor organizados em quatro grupos (A-D) de diferente matiz (4, 16). A matiz “A” corresponde à cor laranja; “B” a amarelo; “C” a amarelo/cinza; “D” a laranja/cinza. A comunicação através desta escala é realizada com base nos parâmetros estabelecidos no sistema de cor de Munsell, com utilização de três dimensões: valor para expressar a luminosidade, matiz para identificar a cor dominante, e croma para expressar a saturação da matiz (Munsell, 1961). O croma e o valor são categorizados de 1 a 4, sendo que 1 apresenta menor croma/maior valor e 4 maior croma/menor valor. Esta comunicação é dependente da capacidade dos observadores de distinguirem diferenças de cor, sendo assim fortemente subjetiva (32).

Adicionalmente, a distribuição espacial neste sistema é irregular no espaço de cor dentário, não sendo assim possível relacionar de forma objetiva duas cores e avaliar a diferença entre ambas. A irregularidade da distribuição espacial é já um problema frequente deste tipo de escalas de cor. Como forma de tentar colmatar este problema e de eliminar a subjetividade associada para avaliar com maior precisão a cor, no final da década de 90 foi instituída a escala de cor Vitapan 3D Master Toothguide, (VITA® Zahnfabrik, Germany) constituída por 29 guias de cor, agrupadas em seis grupos de luminosidade diferente, que se mantém constante dentro de cada grupo. Uma vez que as três dimensões da cor são consideradas iguais, esta escala permite, com base num critério científico, uma distribuição mais ordenada das cores dentro do espaço de cor dentária (32) e uma medida numérica objetiva conforme os princípios do sistema recomendado pela Commission Internationale d’Eclairage (CIE) CIELab*, desde 1976 (4) (Fig. 1.4).

A escala VITA® 3D Master permite apurar a correção de cor, fazendo menção a um parâmetro da cor de cada vez, em vez de dois em simultâneo, como se sucede nas escalas de cor clássica, referidas anteriormente, começando por avaliar o parâmetro valor, seguido do parâmetro croma e por fim da matiz. (4)

As escalas mencionadas, permitem determinar com maior facilidade os parâmetros matiz e croma e com menor facilidade o parâmetro valor. A determinação errónea da cor, deve-se em muito devido ao desfaseamento da análise do parâmetro valor. (4)

Não obstante as várias vantagens desta nova escala, a sua utilização tem sido reservada. Uma das razões para tal prende-se com o facto de, por ser uma abordagem diferente da usada tradicionalmente, exige uma aprendizagem da sequência de seleção de cor (4, 32). Além disso, a marca VITA apenas utiliza esta codificação na identificação de massas de cerâmicas da própria marca, condicionando assim a sua aplicabilidade.

De acordo com Gurrea *et al.* (2016), os técnicos laboratoriais de prótese dentária podem usar cerâmicas de outras marcas que normalmente fornecem as próprias escalas de cores adaptadas e neste aspeto, os médicos geralmente usam as guias de cor da Vitapan Classical ou Vitapan 3D Master, havendo desde logo subjetividade e incongruência associada por se usar uma cerâmica de diferente marca que a escala de cor usada para seleção da cor, resultando em insucesso estético da restauração.

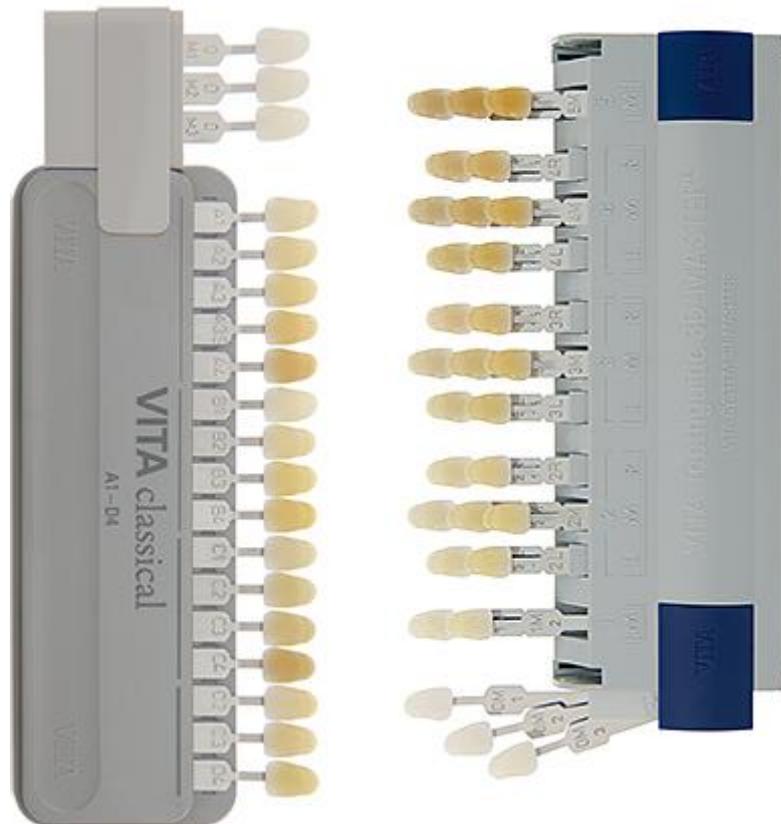


Fig. VI – Representação das escalas de cor Vitapan Classical e Vitapan 3D Master. (Adaptado de <https://www.vita-zahnfabrik.com/en/VITA-shade-guides-31233,98477.html>, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

1.3.2 Equipamentos de medição de cor

De forma a não influenciar a seleção de cor por fatores externos, como por exemplo o tipo e qualidade da luz e a experiência do observador (4, 36), foram criados alguns equipamentos eletrônicos, que se podem dividir em duas categorias: colorímetros e espectrofotômetros (4, 20, 32). Uma vez que se tratam de equipamentos muito rigorosos, têm sido empregues em estudos de translucidez e propriedades de cor (4, 33).

Os colorímetros são aparelhos simples comparativamente aos espectrofotômetros, e economicamente mais vantajosos, sendo utilizados para medição da cor, de acordo com três eixos, a partir de um filtro que simula o olho humano e filtra a luz nas zonas vermelha, verde e azul do espectro visível (4, 31, 30, 33). Contudo, estes equipamentos não são tão utilizados quanto os espectrofotômetros em trabalhos científicos sobre a cor. Como os colorímetros não extraem a totalidade da informação das curvas do espectro, os dados são insuficientes para revelar os efeitos em $L^*a^*b^*$ ou $L^*C^*h^*$. (30, 33)

Comparativamente, os espectrofotômetros fixos, assim como os portáteis, detectam o espectro visível por completo (tipicamente entre 400 e 700 nm). (30, 32) Com base neste espectro é possível calcular as funções de tri-estímulo XYZ e posteriormente os valores $L^*a^*b^*$ ou $L^*C^*h^*$, com o uso de funções de comparação de cor com iluminação (D65) e observador padrão. Um espectrofotómetro contém uma fonte de radiação ótica, um meio de dispersão de luz, um sistema ótico de medição, um detector e um meio de conversão da luz. (30, 31)

Os dados aferidos por estes equipamentos são convertidos para vários sistemas de medição de cor (4) com descrição de todas as cores visíveis, uma vez que os equipamentos registam a quantidade de luz refletida ou transmitida por determinado objeto, e transformam, com exatidão, essa luz em curvas espectrais, o que permite uma análise correta e precisa dos dados (30-33).

De acordo com Chu et al. (2010), os espectrofotômetros demonstraram uma melhoria, de 93,3% na objectividade da escolha de cor e de 33% na precisão, comparando com as observações efetuadas pela técnica convencional. (31). A repetibilidade da escolha da cor foi também superior com o uso de espectrofotómetro (83,3%), comparando com a mesma por um método convencional (26,6%). (4)

Os Colorímetros e espectrofotômetros proporcionam precisão na correspondência visual de cores devido à alta reprodutibilidade intra-dispositivo (acima de 96%), contudo a reprodutibilidade inter-dispositivo é baixa (67-93%). Tal facto, deve-se à inexistência de conformidade entre o mesmo tipo de dispositivos com o sistema de medição de cores CIEL $^*a^*b^*$, dificultando o seu uso clínico. (16) Além disso, requerem tecnologia específica e cara, nem sempre disponível; por vezes o desempenho destes é afetado, devido ao policromatismo, translucidez, topografia anatómica variada dos dentes naturais, o efeito de perda de borda e o envelhecimento da lâmpada. (11, 15, 20, 32, 34)

Apesar da complexidade dos espectrofotômetros, dos problemas descritos, da dificuldade no seu uso e calibração, e de habitualmente serem utilizados na medicina dentária exclusivamente em investigação, autores sugerem o uso de fotografia digital como instrumental alternativo para a medição precisa de cor.

Ao contrário dos espectrofotômetros e colorímetros, a fotografia digital, está presente em maior parte dos consultórios e laboratórios médico-dentários. Embora ainda apresentem um certo grau de subjetividade na seleção de cores comparativamente com outros instrumentos de medição de cor já mencionados, uma descrição de cor dentária com maior precisão a fim de melhorar a eficácia da avaliação da cor do dente, é assegurada através da associação da fotografia digital com instrumentos como filtros de polarização cruzada, cartão referência cinza e software específicos de quantificação numérica. (15, 16, 19, 34)

1.3 CIEL*a*b* Color Space

Em 1931 a Comissão Internationale de l'Eclairage desenvolveu o sistema de cores CIEL*a*b* para estudos científicos sobre a cor, tendo, desde 1976, altura em que foi apresentado, sido utilizado como sistema de referência. Naturalmente houve uma evolução de determinadas particularidades do CIEL*a*b* 1931 para o CIEL*a*b* 1976. Baseia-se na uniformização da cor, fontes de luminosidade e do observador. É um sistema de coordenadas retangular, (21) que expressa objetividade, lógica e cores, com base na quantificação da distribuição de comprimentos de onda e quanto à sua localização no espaço de cores CIEL*a*b* através das coordenadas cartesianas L^* , a^* e b^* , de números e cálculo da diferença entre cores de dois objetos (ΔE) a partir da fórmula CIE, 1976 ($\Delta E_{ab} = [(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2]^{1/2}$) e posterior correspondência com a percepção visual da cor.

Cada cor do sistema CIEL*a*b*, possui um valor numérico específico, permitindo uma caracterização da mesma mais objetiva. (15)

L^* é o valor de luminosidade e expressa a claridade de um objeto no eixo vertical, com valores que variam entre 0 (preto) a 100 (branco); a^* e b^* definem a quantidade de cromaticidade da cor, estando representadas nos eixos horizontais, sendo que a^* é o eixo vermelho/verde (valor positivo/negativo), e b^* é o eixo amarelo/azul (valor positivo/negativo) (Fig. V). (4, 6, 7, 21, 12, 20, 45). Luminosidade é o parâmetro que apresenta maior inconsistência em comparação com os parâmetros a^* e b^* , requerendo maior padronização. (15)

Na fórmula CIE1976, ΔL representa a variação da coordenada luminosidade, Δa a variação da coordenada de a^* no eixo vermelho/verde e Δb a variação da coordenada b^* no eixo amarelo-azul. (12, 46)

Alguns autores consideram que o espaço de cores CIEL*a*b* é um sistema visualmente uniforme (Fig. VII), porém, não na sua totalidade, referenciando um sistema alternativo, o CIEDE2000. Este último utiliza como base o sistema CIEL*a*b* (1976), com a possibilidade de prever com maior exatidão diferenças de cores, para melhorar a concordância entre a diferença de percepção de cor visual e a diferença numérica de cor, fornecendo melhores indicadores da percepção visual e da aceitabilidade das diferenças de cor. Depende de parâmetros colorimétricos como Luminosidade; Cromo, Matiz e respetiva interação. (12, 19).

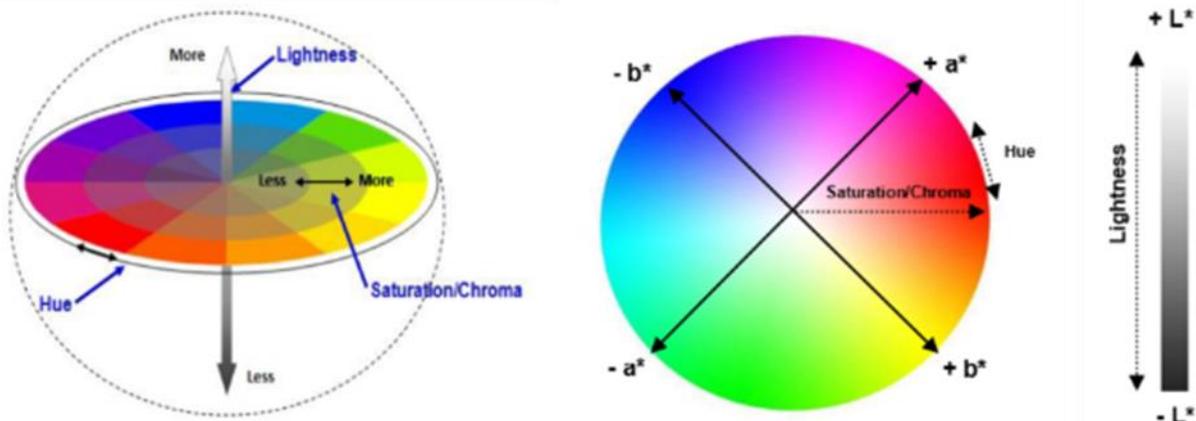


Fig. VII – Diagrama representativo do espaço de cores CIEL*a*b*. (Adaptado de “Defining and Communicating Color: The CIELAB System (2013), sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

Com o objetivo de melhorar a relação entre diferenças perceptíveis de diferenças calculadas e refletir as dimensões do objeto a estudar de Valor, Cromo e Matiz, bem como propriedades óticas de superfície e subjetivas, em 2004 foi atualizada a fórmula da CIE ($\Delta E_{00} = \sqrt{[\Delta L'/(KLSL)]^2 + [\Delta C'/(KCSC)]^2 + [\Delta H'/(KHSH)]^2 + RT[\Delta C'/(KCSC)] \times [\Delta H'/(KCSC)]}$), com introdução de fatores paramétricos (KL, KC e KH) e funções de ponderação (SL, SC e KH). Esta complementa a anterior fórmula, podendo ambas ser utilizadas em conjunto para cálculo de diferenças de cor. Não obstante, e apesar das *guidelines* de implementação da CIE 2004, e por esta fórmula permitir uma melhor avaliação diferencial da cor e uma melhor relação com a percepção visual, grande parte da literatura atual ainda continua a fazer menção à anterior fórmula (CIE 1976), pois a CIE 2004 é mais complexa de quantificar. (4)

A conversão de cor dentária através de escalas de cor para valores CIEL*a*b*, pode ser realizada com recurso a instrumentos eletrónicos, como espectrofotómetros e fotografia digital. (6) De acordo com Hein *et al.* (2017), a conversão da cor para valores CIEL*a*b* poderá ser determinada sem qualquer uso de escalas de cor, recorrendo-se à fotografia digital com uso de filtro polarizador e cartão referência cinza.

2. Percepção e aceitabilidade

Atualmente os métodos instrumentais são considerados os mais objetivos, pois permitem detetar pequenos detalhes que de outra forma o olho humano não vê. Neste contexto, um dos objetivos desta revisão bibliográfica centra-se neste ponto, para perceber se o método visual digital é ou não o mais apropriado para a correta análise de cor e se consegue detetar diferenças imperceptíveis, com implicância no resultado final de uma restauração. Para tal, é necessário, à luz da literatura atual, perceber e estabelecer qual o valor de referência exato para avaliação quantitativa em termos de ΔE . (4)

Em 2014, Khashayar *et al.*, de acordo com a literatura existente e num artigo de revisão clínica, definiram os valores do limiar de percepção (PT) e aceitabilidade (AT) do olho humano, com o objetivo de uniformizar os valores de PT e TA. Khashayar *et al.* (2014), estabeleceram com base em 37 artigos o valor de $\Delta E=1$ para o limiar de percepção (PT) com base em mais de metade dos artigos e com o propósito de detetar diferença de cor que é visualmente detetável pelo olho humano no sistema CIEL*a*b* entre um dente e a restauração adjacente e o valor de $\Delta E=3,7$ para o limiar de aceitabilidade (AT) clínica da cor de uma restauração estética. Este último foi referido em $\frac{1}{3}$ dos estudos como o mais utilizado do limiar de aceitabilidade. (9, 15)

A diferença de cor entre dois objetos, como uma restauração e um dente “natural”, é representada pelo ΔE . Quanto maior for o valor, maior a diferença de cor e mais perceptível a diferença ao olho humano. (39) A determinação do ΔE entre dois objetos e quantificação numérica da cor, tem pouco valor clínico sem uma compreensão das grandezas de limiar de PT e AT. O limiar de percepção (PT) corresponde à disparidade máxima que pode haver entre duas cores, sem que 50% dos observadores consiga detetar visualmente tais diferenças, enquanto o limiar de aceitabilidade corresponde à diferença limite entre duas cores para serem clinicamente aceites no mínimo por 50% dos observadores. (1, 44).

3. Metodologia visual digital: fotografia polarizada cruzada e uso de cartão referência cinza

3.1 Fotografia e a aquisição de imagem

Recentemente, houve um crescente despertar de interesses relativo à fotografia digital no contexto da área da medicina dentária restauradora, com o objetivo de aumentar a precisão e objetividade na seleção e comunicação de cor. (12)

A fotografia é definida como o processo artístico capaz de produzir imagens através da acção da energia radiante (luz) sob uma superfície sensível. (25) A luz ativa sensores internos da câmara, produzindo uma imagem baseada no sistema RGB (vermelho, verde e azul) e de seguida, salva em diferentes formatos, nomeadamente JPEG e RAW. (2, 20)

A fotografia evoluiu bastante, desde o início da sua génese em 1816. (2, 25) Desde então, surgiram dispositivos como as câmaras digitais eletrónicas (DSLR/Mirrorless) e smartphones, que têm contribuído para a quantificação da cor, nomeadamente em medicina dentária na escolha de cor dos dentes para melhorar a comunicação de cor, bem como a transmissão de informações relevantes entre o clínico e o técnico laboratorial de prótese dentária em relação à superfície do dente, forma e características intrínsecas dos dentes, como translucência, opalescência, efeito halo, mamelões e manchas brancas. (15, 17, 25)

Uma fotografia deve assegurar uma ótima aquisição de imagem, sem necessidade de tratamento através de software específico. Ainda assim, diferentes parâmetros devem ser padronizados, como exposição, balanço de branco, fonte de luz e resolução, derivado da inconsistência dos flashes eletrónicos, variabilidade na iluminação ambiente e equipamento fotográfico, protocolos de aquisição de imagens e configurações da câmara. (17)

A melhor representação de qualquer imagem e de cores é conseguida à luz do dia (5500°K). (25) No entanto, as condições de iluminação num determinado consultório médico-dentário, variam muito de acordo com o momento do dia, tipo de fonte de luminosidade utilizada, e conseqüentemente, uma mistura entre luz do dia e luz fluorescente ou incandescente presente no consultório, levando a inconsistências nos registos de cor e reprodutibilidade da mesma com subsequente insucesso das restaurações.

As câmaras digitais são fáceis de usar, relativamente baratas e estão presentes na maioria dos consultórios médico-dentários, porém apresentam ainda algum grau de subjetividade. (10) No âmbito da fotografia digital, têm sido recomendados dispositivos de correção de luz, como os filtros de polarização cruzada, além de cartões referência cinza, para reduzir a subjetividade associada, aumentando a objetividade, com melhoria na padronização da cor. (21)

3.2 Filtro de luz polarizada cruzada

Através do uso de filtros polarizadores associados à fotografia digital, obtêm-se o registo de cor dos dentes para determinação quantitativa de uma forma conveniente, direta, consistente e precisa, atenuando e eliminando reflexos de superfície especular que escondem os detalhes dos dentes ao remover o brilho da superfície.

O brilho de superfície resulta da texturização das superfícies dos dentes e distribuição irregular da saliva, com presença de artefatos na análise da imagem da cor do dente após registo fotográfico. (18, 27) Com a atenuação ou o bloqueio do brilho regular através do filtro de polarização cruzada, apenas a luz difusa é capturada. A luz do flash incidente sobre os dentes é filtrada inicialmente por um primeiro filtro. Subsequentemente, a luz refletida polarizada das superfícies “brilhantes” dos dentes é bloqueada por um segundo filtro que é perpendicular ao primeiro, e apenas a luz difusa passa através deste e é capturada pelo sensor da máquina fotográfica. (17)

Os filtros de polarização cruzada estão por norma, orientados horizontal ou verticalmente no flash de forma linear e um correspondente na lente orientado 90° em relação ao filtro do flash e, portanto, alinhados perpendicularmente entre si, um na frente da lente e outros dois na frente do flash (fonte de luz)(Fig. VIII). (17)



Fig. VIII – Filtro de polarização cruzada: Polar_eyes. Twin flash e flash anelar. (Emulation, Frankfurt, Germany) (Adaptado de Hein et al. (2020). Objective shade matching, communication, and reproduction by combining dental photography and numeric shade quantification, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

O filtro de polarização cruzada é incolor e reduz os reflexos oblíquos de superfícies brilhantes de um dente e, portanto, pode escurecer e saturar a cor do mesmo, eliminando redundância causada pelas reflexões (Fig. IX). (27) Admite dois tipos de abordagem: uma abordagem mais direta e prática com uso de um flash anelar emparelhado com filtros de polarização cruzada apropriados e outro tipo de abordagem, com uso de dois flashes laterais (twin flash) com dois filtros de polarização cruzada emparelhados com o filtro da lente. Se os filtros de polarização da lente e flash forem colocados no mesmo plano de polarização, paralelos entre si, não produzem efeito e, portanto, não eliminam todos os reflexos possíveis. (10)

No entanto, quando um dos filtros (lente) é girado 90 graus relativamente aos pares (flashes), estabelecem-se planos cruzados de polarização, produzindo uma interferência de luz próxima de zero com posterior observação dos dentes sem quaisquer reflexos especulares, melhorando a qualidade de percepção da cor e registo da mesma. (11)



Fig. IX – Reflexos produzidos pela luz de flash sem filtro de polarização cruzada e o resultado livre de reflexos e brilho superficial com uso de filtro de polarização cruzada. (Emulation, Frankfurt, Germany) (Adaptado de https://www.photomed.net/polar_eyes.htm, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

É uma técnica útil, que visa melhorar a percepção visual e correspondência de cores, através da visualização de um mapa cromático com contraste do dente e detalhes intrínsecos aos dentes relacionados com a translucidez e transparências da estrutura dentária, características do esmalte, características da dentina subjacente e cor base da mesma. (11, 15, 17, 19, 27)

Segundo Farah *et al.* (2021), esta técnica, foi usada pela primeira vez na década de 90 na área médica para deteção de lesões de pele. Na área da medicina dentária, foi utilizada inicialmente com o intuito de observar lesões de manchas brancas e documentação de casos de branqueamento dentário.

3.3 Cartão referência cinza

Um estudo prévio, recomendou o uso do cartão referência cinza para fotografia dentária, por forma a obter imagens com cores precisas, especialmente para comunicação de cor e documentação de resultados clínicos. (10)

É um instrumento usado para neutralizar viés de cor específico da câmara através do equilíbrio de branco (WB) resultando numa padronização da cor, através de um processo de linearização dos valores RGB de uma imagem. (23) De acordo com Bengel *et al.* (2006), o cartão referência cinza é neutro e permite neutralizar as cores irreais. Reflete 18% da luz incidente, sendo este o valor de referência padrão para calibração, tendo como objetivo principal, medir a luz com precisão.

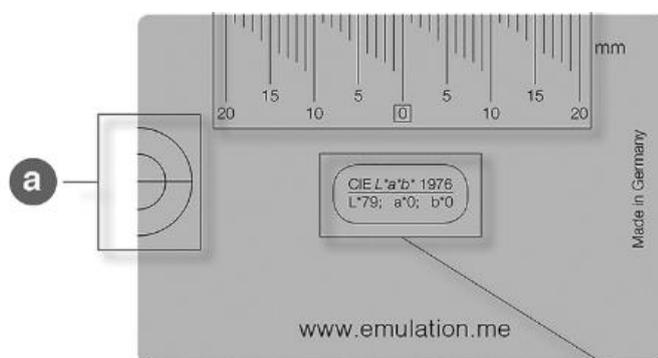


Fig. X – Cartão referência cinza. **a)** representa um semi-círculo para controlo de um posicionamento correto do cartão em relação ao objeto a estudar. (Adaptado de Hein *et al.* (2020). Objective shade matching, communication, and reproduction by combining dental photography and numeric shade quantification, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

O equilíbrio de branco da câmara deve ter em consideração a “temperatura da cor” de uma fonte de luz, referindo-se ao calor ou frio relativo da luz branca. (26) Tal é normalmente conseguido a partir do uso de modos pré-definidos da câmara como por exemplo o “equilíbrio de branco automático” (AWB) ou através do modo “flash”. Porém o modo “equilíbrio de branco automático”, tende erroneamente a adicionar ciano à imagem RGB para neutralizar a alta proporção da cor vermelha da gengiva, ao passo que compensa os tons amarelos dos dentes adicionando azul e resultando numa cor inadequada. Por este motivo, o “equilíbrio de branco automático” da câmara não está recomendado. (15) Além disso, as condições de luminosidade alternam durante o dia refletindo-se em ambiente clínico podendo resultar em mudanças na perceção da cor, o que também está relacionado ao equilíbrio de branco da fotografia. (10, 15)

Neste contexto, o cartão referência cinza, deve ser usado para ajustar o equilíbrio de branco da imagem para que os valores RGB de uma imagem, possam ser posteriormente convertidos para o sistema de cores CIELAB usando o espaço padrão XYZ, processo este de calibração digital com recurso a software específico (Adobe Lightroom®, ColorChecker, eLAB_prime). (10, 12, 15, 23)

Um correto equilíbrio de branco proporciona a reprodução correta da cor dos tecidos duros, revelando características intrínsecas do dente como a translucidez do esmalte. (15)

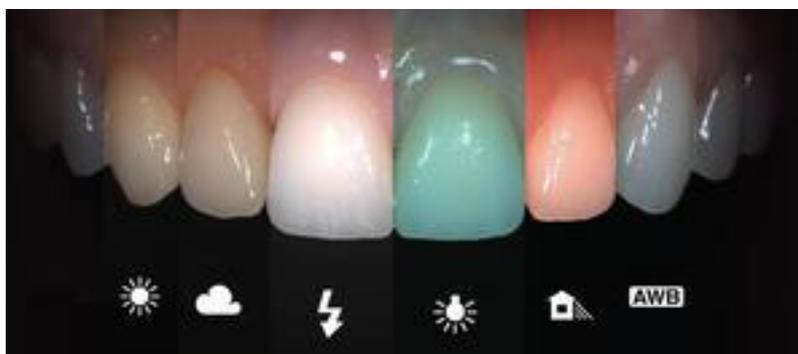


Fig. XI – Influência das condições de iluminação ambiente e vieses de cor que podem ser introduzidos quando se utiliza certos filtros. Através do cartão referência cinza 18%, existe um valor referência relativo a uma coordenada de cor conhecida, podendo calibrar-se uma imagem num software específico com representação mais precisa da cor. A calibração poderá ser alcançada quando as imagens são gravadas em formato RAW. (Adaptado de <https://dental.thedawsonacademy.com/cross-polarization-and-custom-dyes>, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

O cartão referência cinza para balanço de brancos possibilita uma comunicação de cor objetiva entre a clínica e o laboratório, eliminando assim a necessidade de guias de cor. (14)

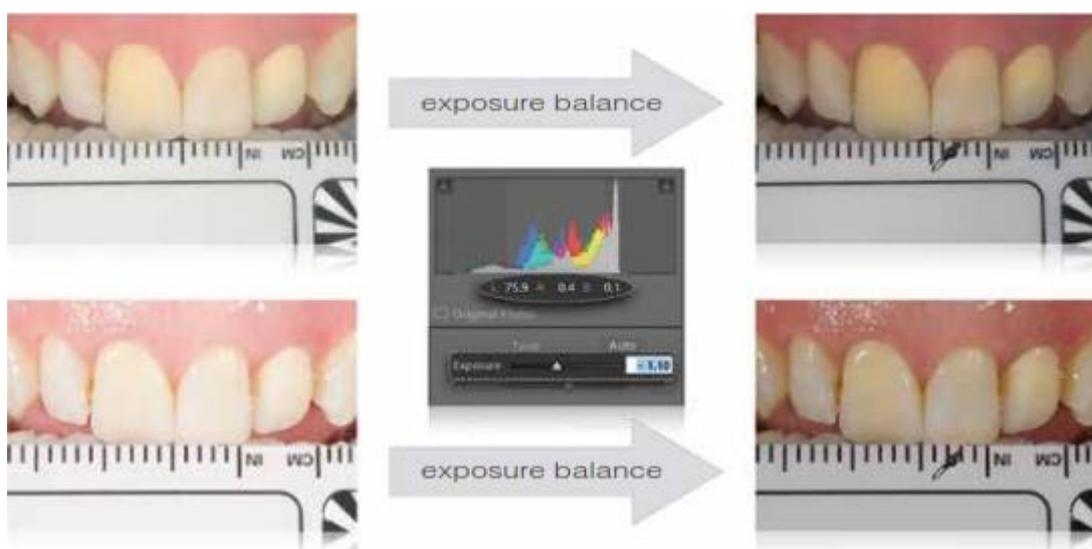


Fig. XII – Processo de remoção de cores irreais com recurso a um cartão referência cinza (Adaptado de Hein *et al.* (2016). The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth, sem autorização do autor, consultado em Junho de 2021)

4. Metodologia visual digital: aplicabilidade clínica

Inicialmente as recomendações para uso do sistema digital quantitativo estavam reduzidas a registo de cor para restaurações fixas com materiais pouco translúcidos. Atualmente, já se pode realizar registo de cor através deste método para restaurações diretas, para além das restaurações indiretas, inclusive com materiais mais translúcidos. (10) Este método aplica-se a dentes unitários; dentes anteriores; (12, 31) dentes com descoloração (11), e outro tipo de procedimentos dentários não restauradores como: deteção de placa bacteriana e estimativa quantitativa de tratamentos de branqueamento dentário (antes e depois) (18). Na tabela II, estão expressas segundo estudos de Chu *et al.* (2010), Hein *et al.* (2017) e Hardan *et al.* (2020), soluções atuais com aplicabilidade através deste método de registo de cor (digital quantitativo com uso de filtro de polarização cruzada e cartão referência cinza).

Tabela II. Método digital quantitativo e soluções restauradoras.

Tipo de restauração Material restaurador	Cerâmica feldspática	Cerâmica de recobrimento	Dissilicato de lítio	ZrO2	Metal	Resina Composta	“Stains”
Faceta feldspática	X						
Faceta direta						X	
Facetas indireta		X	X			X	
Coroa		X	X	X	X		X
Coroa sobre implante		X	X	X	X		X
Coroa monolítica total			X	X			X
Restaurações em resina composta						(X) Com Técnica do “botão” ou uso de guias de cor	

DISCUSSÃO

Para a escolha da cor em medicina dentária temos dois tipos de métodos: o visual e o instrumental. Como vários estudos já concluíram, múltiplos fatores interferem com o método visual, tais como, por exemplo, a idade, sexo e experiência do observador; o daltonismo, fadiga, medicação, textura de superfície ou a fonte de luminosidade. (4, 21, 24, 29)

Para colmatar as imperfeições e subjetividade associada ao método visual, foram desenvolvidos instrumentos para uma escolha de cor mais precisa e para melhorar a comunicação. Tais métodos instrumentais incluem espectrofotômetros, colorímetros, scanners, fotografia digital (câmaras digitais e smartphones), filtros de polarização cruzada e cartão de referência cinza. (16)

Diversos estudos concluíram que os métodos instrumentais são superiores aos métodos visuais isolados (28); quando possível, ambos os métodos devem ser combinados. (24, 27, 29, 31, 32)

O espectrofotômetro emprega cálculos quantitativos, baseados na ciência e teoria da cor, permitindo uma avaliação quantitativa. Este método é objetivo, apresentando maior objetividade do que o método visual. Apesar de tudo, a medição com este instrumento é limitada a um ponto por tempo. Além disso, apresenta como desvantagens um custo elevado, falta de uniformização no seu uso, assim como efeito “perda da borda”. (24, 31)

O colorímetro mede a cor com base em três eixos, recorrendo a um filtro simulador do olho humano, que filtra a luz nas zonas vermelha, verde e azul do espectro visível. Este método, apesar de economicamente aliciante, tem como desvantagem não obter a totalidade da informação das curvas do espectro, tornando os dados insuficientes para revelar os efeitos em L^*a^*b ou L^*C^*h . (24, 31)

A fotografia digital tem sofrido mudanças ao longo dos anos, com aumento de interação entre a câmara e o computador e mais recentemente o uso de smartphones. (25) As imagens fotográficas permitem avaliar vários pontos, o que facilita a determinação de uma cor verdadeira do dente. A correspondência de cores a partir da fotografia digital é adequada, e pode permitir todo o espectro do espaço de cor do dente natural. Além disso, a fotografia digital representa uma ferramenta eficiente e conveniente para comunicação com o laboratório de prótese dentária, assim como menos cara relativamente aos espectrofotômetros e colorímetros. (24) Contudo, o uso de flash na fotografia digital tende a aumentar opacidades brancas nos dentes e reflexos especulares.

De acordo com uma revisão bibliográfica realizada por Hein *et al.* (2017), as câmaras digitais podem e devem ser usadas com confiança para quantificação da cor.

O filtro de polarização cruzada é um instrumento de apoio para obtenção de reprodutibilidade de cores precisas e variações intrínsecas (10). É incolor e tem como função reduzir os reflexos oblíquos de superfícies brilhantes de um dente, podendo escurecer e saturar a cor do mesmo, eliminando redundância causada pelos reflexos especulares e a luz do flash da câmara. (18, 21, 27) O uso de filtro de polarização cruzada permite reduzir a subjetividade associada à fotografia digital, aumentando a objetividade e uniformização. É o difusor mais representativo da diferença de cor. (32)

O cartão referência cinza é um instrumento neutralizador do viés de cor específico da fotografia digital através do equilíbrio de branco (WB), o que resulta numa padronização de cor. De acordo com Hein *et al.* (2017), o uso do cartão de referência cinza de equilíbrio de branco é eficaz em compensar as alterações de cor do dente causado por materiais de difusão e interpretação de software. Apresenta reflexão uniforme e coordenadas de cor bem definidas (CIE L*75; a*0; b*0) para uma análise quantitativa padronizada no sistema CIEL*a*b*. (10)

De acordo com alguns estudos, o uso de cartão referência cinza é complementar ao filtro de polarização cruzada, pois em conjunto, estes dois instrumentos são benéficos na uniformização da cor. (10, 15, 27)

Para determinar se os métodos instrumentais são apropriados para análise correta da cor e se detetam diferenças de cor mínimas, é utilizado o ΔE (diferença de cor entre duas medidas do mesmo objeto), sendo que tal determina se a diferença de cor é perceptível ou aceitável ao observador. Khashayar *et al.*, determinaram um valor limite de $\Delta E = 3.7$ para percepção visual da diferença de cores entre uma restauração e um dente adjacente no sistema CIEL*a*b* e valor limite de $\Delta E=1$ para aceitabilidade da cor de uma restauração. Valores iguais ou inferiores a estes limites representam a boa percepção da diferença de cor da restauração para com um dente adjacente e a aceitabilidade da cor e integração visual da restauração. Valores superiores aos indicados, representam para um observador, a diferença de cor excessiva entre uma restauração e um dente adjacente e a não aceitabilidade da cor da restauração. (27)

A determinação do melhor método para análise de cor de uma restauração, é conseguido com base no pressuposto da percepção e aceitabilidade da cor e limites associados.

Mahn *et al.* (2021), estudou a diferença de cor obtida entre diferentes métodos: visual e instrumentais. O método visual apresentou piores resultados ($\Delta E = 7,35$) para uma escolha de cor precisa, comparativamente

com os métodos instrumentais por espectrofotometria e fotografia digital com recurso a filtro de polarização cruzada, que obtiveram resultados aproximados ($\Delta E = 6,12$). As diferenças obtidas de escolha de cor entre o método visual e instrumental, pode estar relacionada com a cor das guias que não coincide com a cor natural de um dente, e pela subjetividade associada ao método visual. O método instrumental por espectrofotometria, apresenta por sua vez limitações clínicas associadas a medições de superfícies de dentes convexas e com muita texturização. Contrariamente, o método instrumental por fotografia digital com uso de filtro de luz polarizada e cartão referência cinza é recomendado por Mahn *et al.* (2021), pois é capaz de capturar toda a informação de forma precisa relacionada com cor do dente, anatomia dentária, textura de superfície, translucência e detalhes intrínsecos do dente, resultando numa melhor avaliação e comunicação da cor dentária.

He *et al.* (2020), sugere que o método instrumental por espectrofotometria e o método instrumental por fotografia digital e flash com e sem uso de filtro de polarização cruzada, estão altamente correlacionados e em conformidade no que respeita a valores de CIEL*a*b. Tal, é explicado pelo facto de ambos apresentarem ΔE (diferenças de cor) semelhantes, e que por este motivo, podem ser combinados para avaliação de cor precisa. O mesmo refere que o método instrumental por fotografia digital e flash sem uso de filtro de polarização cruzada, deverá constituir a primeira escolha, se não houver interferência por reflexões especulares e porque consegue capturar texturização de superfície e apresenta iluminação o mais próxima da normal do dia (5500°K). Para complemento na seleção de cor He *et al.* (2020), sugere o método espectrofotométrico ou o método instrumental por fotografia digital com uso de filtro de luz polarizada cruzada, partindo do pressuposto que não existem interferências relacionadas com reflexão especular. Neste estudo, o autor não considerou o uso de cartão referência cinza. Pelo contrário, Kim *et al.* (2012), em um estudo clínico semelhante, determinou que o filtro de polarização cruzada, deve estar sempre indicado como primeira escolha.

Em um artigo de investigação, Jorquera *et al.* (2020), obteve valores de ΔE para correspondência de cores entre uma restauração e um dente adjacente de: $\Delta E = 2,34$ (smartphones); $\Delta E = 2,75$ (câmaras digitais); $\Delta E = 5,32$ (método visual). Este último, demonstrou ser o menos preciso, em comparação com os métodos digitais com uso de câmara digital e smartphone. O uso da câmara digital ou smartphone aliado ao filtro de polarização cruzada dá origem a restaurações com valores abaixo do limiar aceitável clínico, logo, constitui um método mais confiável ao contrário do método visual. Além disso, Jorquera *et al.* (2020), referiu que o uso de cartão referência cinza com coordenadas de cor definidas, compensa as mudanças de cor do dente causada por diferentes difusores na câmara digital. Contrariamente, não compensou nos smartphones. Como tal, demonstrou que a falta de standardização da fotografia digital, nomeadamente dos smartphones, pode

ser corrigida com recurso a dispositivos de correção de luz, apresentando deste modo resultados semelhantes aos obtidos pelas câmaras digitais. Pelo contrário, Sampaio *et al.* (2018), em um estudo clínico idêntico, refere que o uso de smartphone (iPhone 7) com uso de cartão referência cinza e ring flash, apresentou piores resultados de limite de aceitabilidade com $\Delta E=7,5$ comparativamente à câmara digital com uso de filtro de polarização cruzada e cartão referência cinza, com $\Delta E=3,4$.

Segundo estudos, obteve-se melhores resultados com o uso de um dispositivo de correção de luz, porém não se chegou à mesma conclusão com o uso de filtro de polarização cruzada. (21, 38) Segundo Gasparik *et al.* (2015), este instrumento não influenciou o resultado da correspondência de cores.

Em um estudo clínico, Farah *et al.* (2021), submeteu um objeto clínico a diferentes condições ambientais de luminosidade. O mesmo refere que a iluminação ambiente e mudança de iluminação têm efeitos imperceptíveis na diferença de cores entre imagens capturadas por fotografia digital com uso de filtro de polarização cruzada, resultando em um ΔE baixo relativamente ao limiar do clinicamente aceitável. Também menciona que após uso de um cartão referência cinza e um software específico para pós processamento de imagem para calibração, que obtém valores de ΔE abaixo do limite de percepção. De acordo com este achado, resulta que o filtro de polarização cruzada e o cartão referência cinza contribuem para uma melhor standardização, precisão e reprodutibilidade da cor, mesmo que submetidos a diferentes condições ambientais e de luminosidade.

Com base nos estudos apresentados, o método que melhor reflete a necessidade de obtenção de cor precisa e reprodutível é o método instrumental com uso de câmara digital, filtro de polarização cruzada e cartão referência cinza. Tal, deve-se ao facto de este método se ter revelado o mais preciso e confiável na maioria dos diversos estudos sobre os quais se debruçou este trabalho de revisão bibliográfica. Dentro dos limites de aceitabilidade e perceptibilidade foi o que melhores resultados apresentou, bem como melhor aceitabilidade clínica.

Os restantes métodos revelaram inconsistências, apesar de que o uso de fotografia digital com smartphones e instrumentos adicionais, possa vir a ser uma alternativa relevante para o futuro.

CONCLUSÃO

A correspondência de cores em medicina dentária restauradora permanece subjetiva. Instrumentos específicos como os espectrofotômetros para combinação de cores podem ser dispendiosos, geralmente não estão disponíveis para o clínico e, acima de tudo, são imprecisos.

As câmaras fotográficas digitais são amplamente utilizadas em medicina dentária, e o uso de um filtro de polarização cruzada e calibração de pós-processamento com um cartão de referência cinza podem produzir uma quantificação de cores precisa, independentemente das condições de iluminação do ambiente.

Assim, a aplicação destes instrumentos possibilita uma melhor padronização da cor, com melhoria na documentação de casos clínicos, seleção aceitável de cores e a comunicação com o técnico de laboratório de prótese dentária, aumentando o sucesso das reabilitações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chu SJ; Devigus A; Paravina RD; Mieleszko AJ. *Fundamentals of Color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry*. Quintessence Publishing. 2011.
2. Bengel W. *Mastering digital dental photography*. Quintessence Publishing. 2006.
3. Bazos P, Magne P. Bio-emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histo-anatomic approach; visual synthesis. *The international journal of esthetic dentistry*. 2014; 9(3):330-352.
4. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: A review. *Dental materials journal*. 2011;27:97-108.
5. Bhat V, Prasad K, Sood S, Bhat A. Role of colors in prosthodontics: Application of color science in restorative dentistry. *Indian Journal of Dental Research*. 2011;22(6):804-809.
6. Sikri VK. Color: Implications in dentistry. *Journal of Conservative Dentistry*. 2010;13(4):249-255.
7. Lee YK. Correlation between three color coordinates of human teeth. *Journal of Biomedical Optics*. 2014;19(11):115006.
8. Knösel M, Reus M, Rosenberger A, Ziebolz D. A novel method for testing the veridicality of dental colour assessments. *European Journal of Orthodontics*. 2012;34:19-24.
9. 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;42:637-644.
10. Hein S, Tapia J, Bazos P. eLABor_aid: a new approach to digital shade management. *The International Journal of Esthetic Dentistry*. 2017;12(2):186-202.
11. Villavicencio-Espinoza CA, Narimatsu MH, Furuse AY. Using Cross-Polarizing Photography as a Guide for selecting Resin Composite Shade. *Operative Dentistry*. 2018;43(2):113-120.
12. Hein S, Modrić D, Westland S, Tomeček M. Objective shade matching, communication, and reproduction by combining dental photography and numeric shade quantification. *J Esthet Restor Dent*. 2021;33:107-117.
13. Wang J, Lin J, Gil M, Seliger A, Da Silva JD, Ishikawa-Nagai S. Assessing the accuracy of computer color matching with a new dental porcelain shade system. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;111:247-253.
14. Hein S, Zangl M. The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth. *The international journal of esthetic dentistry*. 2016;11(2):2-15.
15. Sampaio CS, Atria PJ, Hirata R, Jorquera G. Variability of color matching with different digital photography techniques and a gray reference card. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018;121:1-7.
16. Gurrea J, Bruguera A, Janal M, Bonfante E, Coelho PG, Hirata R. Evaluation of Dental Shade Guide Variability Using Cross-Polarized Photography. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*. 2016;36(5):e76-e81.

17. Farah RI, Almershed AS, Albahli BF, Al-Haj Ali SN. Effect of ambient lighting conditions on tooth color quantification in cross-polarized dental photography: A clinical study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021.
18. Kim E, Son T, Lee Y, Jung B. Development of polarization dental imaging modality and evaluation of its clinical feasibility. *Journal of dentistry*. 2012;40s:e18-e25.
19. He W-H, Park CJ, Byun S, Tan D, Lin CY, Chee W. Evaluating the relationship between tooth color and enamel thickness, using twin flash photography, cross-polarization photography, and spectrophotometer. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32:91-101.
20. Lazar Radu, Culic B, Gasparik C, Lazar C, Ducea D. The accuracy of dental shade matching using cross-polarization photography. *International journal of computerized dentistry*. 2019;22(4):343-351.
21. Gasparik C, Grecu AG, Culic B, Badea ME, Ducea D. Shade-Matching Performance Using a New Light-Correcting Device. *J Esthet Restor Dent*. 2015;27:285-292.
22. McLaren EA, Figueira J, Goldstein RE. A Technique Using Calibrated Photography and Photoshop for Accurate Shade Analysis and Communication. *Compendium*. 2017;38(2):106-113.
23. Devigus A, Bazos P, Hein S. Light in Dental Photography. *Journal of prosthodontic research*. 2017;13(1):53-59.
24. Oh W, Pogoncheff J, O'Brien WJ. Digital Computer Matching of Tooth Color. *Materials*. 2010;3:3694-3699.
25. Hardan LS, Moussa C. Mobile dental photography: a simple technique for documentation and communication. *Quintessence International*. 2020;51(6):510-518.
26. McLaren EA, Schoenbaum T. Digital Photography Enhances Diagnostics, Communication, and Documentation. *Compendium*. 2011;32(4):96-98.
27. Jorquera GJ, Atria PJ, Galán M, Feureisen J, Imbarak M, Kernitsky J, Cacciuttolo F, Hirata R, Sampaio CS. A comparison of ceramic crown color difference between different shade selection methods: Visual, digital camera, and smartphone. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;1-9.
28. Lehmann KM, Devigus A, Wentaschek S, Igiel C, Scheller H, Paravina RD. Comparison of visual shade matching and electronic color measurement device. *Int J Esthet Dent*. 2017;12(3):396-404.
29. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of dentistry*. 2010;38s:e2-e16.
30. Igiel C, Lehmann KM, Ghinea R, Weyhrauch M, Hangx Y, Scheller H. Reliability of visual and instrumental color matching. *J Esthet Restor Dent*. 2017;29:303–308.
31. Chen H, Huang J, Dong X, Qian J, He J, Qu X, Lu E. A systematic review of visual and instrumental measurements for tooth shade matching. *Quintessence International*. 2012;43(8):649-659.
32. Mahn E, Tortora SC, Olate B, Cacciuttolo F, Kernitsky J, Jorquera G. Comparison of visual analog shade matching, a digital visual method with a cross-polarized light filter, and a spectrophotometer for dental color matching. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021;125(3):511-6.
33. Ozat PB, Tuncel I, Eroglu E. Repeatability and reliability of human eye in visual shade selection. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2013;40:958-964.
34. Wee AG, Meyer A, Wu W, Wichman CS. Lighting conditions used during visual shade matching in private dental offices. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016;115:469-474.
35. Najafi-Abrandabadi, Vahidi F, Janal MN. Effects of a shade-matching light and background on reliability in tooth shade selection. *Int J Esthet Dent*. 2018;13(2):198-206.
36. Ducea D, Gasparik C, Botos A, Alb F, Irimie A, Paravina RD. Influence of background/surrounding area on accuracy of visual color matching. *Clin Oral Invest*. 2016;20:1167-1173.

37. Pecho OE, Pérez MM, Ghinea R, Bona AD. Lightness, chroma and hue differences on visual shade matching. *Dental materials*. 2016;32:1362-1373.
38. Clary JA, Ontiveros JC, Cron SG, Paravina RD. Influence of light source, polarization, education, and training on shade matching quality. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016;116(1):91-97.
39. Pereira R, Corado D, Silveira J, Alves R, Mata A, Marques D. Dental prophylaxis influence in tooth color assessment-Clinical study. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32:586-592.
40. Wang J, Lin J, Seliger A, Gil M, Da Silva JD, Ishhikawa-Nagai S. Color Effects of Gingiva on Cervical Regions of All-Ceramic Crowns. *J Esthet Restor Dent*. 2013;25(4):254–264.
41. Burki Z, Watkins S, Wilson R, Fenlon M. A randomised controlled trial to investigate the effects of dehydration on tooth colour. *Journal of dentistry*. 2013;41:250-257.
42. Suliman S, Sulaiman TA, Olafsson VG, Delgado AJ, Donovan TE, Heymann HO. Effect of time on tooth dehydration and rehydration. *J Esthet Restor Dent*. 2019;1–6.
43. Czigola A, Abram E, Kovacs ZI, Marton K, Hermann P, Borbely J. Effects of substrate, ceramic thickness, translucency, and cement shade on the color of CAD/CAM lithium-disilicate crowns. *J Esthet Restor Dent*. 2019;1–8.
44. Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: Effects of cement color and thickness. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;111:52-50.
45. Costa, Ana Luísa Monteiro da. Avaliação da susceptibilidade à coloração das estruturas dentárias por cimentos biocerâmicos – Estudo in vitro. Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto. 2019.
46. Macedo, Maria Gracinda Ferreira Pereira de. Análise da estabilidade de cor de uma resina bis-acrílica submetida a diferentes tratamentos de superfície e corantes alimentares. Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto. 2018.



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

Submission Author	Diogo Miguel Correia Salvado
ID documento Turnitin (Ref. ID)	1615603624
Título da submissão	MÉTODO VISUAL DIGITAL COM USO DE FILTRO DE LUZ POLARIZADA CRUZADA E CARTÃO REFERÊNCIA CINZA - APLICABILIDADE
Título do trabalho	Submissão de monografia - época excepcional
Submission Date	04/07/21, 18:41

 [Print](#)

Declaração de autoria do trabalho
Monografia /Relatório de Estágio

Declaro que o presente trabalho de Revisão Bibliográfica, realizado no âmbito da Unidade Curricular "Monografia/Relatório de Estágio", integrado no MIMD da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, é da minha autoria e todas as fontes utilizadas foram devidamente referenciadas.

Junho de 2021

O Estudante



(Diogo Miguel Correia Salvado)

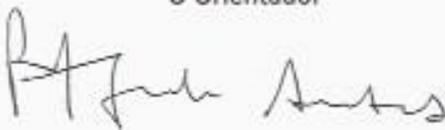


**Parecer do orientador para entrega definitiva do trabalho de
Monografia/Relatório de estágio**

Eu, Paulo Júlio Andrade de Almeida, Professor Auxiliar Convidado da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, informo que o presente trabalho de "Monografia/Relatório de Estágio" desenvolvido pelo estudante Diogo Miguel Correia Salvado, com o título "Método visual digital com uso de filtro de luz polimerizada cruzada e cartão de referência cinza - aplicabilidade", está de acordo com as regras estipuladas da FMDUP, por mim conferido e encontra-se em condições de ser apresentado em provas publicas.

Porto, 04 de junho de 2021.

O Orientador



Paulo Júlio Andrade de Almeida





**Parecer do Coorientador para entrega definitiva do trabalho
Monografia /Relatório de Estágio**

Eu, César Fernando Coelho Leal da Silva, Professor Associado Com Agregação da Faculdade de Medicina Dentária Da Universidade do Porto, informo que o presente trabalho de "Monografia/Relatório de Estágio", desenvolvido pelo estudante Diogo Miguel Correia Salvado com o título "Método visual digital com uso de filtro de luz polarizada cruzada e cartão referência cinza - aplicabilidade.", está de acordo com as regras estipuladas na FMDUP, foi por mim conferido e encontra-se em condições de ser apresentado em provas públicas.

Porto, 04 de Julho de 2021

O Coorientador

(César Fernando Coelho Leal da Silva)

**DECLARAÇÃO**
Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Monografia/Relatório de Estágio

Identificação do autor

Nome completo Diogo Miguel Correia Solado
N.º de identificação civil 13890492 N.º de estudante 201602429
Email institucional up201602429@edu.fmd.up.pt
Email alternativo dcorreia.solado@gmail.com TMI/Im 967509054
Faculdade/Instituto Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Identificação da publicação

Dissertação de Mestrado Integrado (Monografia) Relatório de Estágio

Título completo

"Retorador Visual digital com uso de filtro de luz polarizada
azul e cor-de-rosa referencial ciano - aplicabilidade."

Orientador Biel Tóris Andrade de Almeida
Coorientador César Fernando Coelho Leal da Silva

Palavras-chave Cit Lab ; polarização azul ; cor dentária ; fotografia dentária ; cor
dentária ; cor-de-rosa referencial ciano ; combinação de cores

Autorizo a disponibilização imediata do texto integral no Repositório da U.Porto: X (x)

Não Autorizo a disponibilização imediata do texto integral no Repositório da U.Porto: _____ (x)

Autorizo a disponibilização do texto integral no Repositório da U.Porto, com período de embargo, no prazo de:

6 Meses: _____ ; 12 Meses: _____ ; 18 Meses: _____ ; 24 Meses: _____ ; 36 Meses: _____ ; 120 Meses: _____

Justificação para a não autorização imediata _____