



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Filipe Branco de Brito

AVALIAÇÃO DE COR EM MEDICINA DENTÁRIA

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de especialização em Automação, orientada pelo Prof. Dr. Pedro Manuel Gens de Azevedo Matos Faia, co-orientada pelo Dr. João Paulo Santos Tondela e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Setembro de 2019



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Avaliação de Cor em Medicina Dentária

Filipe Branco de Brito

Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra de acordo com os requisitos a cumprir para o grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

Supervisor: Prof. Doutor Pedro Manuel Gens de Azevedo Matos Faia

Co-Supervisor: Prof. Doutor João Paulo Santos Tondela

Júri: Prof. Doutor Jaime Baptista dos Santos

Prof. Doutor Paulo Jorge Carvalho Menezes

Prof. Doutor Pedro Manuel Gens de Azevedo Matos Faia

Setembro de 2019

Agradecimentos

Ao longo deste trabalho muitas foram as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a sua concretização. A todas elas gostaria de expressar a minha gratidão pelo apoio prestado.

Ao professor Pedro Faia, meu orientador, pelo profissionalismo, sabedoria, encorajamento, disponibilidade e inestimável apoio.

Ao professor João Paulo Tondela, por ter cedido material indispensável à realização desta dissertação.

À minha família, por todo o apoio e por não me ter deixado desistir, por ser o meu porto de abrigo.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos presentes durante todo este meu percurso, que contribuíram tanto para a minha formação pessoal como académica.

Um muito obrigado a todas as pessoas presentes na minha vida.

Resumo

Atualmente a estética ocupa um papel central na autoestima do ser humano, sendo os dentes parte integrante desta problemática.

Os dentes são um órgão policromático que ao longo dos anos vai sofrendo alterações na sua cor. Com o envelhecimento, o esmalte sofre um desgaste e a dentina torna-se mais densa, provocando o escurecimento dentário. Para além deste processo natural, há situações várias em que a estrutura dentária se pode danificar, quer a nível parcial como total, levando à necessidade de implementação de procedimentos de restauração dentária. A reposição da estrutura dentária danificada quer pela ocorrência de uma fratura ou por uma cárie, a correção de alterações de cor e a aplicação de implantes dentários recorrem à utilização de técnicas e biomateriais que permitem reproduzir as propriedades e características dos dentes, de forma a que seja possível atingir um melhor aspeto estético.

Consequentemente, existe a necessidade de saber que cor aplicar à estrutura danificada, sendo de extrema importância a existência de um bom instrumento de medição de cor, para que possa ser garantido o melhor resultado possível a nível estético.

Esta dissertação tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma aplicação que efetue a determinação da cor do dente através de uma fotografia do dente e da comparação da mesma com imagens armazenadas numa base de dados utilizando diversos algoritmos.

Concluindo, a determinação de cor utilizando uma câmara digital é possível mas, futuramente, deverá ser estudada a edição de imagens com o intuito de melhorar os resultados.

Palavras-chave: Escalas de Cor, Determinação da Cor, Dentes, Fotografia, Medicina Dentária

Abstract

Nowadays aesthetics plays a major role in a person's self-esteem, with the teeth being an integral part of this problem.

The teeth are a polychromatic organ whose color suffers major changes all over the years. With aging, the enamel wears out and the dentin becomes denser, causing tooth darkening. In addition to this natural process, there are several situations in which the dental structure can be damaged, either partially or completely, leading to the need of dental restoration procedures. For the replacement of the damaged tooth structure either occurred by fracture or tooth decay, for the correction of chromatic alterations and for the application of dental implants it is necessary the use of diverse biomaterials and techniques that allow the reproduction of the properties and characteristics of the teeth, so that an improved visual aesthetics can be achieved.

Consequently, there is a necessity to know the exact color to apply to the damaged structure and having a good color measuring instrument is of utmost importance so that the best possible aesthetic result can be guaranteed, giving the patient the finest treatment possible.

The main purpose of this thesis is to develop a teeth color determination program using a photography of the tooth and comparing it to images on a data base using diverse algorithms.

The results prove that it is possible to determine color using a digital camera but further studies related to photographic edition are required to improve the outcomes.

Keywords: Colour Scales, Colour Determination, Teeth, Photography, Dentistry

Conteúdo

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Acrónimos	xiii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estrutura da dissertação	2
2 Enquadramento	3
2.1 O dente	3
2.2 Cor	5
2.3 Escalas de Cor	8
2.3.1 Escala de Munsell	8
2.3.2 Escalas da CIE (Commission Internationale de l’Eclairage)	8
3 Estado da Arte	13
3.1 Guias de cor	13
3.1.1 HELIOS-Dental nas cores VITA	13
3.1.2 Vita Lumin Vacuum	14
3.1.3 Vitapan 3D master	14
3.2 Instrumentos de Medição de cor	15
3.2.1 The Crystaleye Spectrophotometer	16
3.2.2 VITA Easyshade V	17

4	Obtenção da Cor	19
4.1	Iluminante	20
4.1.1	Iluminante padrão A da CIE	20
4.1.2	Iluminante padrão D65 da CIE	20
4.2	Escalas de Cores	21
4.2.1	CIE RGB	21
4.2.2	CIE XYZ	22
4.2.3	CIE UVW	25
4.2.4	CIE $L^*a^*b^*$	26
4.2.5	CIE $L^*u^*v^*$	27
4.2.6	CIE $L^*C^*h^\circ$	28
5	Implementação e Resultados	29
5.1	Iluminante Utilizado	29
5.2	Escala de Cores escolhida	29
5.3	Configurações para obter imagens dos dentes	30
5.4	Implementação em Matlab	30
5.5	Resultados	33
5.5.1	Resultados Configuração 1	34
5.5.2	Resultados Configuração 2	34
5.5.3	Resultados Configuração 3	36
5.6	Discussão dos Resultados	44
6	Conclusões e trabalho futuro	45
	Bibliografia	47
A	Funções implementadas em Matlab	51
B	Guia de Cores VITAPAN 3D Master	55

Lista de Figuras

2.1	Estrutura dentária [4].	4
2.2	A figura da esquerda corresponde à face vestibular e a da direita à face proximal[5].	5
2.3	Face oclusal[5].	5
2.4	Sensibilidade dos cones oculares, em que o L representa os comprimentos de onda grandes(Long), responsável pela cor vermelha; o M os médios(Medium), responsável pela cor verde, e S os curtos(Small), responsável pela cor azul[6](O eixo horizontal representa o comprimento de onda em nm e o eixo vertical representa a sensibilidade em unidades arbitrárias).	6
2.5	Circulo cromático[8].	7
2.6	Saturação de uma cor[9].	7
2.7	Intensidade luminosa[10].	8
2.8	Representação da tonalidade(hue) na escala de Munsell[7].	9
2.9	Representação da saturação(chroma) na escala de Munsell[11].	9
2.10	Representação da luminosidade(value) na escala de Munsell[12].	9
2.11	Escala de Munsell[13].	10
3.1	Guia de cores Helios-Dental[18].	14
3.2	Guia de cores VITA LUMIN VACUUM[18].	15
3.3	Guia de cores VITA 3D-MASTER[20].	15
3.4	Instrumento de medição da cor dos dentes - Crystaleye Spectrophotometer [21].	16
3.5	Instrumento de medição da cor dos dentes - VITA Easyshade [®] V[26].	17
4.1	Processo de obtenção de cor	19
4.2	O eixo vertical representa a distribuição espectral relativa dos iluminantes A e D65 da CIE e o horizontal o comprimento de onda. [28].	21

4.3	Funções de correspondência de cor CIE RGB, onde o eixo vertical representa a luminosidade, em unidades arbitrárias, e o horizontal o comprimento de onda, em nm[6].	22
4.4	CIE RGB, Obtenção de cor 1, o eixo vertical representa a luminosidade, em unidades arbitrárias, e o horizontal o comprimento de onda, em nm[6].	22
4.5	CIE RGB, Obtenção de cor 2, o eixo vertical representa a luminosidade, em unidades arbitrárias, e o horizontal o comprimento de onda, em nm[6].	22
4.6	Diagrama de cromaticidade CIE 1931, onde o triângulo interior representa as cores possíveis de obter com a escala CIE RGB[30].	25
4.7	Escala CIE L*a*b*[31].	27
4.8	Escala CIE L*C*h°[32].	28
5.1	Esquerda: Iluminante com uma temperatura de 2700k; Direita: Iluminante com uma temperatura de 6500k, uma aproximação ao iluminante D65 da CIE	29
5.2	Camêra Digital	30
5.3	LEDs da Camêra Digital	31
5.4	Parte difusora de luz	31
5.5	Suporte para a câmara	31
5.6	Conjunto das duas peças	31
5.7	Diagrama de fluxo do programa desenvolvido	32
5.8	Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.	34
5.9	Valores do parâmetro L* de cada um dos 26 dentes	35
5.10	Valores do parâmetro C* de cada um dos 26 dentes	35
5.11	Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes	35
5.12	Fotografia do dente 1M1 do guia de cores, com as peças criadas acopladas à câmara.	36
5.13	Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.	37
5.14	Valores do parâmetro L* de cada um dos 26 dentes	37
5.15	Valores do parâmetro C* de cada um dos 26 dentes	38
5.16	Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes	38
5.17	Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.	38
5.18	Valores do parâmetro L* de cada um dos 26 dentes	39
5.19	Valores do parâmetro C* de cada um dos 26 dentes	39

5.20	Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes	40
5.21	Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.	40
5.22	Valores do parâmetro L^* de cada um dos 26 dentes	40
5.23	Valores do parâmetro C^* de cada um dos 26 dentes	41
5.24	Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes	41
5.25	Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.	41
5.26	Valores do parâmetro L^* de cada um dos 26 dentes	42
5.27	Valores do parâmetro C^* de cada um dos 26 dentes	42
5.28	Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes	43

Lista de Acrónimos

CCT Correlated Colour Temperature

CIE: Commission Internationale de l'Eclairage

IEC: International Electrotechnical Commission

L*C*h°: Lightness Chroma hue

LCD: Liquid Crystal Display

LED: Light-Emitting Diode

RGB: Red Green Blue

SPD Spectral Power Distribution

Capítulo 1

Introdução

A estética é um fator que está cada vez mais presente na preocupação do ser humano. É por isso imprescindível que, em caso de problemas a nível da estrutura dentária, seja possível restituir ou embelezar o sorriso. Mecanismos de deteção de cor tornam-se então uma ferramenta fundamental para a medicina dentária.

1.1 Motivação

Esta dissertação visa desenvolver e implementar um conjunto de procedimentos e mecanismos para conseguir identificar a cor de um dente, dentro de uma escala de cores previamente calibrada. Apesar de já existirem outros métodos que concretizam este propósito, estes são dispendiosos. Daí a realização desta dissertação, na esperança de servir para que toda a comunidade de dentistas consiga suportar esses custos. Exemplos de possíveis aplicações:

- Criação de próteses/implantes/facetas;
- Na realização de branqueamentos (para informar o quanto conseguirá branquear os dentes);
- No preenchimento de um dente partido;

Demonstra-se assim que ter um equipamento fidedigno, com fácil manuseamento e de baixo custo seja uma necessidade nos dias de hoje.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos são:

- Determinar a melhor escala de cores para proceder à avaliação da cor;
- Desenvolver diferentes configurações para tirar fotografias;
- Encontrar o melhor algoritmo de balanceamento de brancos;
- Criar uma base de dados de cores de dentes;
- Desenvolver um algoritmo que faça a comparação entre a base de dados e a foto de um dente;

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos, sendo eles:

- No capítulo 1 é estabelecida a motivação, os principais objetivos e organização desta dissertação.
- No capítulo 2 é feito um enquadramento ao tema da dissertação, onde é apresentada a definição de dente, de cor e tipos de escalas.
- No capítulo 3 são exploradas formas existentes para se fazer a avaliação de cor em medicina dentária.
- No capítulo 4 é explicado como se vai proceder à avaliação da cor nesta dissertação.
- No capítulo 5 são esclarecidas as escolhas tomadas em termos de iluminante e escala de cores. Para além disso são apresentadas as funções criadas e por fim os resultados obtidos e discussão dos mesmos.
- No capítulo 6 são expressas as conclusões finais e trabalho futuro.

Capítulo 2

Enquadramento

2.1 O dente

Os dentes constituem um órgão indispensável para o ser humano, sendo de extrema importância para a alimentação e para a fonética, tendo em conta que a articulação correta das palavras depende dos dentes em conjunto com a língua. Têm também um papel relevante em termos de estética e ainda na autoestima.

Segundo o Dicionário da Língua Portuguesa[1], "o dente é cada um dos órgãos rígidos que guarnecem a cavidade bucal de muitos animais". Para a nova enciclopédia portuguesa[2], dente é "cada uma das concreções implantadas em alvéolos nas maxilas do homem e de outros animais; Servem especialmente para a prensão, trituração e mastigação dos alimentos e no caso de alguns animais como defesa".

Os dentes estão presentes na boca desde o processo embrionário e iniciam a sua formação por volta da sexta semana de gestação, sendo que a erupção do primeiro dente dá-se por volta do sétimo mês de vida, durando este processo até à adolescência. .

Os seres humanos desenvolvem dois conjuntos de dentes durante a vida: os decíduos e os permanentes. Os dentes decíduos ou de leite, como são vulgarmente conhecidos, são vinte, dez na mandíbula e dez no maxilar, erupcionando durante a primeira infância, ou seja, até por volta dos dois anos e meio. Os dentes permanentes iniciam a sua erupção por volta dos seis anos, terminando por volta dos vinte anos, e poderão ser no final de vinte e oito a trinta e dois, dependendo dos quatro dentes do ciso, que podem ou não ser formados.

Os dentes dividem-se em incisivos, caninos, pré-molares e molares. Para realizar as suas funções normais, possuem uma estrutura anatómica peculiar que permite a sua efetivação.

Os incisivos são usados para cortar os alimentos, os caninos para rasgar e os pré-molares e molares para triturar e moer. O maxilar e a mandíbula são dotados de músculos poderosos capazes de fornecer uma força oclusiva.

Para realizar as suas funções normais, possuem uma estrutura anatômica peculiar que permite a sua efetivação. Cada dente é constituído por três partes, uma parte radicular ou raiz, revestida pelo cimento e contida no alvéolo dentário, ou seja, a cavidade onde encaixa a raiz; A coroa, a parte visível do dente, que se encontra revestida pelo esmalte, separada da raiz por uma zona chamada de colo; E uma cavidade interna denominada de câmara polpar, onde se encontra a polpa, sendo esta um tecido mole, onde se encontram os vasos sanguíneos e os nervos (figura 2.1).

O dente, na zona exterior, é ainda subdividido em faces ou lados. Existem três faces: As faces livres, que correspondem às faces que não se encontram em contacto com outros dentes da mesma arcada, são as zonas que estão direccionadas para os lábios/bochechas ou para a língua/palato; As proximais, estas faces são as que estão em contacto com os dentes da mesma arcada; E uma face oclusal, é a zona da coroa que entra em contacto com os dentes de outras arcadas[3]. Devido à necessidade de descrever/localizar zonas específicas da coroa dentária, esta ainda foi subdividida em terços (figuras 2.2 e 2.3): em particular na figura 2.3 está representada a fase oclusal dos dentes molares, que não existe nos restantes.

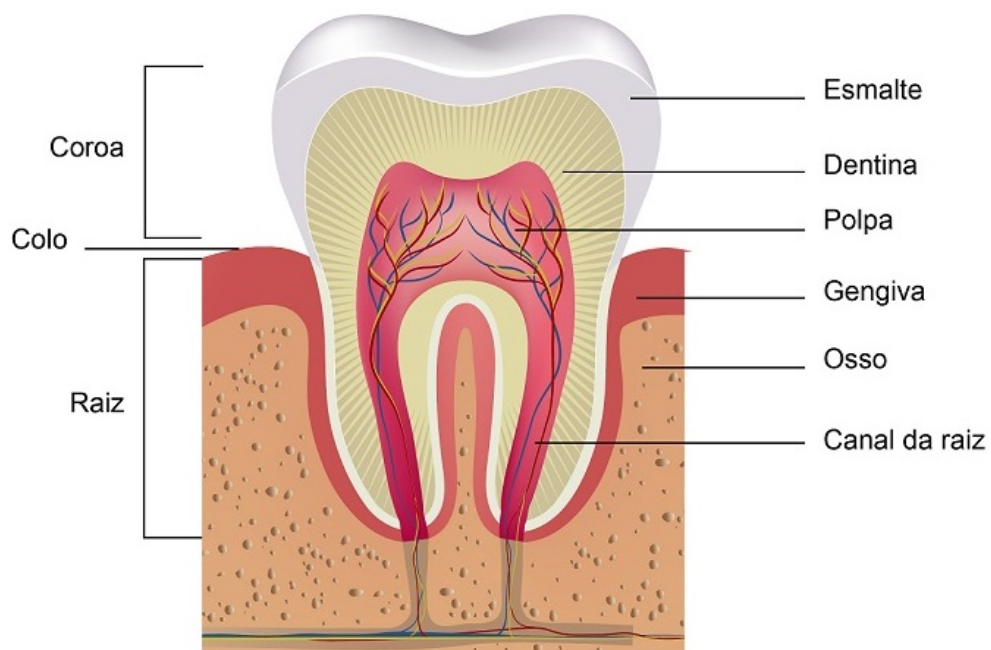


Figura 2.1: Estrutura dentária [4].

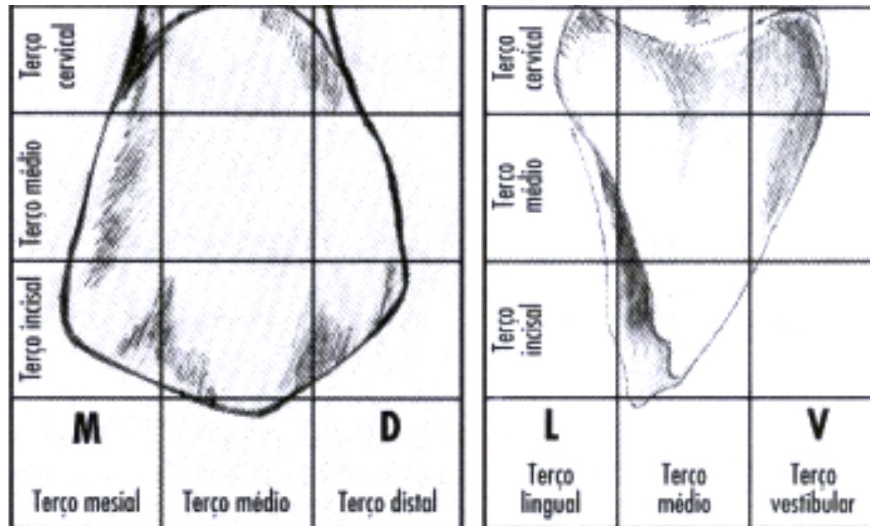


Figura 2.2: A figura da esquerda corresponde à face vestibular e a da direita à face proximal[5].

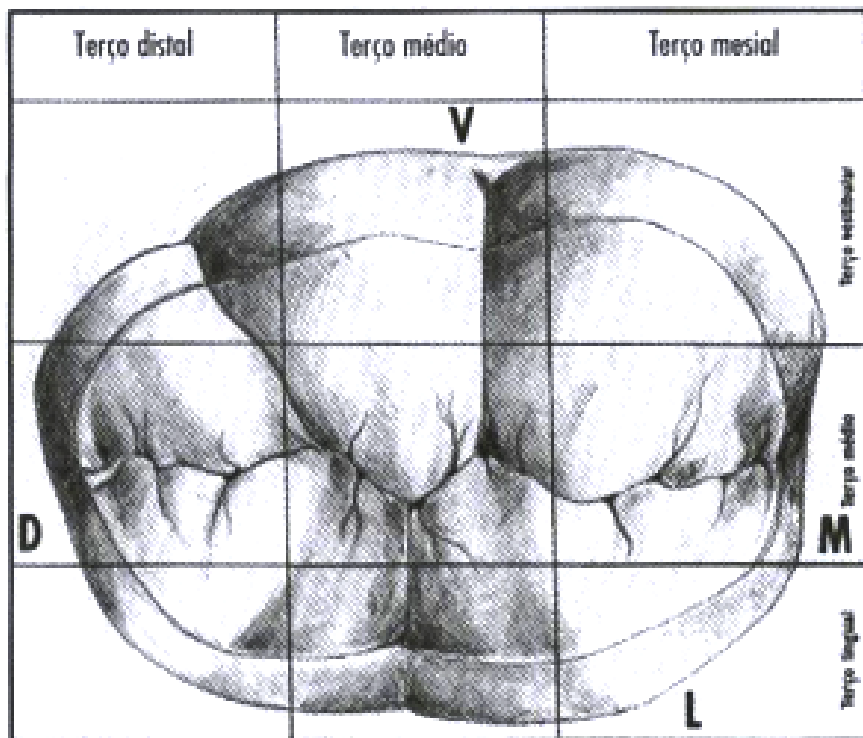


Figura 2.3: Face oclusal[5].

2.2 Cor

Segundo Nova enciclopédia portuguesa[2] "cor e luz são termos que se utilizam para descrever a nossa percepção quando o sentido da visão é estimulado por radiações eletromagnéticas de determinados comprimentos de onda". Para existir é necessário combinar três

componentes: um observador, um objeto e uma luz.

Aos nossos olhos, as cores chegam-nos através de uma combinação de informação vinda de células que se encontram no olho, chamadas cones e bastonetes. Num olho humano normal existem três tipos de cones: um para os comprimentos de luz curtos(S); outro para médios(M) e ainda uns terceiros para longos(L) (figura 2.4). Estes conseguem captar comprimentos de onda que vão de aproximadamente 380 nm a 750 nm. O conjunto de sinais captados por estes três tipos de cones definem a gama de cores que conseguimos observar, a esta forma de percepção é chamada de teoria tricromática. Nesta teoria, os cones interpretam uma distribuição espectral complexa e separam-na em três valores numéricos, cada um desses valores representa a intensidade com que cada um dos cones é estimulado.

O processo tricromático está sujeito a perdas, visto que não é possível obter a distribuição espectral original a partir do resultado alcançado pelos cones, dado que diferentes distribuições espectrais conseguem estimular os cones da mesma forma. Em consequência, é possível criar cores iguais com distribuições espectrais diferentes, a este fenómeno é chamado metamerismo.

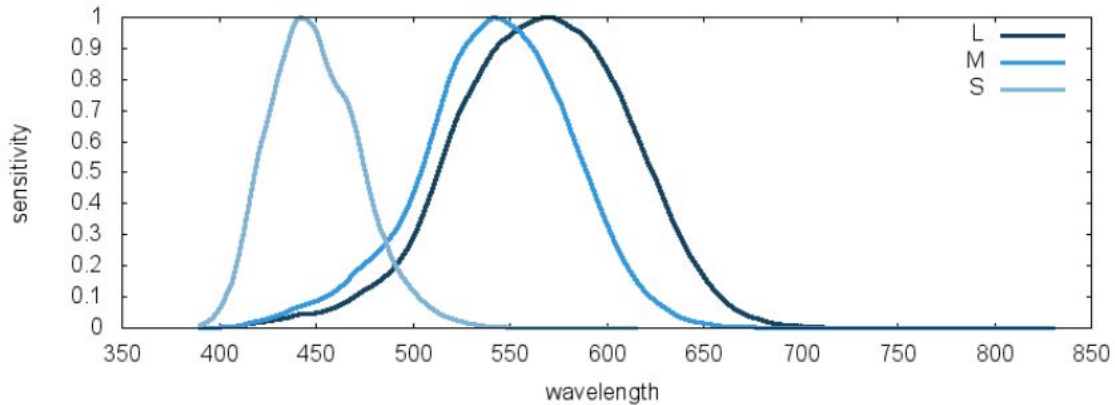


Figura 2.4: Sensibilidade dos cones oculares, em que o L representa os comprimentos de onda grandes(Long), responsável pela cor vermelha; o M os médios(Medium), responsável pela cor verde, e S os curtos(Small), responsável pela cor azul[6](O eixo horizontal representa o comprimento de onda em nm e o eixo vertical representa a sensibilidade em unidades arbitrárias).

Segundo resultados publicados pela PANTONE LLC[®] [7], a ciência da cor é um assunto com elevada importância e complexidade, tendo esta ideia levado à elaboração de um guia de cor bastante pormenorizado de modo a facilitar e uniformizar a sua expressão. Neste seu guia são denominados os atributos da cor, sendo que a empresa refere que existem três elementos, sendo eles a tonalidade, a saturação e a luminosidade.

Quando queremos identificar uma cor, primeiramente falamos sobre a tonalidade. A tonalidade é como distinguimos as diferentes cores, o vermelho do amarelo, azul, etc (figura 2.5). A saturação refere-se à intensidade da cor, como por exemplo um vermelho vivo ou um vermelho mais desbotado. Esta propriedade advém de uma cor se poder aproximar mais do cinzento ou da sua tonalidade pura. Tons puros são mais saturados, enquanto que tons mais desbotados contêm menos saturação (figura 2.6). Por último, a luminosidade, ou seja, o grau de brilho. Esta classifica se uma cor é mais clara ou mais escura: cores mais claras refletem mais a luz e são mais brilhantes, cores mais escuras são mais atenuadas (figura 2.7).

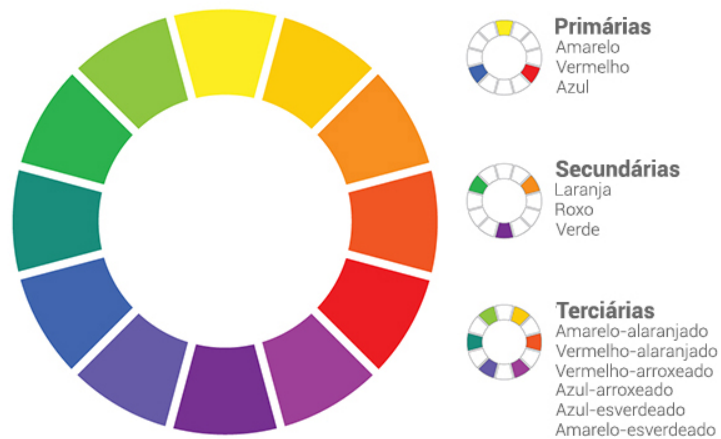


Figura 2.5: Circulo cromático[8].

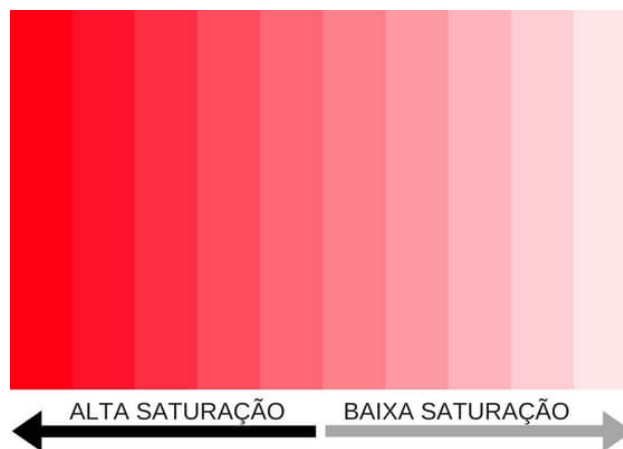


Figura 2.6: Saturação de uma cor[9].

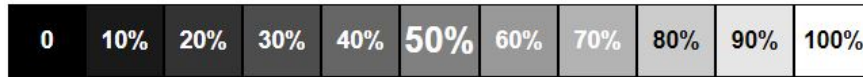


Figura 2.7: Intensidade luminosa[10].

2.3 Escalas de Cor

As escalas de cor são métodos criados para descrever e expressar uma cor. Estas podem ser definidas numericamente ou podem ser representadas por vários tipos de gráficos.

2.3.1 Escala de Munsell

Esta escala é muito importante a nível histórico pois é baseada na percepção da cor dos seres humanos. Além disso, foi concebida antes de existirem instrumentos que medissem a cor. A escala de Munsell atribui valores numéricos às três propriedades da cor: à tonalidade(*Hue*), saturação(*chroma*) e luminosidade(*value*).

Nesta escala, a tonalidade é representada por dez setores de tons[7]: Vermelho(R), Amarelo-Vermelho (YR), Amarelo(Y), Verde-Amarelo(GY), Verde(G), Azul-Verde(BG), Azul(B), Roxo-Azul(PB), Roxo(P) e Vermelho-Roxo(RP), dispostos num círculo com intervalos iguais. O Vermelho, o Amarelo, o Verde, o Azul e o Roxo como sendo os tons principais (figura 2.8).

De acordo com Munsell[11], a saturação tem como início o zero, mas não tem um fim. Os níveis de saturação são representados de forma a que a nível visual se tornem uniformes (figura 2.9).

Por fim temos a luminosidade[12], que varia de 0, preto puro, a 10, puro branco. Às cores contidas neste eixo chamamos-lhes de cores neutras. Esta propriedade é também aplicada às diferentes tonalidades, obtendo cores mais claras ou mais escuras (figura 2.10).

O conjunto destas propriedades podem ser observadas na figura 2.11.

2.3.2 Escalas da CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)

A CIE é uma organização sem fins lucrativos que atua na área técnica, científica e cultural. Têm como objetivos: providenciar um fórum internacional para discutir sobre ciência, tecnologia e arte nas áreas da luz e iluminação; Desenvolver padrões básicos e procedimentos de metrologia nas áreas da luz e iluminação; Providenciar apoio na aplicação de princípios e procedimentos no desenvolvimento de padrões internacionais e nacionais nas áreas da luz

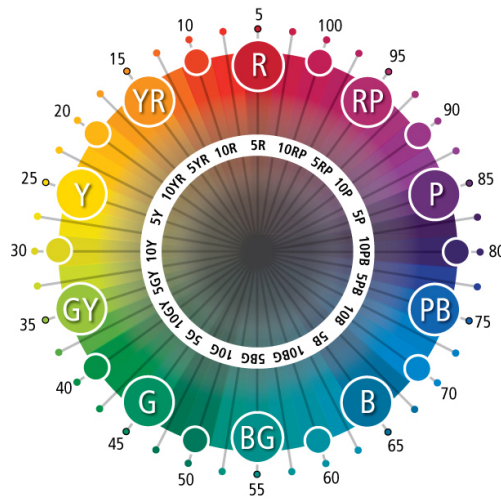


Figura 2.8: Representação da tonalidade(hue) na escala de Munsell[7].

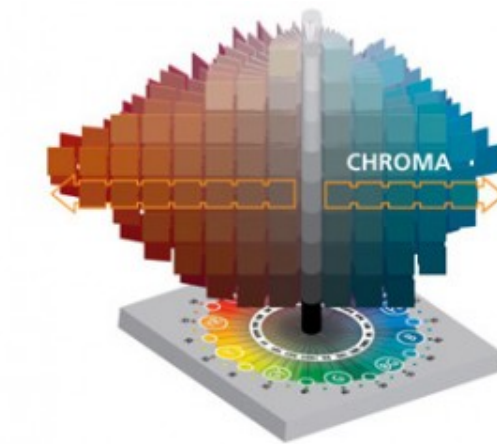


Figura 2.9: Representação da saturação(chroma) na escala de Munsell[11].

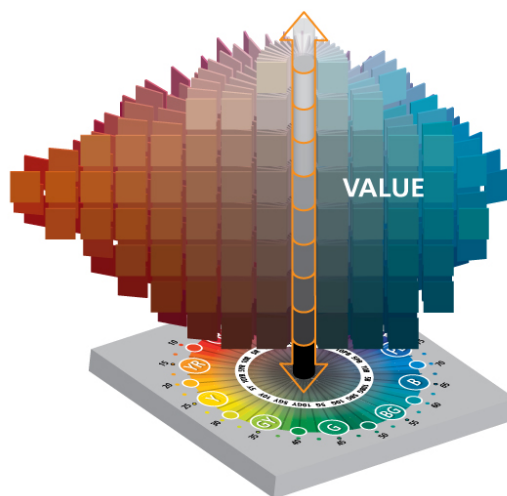


Figura 2.10: Representação da luminosidade(value) na escala de Munsell[12].

e iluminação; Na preparação e publicação de padrões, relatórios e outras publicações que

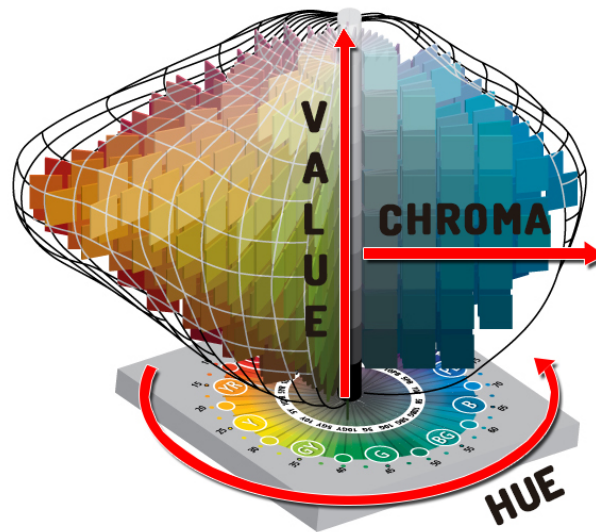


Figura 2.11: Escala de Munsell[13].

tenham como assuntos ciência, tecnologia e arte nas áreas da luz e iluminação; Manter conexão e interação técnica com outras organizações internacionais nos temas relacionados com a ciência, tecnologia, padronização e arte nas áreas da luz e iluminação.[14]

Foi fundada em 1913, tendo como sua antecessora a comissão internacional de fotometria. Esta comissão teve a sua primeira sessão de apresentações de trabalhos de investigação em 1903, em Zurich(Suíça). Em 1907 houve uma nova reunião onde se procedeu à apresentação de vários artigos que catalogavam os diversos tipos de chama. Na terceira sessão, em 1911, discutiram-se as lâmpadas a gás. Foi também nesta sessão que um artigo de grande importância foi apresentado. Este referia que se a radiação emitida por uma fonte de luz fosse medida a partir da sensibilidade do olho, a sua medição em unidades absolutas era como medir a luz a partir da fonte de emissão. Com o crescimento de novas tecnologias de iluminação, a medição da iluminância proveniente de fontes de luz tornou-se indispensável. A última reunião desta comissão foi em 1913, dando então origem à então chamada CIE. [15]

Desde então foi crescendo e criando novos padrões, desde iluminantes e recomendações de graus de incidência da luz, a escalas de cores.

Até ao dia de hoje a CIE possui 6 escalas de cores [16]:

- CIE RGB
- CIE XYZ
- CIE UVW

- CIE L*u*v
- CIE L*a*b
- CIE L*C*h°

Mais à frente, no capítulo 4, irão ser apresentadas cada uma destas escalas.

A determinação dos valores destas escalas por um instrumento é semelhante à forma como o ser humano o faz, obtendo e filtrando comprimentos de onda refletidos num objeto.

No caso do instrumento, este obtém os valores numéricos dos comprimentos de onda do espectro visível e guarda-os como pontos espectrais. Estes pontos são chamados impressão digital da cor. A partir destes dados espectrais é possível, aplicando equações matemáticas, transformá-los numa das escalas de cor.

Capítulo 3

Estado da Arte

Comunicar a cor que se observa a outro individuo é uma tarefa muito difícil. Por exemplo, dizer que um dente é amarelo é algo muito subjetivo. Sendo assim, para se poder avaliar e transmitir a cor de forma mais objetiva, foram desenvolvidos vários métodos para que seja possível obter uma melhor aproximação ao observado.

3.1 Guias de cor

Os guias de cor são moldes de dentes com diferentes tonalidades, saturação e luminosidade, que auxiliam o estomatologista ou o dentista na hora de saber que cor aplicar ao dente a ser intervencionado. Entre todos eles, os que são mais vantajosos de usar são os construídos no mesmo material que vai ser usado nas restaurações, implantes, etc. As escalas vita são a escolha da maioria dos profissionais de saúde oral. Estas proporcionam uma melhor aproximação à cor natural dos dentes[17]. Existem muitos guias de cor dentro do mundo VITA, mas entre todos irão apenas ser referidos os essenciais, em especial o Vitapan 3D master, porque para além de ter sido construída com base em evidências científicas, também apresenta uma escala de cores mais adaptada à concretização dos objetivos deste trabalho.

3.1.1 HELIOS-Dental nas cores VITA

Criado no início da década de 30, este guia foi o início de uma nova era. Este oferecia uma maior gama de cores e um conceito inovador de três camadas, o que proporcionou uma maior resistência do material e uma melhoria a nível estético. A obtenção destes resultados deveu-se à utilização de uma massa de porcelana dura como base, na qual era colocado um suporte

metálico com a finalidade de fixação. Utilizaram-se massas mais finas e transparentes, para produzir as zonas da dentina e incisal, o que permitiu obter uma melhor aproximação à estratificação dos dentes do ser humano (figura 3.1)[18].



Figura 3.1: Guia de cores Helios-Dental[18].

3.1.2 Vita Lumin Vacuum

O aparecimento desta escala advém da criação dos fornos de cerâmica a vácuo, tendo-se passado de uma queima atmosférica para a queima a vácuo. Esta inovação fez com que fosse possível melhorar consideravelmente a forma de produzir os dentes, melhorando as características tanto ópticas como mecânicas das resultantes massas cerâmicas. Devido ao vácuo, os dentes produzidos deixaram de ser porosos, facilitando o processo de polimento e fresagem dos dentes por parte de técnicos.

Foi uma revolução na época pois, com esta nova forma de fabrico, os dentes deixaram de ser tão transparentes, porém opalescentes, obtendo ainda melhores resultados que o seu antecessor (secção 3.1.1), tendo sido alcançada uma maior variedade de cores (figura 3.2)[18].

3.1.3 Vitapan 3D master

A escala eleita para esta dissertação, a Vitapan 3D master (figura 3.3), é uma escala que nos oferece uma melhor avaliação da cor dos dentes. Tal tornou-se uma realidade devido à forma como a escala foi projetada, pois em vez de utilizar métodos empíricos, utiliza conceitos relacionados com a percepção da cor[19]. Esta escala apresenta três etapas de avaliação. A primeira diz respeito à luminosidade, a segunda à intensidade e por último a avaliação da cor (ver Apêndice B).

Durante a primeira etapa, a escala deve ser colocada junto do dente a ser avaliado, selecionando de 0 a 5, em que 0 representa a maior luminosidade e 5 a menor. Na etapa

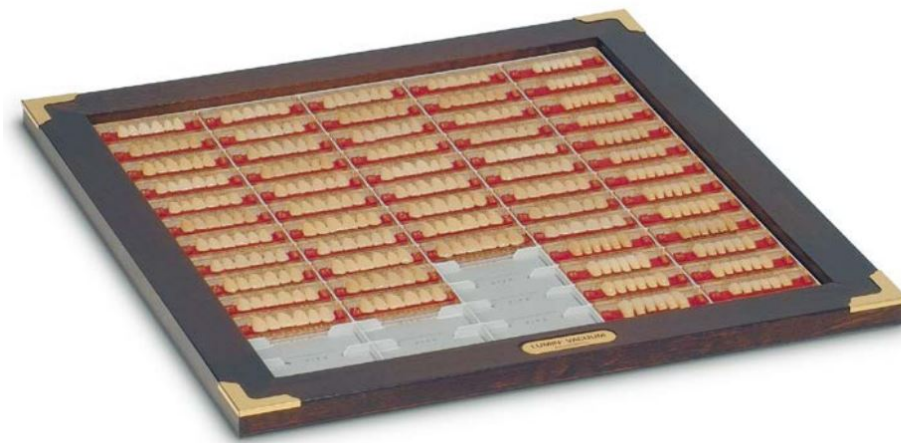


Figura 3.2: Guia de cores VITA LUMIN VACUUM[18].

seguinte é selecionado o nível de saturação da cor, apresentando uma escala de 1 a 3, em que 1 é a menor intensidade e 3 a maior. Na última, determina-se a cor final a atribuir ao dente que vai ser reconstruído ou implantado. Nesta é verificada se é uma cor mais avermelhada ou mais amarelada, tendo três níveis de comparação, L,M e R, em que L é mais amarelado e R mais avermelhado. (Anexo 1)



Figura 3.3: Guia de cores VITA 3D-MASTER[20].

3.2 Instrumentos de Medição de cor

Muitos foram os estudos que provam que a utilização de guias de cor não levam à obtenção do melhor resultado[17], pois para além de não fornecerem uma gama espectral suficiente de acordo com as cores existentes na dentição dos seres humanos, o olho humano também é suscetível ao erro. Isto faz com que certas intervenções em medicina dentária tenham maus

resultados, obtendo assim cores diferentes, ou muito diferentes, do esperado. Inevitavelmente começaram a surgir instrumentos que realizam a obtenção da cor a partir de diferentes tipos de tecnologia. Estes não estão sujeitos ao cansaço do olho humano ou à percepção de cor de cada um.

Estudos revelam que a utilização destes instrumentos aumentou a exactidão da obtenção de cores [21][22][23], tornando estes aparelhos uma necessidade das clínicas nos dias de hoje. Contudo, e como já referido anteriormente, o seu maior senão é o elevado custo.

3.2.1 The Crystaleye Spectrophotometer

Este instrumento utiliza como fonte de luz díodos emissores de luz(LEDs) a 45/0° em relação ao objeto. Utiliza ainda um monitor LCD, um suporte para calibrar e transmitir dados para um computador e uma capa protetora para que não haja contacto direto entre a máquina e o dente (figura 3.4).

Para iniciar a obtenção da cor em primeiro é efectuada uma calibração a partir de uma referência de cores presente no suporte, sendo de seguida colocada a capa protetora, procedendo-se por fim à determinação da cor.

As imagens obtidas são então enviadas para o computador para se proceder à sua respetiva análise recorrendo à aplicação Crystaleye Application Master[®]. Esta aplicação realiza automaticamente a determinação da cor para as zonas cervicais, médias e incisais[21], com a possibilidade de seleccionar outras zonas de interesse.



Figura 3.4: Instrumento de medição da cor dos dentes - Crystaleye Spectrophotometer [21].

3.2.2 VITA Easyshade V

Vita Easyshade V é um instrumento digital que tanto determina a cor de dentes naturais como de restaurações ou implantes de cerâmica, de forma precisa, rápida e confiável.

Para ser realizada a determinação da cor, inicialmente é colocada uma proteção de plástico na ponta do aparelho de forma a que a medição seja efetuada sem que este entre diretamente em contacto com o dente. Posteriormente procede-se à calibração do instrumento, colocando-o na base de carga que contém um bloco de calibração. Por último procede-se à medição da cor. Para que esta seja correta é imprescindível seguir um conjunto de regras que são apresentadas no manual de utilização.

Os dados obtidos da determinação da cor são transferidos para um computador ou dispositivo móvel através de uma interface bluetooth. A aplicação para computador comporta um programa que, para além de guardar toda a documentação do cliente, é capaz de, a partir de uma foto da sua face a sorrir, fazer uma simulação do resultado final.[24] [25]



Figura 3.5: Instrumento de medição da cor dos dentes - VITA Easyshade[®] V[26].

Capítulo 4

Obtenção da Cor

Como referido na secção 2.2, para que seja possível haver cor é necessária a combinação de três componentes, um iluminante, um dente e um observador (figura 4.1). No contexto deste trabalho, o observador é a máquina fotográfica digital, o que nos leva a necessitar de uma escala de cores adequada para proceder à representação da cor.

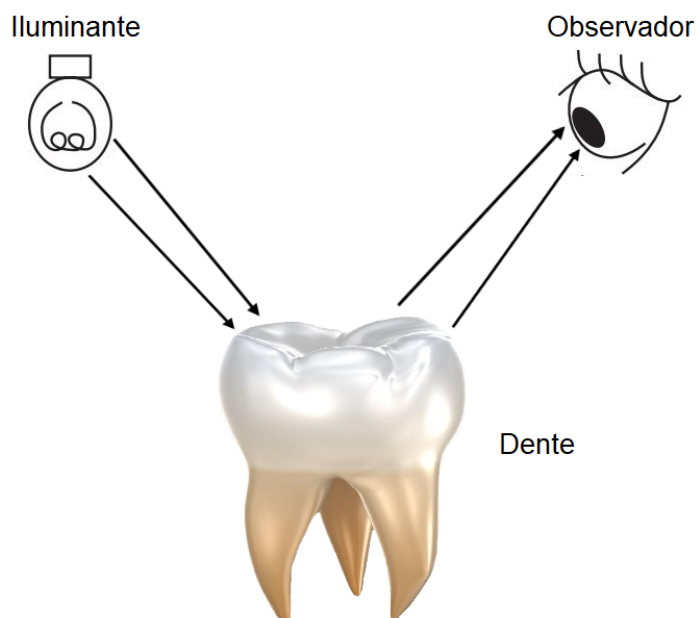


Figura 4.1: Processo de obtenção de cor
Fonte: adaptação de várias imagens.

4.1 Iluminante

A CIE apresenta dois iluminantes padrão que são aconselhados para a realização da obtenção da cor mas, no caso de não ser possível a sua utilização, apresenta algumas outras alternativas que poderão ser usadas. Nesta secção só irão ser apresentados os dois iluminantes padrão, pois só estes serão relevantes para o trabalho.

4.1.1 Iluminante padrão A da CIE

O iluminante A (figura 4.2) pretende representar as lâmpadas clássicas de filamento, comumente chamadas de lâmpadas incandescentes. A CIE [16] recomenda a utilização deste iluminante para diferentes aplicações mais triviais relativas à colorimetria.

A seguinte equação representa a distribuição espectral relativa (SPD), usada para determinar as cores nas escalas da CIE, quando este iluminante é utilizado. Os valores da distribuição espectral relativa para o iluminante padrão A, $S_A(\lambda)$, encontram-se também tabelados[16].

$$S_A(\lambda) = 100 \left(\frac{560}{\lambda} \right)^5 \times \frac{\exp \frac{1,435 \times 10^7}{2848 \times 560} - 1}{\exp \frac{1,435 \times 10^7}{2848\lambda} - 1} \quad (4.1)$$

onde λ corresponde ao comprimento de onda, que varia de 300nm a 830nm e as constantes que aparecem nas exponenciais foram fixadas aquando da primeira definição deste tipo de iluminantes em 1931[27].

4.1.2 Iluminante padrão D65 da CIE

O iluminante padrão D65 (figura 4.2) pretende representar uma fase da luz do dia, com uma temperatura de cor correlacionada (CCT) de aproximadamente 6500 K.

Os valores da distribuição espectral relativa, $S_{D65}(\lambda)$ estão definidos em tabelas[16].

4.1.2.1 Outros iluminantes D

Apesar de ser recomendado o uso do iluminante padrão D65, existem outros iluminantes D para representar a luz do dia natural:

- D50, com um CCT de 5000 K;

- D55, com um CCT de 5500 K;
- D75, com um CCT de 7500 K;

Os valores da distribuição espectral relativa para os mencionados iluminantes alternativos são $S_{D50}(\lambda)$, $S_{D55}(\lambda)$ e $S_{D75}(\lambda)$ encontram-se também definidos em forma de tabelas [16].

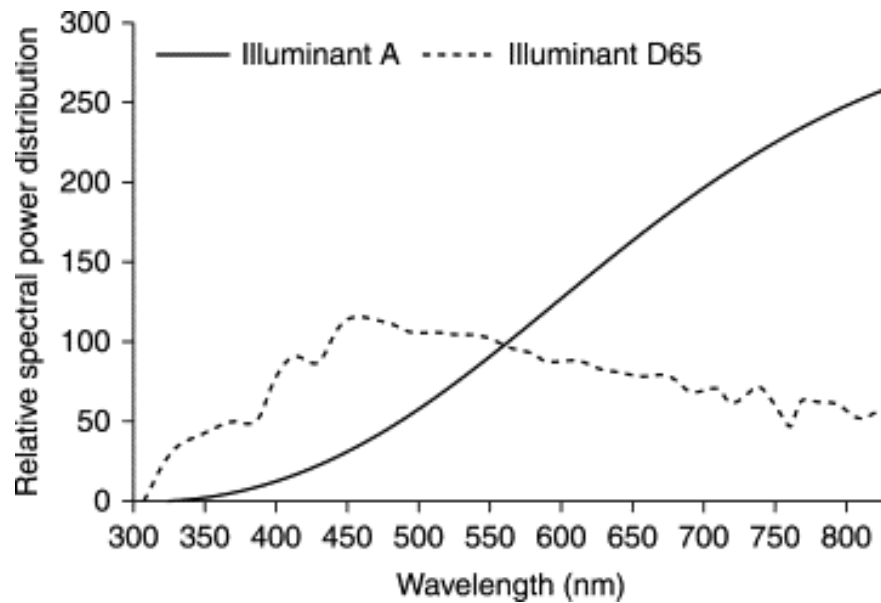


Figura 4.2: O eixo vertical representa a distribuição espectral relativa dos iluminantes A e D65 da CIE e o horizontal o comprimento de onda. [28].

4.2 Escalas de Cores

4.2.1 CIE RGB

CIE RGB contém três funções de correspondência de cor, $r(\lambda)$, $g(\lambda)$ e $b(\lambda)$ (figura 4.3), que se referem aos três estímulos de referência, o vermelho, com comprimento de onda de 700,0 nm, o verde, com 546,1 nm e azul com 435,8nm, respectivamente.

Ao aplicar diferentes luminosidades (quantidade de energia irradiada por um corpo em uma unidade de tempo) de cada um dos estímulos de referência, é possível produzir diversos tipos de cores (figuras 4.4 e 4.5). Atualmente, é deste modo que as cores são produzidas nos ecrãs baseados na tecnologia LED.

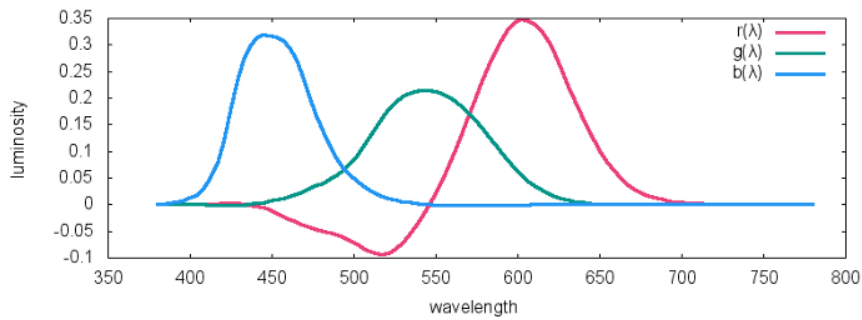


Figura 4.3: Funções de correspondência de cor CIE RGB, onde o eixo vertical representa a luminosidade, em unidades arbitrárias, e o horizontal o comprimento de onda, em nm[6].

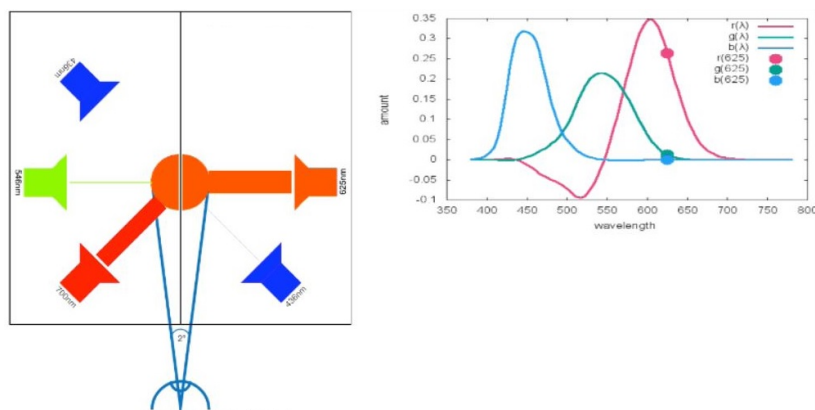


Figura 4.4: CIE RGB, Obtenção de cor 1, o eixo vertical representa a luminosidade, em unidades arbitrárias, e o horizontal o comprimento de onda, em nm[6].

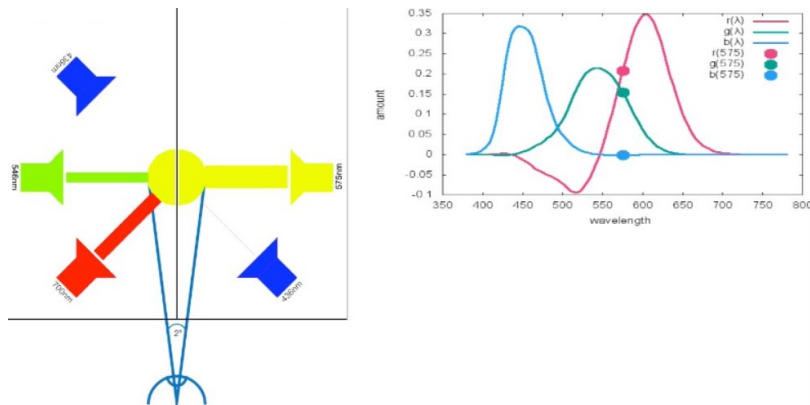


Figura 4.5: CIE RGB, Obtenção de cor 2, o eixo vertical representa a luminosidade, em unidades arbitrárias, e o horizontal o comprimento de onda, em nm[6].

4.2.2 CIE XYZ

A escala padrão CIE XYZ veio substituir a escala CIE RGB, aumentando assim a quantidade de cores possíveis de serem representadas (figura 4.6).

A determinação dos valores de uma cor nesta escala pode ser obtida a partir da multipli-

cação do valor da função de estímulo de cor($\phi_\lambda(\lambda)$) em cada comprimento de onda, por cada uma das funções de correspondência de cor da CIE e integrando ou procedendo ao somatório das mesmas ao longo dos comprimentos de onda do espectro visível (entre 360 nm a 830nm).

$$X = k \sum_{\lambda} \phi_{\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \quad (4.2)$$

$$Y = k \sum_{\lambda} \phi_{\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \quad (4.3)$$

$$Z = k \sum_{\lambda} \phi_{\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \quad (4.4)$$

onde $\phi_\lambda(\lambda)=d\phi(\lambda)$, representa a distribuição espectral da função de estímulos da cor, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ e $\bar{z}(\lambda)$ são funções de correspondência cor(os valores destas funções, para cada comprimento de onda, estão presentes em tabelas [16]), e k é uma constante de normalização ($k = 100 / \sum \lambda S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$, em que S(λ) representa a distribuição espectral do iluminante usado, sendo que se for um dos padrões da CIE, já se encontram tabelados[16]).

Representar uma cor a partir de três coordenadas torna-se difícil de interpretar e visualizar. Então, de forma a resolver este problema, podem ser utilizadas as coordenadas de cromaticidade (x,y,z).

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (4.5)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (4.6)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (4.7)$$

Como $x+y+z=1$, é suficiente representar só as coordenadas x e y. O gráfico de representação das coordenadas de cromaticidade x e y é referido como diagrama de cromaticidade da CIE 1931 (figura 4.6).

Existe ainda outro método desenvolvido pela CIE[16] para obter os valores nesta escala de cor, a partir de uma transformação linear da escala anterior, secção 4.2.1, esse método é o seguinte:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.768892 & 1.751748 & 1.130160 \\ 1,000000 & 4.590700 & 0.060100 \\ 0 & 0.056508 & 5.594292 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

É possível também obter os valores CIE XYZ a partir dos valores RGB obtidos por uma câmara, método este que foi desenvolvido pela Comissão Internacional de Electrotécnica (IEC) [29]: refira-se que as constantes que surgem nas equações 4.9 e 4.10, foram definidas por esta mesma comissão.

Inicialmente considera-se a transformação linear de CIE XYZ para sRGB (RGB padrão), já normalizado de forma a que os valores estejam num intervalo de 0 a 1.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406255 & -1.537208 & -0.4986286 \\ -0.9689307 & 1.8757561 & 0.0415175 \\ 0.0557101 & -0.2040211 & 1.05699959 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Para obter então a transformação desejada, de sRGB para XYZ, procede-se ao cálculo da inversa da matriz anterior.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

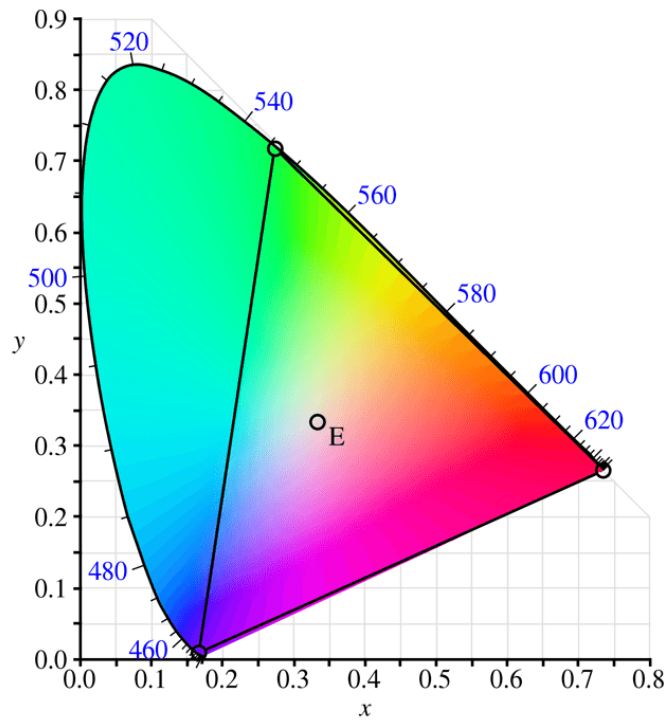


Figura 4.6: Diagrama de cromaticidade CIE 1931, onde o triângulo interior representa as cores possíveis de obter com a escala CIE RGB[30].

4.2.3 CIE UVW

A escala CIE UVW, foi desenvolvida de forma a melhorar a percepção que temos das cores e tornar a interpretação gráfica mais direta.

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad (4.11)$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \quad (4.12)$$

$$w' = 1 - u' - v' \quad (4.13)$$

onde X,Y,Z são os valores da escala CIE XYZ (secção 4.2.2) calculados a partir das equações 4.2, 4.3 e 4.4, respetivamente.

4.2.4 CIE L*a*b*

Esta escala de cores utiliza coordenadas rectangulares, tornando a interpretação da cor mais simples e linear. A coordenada L* representa a luminosidade, que varia de puro preto a puro branco. A coordenada a* contém a cor verde numa extremidade e a cor vermelha na extremidade oposta. Por fim, a coordenada b* contém a cor azul numa extremidade e a cor amarela na extremidade oposta (figura 4.7).

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16 \quad (4.14)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (4.15)$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (4.16)$$

onde

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3} \quad \text{se } (X/X_n) > (24/116)^3 \quad (4.17)$$

$$f(X/X_n) = (841X/108X_n) + 16/116 \quad \text{se } (X/X_n) \leq (24/116)^3 \quad (4.18)$$

$$f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \quad \text{se } (Y/Y_n) > (24/116)^3 \quad (4.19)$$

$$f(Y/Y_n) = (841Y/108Y_n) + 16/116 \quad \text{se } (Y/Y_n) \leq (24/116)^3 \quad (4.20)$$

$$f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \quad \text{se } (Z/Z_n) > (24/116)^3 \quad (4.21)$$

$$f(Z/Z_n) = (841Z/108Z_n) + 16/116 \quad \text{se } (Z/Z_n) \leq (24/116)^3 \quad (4.22)$$

X, Y, Z são os valores da escala CIE XYZ (secção 4.2.2) e X_n , Y_n , Z_n são valores referentes ao iluminante utilizado, no caso de serem iluminantes padrão da CIE, valores esses descritos em tabelas[16]: refira-se ainda que este conjunto de equações foram estabelecidas por esta mesma comissão.

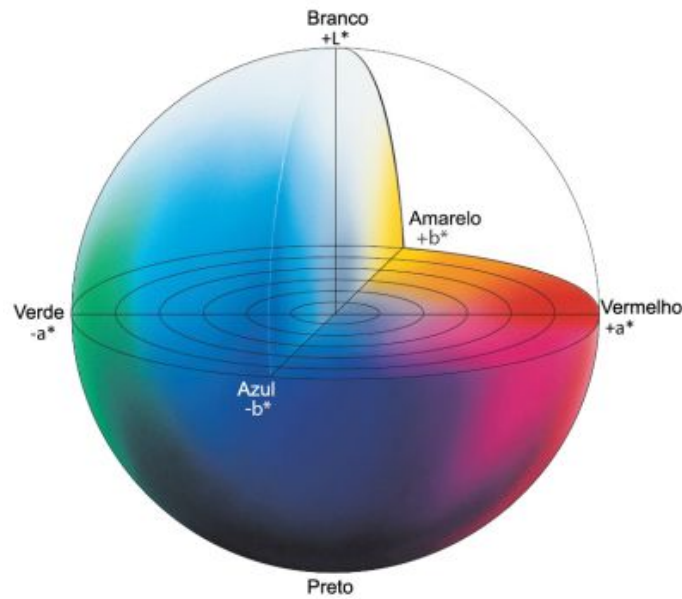


Figura 4.7: Escala CIE $L^*a^*b^*$ [31].

4.2.5 CIE $L^*u^*v^*$

Esta escala foi uma melhoria da escala CIE UVW (secção 4.2.3) apresentando agora uma maior clareza na coordenada relacionada com a luminosidade e uma maior uniformidade na representação das coordenadas.

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16, \text{ tal como já foi definido na equação 4.14} \quad (4.23)$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n) \quad (4.24)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n) \quad (4.25)$$

onde $f(Y/Y_n)$ é a função apresentada na secção 4.2.4, funções 4.19 e 4.20, u' e v' são os valores calculados a partir das equações 4.11 e 4.12, respetivamente. X , Y , Z são os valores da escala CIE XYZ, secção 4.2.2, e X_n , Y_n , Z_n são valores referentes ao iluminante utilizado, no caso de serem iluminantes padrão da CIE, valores esses já tabelados[16], foi esta mesma comissão que estabeleceu as equações 4.23 a 4.25.

4.2.6 CIE L*C*h°

CIE L*C*h° (figura 4.8) é uma transformação para coordenadas polares da escala CIE L*a*b* (secção 4.2.4).

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16 \quad (4.26)$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (4.27)$$

$$h^\circ = \arctan(b^*/a^*) \quad (4.28)$$

onde L* representa a luminosidade, como na escala CIE L*a*b* e CIE L*u*v*, C* é referente à saturação e a coordenada h° à tonalidade.

Posto isto, esta é a escala eleita para esta dissertação, pois vai de encontro à forma como os dentes estão dispostos no guia de cores Vitapan 3D master, em que primeiro é avaliada a luminosidade, parâmetro L*, depois a saturação, parâmetro C*, e por último a tonalidade, parâmetro h°.

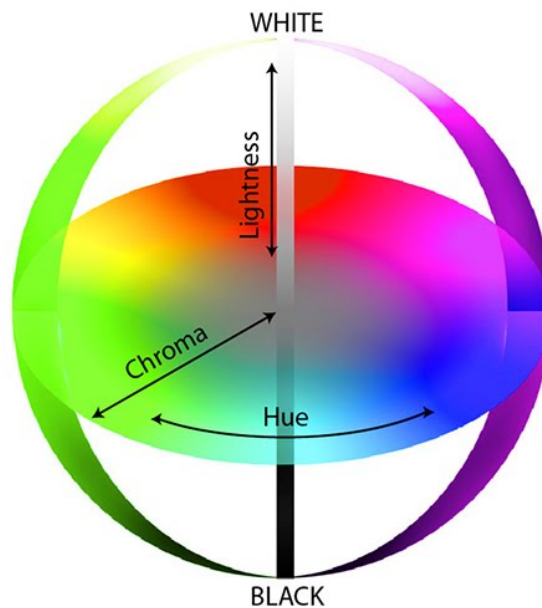


Figura 4.8: Escala CIE L*C*h°[32].

Capítulo 5

Implementação e Resultados

5.1 Iluminante Utilizado

Ao utilizar diferentes tipos de iluminantes sobre um mesmo objeto obtêm-se diferentes cores (figura 5.1), o que acaba por influenciar a avaliação da cor. Sendo que a maior parte dos instrumentos de medição de cor utilizam uma aproximação do iluminante padrão CIE D65 e, tendo em conta que os dentes são mais frequentemente observados à luz do dia, faz todo o sentido a utilização deste iluminante. Importa ainda referir que este é privilegiado em relação ao iluminante padrão A da CIE pois apresenta uma distribuição espectral relativa mais uniforme ao longo do espectro visível[33] (figura 4.2).

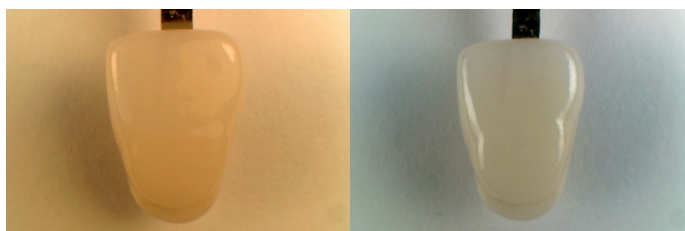


Figura 5.1: Esquerda: Iluminante com uma temperatura de 2700k; Direita: Iluminante com uma temperatura de 6500k, uma aproximação ao iluminante D65 da CIE

5.2 Escala de Cores escolhida

Relativamente à escala de cores utilizada e tendo em consideração de que os principais focos de avaliação da cor dos dentes são a luminosidade, a saturação e a tonalidade, a escala CIE $L^*C^*h^\circ$ assume especial relevância no desenvolvimento desta dissertação, facilitando

assim a avaliação de cor em Medicina Dentária.

5.3 Configurações para obter imagens dos dentes

Para proceder à obtenção das imagens foi usada uma câmara digital (figura 5.2). Foram utilizadas três configurações para tirar fotografias aos dentes, e obter posteriormente a base de dados. Duas destas utilizaram como iluminante os LEDs da câmara (figura 5.3), sendo que numa delas foram acopladas à câmara as peças elaboradas por um colega de Medicina Dentária (figuras 5.4, 5.5 e 5.6), tendo estas sido pintadas com cor de prata para haver uma maior difusão de luz.

Na última configuração foram utilizadas duas lâmpadas LED, que permitiam obter uma aproximação ao iluminante padrão CIE D65, colocadas de forma a que a luz incidisse no dente com uma inclinação de 45° , conseguindo-se assim que a reflexão da luz na superfície do dente não incidisse directamente na câmara, evitando que a zona relevante ficasse com cor branca, o que levaria a uma má determinação da cor. Refira-se ainda que para uma das configurações mencionadas adquiriram-se varios conjuntos de imagens.



Figura 5.2: Câmara Digital

5.4 Implementação em Matlab

Após a obtenção das fotografias dos vinte e seis dentes pertencentes ao guia de cores Vitapan 3D master, estas foram inseridas no workspace do matlab, tendo sido escolhidas individualmente as zonas retangulares onde se iria proceder à determinação da cor, utilizando a função *drawrectangle()* (função A.1 no apêndice A).



Figura 5.3: LEDs da Camâra Digital

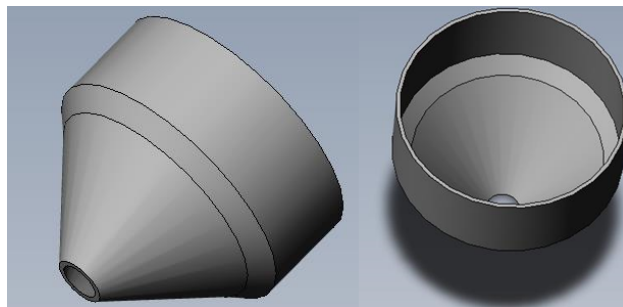


Figura 5.4: Parte difusora de luz

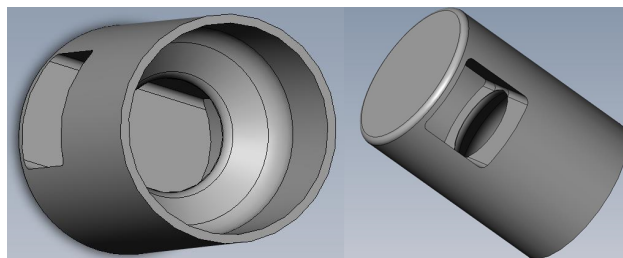


Figura 5.5: Suporte para a câmara

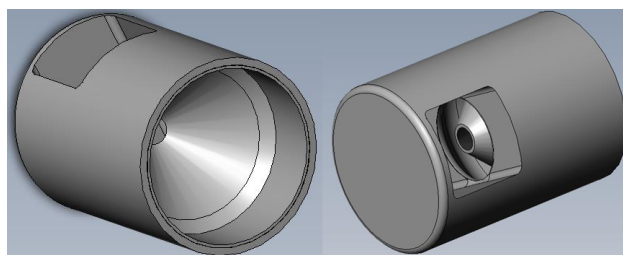


Figura 5.6: Conjunto das duas peças

Após a obtenção das zonas de interesse, os valores RGB de cada zona foram guardados numa matriz coluna. Posteriormente foi calculada a mediana, utilizando a função Matlab *median* (utiliza-se a mediana para evitar que pixels inviáveis originem maus resultados), referente a cada uma das cores RGB, repetindo-se este processo até obter os valores para todos os dentes do guia de cores (função A.2 do apêndice A). Por último foi feita a transformação do espaço de cores RGB para o espaço de cores CIE L*C*h° (função A.3 no apêndice A) e apresentados os resultados em gráficos de barras. A figura 5.7 representa o diagrama de fluxo do programa desenvolvido.



Figura 5.7: Diagrama de fluxo do programa desenvolvido

5.5 Resultados

Esta secção é destinada à apresentação dos resultados obtidos na avaliação da cor nas três configurações. A cor dos dentes será apresentada na escala CIE $L^*C^*h^\circ$, onde estarão expostos os resultados de cada um dos 26 dentes do guia de cores Vitapan 3D master, em três gráficos de barras correspondentes a cada parâmetro da escala de cor: luminosidade, saturação e tonalidade.

A denominação de cada um dos 26 dentes da escala será a seguinte: 1M1, 1M2, 2L1.5, 2L2.5, 2M1, 2M2, 2M3, 2R1.5, 2R2.5, 3L1.5, 3L1.5, 3L2.5, 3M1, 3M2, 3M3, 3R1.5, 3R2.5, 4L1.5, 4L2.5, 4M1, 4M2, 4M3, 4R1.5, 4R2.5, 5M1, 5M2 e 5M3. O número inicial corresponde à luminosidade, a letra à saturação e o último número à cor.

É esperado que dentes pertencentes ao mesmo grupo de luminosidade apresentem um parâmetro L^* de valor semelhante e que dentes pertencentes ao mesmo grupo de luminosidade e saturação apresentem valores crescentes para o parâmetro C^* (o dente 3M1 apresenta um menor valor de C^* que o dente 3M2 e o 3M2 menor que o 3M3) por último, é esperada uma redução no valor do parâmetro h° , referente à cor, em dentes de grupos equivalentes em luminosidade e em saturação (o dente 1M2 tem um menor ângulo que o 1M1, devido ao aumento da cor vermelha em dentes com o último número maior e, como pode ser observado no gráfico 4.8, esta cor tem um menor ângulo nas coordenadas $L^*C^*h^\circ$).

Numa primeira fase, os iluminantes utilizados foram os LED's já incorporados na câmara (figura 5.3), em que na primeira configuração é só utilizada a câmara e na segunda é acoplada a peça fabricada (figura 5.6). Os resultados obtidos não foram satisfatórios, o que levou à procura de um iluminante externo para a obtenção de uma melhor interpretação da cor dos dentes.

Por último, foi utilizada uma aproximação ao iluminante padrão D65 da CIE. Esta mudança de iluminante provocou uma grande melhoria na determinação da cor, ainda que o resultado obtido não seja ótimo.

As fotografias foram tiradas colocando um cartão de baixa reflexão como fundo, utilizado por profissionais de fotografia para realizar correcções de brancos. Este cartão é composto por uma zona branca, uma cinzenta e outra preta.

Os resultados apresentados em gráficos de barras foram os obtidos para a escala de cores CIE $L^*C^*h^\circ$ (coordenadas polares), facilitando a leitura dos dados. Os valores obtidos estão

apresentados em gráficos de barras pela ordem que estão dispostos no guia de cores, já apresentada no primeiro parágrafo desta secção.

5.5.1 Resultados Configuração 1

Esta primeira configuração utiliza como iluminantes os LEDs acoplados à câmara, como já foi referido anteriormente, e utilizou-se o fundo branco (figura 5.8).

Como pode ser observado nas figuras 5.9, 5.10 e 5.11, não foram obtidos os resultados esperados, referidos na secção 5.5, pois, como se pode ver na figura 5.9, para os dentes pertencentes ao mesmo grupo de luminosidade o parâmetro L^* não apresenta valores semelhantes, refira-se como exemplo os dentes identificados como 2M1 e 2M2. No caso do parâmetro C^* (figura 5.10), os valores deveriam ser crescentes, mas como pode ser observado nos dentes 2M1 e 2M2, tal não se verifica. Idêntica situação com o parâmetro h° : mais uma vez por inspeção dos valores obtidos para os dentes 2M1 e 2M2, a redução esperada não é observada. Concluindo abandonou-se esta configuração e passou-se a uma segunda configuração.

Podem ser observadas algumas diferenças nos parâmetros C^* e h° não sendo estas significativas para esta dissertação.



Figura 5.8: Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.

5.5.2 Resultados Configuração 2

Os resultados com as peças criadas não foram satisfatórios, pois as fotografias obtidas não apresentavam a qualidade necessária (figura 5.12).

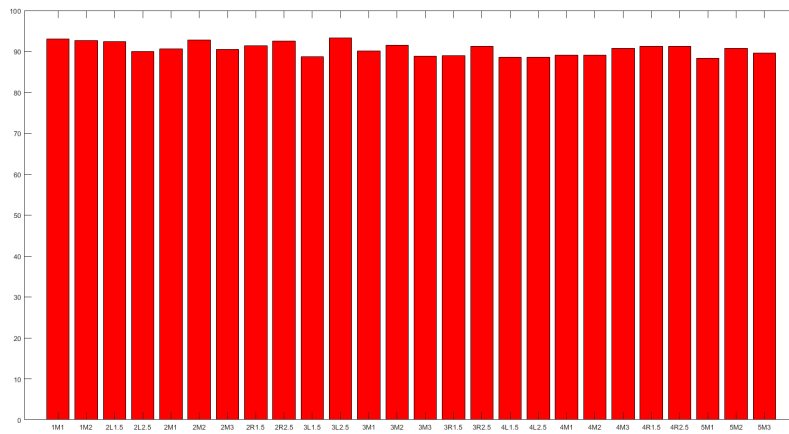


Figura 5.9: Valores do parâmetro L^* de cada um dos 26 dentes

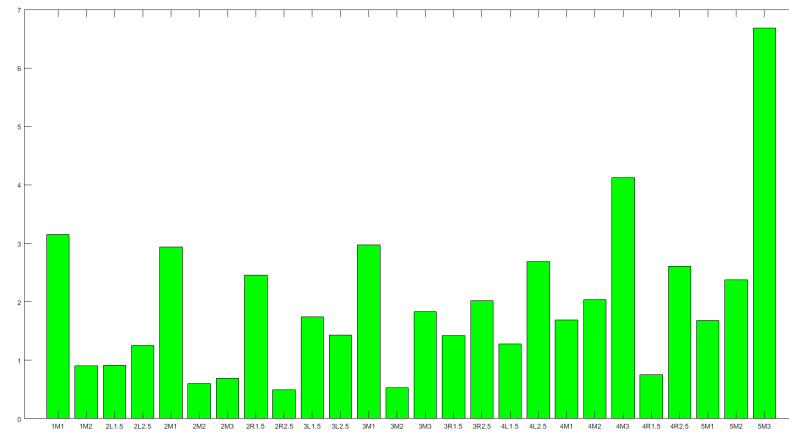


Figura 5.10: Valores do parâmetro C^* de cada um dos 26 dentes

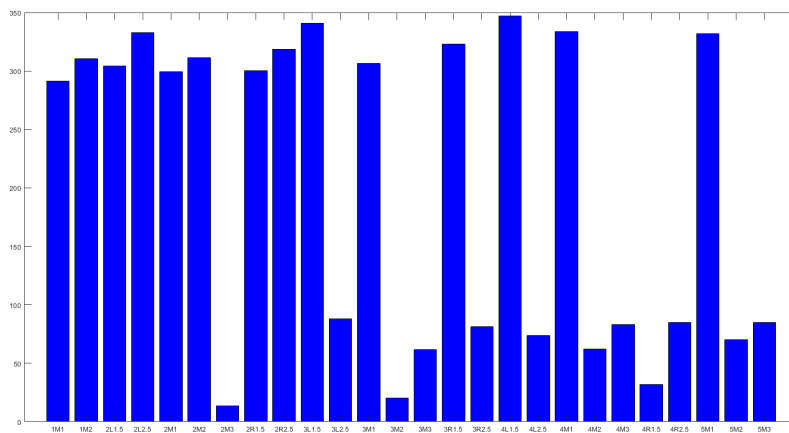


Figura 5.11: Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes



Figura 5.12: Fotografia do dente 1M1 do guia de cores, com as peças criadas acopladas à câmara.

5.5.3 Resultados Configuração 3

A última configuração utiliza então dois LEDs que representam uma aproximação ao iluminante D65 da CIE e diferentes fundos, um branco, um preto e um cinzento.

Os resultados das fotografias dos dentes nos quais foi utilizado o fundo branco (figura 5.13), são os apresentados nos gráficos 5.14, 5.15 e 5.16. Utilizando então a aproximação ao iluminante D65 e o fundo branco já se conseguiu que o parâmetro L fosse igual para dentes de alguns dos grupos de luminosidade, nomeadamente o grupo 3 e 4. É também notório na observação do parâmetro C^* que existe um aumento no seu valor para dentes pertencentes ao mesmo grupo de luminosidade e saturação. O valor de C^* para o dente 1M2 é superior ao valor de 1M1, o valor de 3M3 é superior ao 3M2 que por sua vez é maior que o 3M1, demonstrando-se assim que a utilização da aproximação ao iluminante padrão D65 resultou numa melhoria significativa nos resultados. Em relação ao parâmetro h° é perceptível a redução mencionada na secção 5.5, contudo não corresponde ao esperado em todos os grupos de dentes.

Seguidamente colocaram-se os iluminantes mais longe dos dentes para reduzir a quantidade de luz incidente (figura 5.17). Nesta foram obtiveram-se piores resultados para todos os parâmetros. Retrospectivamente, conclui-se que o iluminante assume especial importância na fotografia.

No teste seguinte o fundo foi alterado para preto (figura 5.21). Neste observa-se uma clara diferença entre os diferentes grupos de luminosidade (gráfico 5.22), pois apresenta uma redução visível neste parâmetro de grupo para grupo. Em contrapartida, obtiveram-se piores resultados em relação aos parâmetros C^* e h° (gráficos 5.23 e 5.24).

No último teste foi utilizado um fundo cinzento (figura 5.25). Houve uma perda no parâmetro da Luminosidade (figura 5.26), deixando de se conseguir diferenciar os diferentes

grupos, mas por outro lado existe uma clara diferenciação no que diz respeito ao parâmetro da saturação, C^* (gráfico 5.27). Um resultado próximo do desejável foi obtido para todos os grupos de dentes pertencentes ao mesmo grupo de luminosidade e saturação. O valor de C^* para o dente 3M1 é claramente inferior ao de 3M2 e este é inferior ao 3M3, isto repete-se para os outros grupos. Em relação ao parâmetro h° (gráfico 5.28), voltou a não haver um resultado concordante.



Figura 5.13: Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.

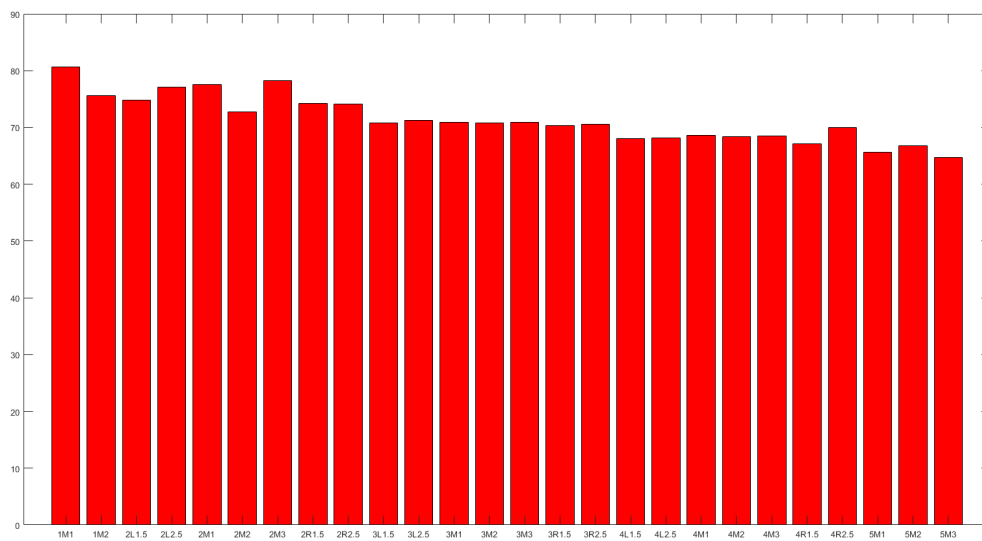


Figura 5.14: Valores do parâmetro L^* de cada um dos 26 dentes

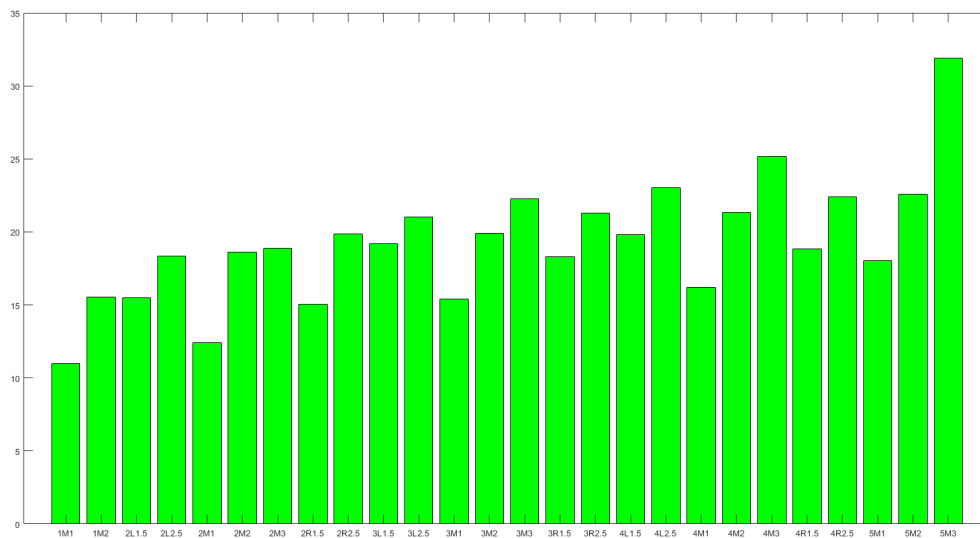


Figura 5.15: Valores do parâmetro C^* de cada um dos 26 dentes

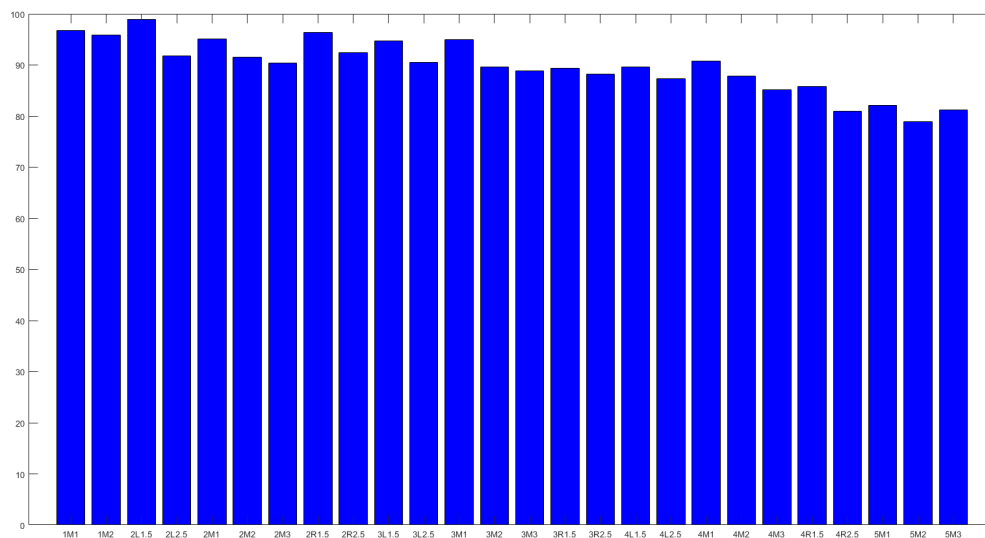


Figura 5.16: Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes

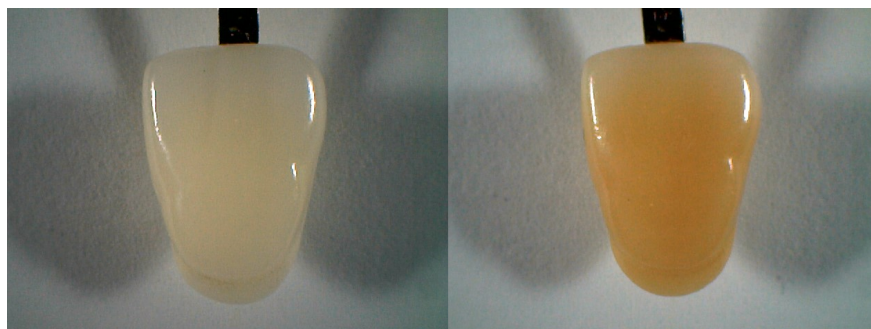
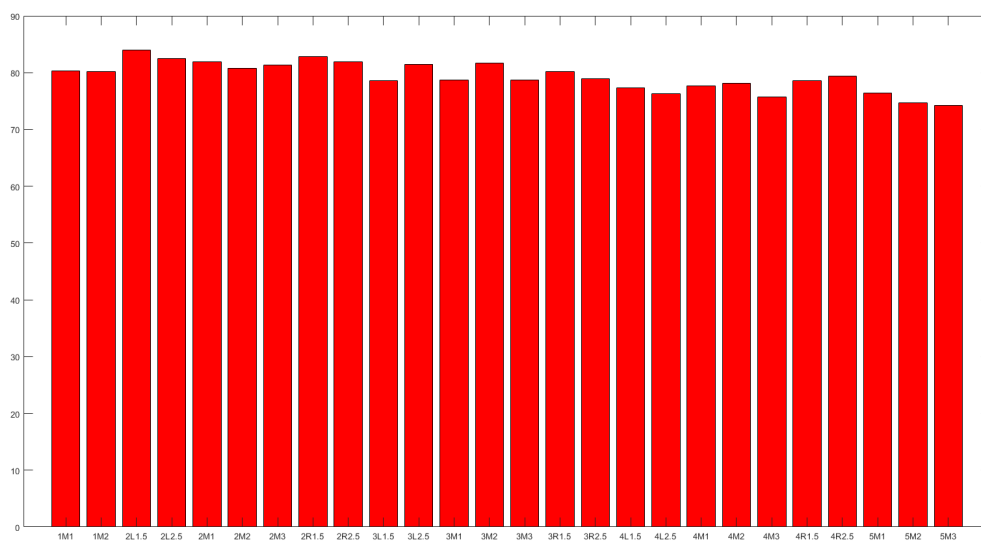
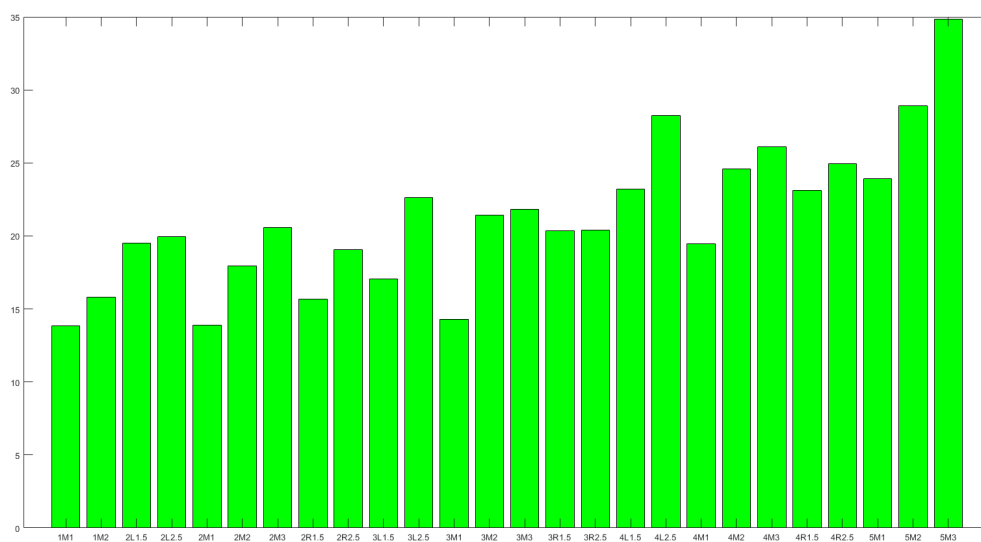


Figura 5.17: Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.

Figura 5.18: Valores do parâmetro L^* de cada um dos 26 dentesFigura 5.19: Valores do parâmetro C^* de cada um dos 26 dentes

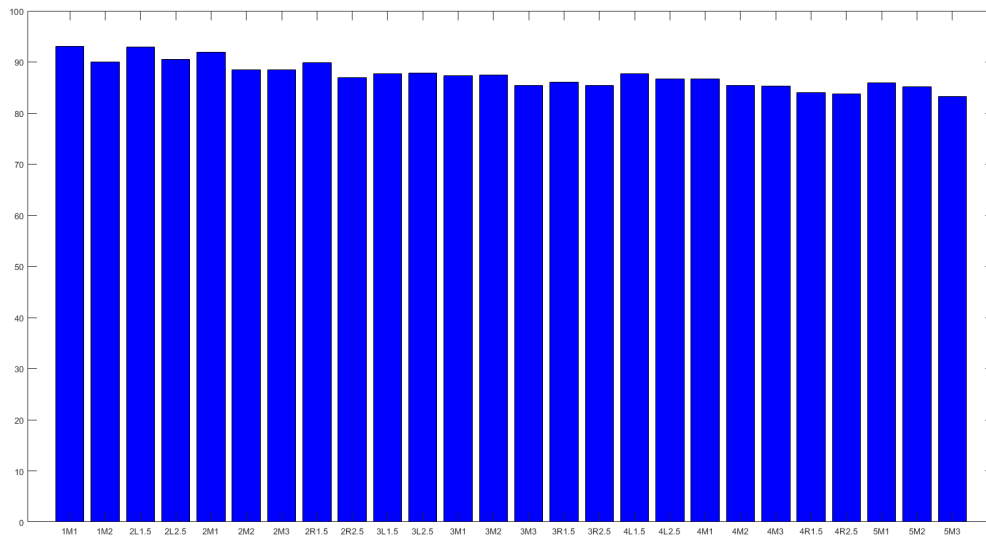


Figura 5.20: Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes

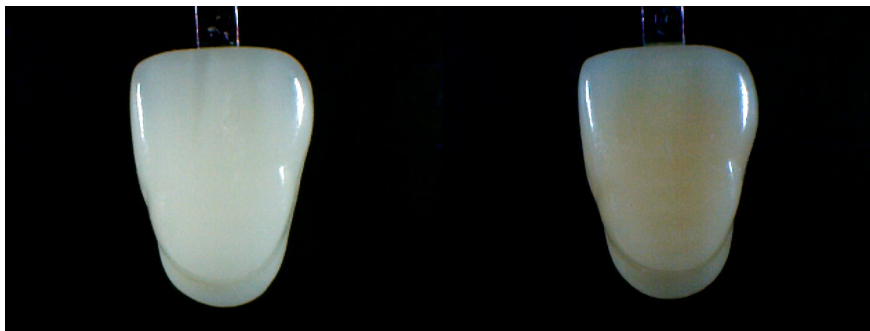


Figura 5.21: Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.

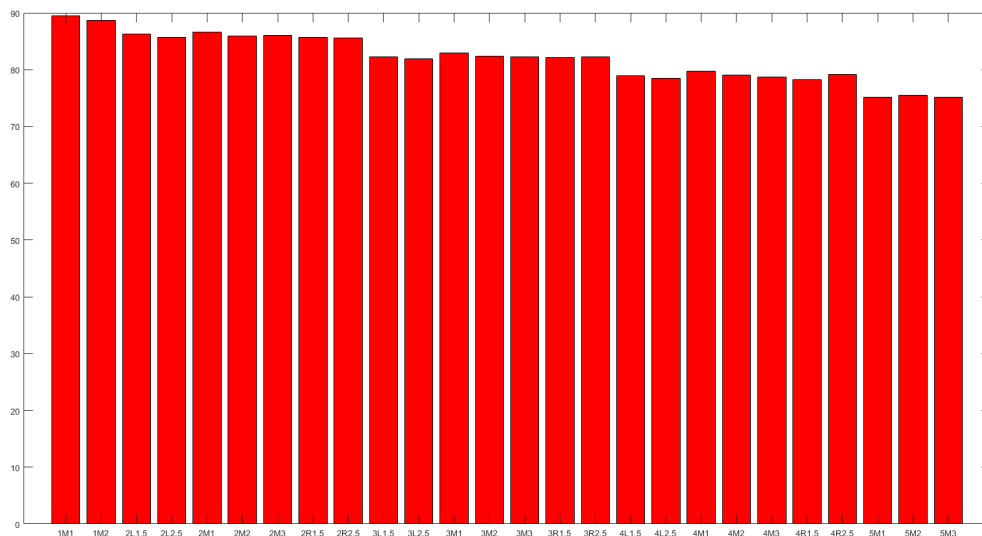


Figura 5.22: Valores do parâmetro L^* de cada um dos 26 dentes

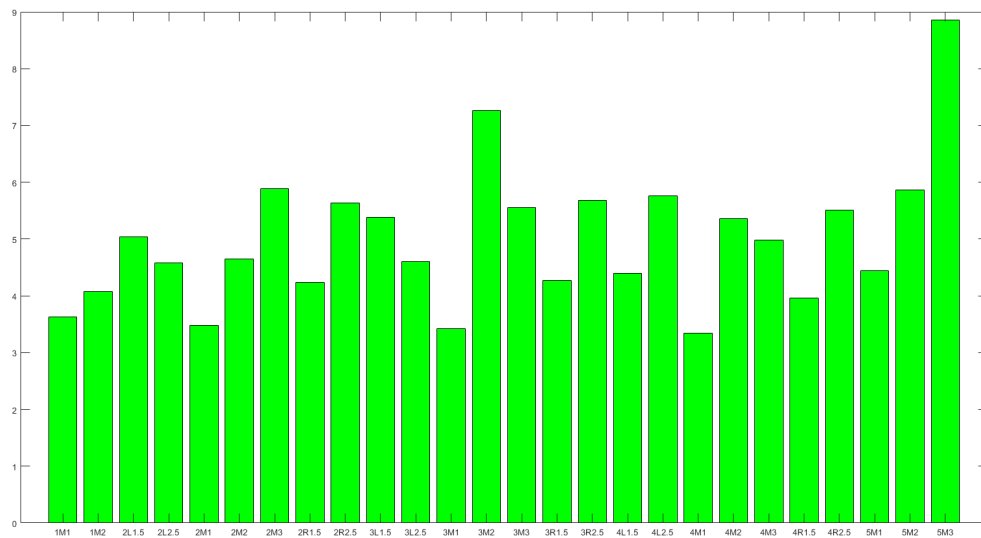


Figura 5.23: Valores do parâmetro C* de cada um dos 26 dentes



Figura 5.24: Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes



Figura 5.25: Esquerda: Dente 1M1 do guia de cores; Direita: Dente 5M3 do guia de cores.

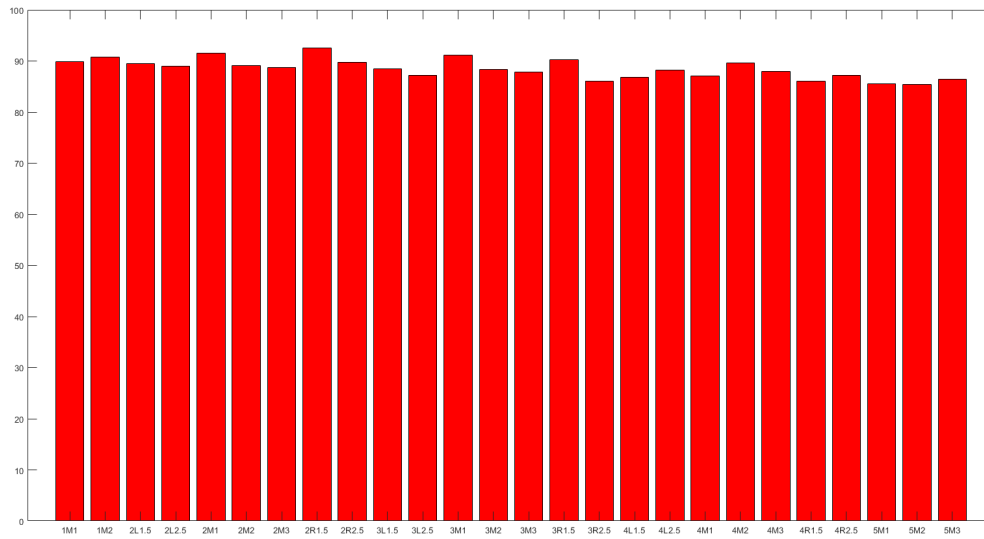


Figura 5.26: Valores do parâmetro L^* de cada um dos 26 dentes

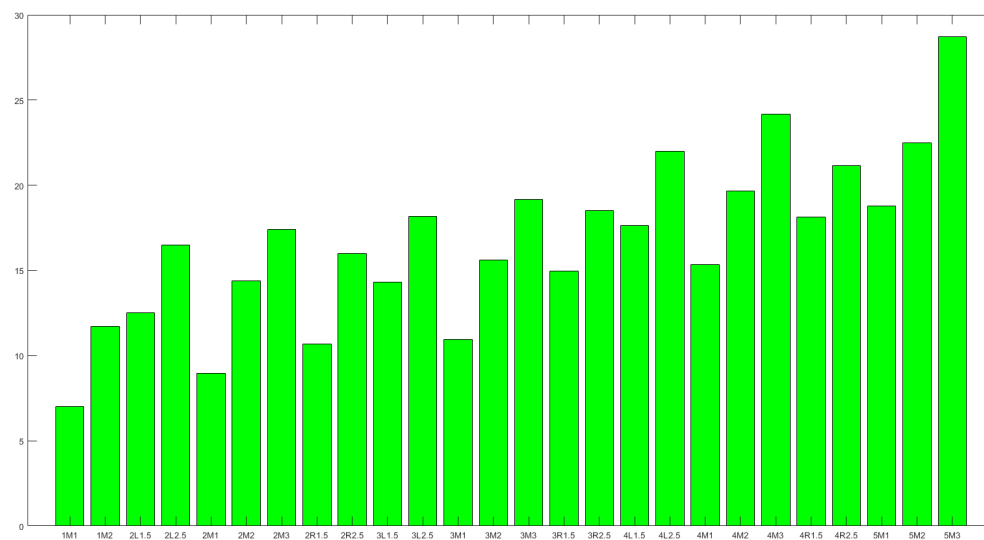


Figura 5.27: Valores do parâmetro C^* de cada um dos 26 dentes

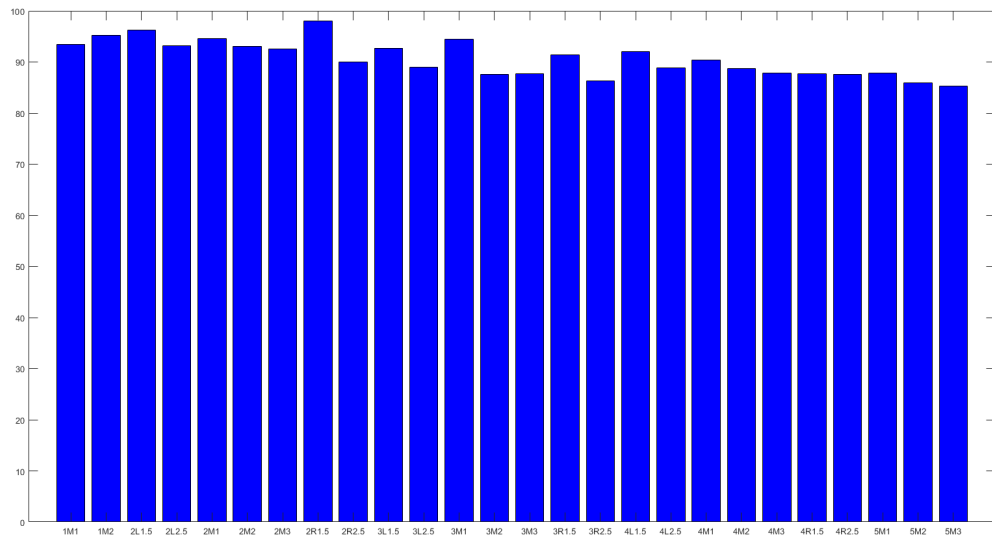


Figura 5.28: Valores do parâmetro h° de cada um dos 26 dentes

5.6 Discussão dos Resultados

Tendo em conta os resultados expostos acima, conclui-se que o iluminante padrão D65 da CIE é aquele que apresenta as melhores características para a finalidade desta dissertação.

Outro aspecto que parece pertinente referir diz respeito aos fundos utilizados, sendo que o preto foi o que proporcionou uma melhor solução, observando-se claramente os diferentes grupos de luminosidade.

Capítulo 6

Conclusões e trabalho futuro

O principal objetivo desta dissertação foi o de desenvolver um instrumento para determinar a cor em Medicina dentária, utilizando uma simples câmara digital, de forma a reduzir custos que os profissionais desta área têm de suportar.

A configuração onde se obtiveram os melhores resultados foi com a utilização do iluminante padrão D65 da CIE e com o fundo de cor preta. Com esta configuração foi alcançado o esperado para as variáveis L^* e C^* . Sendo que o parâmetro h° só se comportou como o esperado em alguns conjuntos de dentes.

Apesar de não terem sido atingidos os melhores resultados, ao finalizar esta dissertação ficou a convicção de se ter contribuído de alguma forma para um avanço significativo nesta temática, considerando a sua realização bastante enriquecedora e gratificante, pois permitiu aprofundar, adquirir e atualizar conhecimentos em diversas áreas, nomeadamente na aquisição de imagem, calibração de sistemas de aquisição e na classificação de cor, só para mencionar os mais relevantes.

No futuro sugere-se a realização de um trabalho mais alargado que inclua um estudo sobre algoritmos de balanceamento de brancos. Estes têm como objetivo corrigir a cor da fotografia a partir de uma referência de cor. Esta referência poderá ser o cartão utilizado nesta dissertação como fundo para as fotografias, mas procedendo a uma adaptação para que sejam utilizadas as três cores como fundo (branco, cinzento e preto). Também se propõe uma melhoria no design das peças, permitindo que sejam incorporados iluminantes que sejam aproximados ao padrão D65 da CIE.

Bibliografia

- [1] *Dicionários do Estudante*. Porto, Porto Editora, 1994.
- [2] L. Nazaré, Á. Fernandes, A. Monteiro, A. Correia, A. Cabrita, A. Pinto, C. Mexia, A. Viana, J. Correia, J. Ramos, L. Pepe, M. Freire, M. Azevedo, M. Boavista, M. Pinto, and R. Cunha. *Nova enciclopédia portuguesa*, 1992.
- [3] M. C. Madeira. *Anatomia do dente*. 5 ed. 2007.
- [4] A. em Foco. Dentes - Anatomia dentária - Dente Siso. URL <https://www.anatomiaemfoco.com.br/sistema-digestivo-anatomia/dentes-siso/>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [5] D. Moreira. Características Dentais. URL <https://profissaodentista.com/2017/01/08/caracteristicas-dentais/>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [6] M. Corporation. A Beginner's Guide to (CIE) Colorimetry. URL <https://medium.com/hipster-color-science/a-beginners-guide-to-colorimetry-401f1830b65a>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [7] x-rite PANTONE. *A Guide to Understanding Color*, 2016.
- [8] I. Portugal. Design Shots: Os 7 contrastes de cor. URL <https://infoportugal.pt/2018/06/29/teoria-7-contrastes-de-cor/>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [9] R. Visual. Escala de Saturação. URL <http://reformavisual.com/circulo-cromatico/alta-saturacao/>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [10] Luminosidade. URL [https://pt.wikipedia.org/wiki/Luminosidade_\(cor\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Luminosidade_(cor)). Última vez acedido: 08-Set-2019.

- [11] M. Color. Munsell Chroma, . URL <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-chroma/>. Última vez accedido: 08-Set-2019.
- [12] M. Color. Munsell Value, . URL <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/munsell-value/>. Última vez accedido: 08-Set-2019.
- [13] Chromology. The Sci Art Personal colour analysis system. URL <https://chromology.co.uk/the-sciart-system/>. Última vez accedido: 08-Set-2019.
- [14] Commission Internationale de l'Eclairage. CIE's Objectives. URL <http://www.cie.co.at/about-cie/cie-s-objectives>. Última vez accedido: 08-Set-2019.
- [15] J. W. T. Walsh and A. M. Marsden. History of the Cie 1913-1988. 24(09):85, 1990.
- [16] CIE. CIE technical report Colorimetry, 3rd Edition. *Colorimetry, 3rd Edition*, 552:24, 2004.
- [17] S. J. Chu, R. D. Trushkowsky, and R. D. Paravina. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of Dentistry*, 38:2–16, 2010.
- [18] VITA Zahnfabrik H. Rauter. VITA INFO. 2014.
- [19] R. D. Paravina. Performance assessment of dental shade guides. *Journal of Dentistry*, 37:15–20, 2009.
- [20] V. Zahnfabrik. VITA Toothguide 3D-MASTER, . URL <https://www.vita-zahnfabrik.com/en/VITA-Toothguide-3D-MASTER-26230,27568.html>. Última vez accedido: 08-Set-2019.
- [21] C. Odaira, S. Itoh, and K. Ishibashi. Clinical evaluation of a dental color analysis system: The Crystaleye Spectrophotometer®. *Journal of Prosthodontic Research*, 55(4):199–205, 2011.
- [22] S. Kim-Pusateri, J. D. Brewer, E. L. Davis, and A. G. Wee. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 101(3):193–199, 2009.

- [23] J. D. Brewer, A. Wee, and R. Seghi. Advances in color matching. *Dental Clinics of North America*, 48(2):341–358, 2004.
- [24] V. Farbkommunikation. VITA Easyshade Advance ®. *Control*, pages 1–8.
- [25] V. Easyshade. VITA Easyshade ®. *System*.
- [26] V. Zahnfabrik. VITA Easyshade V, . URL https://www.vita-zahnfabrik.com/pdb_GG2G50G200_en,27568,95502.html. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [27] CIE. Proc. of the 8th Session of CIE. Technical report, 1931.
- [28] L. Mercatelli and A. Giannini. *Characteristics of light sources*. 2015.
- [29] IEC. International Electrotechnical Commission. URL <http://www.iec.ch/>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [30] S. Sudhakaran. What is the difference between CIE LAB, CIE RGB, CIE xyY and CIE XYZ? URL <https://wolfcrow.com/what-is-the-difference-between-cie-lab-cie-rgb-cie-xyy-and-cie-xyz/>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [31] K. Minolta. Controle de cor da indústria de cuidados pessoais: Medição e Análise de cor da pele. URL <http://sensing.konicaminolta.com.br/2016/06/controle-de-cor-da-industria-de-cuidados-pessoais-medicao-e-analise-de-cor-da-pele/>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [32] Tolerancing color in presswork - CIE $L^*a^*b^*$ and DeltaE. URL <http://the-print-guide.blogspot.com/2010/04/tolerancing-color-in-presswork-cie-lab.html>. Última vez acedido: 08-Set-2019.
- [33] Waveform Lighting. What is D65 and what is it used for? URL <https://www.waveformlighting.com/color-matching/what-is-d65-and-what-is-it-used-for>. Última vez acedido: 08-Set-2019.

Apêndice A

Funções implementadas em Matlab

Função A.1: Obtenção das zonas de interesse

N = numero de fotografias tiradas.

Para i = 1 ate N

I(i)=leitura dos valores RGB da imagem i

imshow(I(i)) # Exibe a imagem I(i) num display em matlab

Coordenadas(i)= drawrectangle() #Seleciona-se a zona pretendida

Fim

Função A.2: Obtenção dos valores medianos ou médios nas zonas de interesse

I_R = Valor do pixel vermelho de cada uma das fotografias tiradas

I_G = Valor do pixel verde de cada uma das fotografias tiradas

I_B = Valor do pixel azul de cada uma das fotografias tiradas

Coordenadas = Zona retangular selecionada de cada fotografia

Para i = 1 ate N

```

Valor_mediano_R(i) = median(I_R(coordenadas), i) # ou medio
Valor_mediano_G(i) = median(I_G(coordenadas), i) # ou medio
Valor_mediano_B(i) = median(I_B(coordenadas), i) # ou medio

```

Fim

Função A.3: Transformação da escala de cor RGB para L*C*h°

```

#Em primeiro transformam-se os valores RGB de 0-255 para 0-1

r=Valores_medianos_R/255
g=Valores_medianos_G/255
b=Valores_medianos_B/255

#Para transformar de RGB para CIE XYZ utiliza-se agora a transformacao
4.10, capitulo 4.

X = 0.412453*r + 0.357580*g + 0.180423*b;
Y = 0.212671*r + 0.715160*g + 0.072169*b;
Z = 0.019334*r + 0.119193*g + 0.950227*b;

#De CIE XYZ para CIE Lab utilizam-se as equacoes de 4.14 a 4.22,
capitulo 4

Xn=0.950470
Yn=1
Zn=1.088830

r=(24/116)^3

X_Xn=X/Xn
Y_Yn=Y/Yn

```

Z_Zn=Z/Zn

se X_Xn>r

$$f_X_Xn=(X/Xn)^{(1/3)}$$

senao

$$f_X_Xn=((841*X)/(108*Xn))+16/116$$

fim

se Y_Yn>r

$$f_Y_Yn=(Y/Yn)^{(1/3)}$$

senao

$$f_Y_Yn=((841*Y)/(108*Yn))+16/116$$

fim

se Z_Zn>r

$$f_Z_Zn=(Z/Zn)^{(1/3)}$$

senao

$$f_Z_Zn=((841*Z)/(108*Zn))+16/116$$

fim

$$L = 116*f_Y_Yn - 16$$

$$a = 500*(f_X_Xn - f_Y_Yn)$$

$$b = 200*(f_Y_Yn - f_Z_Zn)$$

#Para obter entao a escala CIE LCh utilizam-se as equacoes de 4.29 a 4.30, a

$$C = \text{sqrt}(a^2 + b^2) \# \text{sqrt} - \text{raiz quadrada}$$

$$\text{hrad}=\text{atan2}(b,a) \# \text{Tangente inversa de quatro quadrantes}$$

$$h=\text{hrad}*180/\text{pi} \# \text{transforma de radianos para graus}$$

Fim

Apêndice B

Guia de Cores VITAPAN 3D Master

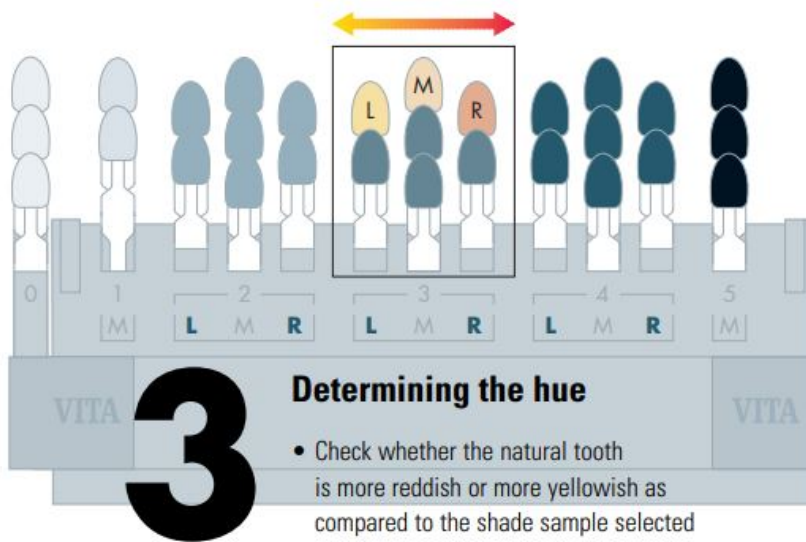
VITA Toothguide 3D-MASTER Instructions for Use – Example

1 Determining the lightness level (value)

- Hold shade guide at arm's length to the patient's mouth (see right figure)
- Select group 0, 1, 2, 3, 4 or 5
- Start selection with darkest group first

2 Selecting the chroma

- On the basis of the determined lightness level, choose the middle hue group (M) to determine the chroma and spread the samples out like a fan
- Select one of the three shade samples



See back for details!

Determining intermediate values

An even more precise method of shade determination is possible by specifying the lightness and chroma of intermediate shades. Use the two neighbouring shades to help convince yourself that the correct toothcolour is neither the one nor the other shade.

e.g. 4.5M2 as intermediate shade (lightness) 4M2 and 5M2
 2M1.5 as intermediate shade (chroma) 2M1 and 2M2

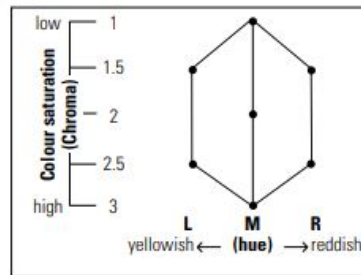
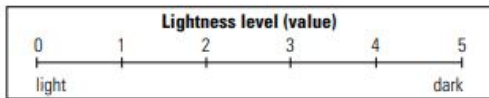
The intermediate shades can also be noted on the communication form.

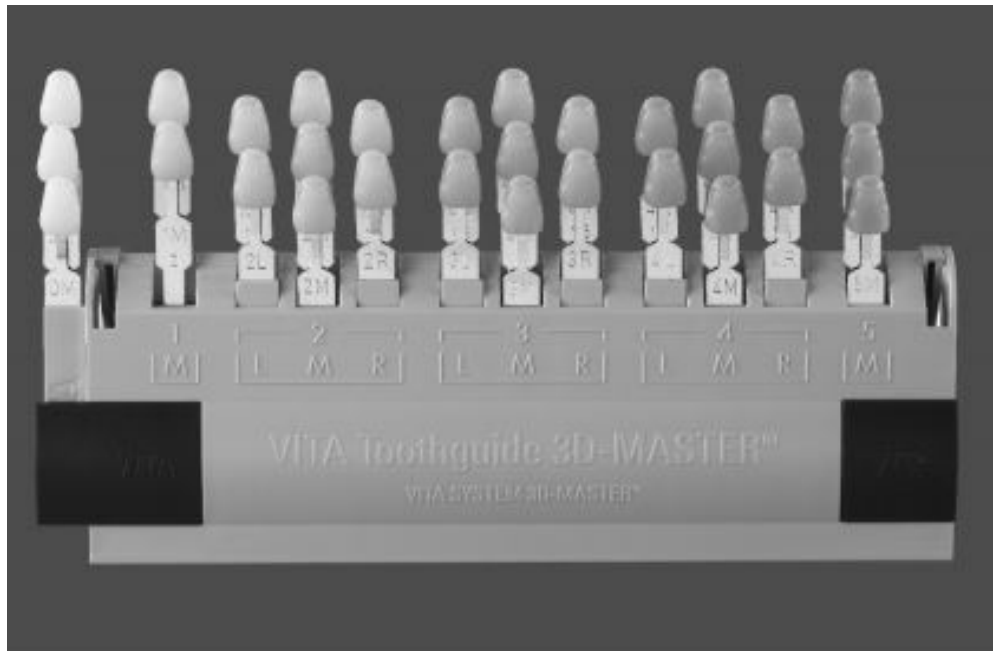
Colour communication form

(Order no. 914 E)

1st step

2nd and 3rd step





All shade samples belonging to a lightness level (0-5) have the same lightness value (see black and white photograph). Differences within a lightness level reflect the various degrees of chroma and hue.

These are determined in steps **2** and **3**.

The objective in step **1** is to determine the correct lightness level (0-5) and not the single shade of the sample tooth (1 out of 29).

All shade samples of an M-group feature the same hue and lightness. Only the **chroma** varies.

Tips for shade-taking:

- Shade-taking should be carried out before the preparation. Dehydration after the preparation makes the shade appear to be too white.
- Tooth shades should be determined in daylight or under standardized daylight lamps and not under operation lamps.
- Because eyes usually tire after 5-7 seconds, it is recommended to make a selection quickly and to accept the first decision.
- Avoid bright colors in the shade-taking environment, i.e. no lipstick, tinted eyeglasses, no bright-colored clothes.

